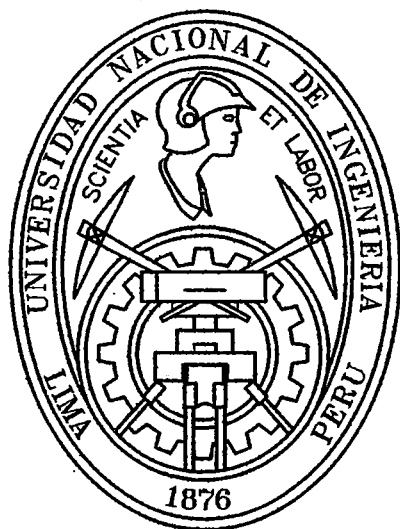


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO
EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR
HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

elaborada por **DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ**

Lima- Perú

2011

Digitalizado por:

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

DEDICATORIA

A mis queridos padres Mery y César por sus consejos,
confianza, apoyo y motivación constante que me
brindaron en toda mi formación profesional.

A mi hermana Pamela por su paciencia y aliento.

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que han dedicado parte de su tiempo y su experiencia para poder desarrollar este trabajo. Sin embargo, tengo que mencionar a aquellas personas cuya colaboración ha sido imprescindible para la realización del mismo.

Quisiera agradecer a mi asesor de tesis, el Ingeniero Néstor Huamán Guerrero, por su orientación, apoyo, atención y tiempo, y sobre todo por los valiosos consejos y conocimientos que me supo transmitir.

A la Empresa CONCAR S.A., en especial al Ingeniero Walter Obando y a los Ingenieros de la Carretera Interoceánica Sur - Tramo I, quienes confiaron en mí para la realización de este trabajo, me apoyaron y me brindaron información valiosa.

A la Empresa TDM Asfaltos S.A.C., en especial al Ingeniero Jorge Escalante y a la Ingeniera Wendy Herencia, ya que sin su apoyo no se hubiera podido realizar la etapa experimental de la tesis.

Al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (IIFIC - UNI), en especial al Doctor Víctor Sánchez Moya y al Doctor Teófilo Vargas, quienes me dieron la oportunidad de trabajar en forma conjunta y siempre mostraron interés y preocupación por el avance de la investigación.

A mis familiares y amigos, por las palabras de ánimo y por sus demostraciones de afecto.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	VI
LISTA DE CUADROS	VII
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE GRÁFICOS	XIV
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	XVI
INTRODUCCIÓN	XX
CAPÍTULO I: MATERIALES ASFÁLTICOS	1
1.1 LIGANTES ASFÁLTICOS NATURALES	1
1.2 PRODUCTOS DE LA DESTILACIÓN DEL PETRÓLEO	2
1.2.1 Cemento asfáltico de petróleo (CAP)	2
1.2.1.1 <i>Naturaleza y composición del cemento asfáltico</i>	2
1.2.1.2 <i>Características de los cementos asfálticos</i>	5
1.2.1.3 <i>Proceso de destilación de Petróleo</i>	7
1.2.1.4 <i>Cementos asfálticos producidos en Perú</i>	8
1.2.2 Asfaltos diluidos	9
1.2.2.1 <i>Definición</i>	9
1.2.2.2 <i>Clasificación</i>	9
1.2.2.3 <i>Asfaltos diluidos producidos en Perú</i>	12
CAPÍTULO II: EMULSIONES ASFÁLTICAS	13
2.1 HISTORIA DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS	13
2.2 QUÍMICA DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS	14
2.2.1 Composición de las Emulsiones Asfálticas	14
2.2.2 Clasificación de las Emulsiones Asfálticas	16
2.2.3 Elaboración de la emulsión	20
2.2.3.1 <i>Equipo de emulsificación</i>	20
2.2.3.2 <i>Proceso de emulsificación</i>	22
2.2.4 Rotura de la emulsión	23
2.2.5 Curado de la emulsión	25
2.3 EMULSIONES ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS	26
2.4 ALMACENAMIENTO, MANIPULACIÓN Y MUESTREO	28

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

2.4.1 Almacenamiento de las emulsiones asfálticas	28
2.4.2 Manipulación de las emulsiones asfálticas	29
2.4.3 Muestreo de las emulsiones asfálticas	30
2.5 EMULSIONES ASFÁLTICAS PRODUCIDAS EN PERÚ	32

CAPÍTULO III: MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIONES ASFÁLTICAS 33

3.1 GENERALIDADES	33
3.2 ANTECEDENTES	35
3.3 HUSOS GRANULOMÉTRICO	38
3.3.1 Manual Básico de las Emulsiones Asfálticas (MS-19)	39
3.3.2 Recomendaciones Españolas	39
3.3.3 Recomendaciones del Sindicato Francés de Emulsiones	41
3.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON EMULSIÓN	41
3.4.1 Método Illinois	42
3.4.2 Marshall Modificado (MS-14)	42
3.4.3 Instituto del Asfalto	43
3.4.4 Especificaciones de Panamá	43
3.4.5 Especificaciones de Colombia	44
3.4.6 Manual AKZO NOBEL	44
3.4.7 Especificaciones de Brasil	44
3.5 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO	45
3.5.1 Clasificación según el ligante utilizado	45
3.5.2 Clasificación según el método de mezclado	46
3.5.3 Clasificación según el tipo de curva granulométrica	46
3.5.4 Clasificación según el tipo de mantenimiento	47

CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO 49

4.1 CARACTERIZACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA	49
4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	54
4.2.1 Consideraciones acerca del empleo de los agregados	54
4.2.2 Evaluación de afinidad con el agregado pétreo	55
4.2.3 Especificaciones que deben de cumplir los agregados	58

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

4.2.3.1 <i>Agregados gruesos</i>	58
4.2.3.2 <i>Agregados finos</i>	62
4.2.3.3 <i>Relleno mineral (Filler)</i>	67
4.2.4 Análisis de los resultados de los ensayos a los agregados	67
4.2.4.1 <i>Composición química</i>	68
4.2.4.2 <i>Agregados gruesos</i>	68
4.2.4.3 <i>Agregados finos</i>	76
4.2.4.4 <i>Relleno mineral (Filler)</i>	84
4.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE PREMEZCLA	85
CAPÍTULO V: DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EL MÉTODO ILLINOIS	87
5.1 OBJETIVO DEL MÉTODO	88
5.2 PROCEDIMIENTO DEL MÉTODO	88
5.2.1 Ensayos sobre los agregados	88
5.2.2 Ensayos sobre la emulsión asfáltica	88
5.2.3 Contenido de asfalto residual tentativo	88
5.2.4 Recubrimiento	89
5.2.5 Contenido óptimo de agua en la compactación	90
5.2.6 Variación del contenido de asfalto residual	91
5.2.7 Análisis de densidad y vacíos	94
5.2.8 Elaboración de gráficas	94
5.3 DISEÑOS EMPLEANDO EL MÉTODO DE ILLINOIS	95
5.3.1 Diseño Illinois con los agregados de la Cantera Santa Rosa(Diseño1)	95
5.3.1.1 <i>Granulometría</i>	95
5.3.1.2 <i>Contenido de asfalto residual tentativo</i>	100
5.3.1.3 <i>Recubrimiento</i>	101
5.3.1.4 <i>Contenido óptimo de agua en la compactación</i>	102
5.3.1.5 <i>Variación del contenido de asfalto residual</i>	105
5.3.1.6 <i>Elaboración de gráficas</i>	109
5.3.2 Diseño Illinois con los agregados de la Cantera S/N – Km. 770+100 (Diseño 2)	111
5.3.2.1 <i>Granulometría</i>	111
5.3.2.2 <i>Contenido de asfalto residual tentativo</i>	114
5.3.2.3 <i>Recubrimiento</i>	114

5.3.2.4 <i>Contenido óptimo de agua en la compactación</i>	116
5.3.2.5 <i>Variación del contenido de asfalto residual</i>	117
5.3.2.6 <i>Elaboración de gráficas</i>	118
5.3.3 Aspectos comparativos de los diseños de mezcla	120
5.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL DISEÑO DE MEZCLA – METODOLOGÍA ILLINOIS	125
CAPÍTULO VI: ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA EVALUAR EL DAÑO POR HUMEDAD EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO	126
6.1 INTRODUCCIÓN	126
6.2 ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA	127
6.3 SENSIBILIDAD A LA ACCIÓN DEL AGUA	130
6.4 INFLUENCIA DE LOS FILLERS COMERCIALES	132
6.5 VARIABLES DE ESTUDIO	134
6.5.1 Temperatura del ensayo	134
6.5.2 Temperatura de ensayo y contenido de ligante	135
6.5.3 Temperatura de ensayo y tipo de ligante	136
6.6 ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA APLICADO A MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON EMULSIONES ASFÁLTICAS	138
6.6.1 Objetivo del Método	139
6.6.2 Procedimiento del Método	139
6.6.2.1 <i>Dosificación y preparación de las muestras</i>	139
6.6.2.2 <i>Compactación</i>	140
6.6.2.3 <i>Curado</i>	141
6.6.2.4 <i>Densidades</i>	142
6.6.2.5 <i>Evaluación de la resistencia a tracción indirecta</i>	143
6.7 APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA	145
6.7.1 Tracción Indirecta con los agregados de la Cantera Santa Rosa	145
6.7.1.1 <i>Mezclas con aporte de cemento portland</i>	145
6.7.1.2 <i>Mezclas con aporte de cal hidratada</i>	147
6.7.2 Tracción Indirecta con los agregados de la Cantera S/N(Km770+100)	153
6.7.2.1 <i>Mezclas con aporte de cemento portland</i>	153
6.7.2.2 <i>Mezclas con aporte de cal hidratada</i>	155
6.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA – METODOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA	161

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

CAPÍTULO VII: PROCESO CONSTRUCTIVO	162
7.1 TRABAJO DE PAVIMENTACIÓN	162
7.1.1 Preparación de la mezcla	162
7.1.2 Extendido de la mezcla	168
7.1.3 Compactación de la mezcla	170
7.2 TRABAJOS DE MANTENIMIENTO (BACHEO)	175
7.3 EJEMPLO DE APLICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO CON EMULSIONES – CENTRO MINERO TINTAYA	181
7.3.1 Antecedentes	181
7.3.2 Diseño de mezcla	181
7.3.2.1 Selección de agregados	182
7.3.2.2 Selección de la emulsión asfáltica	183
7.3.2.3 Selección del filler	184
7.3.2.4 Selección del agua	184
7.3.2.5 Metodología AKZO NOBEL	184
7.3.3 Aplicación en campo	186
7.3.3.1 Producción de la mezcla	186
7.3.3.2 Imprimado	187
7.3.3.3 Colocación y compactación de la mezcla asfáltica	187
7.3.3.4 Colocación del sello asfáltico	188
7.3.4 Control de calidad	188
7.3.4.1 Agregados	188
7.3.4.2 Emulsión asfáltica	189
7.3.4.3 Mezcla asfáltica	189
7.3.4.4 Control de campo de la carpeta asfáltica	190
CONCLUSIONES	191
RECOMENDACIONES	193
BIBLIOGRAFÍA	195
ANEXOS	205

RESUMEN

La presente tesis, muestra los resultados de una investigación sobre las mezclas asfálticas en frío empleando emulsiones asfálticas para ser usadas en trabajos de pavimentación. Los objetivos de esta tesis son demostrar que este tipo de mezclas pueden ser utilizadas como carpetas de rodadura, tener conocimiento del diseño de estas mezclas en laboratorio utilizando la Metodología Illinois y de la evaluación del daño por humedad empleando el ensayo de tracción indirecta por compresión diametral y cómo los fillers comerciales (cemento portland y cal hidratada) minimizan este deterioro.

Se realizaron dos diseños de mezcla, utilizando dos tipos de agregados. A estos agregados se les realizaron sus ensayos físicos y químicos, dando buenos resultados para ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas en frío. Para los dos diseños de mezcla se utilizó como ligante una emulsión asfáltica de rotura lenta convencional de la empresa TDM Asfaltos S.A.C. que cumplía con los requisitos de calidad. Finalmente con los óptimos contenidos de asfalto residual de cada diseño de mezcla, se realizó el ensayo de tracción indirecta por compresión diametral en estado seco y saturado incorporando diferentes cantidades de fillers comerciales para determinar la mejora en la cohesión del mastic formado.

Se muestran diferentes resultados pudiendo demostrar que el tipo de agregado, principalmente su composición química (calizo o silicio) y las características físicas, en especial el tamaño máximo del agregado, resistencia al desgaste, porcentaje de caras de fractura y de partículas chatas y alargadas influyen en los resultados finales en la determinación de la estabilidad y resistencias a la tracción indirecta en las mezclas asfálticas en frío.

Se encuentra ventajas en el uso de estas mezclas, principalmente para trabajos de pavimentación en pequeñas escalas y en zonas alejadas a plantas asfálticas en caliente. Se encuentra una desventaja en el porcentaje de vacíos de estas mezclas, debido a que es excesivo en comparación con las mezclas asfálticas en caliente; pudiéndose minimizar este problema empleando fillers comerciales para que la humedad no afecte excesivamente al desempeño de esta mezcla.

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1.1: Composición química del cemento asfáltico.	2
Cuadro 1.2: Elementos químicos presentes en asfaltos de distinta procedencia.	3
Cuadro 1.3: Cementos asfálticos comercializados en el Perú.	8
Cuadro 1.4: Grados de los asfaltos diluidos RC.	10
Cuadro 1.5: Grados de los asfaltos diluidos MC.	10
Cuadro 1.6: Grados de los asfaltos diluidos SC.	10
Cuadro 1.7: Asfaltos diluidos comercializados en el Perú.	12
Cuadro 2.1: Usos generales de las emulsiones asfálticas.	19
Cuadro 2.2: Tamaños promedios de las partículas de una emulsión.	23
Cuadro 2.3: Temperaturas de almacenamiento para emulsiones asfálticas.	28
Cuadro 2.4: Guía de las condiciones exigidas de vaciado de tanques antes de cargar emulsiones asfálticas.	30
Cuadro 2.5: Emulsiones asfálticas catiónicas producidas en el Perú.	32
Cuadro 3.1: Guía para el uso de productos derivados del asfalto para mezclas en frío.	34
Cuadro 3.2: Uso de las emulsiones asfálticas en el mundo.	38
Cuadro 3.3: Granulometrías cerradas y abiertas para mezclas con emulsión.	39
Cuadro 3.4: Espesores de la carpeta asfáltica compactada según el tipo de granulometría y el tamaño máximo nominal del agregado según las recomendaciones Españolas.	40
Cuadro 3.5: Husos granulométricos para las mezclas con emulsión, de granulometrías densas, semidensas y abiertas según las recomendaciones Españolas.	40
Cuadro 3.6: Husos granulométricos para las mezclas con emulsión según recomendaciones del Sindicato Francés de Emulsiones.	41
Cuadro 3.7: Especificaciones técnicas del Método Illinois.	42
Cuadro 3.8: Especificaciones técnicas del Método Marshall Modificado.	42
Cuadro 3.9: Especificaciones técnicas del Instituto del Asfalto.	43
Cuadro 3.10: Especificaciones técnicas de Panamá.	43
Cuadro 3.11: Especificaciones técnicas de Colombia.	44
Cuadro 3.12: Especificaciones técnicas del Manual de AKZO NOBEL.	44
Cuadro 3.13: Especificaciones técnicas de Brasil.	44
Cuadro 4.1: Ensayos sobre la emulsión catiónica de rotura lenta.	54
Cuadro 4.2: Ensayos sobre el residuo asfáltico de la emulsión.	54
Cuadro 4.3: Ensayos de calidad de agregados gruesos.	62

Cuadro 4.4: Ensayos de calidad de agregados finos.	66
Cuadro 4.5: Contenido de óxido de silicio y de carbonato de calcio en los agregados.	68
Cuadro 4.6: Peso unitario suelto y varillado de los agregados gruesos.	68
Cuadro 4.7: Cantidad de volumen y de volquetes para una tonelada de agregados gruesos.	69
Cuadro 4.8: Granulometría de los agregados gruesos.	70
Cuadro 4.9: Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos.	72
Cuadro 4.10: Abrasión de los Ángeles de los agregados gruesos.	73
Cuadro 4.11: Durabilidad al sulfato de sodio de los agregados gruesos.	73
Cuadro 4.12: Porcentaje de caras de fractura de los agregados gruesos.	74
Cuadro 4.13: Cantidad de sales solubles de los agregados gruesos.	74
Cuadro 4.14: Cantidad de partículas chatas y alargadas de los agregados gruesos.	75
Cuadro 4.15: Adherencia de los agregados gruesos.	75
Cuadro 4.16: Cuadro resumen de las propiedades físicas y químicas de los agregados gruesos de las Canteras Santa Rosa y Km 770+100.	76
Cuadro 4.17: Límite líquido de los finos.	76
Cuadro 4.18: Límite plástico e índice de plasticidad de los finos.	77
Cuadro 4.19: Equivalente de arena de los agregados finos.	77
Cuadro 4.20: Material más fino que la malla N° 200 de los agregados finos.	78
Cuadro 4.21: Peso unitario suelto y varillado de los agregados finos.	78
Cuadro 4.22: Cantidad de volumen y de volquetes para una tonelada de agregados finos.	79
Cuadro 4.23: Granulometría de los agregados finos.	79
Cuadro 4.24: Gravedad específica y absorción de los agregados finos.	81
Cuadro 4.25: Durabilidad al sulfato de sodio de los agregados finos.	81
Cuadro 4.26: Impurezas orgánicas en los agregados finos.	82
Cuadro 4.27: Sales solubles en los agregados finos.	82
Cuadro 4.28: Adhesividad Riedel Weber en los agregados finos.	82
Cuadro 4.29: Cuadro resumen de las propiedades físicas y químicas de los agregados finos de las Canteras Santa Rosa y Km 770+100.	84
Cuadro 4.30: Peso específico del filler.	84
Cuadro 4.31: Granulometría del filler.	85
Cuadro 4.32: Ensayos de Dureza y pH al agua potable.	86
Cuadro 5.1: Combinación de agregados (Cantera Santa Rosa – 45% Agregado Grueso, 55% Agregado Fino).	97
Cuadro 5.2: Combinación de agregados (Cantera Santa Rosa – 40% Agregado Grueso, 60% Agregado Fino).	99
Cuadro 5.3: Porcentajes de agua de premezcla para el ensayo de recubrimiento.	101

Cuadro 5.4: Determinación del porcentaje óptimo de humedad de compactación.	104
Cuadro 5.5: Resumen del contenido óptimo de humedad de compactación.	105
Cuadro 5.6: Determinación de los parámetros de la Metodología Illinois (Fase seca).	107
Cuadro 5.7: Determinación de los parámetros de la Metodología Illinois (Fase húmeda).	109
Cuadro 5.8: Parámetros obtenidos del Diseño Illinois con el óptimo de asfalto residual para el agregado de la Cantera Santa Rosa (Diseño 1).	111
Cuadro 5.9: Combinación de agregados (Cantera S/N).	113
Cuadro 5.10: Porcentajes de agua de premezcla para el ensayo de recubrimiento.	115
Cuadro 5.11: Determinación del porcentaje óptimo de humedad de compactación.	116
Cuadro 5.12: Resumen del contenido óptimo de humedad de compactación.	117
Cuadro 5.13: Determinación de los parámetros de la Metodología Illinois (Fase seca).	118
Cuadro 5.14: Determinación de los parámetros de la Metodología Illinois (Fase húmeda).	118
Cuadro 5.15: Parámetros obtenidos del Diseño Illinois con el óptimo de asfalto residual para el agregado de la Cantera Santa Rosa (Diseño 2).	120
Cuadro 5.16: Parámetros obtenidos de las mezclas para la Cantera Santa Rosa y para la Cantera S/N.	121
Cuadro 5.17: Parámetros obtenidos de los Diseños Illinois para las Canteras Santa Rosa y para la Cantera S/N.	122
Cuadro 5.18: Ventajas y desventajas de la Metodología Illinois.	125
Cuadro 6.1: Porcentajes de agua de premezcla para diferentes porcentajes de Cemento Portland Tipo I para la Cantera Santa Rosa.	145
Cuadro 6.2: Resistencias a la tracción indirecta en condición seca y saturada con y sin Cemento Portland Tipo I para la Cantera Santa Rosa.	146
Cuadro 6.3: Porcentajes de agua de premezcla para diferentes porcentajes de Cal Hidratada para la Cantera Santa Rosa.	148
Cuadro 6.4: Resistencias a la tracción indirecta en condición seca y saturada con y sin Cal Hidratada para la Cantera Santa Rosa.	148
Cuadro 6.5: Porcentajes de agua de premezcla para diferentes porcentajes de Cemento Portland Tipo I para la Cantera S/N (Km. 770+100).	153
Cuadro 6.6: Resistencias a la tracción indirecta en condición seca y saturada con y sin Cemento Portland Tipo I para la Cantera S/N (Km. 770+100).	153
Cuadro 6.7: Porcentajes de agua de premezcla para diferentes porcentajes de Cal Hidratada para la Cantera S/N (Km. 770+100).	155
Cuadro 6.8: Resistencias a la tracción indirecta en condición seca y saturada con y sin Cal Hidratada para la Cantera S/N (Km. 770+100).	155

Cuadro 6.9: Ventajas y desventajas de la Metodología de la Universidad Politécnica de Cataluña.	161
Cuadro 7.1: Proporción de la mezcla de agregados.	182
Cuadro 7.2: Granulometría de la mezcla de agregados.	182
Cuadro 7.3: Formulación de la emulsión asfáltica.	183
Cuadro 7.4: Ensayos realizados a la emulsión catiónica y al residuo asfáltico.	183
Cuadro 7.5: Formato utilizado para el diseño de mezcla en frío.	185
Cuadro 7.6: Resultados obtenidos con diferentes contenidos de emulsión asfáltica.	186

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1: Fracciones del cemento asfáltico según el sistema coloidal.	3
Figura 1.2: Sistema coloidal del cemento asfáltico según Pfeiffer.	4
Figura 1.3: Modelo microestructural de SHRP.	5
Figura 1.4: Esquema de la obtención de asfaltos de petróleo.	8
Figura 1.5: Comparación entre los grados de la clasificación original y la nueva clasificación de los asfaltos líquidos a 140°F.	11
Figura 2.1: Esquematación de la ubicación del emulsificante en la emulsión asfáltica.	16
Figura 2.2: Tipos de Emulsiones Asfálticas.	17
Figura 2.3: Nomenclatura ASTM de las emulsiones asfálticas.	18
Figura 2.4: Diagrama de una planta de elaboración de emulsión asfáltica.	21
Figura 2.5: Producción de una emulsión asfáltica.	21
Figura 2.6: Etapas de la rotura de la emulsión.	24
Figura 2.7: Rotura de la emulsión.	25
Figura 2.8: Rotura y curado de las emulsiones asfálticas.	26
Figura 2.9: Microfotografías del espécimen de micropavimento mostrando panel de abejas de polímero SBR formado alrededor de partículas de asfalto algunos polímeros adheridos a la superficie del agregado.	27
Figura 2.10: Almacenamiento y llenado de la emulsión asfáltica.	29
Figura 2.11: Ficha de identificación de la muestra.	32
Figura 3.1: Mezcla en frío del tipo apilamiento.	47
Figura 3.2: Mezcla en frío prefabricada embolsada.	48
Figura 4.1: Clasificación de los agregados, debida a Bellanger y Duriez, basada en contenidos porcentuales de sílice.	56
Figura 5.1: Equipo para la prueba de inmersión para las mezclas asfálticas con emulsión.	93
Figura 5.2: Base perforada de aluminio para la fase de inmersión.	94
Figura 5.3: Mezclas realizadas para el ensayo de recubrimiento con 1%, 1.5%, 2% y 2.5% de agua de premezcla.	101
Figura 5.4: Muestras siendo aireadas para llegar a las humedades de compactación de 5%, 4%, 3%, 2% y 1%.	102
Figura 5.5: Muestras curadas en el molde por 24 horas.	103
Figura 5.6: Muestras sacadas del molde 2 horas antes del ensayo de estabilidad seca, se puede observar que para valores muy bajos de humedad, la muestra se encuentra muy porosa, con altos porcentajes de	103
Figura 5.7: Curado de las muestras con diferente porcentaje de asfalto residual dentro del molde durante 72 horas.	105
Figura 5.8: Muestras sacadas del molde 2 horas antes del ensayo de estabilidad y densidad.	106

Figura 5.9: Determinación de la densidad bulk de las muestras compactadas.	106
Figura 5.10: Ensayo de estabilidad y flujo a las muestras compactadas.	107
Figura 5.11: Moldes fabricados para las muestras sometidas en inmersión.	108
Figura 5.12: Con una gata empujar hasta que quede a ras con el molde para enroscar la base perforada y colocarlo en un tazón de base horizontal para el ciclo de inmersión.	108
Figura 5.13: Mezclas realizadas para el ensayo de recubrimiento con 0.5%, 1.0% y 1.5% de agua de premezcla.	115
Figura 6.1: Estado de tensiones en un pavimento bajo una carga simple.	127
Figura 6.2: Configuración de la carga y rotura del ensayo de tracción indirecta.	128
Figura 6.3: Incorporación del agua de premezcla a la mezcla de agregados y mezclado de la mezcla asfáltica en frío.	140
Figura 6.4: Colocación de la mezcla asfáltica en frío en el molde y compactación de las muestras con 75 golpes por cara.	141
Figura 6.5: Curado de las muestras durante 24 horas dentro del molde y curado de las muestras en el horno a 60°C durante 4 días.	142
Figura 6.6: Saturación de las muestras a 25 °C para determinar las densidades de las muestras y determinación del peso saturado superficialmente seco.	142
Figura 6.7: Determinación de la resistencia a la tracción indirecta a 22.2 °C.	143
Figura 6.8: Saturación de las muestras en baño maría durante 24 horas para la determinación de la resistencia a la tracción indirecta saturada.	144
Figura 6.9: Vistas de la mordaza de tracción indirecta con la muestra lista para ser ensayada.	144
Figura 6.10: Muestras de la Cantera Santa Rosa ensayadas a tracción indirecta.	152
Figura 6.11: Muestras de la Cantera S/N (Km. 770+100) ensayadas a tracción indirecta.	159
Figura 6.12: Muestra de la Cantera S/N (Km. 770+100) ensayada en la prensa Marshall con un curado de 3 días confinada en el molde.	160
Figura 7.1: Almacenamiento de la mezcla asfáltica en frío usada para la pavimentación de la Vía Quibdo – Yuto (Colombia).	163
Figura 7.2: Transporte de la mezcla a la calzada usada en el Tramo Carretero de la Ciudad Alemán a Río Tesechoacán, perteneciente a la Carretera La Tinaja – Sayula (México).	163
Figura 7.3: Humectación del agregado realizado con camión regador.	164
Figura 7.4: Tendido de la carpeta con motoniveladora.	165
Figura 7.5: Esquema de una planta de mezcla asfáltica en frío.	166
Figura 7.6: Planta de mezcla asfáltica en frío.	166
Figura 7.7: Planta portátil de mezcla asfáltica en frío.	167

Figura 7.8: Planta común de producción de mezcla asfáltica en frío abasteciendo directamente a la tolva del volquete.	167
Figura 7.9: Riego de imprimación en el conglomerado calcáreo en las calles de La Plata (Argentina).	168
Figura 7.10: Extensión de la mezcla asfáltica en frío mediante la terminadora.	169
Figura 7.11: Colocación manual de la mezcla asfáltica en frío en Chíncha (Perú).	169
Figura 7.12: Colocación manual del conglomerado calcáreo en las calles de La Plata (Argentina).	170
Figura 7.13: Compactación de la mezcla con el rodillo neumático.	170
Figura 7.14: Compactación de suelo estabilizado en la Minera Yanacocha (Perú).	171
Figura 7.15: Compactación de la mezcla asfáltica en frío en la pavimentación de la Vía Quibdo – Yuto (Colombia).	172
Figura 7.16: Compactación de la mezcla asfáltica en frío.	172
Figura 7.17: Uso del densímetro nuclear para determinar la densidad en campo.	173
Figura 7.18: Vista del acabado de un carril de mezcla asfáltica en frío en la Carretera Vizcachani – Chivaya (Arequipa, Perú).	174
Figura 7.19: Vista del acabado final de la carretera con mezcla asfáltica en frío en la pavimentación de la Vía Quibdo – Yuto (Colombia).	174
Figura 7.20: Operario cortando la zona donde se realizará la reparación.	176
Figura 7.21: Paredes verticales y perpendiculares al eje de la carretera.	176
Figura 7.22: Eliminación del material.	177
Figura 7.23: Soplado del material con motopulverizadora.	177
Figura 7.24: Riego de imprimación.	178
Figura 7.25: Colocación de la mezcla asfáltica manualmente.	178
Figura 7.26: Utilización de lampas y rastrillos para la colocación de la mezcla.	179
Figura 7.27: Compactación de la mezcla asfáltica con plancha compactadora.	180
Figura 7.28: Barrido del material suelto.	180
Figura 7.29: Planta de mezcla en frío instalada en Tintaya.	187
Figura 7.30: Esparcido utilizada para la colocación de la mezcla asfáltica en frío.	188
Figura 7.31: Producción de la mezcla asfáltica en frío y ensayo de estabilidad Marshall.	189
Figura 7.32: Vista del acabado final de la carpeta asfáltica en frío aplicada en Tintaya.	190

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1.1: Variación de la rigidez del cemento asfáltico según la temperatura o el tiempo de aplicación de la carga.	6
Gráfico 4.1: Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso de la Cantera Santa Rosa.	71
Gráfico 4.2: Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso de la Cantera S/N (Km 770+100).	71
Gráfico 4.3: Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino de la Cantera Santa Rosa.	80
Gráfico 4.4: Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino de la Cantera S/N (Km. 770+100).	80
Gráfico 5.1: Método del cuadrado para la combinación de agregados (Cantera Santa Rosa).	96
Gráfico 5.2: Curva granulométrica de la combinación de agregados (Cantera Santa Rosa – 45% agregado grueso, 55% agregado fino).	98
Gráfico 5.3: Curva Granulométrica de la combinación de agregados (Cantera Santa Rosa – 40% agregado grueso, 60% agregado fino).	100
Gráfico 5.4: Gráfico de Estabilidad versus Contenido de humedad antes de la compactación.	104
Gráfico 5.5: Gráficos del diseño Illinois con el agregado de la Cantera Santa Rosa.	110
Gráfico 5.6: Método del cuadrado para la combinación de agregados (Cantera S/N).	112
Gráfico 5.7: Curva Granulométrica de la combinación de agregados (Cantera S/N).	114
Gráfico 5.8: Gráfico de Estabilidad versus Contenido de humedad antes de la compactación.	117
Gráfico 5.9: Gráficos del diseño Illinois con el agregado de la Cantera S/N (Km 770+100).	119
Gráfico 6.1: Resistencia a tracción indirecta versus temperatura de acondicionamiento.	135
Gráfico 6.2: Relación entre la resistencia a tracción indirecta y el contenido de asfalto para mezclas elaboradas con árido calizo y grava.	136
Gráfico 6.3: Temperatura versus resistencia a tracción indirecta para diferentes asfaltos.	137
Gráfico 6.4: Penetración versus resistencia a tracción indirecta.	138
Gráfico 6.5: Resistencias a tracción indirecta en condición seca versus condición saturada y razón a la resistencia a la tracción, en función del contenido de cemento para la Cantera Santa Rosa.	147
Gráfico 6.6: Resistencias a tracción indirecta en condición seca versus condición saturada y razón a la resistencia a la tracción, en función del contenido de cal para la Cantera Santa Rosa.	149

Gráfico 6.7: Resistencias a tracción indirecta en condición seca, en función del contenido de filler para la Cantera Santa Rosa.	150
Gráfica 6.8: Resistencias a tracción indirecta en condición saturada, en función del contenido de filler para la Cantera Santa Rosa.	151
Gráfico 6.9: Resistencias a tracción indirecta en condición seca versus condición saturada y razón a la resistencia a la tracción, en función del contenido de cemento para la Cantera S/N (Km. 770+100).	154
Gráfico 6.10: Resistencias a tracción indirecta en condición seca versus condición saturada y razón a la resistencia a la tracción, en función del contenido de cal para la Cantera S/N (Km. 770+100).	156
Gráfico 6.11: Resistencias a tracción indirecta en condición seca, en función del contenido de filler para la Cantera S/N (Km. 770+100).	157
Gráfico 6.12: Resistencias a tracción indirecta en condición saturada, en función del contenido de filler para la Cantera S/N (Km. 770+100).	158

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLOS

°C	:	Grados Centígrados
°F	:	Grados Fahrenheit
=	:	Igual
+	:	Más
+/-	:	Más o menos
>	:	Mayor
>=	:	Mayor o igual
<	:	Menor
<=	:	Menor o igual
#	:	Número
Nº	:	Número
%	:	Porcentaje
"	:	Pulgadas
AG.	:	Agregado
Asf.	:	Asfalto
BRIQ.	:	Briqueta
CaCO ₃	:	Carbonato de calcio
CA	:	Contenido de asfalto residual tentativo
C3A	:	Aluminato tricálcico
cm.	:	Centímetros
C. H.	:	Cal hidratada
C. P.	:	Cemento portland tipo I
d	:	Diámetro de la briqueta
dmm.	:	Décimas de milímetros
E	:	Contenido de emulsión asfáltica
etc.	:	Etcétera
gr.	:	Gramos
Gr./cm ³ .	:	Gramos sobre centímetros cúbicos
Hrs.	:	Horas
HUM. ABS.	:	Humedad absorbida

Kg.	:	Kilogramos
Kgf.	:	Kilogramo fuerza
Kg./m3.	:	Kilogramos sobre metros cúbicos
Kgf./cm2.	:	Kilogramos fuerza por centímetro cuadrado
Km.	:	Kilómetro
Lb.	:	Libras
m2	:	Metros cuadrados
m3.	:	Metros cúbicos
Máx.	:	Máximo
Mín.	:	Mínimo
min.	:	Minutos
mm.	:	milímetros
mm./min.	:	Milímetro por minuto
m.s.n.m.	:	Metros sobre el nivel del mar
N.	:	Newtons
pH	:	Potencial de hidrógeno
Pmax	:	Carga máxima o carga de rotura
Ppm	:	Partes por millón
PROM.	:	Promedio
Pulg.	:	Pulgadas
RECUBRIM.	:	Recubrimiento
RPM	:	Revoluciones por minuto
RRT	:	Índice de resistencia conservada o razón de resistencia a tracción
RT	:	Resistencia a la rotura por tracción indirecta
seg.	:	Segundos
SiO2	:	Óxido de silicio
Ssf.	:	Segundos Saybolt Furol
t	:	Espesor de la briqueta
TM	:	Tamaño máximo
TMN	:	Tamaño máximo nominal
VS.	:	Versus

SIGLAS

AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation Officials
AC	:	Cemento asfáltico clasificado por grados de viscosidad en Poises*100.
AEMA	:	Asphalt Emulsion Manufacturers Association
AF	:	Mezclas abiertas en frío
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
BITUPER	:	Bitúmenes del Perú
CASA	:	Construcción y Administración S.A.
CIP	:	Colegio de Ingenieros del Perú
CILA	:	Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto
CMS	:	Cationic medium setting (Emulsión catiónica de rotura media)
CONCAR	:	Concesiones de Carreteras
CONEIC	:	Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Civil
CQS	:	Cationic Quick setting (Emulsión catiónica de rotura controlada)
CRS	:	Cationic rapid setting (Emulsión catiónica de rotura rápida)
CSS	:	Cationic slow setting (Emulsión catiónica de rotura lenta)
DF	:	Mezclas densas en frío
ECR-2P	:	Emulsión catiónica de rotura rápida modificada con polímero de alta viscosidad
EG	:	Especificaciones Generales
EM	:	Ensayo de Materiales
EVA	:	Copolímeros de estireno acetato de vinilo
FIC	:	Facultad de Ingeniería Civil
IIFIC	:	Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil
MC	:	Medium curing (Asfaltos diluidos de curado medio)
MDC	:	Mezcla densa en caliente
MS	:	Medium setting (Emulsión aniónica de rotura media)
MS	:	Manual Series
MTC	:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
NLT	:	Normas del Laboratorio del Transporte

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

NTP:	Norma Técnica Peruana
NP	: No plástico
PEN	: Cemento asfáltico de petróleo de penetración
PETROPERÚ:	Petróleos del Perú
PETROBRAS:	Petróleos del Brasil
QS	: Quick setting (Emulsión aniónica de rotura controlada)
RAP	: Pavimento de asfalto reciclado
RC	: Rapid curing (Asfaltos diluidos de curado rápido)
RS	: Rapid setting (Emulsión aniónica de rotura rápida)
S/A	: Sin año
S.A.	: Sociedad Anónima
S.A.C.	: Sociedad Anónima Cerrada
SBR	: Elastómeros termoplásticos de estireno-butadieno
SBS	: Elastómeros termoplásticos de estireno-butadieno-estireno
SC	: Slow curing (Asfaltos diluidos de curado lento)
SF	: Mezclas semidensas en frío
SHRP	: Strategic Highway Research Program
SIECA	: Secretaria de Integración Económica Centroamericana
SS	: Slow setting (Emulsión aniónica de rotura lenta)
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
SUPERPAVE:	Superior Performing Asphalt Pavements
TDM	: Tecnología de Materiales
UCL	: Método Universal de Caracterización de Ligantes
UDELAP	: Universidad de las Américas Puebla
UNI	: Universidad Nacional de Ingeniería
UPC	: Universidad Politécnica de Cataluña
WRI	: Western Research Institute

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso de las emulsiones asfálticas se ha venido incrementando, principalmente a su gran versatilidad y facilidad de uso en trabajos de conservación y pavimentación de carreteras, además de sus características amigables con el medio ambiente, siendo consideradas como un excelente reemplazo de los asfaltos diluidos, los cuales emplean solventes de alto costo y son altamente contaminantes. Las emulsiones asfálticas son utilizadas en tratamientos superficiales, estabilizaciones de suelos, morteros asfálticos, micropavimentos, carpetas asfálticas en frío, entre otros; sin embargo todavía existe desconfianza en el uso en carpetas asfálticas en frío en el Perú debido a la falta de estudios de dicha tecnología.

Para poder evaluar el uso de estas mezclas con fines de pavimentación se debe de realizar un diseño de mezcla. En este caso se utilizará la Metodología Illinois y se evaluará si los parámetros obtenidos, principalmente la estabilidad, cumple con los requisitos de la metodología. En segundo caso, se debe evaluar el daño por humedad, debido a que estas mezclas tienen un mayor porcentaje de vacíos que una mezcla convencional en caliente. Por ese motivo, se evaluará si estas mezclas son resistentes a la acción del agua con el ensayo de tracción indirecta por compresión diametral usando la Metodología de la Universidad Politécnica de Cataluña, observando además si con el aporte de cemento portland y cal hidratada, como filler, se mitiga el efecto perjudicial que produce la humedad.

El motivo de esta tesis es dar a conocer metodologías realizadas en el extranjero que permitan el estudio de esta tecnología para que así se ayude a un mejor conocimiento y tener mayores alternativas en los trabajos de pavimentaciones en beneficio de la ingeniería y del país.

CAPÍTULO I: MATERIALES ASFÁLTICOS

Atendiendo a sus procesos de obtención, los materiales asfálticos pueden clasificarse en dos grandes grupos: productos naturales y productos manufacturados.

En el primer grupo tenemos principalmente los asfaltos naturales y las rocas asfálticas, y en el segundo grupo, los más importantes en la técnica de pavimentación, son los cementos asfálticos de petróleo, los asfaltos diluidos (cut-backs) y las emulsiones asfálticas.

1.1 LIGANTES ASFÁLTICOS NATURALES

Son productos que se encuentran en yacimientos naturales y se han formado por un fenómeno de migración de determinados petróleos naturales hacia la superficie terrestre, a través de grietas y rocas porosas. La acción del sol y del viento separa los aceites ligeros y los gases, dejando un residuo negro, que es el asfalto natural. Algunos se encuentran en estado bastante puro, formados casi exclusivamente por sustancias hidrocarbonadas, libre de materia extraña, mientras que en ocasiones más usuales, se encuentra mezclado con cantidades variables de minerales, agua y otras sustancias.

Entre los asfaltos naturales de mayor pureza, el más importante por su cuantía se encuentra en los Estados Unidos, en el Estado de Utah, y se conoce con el nombre de "gilsonita", palabra derivada del nombre de la persona que inició su explotación comercial. Su riqueza asfáltica, aunque es variable de unas zonas a otras, suele estar entre un 90 al 95% de un asfalto de extraordinaria dureza.

En la actualidad, en la Isla de Trinidad, se encuentra asfalto natural en un lago cerca de la costa del golfo de Paria. Este asfalto constituye el mayor depósito natural conocido de este material y también de mayor importancia comercial. Este asfalto natural se explota previa refinación, para poder eliminar las impurezas como las algas, la arena fina y la vegetación.

Entre los materiales naturales con menor riqueza asfáltica tenemos las llamadas rocas asfálticas, que son rocas porosas saturadas de asfalto que se encuentran en algunos yacimientos naturales. Son principalmente abundantes en Europa Continental, explotándose en numerosos países como Francia, Italia, Suiza, Alemania y España.

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

1.2 PRODUCTOS DE LA DESTILACIÓN DEL PETRÓLEO

Entre los productos manufacturados procedentes de la destilación del petróleo se distinguen los cementos asfálticos, los asfaltos diluidos y las emulsiones asfálticas. En este capítulo sólo se tratará acerca de los dos primeros productos, ya que se le brindará un capítulo especial a las emulsiones asfálticas debido a que es el ligante que se utilizará en esta investigación.

1.2.1 Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP)

1.2.1.1 Naturaleza y composición del cemento asfáltico

Químicamente los cementos asfálticos son mezclas muy complejas de hidrocarburos, que contienen en sus moléculas además azufre, oxígeno, nitrógeno, compuestos metálicos, obtenidos como subproductos en el refinado de los petróleos.

La composición de los cementos asfálticos varía como se muestra en el Cuadro 1.1:

Cuadro 1.1: Composición química del cemento asfáltico.

ELEMENTO	PORCENTAJE (%)
Carbono	80 – 88
Hidrógeno	9 – 12
Nitrógeno	0 – 2
Azufre	0 – 3
Oxígeno	0 – 12

Fuente: MARTÍNEZ DONGO, Robert – EMPLEO DEL POLÍMERO SBR EN LA FABRICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA ZONAS EN ALTURA – 2003.

En el Cuadro 1.2 se observa los elementos químicos presentes en asfaltos de distinta procedencia. Los asfaltos con valores muy similares de carbono e hidrógeno presentan comportamientos muy diferentes, debido a la variación en la concentración del resto de los elementos presentes.

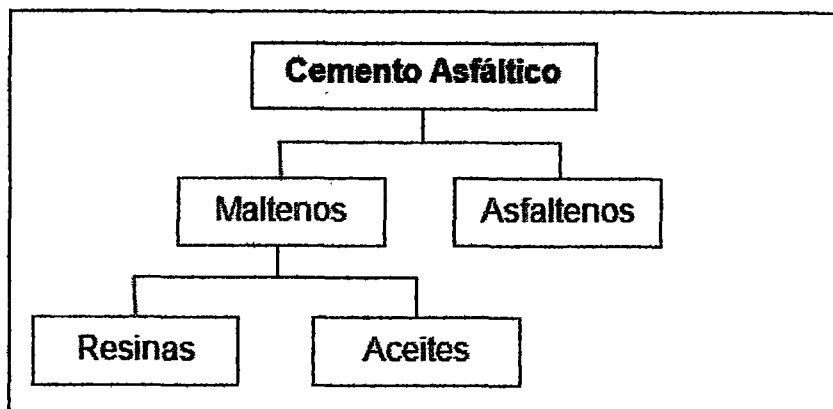
Cuadro 1.2: Elementos químicos presentes en asfaltos de distinta procedencia.

ELEMENTO	PROCEDENCIA DEL ASFALTO			
	MÉXICO	BOSCAN	CALIFORNIA	ARKANSAS
Carbono (%)	83.77	82.90	86.77	85.78
Hidrógeno (%)	9.91	10.45	10.34	10.19
Nitrógeno (%)	0.28	0.78	1.10	0.26
Azufre (%)	5.25	5.43	0.99	3.41
Oxígeno (%)	0.77	0.29	0.20	0.36
Vanadio (ppm)	180	1380	4	7
Níquel (ppm)	22	109	6	0.4

Fuente: MIRÓ RECASENS, Rodrigo – METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL EMPLEO DEL ENSAYO CÁNTABRO – 1994.

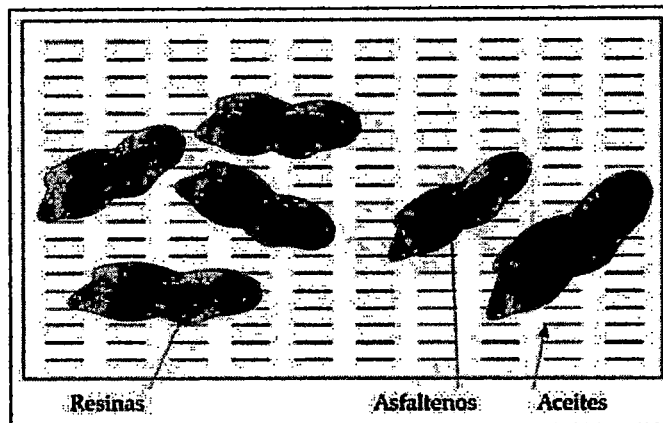
Según la teoría de Nellensteyn, que fue mejorada en 1940 por Pfeiffer, los cementos asfálticos forman un sistema coloidal, esto quiere decir que cuentan con una fase dispersa y una fase continua. La fase dispersa está constituida por las partículas más pesadas, asfaltenos, mientras que la fase continua es un medio fluido aceitoso formado por los componentes más ligeros, maltenos. Los aceites y las resinas son compuestos del medio aceitoso que mantienen la estabilidad del sistema coloidal. En la Figura 1.1 se muestra la separación del cemento asfáltico según el sistema coloidal y en la Figura 1.2 se muestra la distribución de sus componentes.

Figura 1.1: Fracciones del cemento asfáltico según el sistema coloidal.



Fuente: FERNÁNDEZ DEL CAMPO, Juan – PAVIMENTOS BITUMINOSOS EN FRÍO – 1983.

Figura 1.2: Sistema coloidal del cemento asfáltico según Pfeiffer.



Fuente: ARENAS LOZANO, Hugo – TECNOLOGÍA DEL CEMENTOS ASFÁLTICO – 2005.

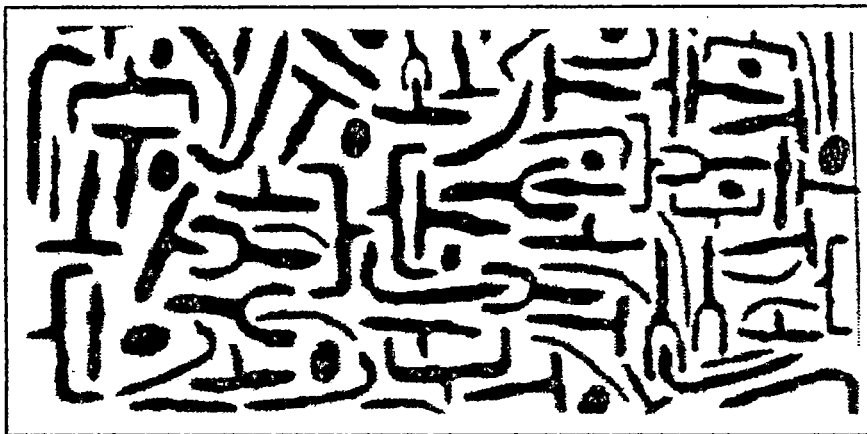
Los asfaltenos son partículas sólidas, cuyo color va desde el café oscuro hasta el negro, sin punto de fusión definido y de alto peso molecular. Los asfaltenos concentran los compuestos indeseables del cemento asfáltico, pues contienen los metales pesados y el azufre. El contenido de asfaltenos en un cemento asfáltico varía generalmente entre un 15% y un 20%. Los asfaltenos son los responsables de la dureza del cemento asfáltico y son muy adherentes, pero al estar rodeados por una cortina de resinas no intervienen directamente en la adherencia con los agregados.

Los maltenos son la fracción soluble en hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición. Generalmente existe mayor proporción de maltenos que asfaltenos, dándole mayor calidad al cemento asfáltico debido a que regula en gran parte las propiedades químicas de estos. Los maltenos se separan por métodos físicos en resinas y aceites; las resinas son más pesadas que los aceites, tienen un punto de ebullición más elevado, un carácter más aromático y presentan mayor poder de absorción. Las resinas le proporcionan al cemento asfáltico características cementantes o aglutinantes, esto se debe al contenido de aromáticos y a los ácidos nafténicos. Los aceites le dan consistencia para que el cemento asfáltico sea trabajable, además le dan deformabilidad y lo protegen de la oxidación debido a su gran estabilidad química.

Luego de algunos años el Programa Estratégico de Investigación de Asfaltos (SHRP) contrató en 1987 al Western Research Institute (WRI) para realizar investigaciones fundamentalmente en el área de la química del cemento asfáltico. En un principio se utilizó el modelo micelar pero este no explicaba

adecuadamente el comportamiento y las propiedades del cemento asfáltico. Como resultado de las investigaciones se propuso el Modelo Microestructural que establece que el cemento asfáltico está constituido por una sola fase, constituida por una mezcla de una gran cantidad de moléculas polares y no polares que forman asociaciones sueltas y redes que se hallan dispersas en el cemento asfáltico. Esta estructura se mantiene unida a través de fuerzas intermoleculares débiles, que se forman o se rompen debido a los cambios de temperatura y a la aplicación de esfuerzos. De esta manera nace el Modelo Microestructural que considera al cemento asfáltico como franjas o tiras de materiales de naturaleza química similar interconectadas entre sí formando redes como se muestra en la Figura 1.3.

Figura 1.3: Modelo microestructural de SHRP.



Fuente: ARENAS LOZANO, Hugo – TECNOLOGÍA DEL CEMENTOS ASFÁLTICO – 2005.

El líquido en que se suspenden estas redes es no polar y no afecta las propiedades físicas del cemento asfáltico, en cambio, la asociación de estos grupos es lo que tiene que ver con la mayoría de las propiedades físicas. El estado anfotérico (moléculas polares ácidas y básicas al mismo tiempo) de las fibras es lo que las convierte en mezclas complejas, que para su caracterización se necesita definir bien los métodos químicos para poder interpretar sus características químicas y su relación con las propiedades físicas.

1.2.1.2 Características de los cementos asfálticos

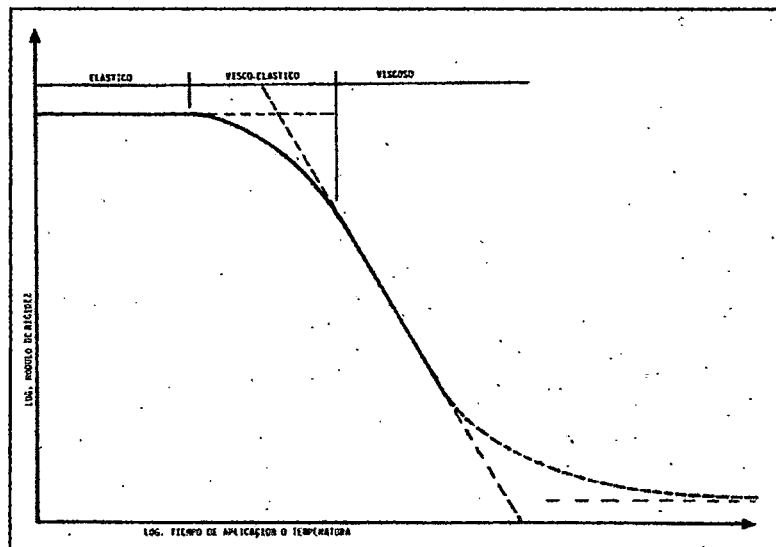
Las exigencias de comportamiento de un cemento asfáltico en carreteras pueden resumirse en los siguientes puntos:

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

- Ser suficientemente fluido durante su empleo (bien mediante calentamiento, fluidificación o emulsificación) para que recubra y se adhiera al agregado.
- Ser suficientemente consistente y viscoso para que el pavimento, con altas temperaturas y bajo la acción del tráfico, sea poco deformable.
- Ser suficientemente flexible a bajas temperaturas para que el pavimento no se vuelva frágil.

Las propiedades de consistencia de un cemento asfáltico, tales como viscosidad, fluencia, etc., dependen de la temperatura a la que se encuentra y del tiempo durante el que se aplica una determinada sollicitación. Es así como el ligante tiene un comportamiento elástico, visco – elástico o viscosos como se muestra en el Gráfico 1.1.

Gráfico 1.1: Variación de la rigidez del cemento asfáltico según la temperatura o el tiempo de aplicación de la carga.



Fuente: FERNÁNDEZ DEL CAMPO, Juan – PAVIMENTOS BITUMINOSOS EN FRÍO – 1983.

Es así como se define el módulo de rigidez o stiffness que es la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación producida en función del tiempo de aplicación de la carga y la temperatura. En el Gráfico 1.1 se observa que para pequeños tiempos de aplicación de la carga, la rigidez es independiente del tiempo. Para valores intermedios del tiempo de aplicación, la rigidez disminuye al

incrementarse el tiempo. Para tiempo de aplicación muy altos la rigidez seguirá decreciendo en una proporción constante.

1.2.1.3 Proceso de destilación de Petróleo

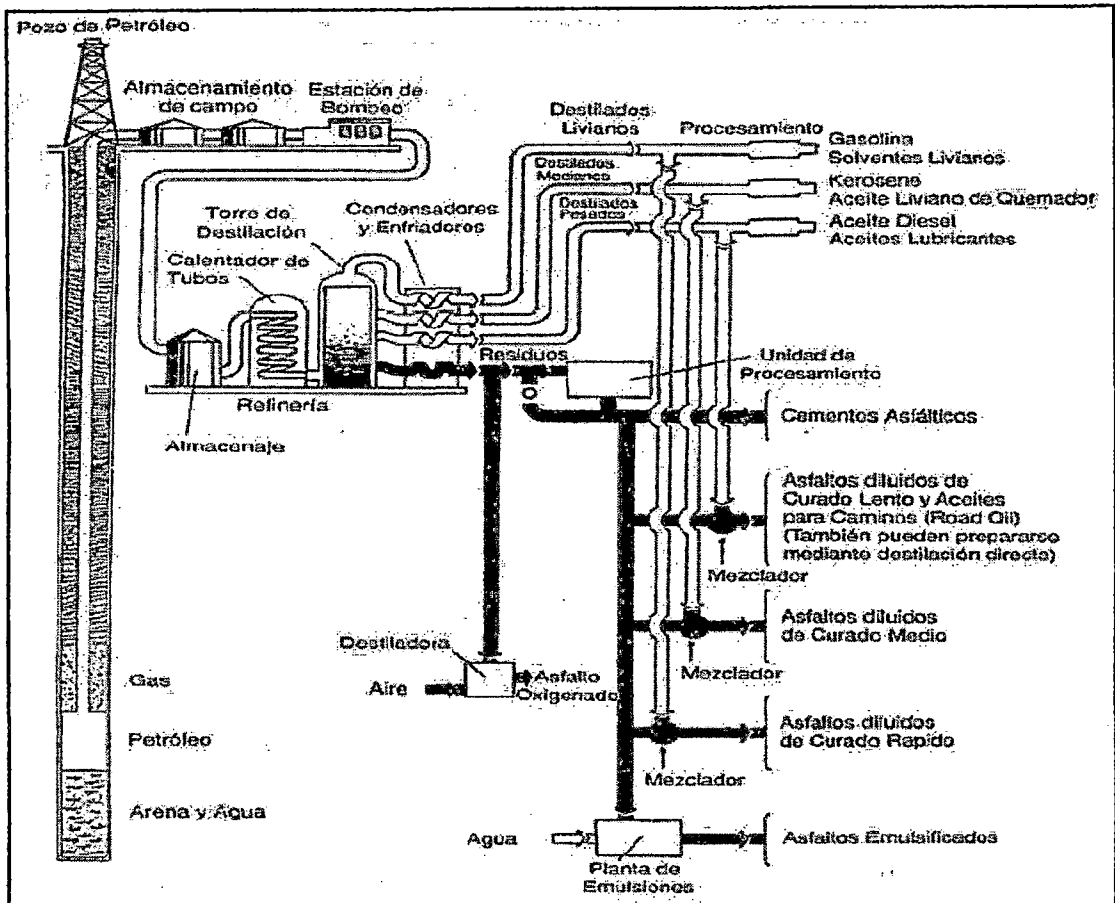
El proceso de destilación es una operación continua que se divide en dos procesos, la destilación primaria y la destilación al vacío. La destilación primaria se realiza bombeando el crudo a través de un horno tubular, donde se eleva su temperatura a menos de 400°C, e introduciéndole a continuación a una torre de destilación para la primera separación. Es así como los vapores o fracciones más ligeras se reúnen en los niveles superiores de la torre y en los niveles inferiores se sitúan las fracciones más pesadas del crudo, hasta que sólo queda en el fondo de la torre el residuo más pesado que contiene el asfalto.

Durante el primer proceso de destilación, se obtienen estos cinco productos:

- Gasolina de destilación
- Kerosene destilado
- Diesel Oil
- Aceites lubricantes
- Material residual pesado

Si se continúa la destilación al vacío del residuo pesado, controlando la temperatura en el horno tubular y el vacío aplicado en la torre de destilación, pueden separarse las fracciones más ligeras o los constituyentes aceitosos que quedan en el residuo pesado de la primera destilación, obteniéndose cualquier tipo de asfalto deseable. En la Figura 1.4 se muestra el esquema de la obtención de los productos obtenidos de la destilación del petróleo.

Figura 1.4: Esquema de la obtención de asfaltos de petróleo.



Fuente: HUAMÁN GUERRERO, Néstor – CURSO BÁSICO DE PAVIMENTOS – 2009.

1.2.1.4 Cementos asfálticos producidos en Perú

En el Cuadro 1.3 se muestra la clasificación comercial de los cementos asfálticos de petróleo distribuidos en Perú por las empresas más importantes en el medio.

Cuadro 1.3: Cementos asfálticos comercializados en el Perú

CLASIFICACIÓN	REPSOL	PETROPERÚ
PEN 10/20	NO	SI
PEN 20/30	NO	SI
PEN 40/50	NO	SI
PEN 60/70	SI	SI
PEN 85/100	SI	SI
PEN 120/150	SI	SI

Fuente: Elaboración propia.

La denominación PEN significa que se trata de cementos asfálticos de petróleo y los valores que continúan significan el rango de penetración de dicho cemento asfáltico.

1.2.2 Asfaltos Diluidos

1.2.2.1 Definición

Conocidos también como "cut-backs" o "asfaltos fluidificados" son ligantes resultantes de la dilución de cementos asfálticos con algún derivado de petróleo, tales como la gasolina, kerosene, etc. Estos disolventes tienen como misión principal disminuir la viscosidad para favorecer la puesta en obra dado que posteriormente al aplicarse, estos se evaporan. Es preciso tener en cuenta que en la eliminación, generalmente por evaporación del disolvente, se está perdiendo un producto de valor nada despreciable y que además produce una contaminación atmosférica, así como riesgos de inflamación por el carácter de los diluyentes utilizados.

Como anteriormente se ha indicado, durante el proceso de curado los disolventes se evaporan. La velocidad de evaporación está influenciada por el tipo de disolvente utilizado, por la temperatura del medio ambiente, por la velocidad del aire y por la superficie del ligante en contacto con el ambiente. La pérdida del disolvente nunca es total, con lo cual el producto que queda después de la evaporación posee una penetración mayor que el asfalto base.

1.2.2.2 Clasificación

Los asfaltos diluidos se dividen en función de la velocidad de curado en:

- **Asfaltos diluidos de curado rápido (RC):** Estos asfaltos tienen un disolvente que se evapora rápidamente después de usarlo, este disolvente es un material con un bajo punto de ebullición como la gasolina o la nafta. Los asfaltos RC se muestran en el Cuadro 1.4.

Cuadro 1.4: Grados de los asfaltos diluidos RC.

GRADO	RESIDUO ASFÁLTICO EN VOLUMEN
RC-70	55%
RC-250	65%
RC-800	75%
RC-3000	80%

Fuente: ARENAS LOZANO, Hugo – TECNOLOGÍA DEL CEMENTOS ASFÁLTICO – 2005.

- Asfaltos diluidos de curado medio (MC): Estos asfaltos tienen un disolvente con un punto de ebullición intermedio como el kerosene. Los asfaltos MC se muestran en el Cuadro 1.5.

Cuadro 1.5: Grados de los asfaltos diluidos MC.

GRADO	RESIDUO ASFÁLTICO EN VOLUMEN
MC-30	50%
MC-70	55%
MC-250	67%
MC-800	75%
MC-3000	80%

Fuente: ARENAS LOZANO, Hugo – TECNOLOGÍA DEL CEMENTOS ASFÁLTICO – 2005.

- Asfaltos diluidos de curado lento (SC): Estos asfaltos pueden ser fabricados por dos procedimientos; primero, mezclando asfalto con gas-oil de alto punto de ebullición y segundo, controlando el caudal y temperatura del crudo durante la primera destilación. Los asfaltos SC se muestran en el Cuadro 1.6.

Cuadro 1.6: Grados de los asfaltos diluidos SC.

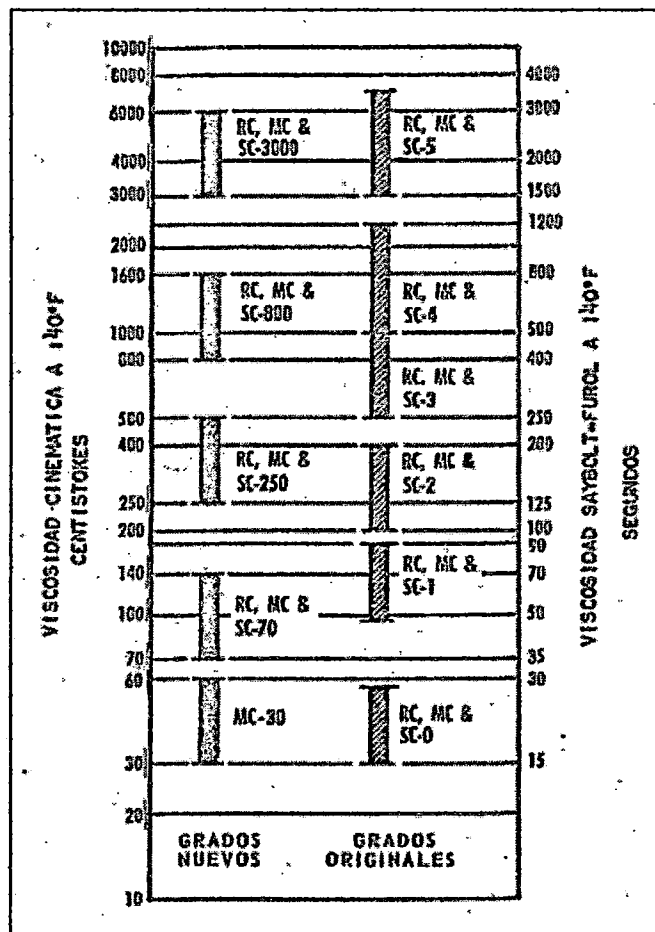
GRADO
SC-70
SC-250

Fuente: ARENAS LOZANO, Hugo – TECNOLOGÍA DEL CEMENTOS ASFÁLTICO – 2005.

Las dos primeras letras designan el tipo, y el grado de viscosidad en centistokes se indica por una cifra que sigue a las iniciales. Según la clasificación, los asfaltos menos viscosos o más fluidos se designan con números menores que los asfaltos más viscosos o menos fluidos.

El Instituto del Asfalto propuso en diciembre de 1961 una nueva clasificación para los asfaltos diluidos al reducir el número total de grados de 18 a 13. Esta nueva clasificación identifica cada grado según el límite inferior de la viscosidad especificada para el mismo a 140 °F en centistokes (unidad de viscosidad cinemática). La clasificación anterior identificaba los diversos grados con sufijos que iban de 0 a 5. En la Figura 1.5 se muestra la comparación entre las dos clasificaciones.

Figura 1.5: Comparación entre los grados de la clasificación original y la nueva clasificación de los asfaltos líquidos a 140°F.



Fuente: PETROPERÚ S.A. – ASFALTOS – S/A.

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

1.2.2.3 Asfaltos diluidos producidos en Perú

En el Cuadro 1.7 se muestra la clasificación comercial de los asfaltos diluidos distribuidos en Perú por las empresas más importantes en el medio.

Cuadro 1.7: Asfaltos diluidos comercializados en el Perú

CLASIFICACIÓN	REPSOL	PETROPERÚ
MC 30	SI	SI
MC 70	NO	SI
RC 70	NO	SI
RC 250	SI	SI

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II: EMULSIONES ASFÁLTICAS

2.1 HISTORIA DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas se comenzaron a utilizar a comienzos del siglo XX y fue en los años 20 que su uso se generalizó en aplicaciones viales. El crecimiento de las emulsiones fue lento debido a la falta de conocimiento sobre su correcta aplicación; pero con el transcurso del tiempo y con el desarrollo de la tecnología empezaron a desarrollarse nuevos tipos, grados, equipos de construcción y prácticas mejoradas generando que cualquier necesidad vial pueda ser abordada con las emulsiones asfálticas.

Entre 1930 y mediados de 1950, hubo un lento pero firme incremento en el volumen de las emulsiones asfálticas, pero en los años siguientes a la Segunda Guerra Mundial, se comenzó a reducir el empleo de dichas emulsiones, debido al aumento del volumen y cargas de tránsito, por lo que los ingenieros viales prefirieron el uso de las mezclas en caliente con cemento asfáltico. Es así como se incrementó enormemente desde 1953 el uso del cemento asfáltico.

Subsecuentemente, varios factores han contribuido al interés en el uso de las emulsiones asfálticas:

- **La crisis energética de comienzos de los años 70:** Las emulsiones asfálticas cuentan con dos características que influyen en el ahorro de energía; primero, no requieren la incorporación de un solvente de petróleo para ser líquidas; segundo, pueden utilizarse en la mayoría de casos sin necesidad de calentamiento.
- **Reducción de la polución:** Las emulsiones asfálticas eliminan hacia la atmósfera poco o nada de sustancias hidrocarbonadas.
- **Capacidad de recubrir con agregados húmedos:** Reduce la capacidad de usar combustible para calentar y secar los agregados.
- **Variedad de tipos de emulsión:** cada tipo y grado de emulsión se debe seleccionar para la aplicación que se requiera.
- **Mantenimiento preventivo de pavimentos:** Es así como se incrementa la vida útil de los pavimentos existentes.

2.2 QUÍMICA DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

2.2.1 Composición de las Emulsiones Asfálticas

Una emulsión es la dispersión de un líquido en otro, no miscibles entre sí, en forma de partículas microscópicas. En el caso de una emulsión asfáltica, los glóbulos microscópicos de asfalto estarán dispersos en agua jabonosa. Por lo tanto el sistema queda constituido por el agua jabonosa como fase continua y las micrométricas gotas de asfalto como fase dispersa.

El asfalto es por naturaleza hidrófobo (repulsión al agua); este fenómeno obliga a usar en el proceso de fabricación productos denominados emulsionantes. Su función es disminuir la tensión interfacial, que es la energía libre existente en la zona de contacto entre dos líquidos inmiscibles; manteniendo de esta forma los glóbulos de asfalto dispersos.

En resumen, la emulsión asfáltica está formada por cemento asfáltico, agua y el agente emulsivo. En algunas ocasiones puede contener otros aditivos que mejoren ciertas características de ésta.

a) Cemento Asfáltico

Es el elemento básico de la emulsión asfáltica y constituye entre un 50% y un 75% de la mezcla. El cemento asfáltico está compuesto básicamente de grandes moléculas de hidrocarburos y su composición química es muy variada, estas variadas propiedades químicas y físicas depende esencialmente a los orígenes diferentes del crudo y del proceso de refinación.

No existe una correlación exacta entre las propiedades del asfalto y la facilidad con que este puede ser emulsionado. Por esta razón, sobre la producción de emulsiones asfálticas se realizan constantemente controles de calidad, generando que cada fabricante de emulsiones tenga sus propias formulaciones y técnicas de producción.

Una de las características de mucha importancia en las emulsiones asfálticas es la estabilidad, es por eso que para producir emulsiones estables, debe haber una compatibilidad química entre el agente emulsivo y el cemento asfáltico.

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

b) Agua

El agua es de mucha importancia y puede contener minerales u otros elementos que afectan la producción de emulsiones asfálticas estables, estas impurezas pueden presentarse en solución o en suspensión coloidal. Preocupa principalmente la presencia de iones de calcio y magnesio, que favorecen a la formación de una emulsión catiónica estable, sin embargo, pueden ser perjudiciales para las emulsiones aniónicas.

El uso de aguas impuras puede resultar en un desequilibrio en los componentes de la emulsión, lo que puede afectar de forma adversa la performance o causar la rotura prematura. Por este motivo, se debe de hacer un control estricto de la calidad del agua para un determinado tipo de emulsión a fabricar.

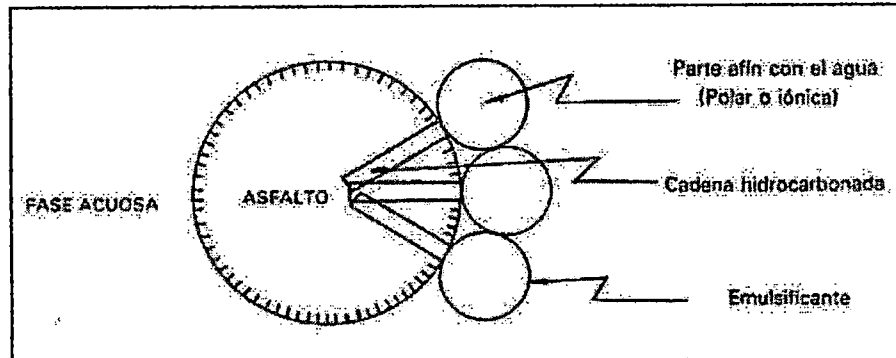
c) Agentes Emulsivos

Los agentes emulsivos son agentes tenso-activos que mantienen las gotitas de asfalto en suspensión estable y controla el tiempo de rotura. Además influye en la clasificación de las emulsiones asfálticas como aniónicas, catiónicas y no-iónicas.

Los agentes emulsivos aniónicos más comunes son los ácidos grasos, que son productos derivados de la madera. Los agentes emulsivos catiónicos más comunes son las aminas grasas.

Los agentes emulsivos poseen una configuración especial que la hace compatible con un sistema en el que coexistan sustancias polares (agua) y apolares (cemento asfáltico). Esta configuración la forma un extremo por una larga cadena hidrocarbonada que, por su naturaleza orgánica, es afín con el cemento asfáltico y en su otro extremo de naturaleza polar, compatible y atraída por el agua. Es así como, al ponerse en íntimo contacto las fases cemento asfáltico y agua en el molino coloidal, las moléculas del emulsificante se orientan en la interfase, creándose una capa monomolecular orientada, como se esquematiza en la Figura 2.1.

Figura 2.1: Esquematación de la ubicación del emulsificante en la emulsión asfáltica.



Fuente: MUSURUANA, Eliodoro – SÁNCHEZ DE ROSACO, Susana – LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS EN LAS CONSTRUCCIONES VIALES – 1998.

Como el emulsificante usado para uso vial es del tipo iónico (aniónico o catiónico), entonces los glóbulos están cargados eléctricamente en su superficie; siendo esta carga del mismo signo para todos los glóbulos, generándose una repulsión electrostática que contribuye a impedir que los glóbulos se unan entre sí, habiendo estabilidad en la emulsión asfáltica.

2.2.2 Clasificación de las Emulsiones Asfálticas

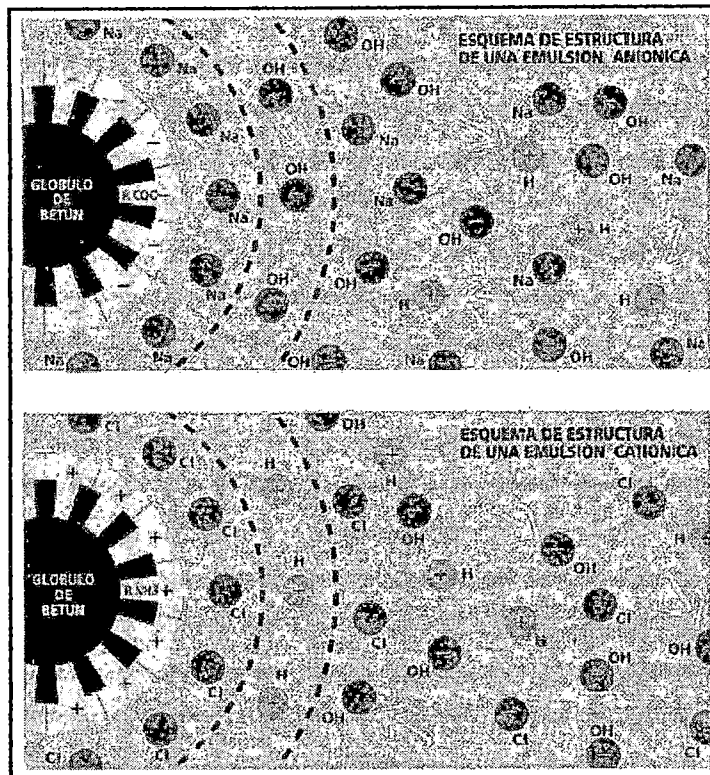
La primera clasificación se refiere a las cargas eléctricas que poseen las partículas de asfalto. Según esta clasificación se dividen en tres categorías: aniónica, catiónica y no iónica. En la práctica, las dos primeras son las más ampliamente utilizadas en la construcción y mantenimiento de carreteras.

En las emulsiones aniónicas las partículas de asfalto se cargan negativamente presentando por consiguiente afinidad por los cuerpos con carga positiva, esta carga la da el emulsionante y la cantidad a usar debe estar en función de la estabilidad que se desee que posea la emulsión, como máximo, debe estar alrededor de un 2% en peso de emulsión.

En las emulsiones catiónicas las partículas de asfalto se cargan positivamente presentando por tanto afinidad por los cuerpos de carga negativa, esta carga la da el emulsionante y la cantidad a usar también debe estar en función de la estabilidad que se desee que posea la emulsión, como máximo, debe estar entre un 2% y un 3% en peso de emulsión.

En las emulsiones no-iónicas las partículas de asfalto no tienen carga, es decir tienen carga neutra. Las emulsiones no-iónicas pueden ganar importancia a medida que la tecnología de emulsiones avance.

Figura 2.2: Tipos de Emulsiones Asfálticas.



Fuente: ELSAMEX – TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS – S/A.

Las propiedades de unas y otras son diferentes pero conviene destacar la buena adhesividad, aunque selectiva, que suele presentar las emulsiones frente a los áridos. La explicación parece residir en atracciones del tipo electrostático entre los glóbulos de asfalto eléctricamente cargados y la superficie de los áridos. Esta teoría explica satisfactoriamente la buena adhesividad entre una emulsión aniónica y áridos calizos, de tipo electropositivo; igualmente, la adhesividad entre las emulsiones catiónicas y los áridos silíceos, de tipo electronegativo, se explicaría según esta hipótesis, así como el fenómeno inverso de deficiente adhesividad entre una emulsión aniónica y áridos silíceos.

Una segunda clasificación de las emulsiones se basa en la velocidad de rotura, es decir la velocidad con que las gotitas de asfalto coalescen, es decir, se juntan restaurando el volumen de cemento asfáltico. Se dividen en cuatro grupos: rotura

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

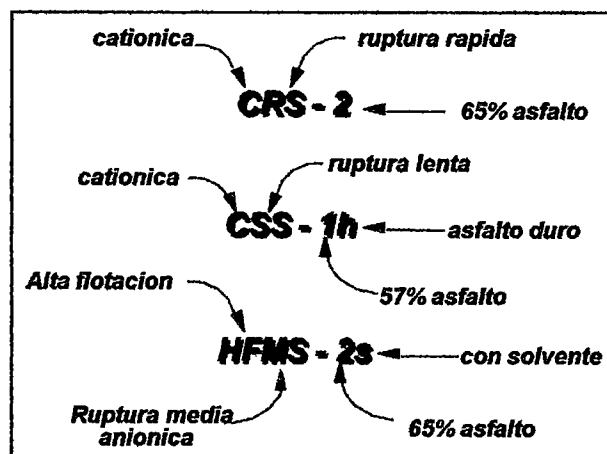
rápida (rapid-setting, RS), rotura media (medium-setting, MS), rotura lenta (slow-setting, SS) y rotura controlada (quick-setting, QS).

Una emulsión RS tiene poca o ninguna capacidad para mezclarse con agregados; es de esperar de una emulsión MS que se mezcle con agregado grueso y no se mezcle con agregado fino; y las emulsiones SS y QS se diseñan para mezclarse con agregados finos, esperando que la QS rompa en forma controlada.

Finalmente, las emulsiones se identifican con una serie de números y letras que aluden a la viscosidad de las emulsiones y la consistencia de la base del cemento asfáltico. La letra "C" encabezando el tipo de emulsión, identifica a una emulsión catiónica, la ausencia de la letra "C" identifica a una emulsión aniónica. Los números en la clasificación indican la viscosidad relativa de la emulsión, si el número es mayor, entonces significa que es más viscosa. La letra "h" incluida en algunos grados significa que la base asfáltica es más consistente (dura, hard) y la letra "s" significa que se trata de una base asfáltica blanda (soft). La letra "p" significa que es una emulsión con polímeros.

Las letras "HF" que preceden a algunos de los grados de las emulsiones aniónicas indican alta flotación (high-float), medida del ensayo de flotación. Este tipo de emulsiones tienen características de gel y permiten la formación de una película de asfalto más gruesa alrededor del agregado, impidiendo la separación del asfalto de las partículas del árido. En la Figura 2.3 se muestra el resumen de la identificación de una emulsión asfáltica.

Figura 2.3: Nomenclatura ASTM de las emulsiones asfálticas.



Fuente: SAUCEDO, Ray – DIFERENTES USOS Y APLICACIONES EN VÍAS DE COMUNICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS (AKZO NOBEL) – 2002.

A continuación se muestra el Cuadro 2.1 con los usos generales de las Emulsiones Asfálticas, según el tipo de construcción.

Cuadro 2.1: Usos generales de las emulsiones asfálticas.

Tabla 5.1. Usos Generales de las Emulsiones Asfálticas															
Tipo de Construcción	ASTM D977 AASHTO M208							ASTM D2397 AASHTO M 140							
	RS-1	RS-2	HFMS-2	MS-1, HFMS-1	MS-2, HFMS-2	MS-2h, HFMS-2h	HFMS-2s	SS-1	SS-1h	CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
Mezclas de Asfalto y Agregados:															
Mezcla en Planta (en Caliente)						X ^a									
Mezcla en Planta (en Frío)															
Granulometría Abierta				X	X						X	X			
Granulometría Cerrada						X	X	X	X					X	X
Arena						X	X	X						X	X
Mezclado In-situ:															
Granulometría Pletina				X	X						X	X			
Agregado bien Graduado						X	X	X						X	X
Arena						X	X	X						X	X
Suelo Arenoso						X	X	X						X	X
Aplicaciones de Asfalto y Agregado															
Tratamientos Superficiales (Simple y Múltiple)	X	X	X						X	X					
Sellado con Arena (Sand Seal)	X	X	X	X					X	X					
Lachera Asfáltica (Slurry Seal)						X	X	X						X	X
Micro-aglomerado (Micro-surfacing)															X ^e
Sellado Bobble (Sandwich Seal)		X	X							X					
Copa Seal		X								X					
Aplicaciones Asfálticas															
Riego Pulverizado (Fog Seal)				X ^a				X ^b	X ^b					X ^c	X ^c
Impregnación (Prime Coat)					X ^b			X ^b	X ^b					X ^d	X ^d
Riego de Liga (Tack Coat)				X ^a				X ^b	X ^b					X ^d	X ^d
Pañalvo de Polvo (Dust Palliative)								X ^c	X ^c					X ^e	X ^e
Protección con Asfalto (Mudch Treatment)								X ^c	X ^c					X ^e	X ^e
Sellado de Fisuras (Crack Seal)								X	X					X	X
Mezclas de Mantenimiento															
Uso Inmediato							X					X	X		
Aspicio							X								

^a pueden emplearse otros grados que el HFMS-2h cuando la experiencia demuestre que han tenido un comportamiento satisfactorio
^b diluido en agua por el fabricante
^c diluido con agua
^d mezclado solo para imprimación
^e el primer uso debe incorporarse durante o inmediatamente a la emulsificación

Fuente: INSTITUTO DEL ASFALTO – MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (MS-19) – S/A.

2.2.3 Elaboración de la emulsión

2.2.3.1 Equipo de emulsificación

Para preparar una emulsión asfáltica, se requiere básicamente del siguiente equipo:

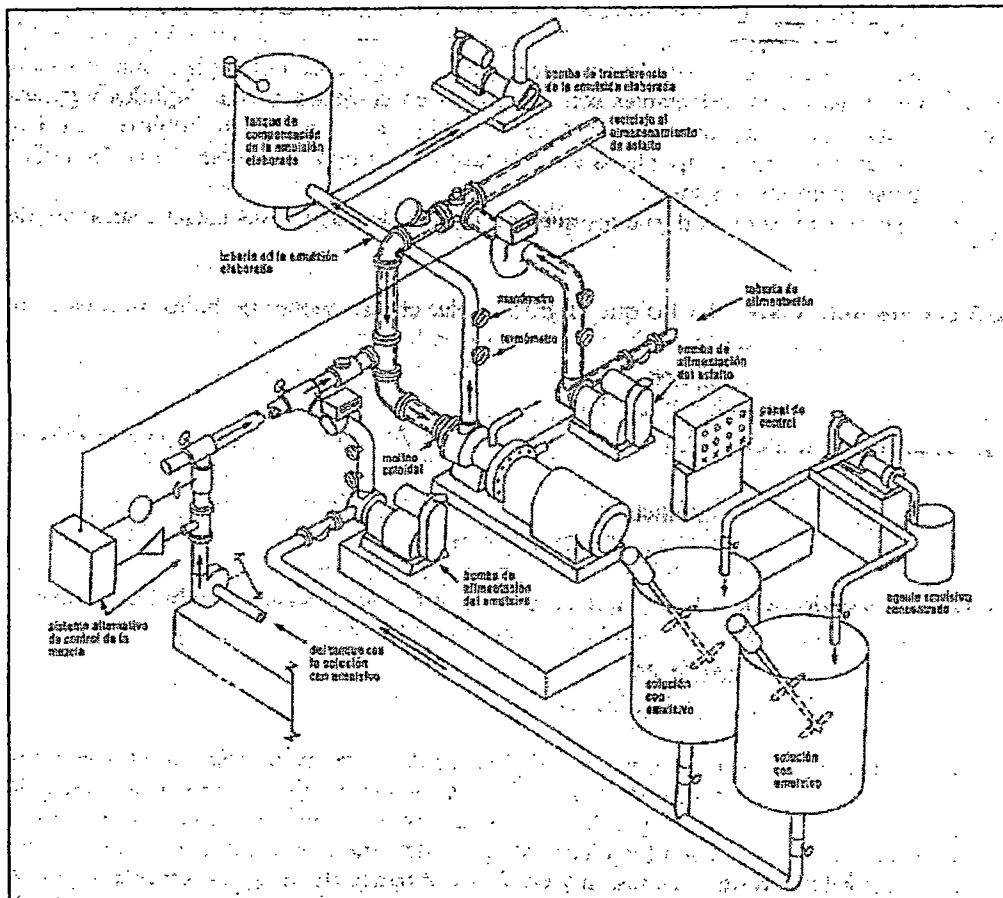
- Molino Coloidal, debe estar provisto de medidores de flujo, temperatura y presión.
- Tanque para la solución jabonosa.
- Tanque para el asfalto en caliente.
- Bombas.
- Tren de emulsificación (báscula, baño maría).
- Si las temperaturas de salida esperadas son mayores al punto de ebullición del agua se requerirá la instalación de un intercambiador de calor.

El molino coloidal es un dispositivo mecánico de alta velocidad y altas tensiones de corte, en este el asfalto es dividido en partículas muy pequeñas. Posee un rotor de 1000 RPM a 6000 RPM con aberturas de paso de 0.25 mm. a 0.50 mm. El tamaño de las gotitas de asfalto depende de la energía mecánica suministrada por el molino, generalmente tienen un diámetro que va de 0.001 a 0.010 mm. También pueden ser utilizados molinos con velocidades de 7000 RPM a 9000 RPM para altas tensiones de corte, para trituración de polímero en caso de que se encuentre en estado sólido o bien para la rápida dispersión de los componentes.

Las bombas son empleadas para medir y suministrar la solución jabonosa y el asfalto al molino coloidal. Debido a que la solución jabonosa puede ser altamente corrosiva, puede ser necesario utilizar equipos construidos con materiales resistentes a la corrosión o bien tanques recubiertos.

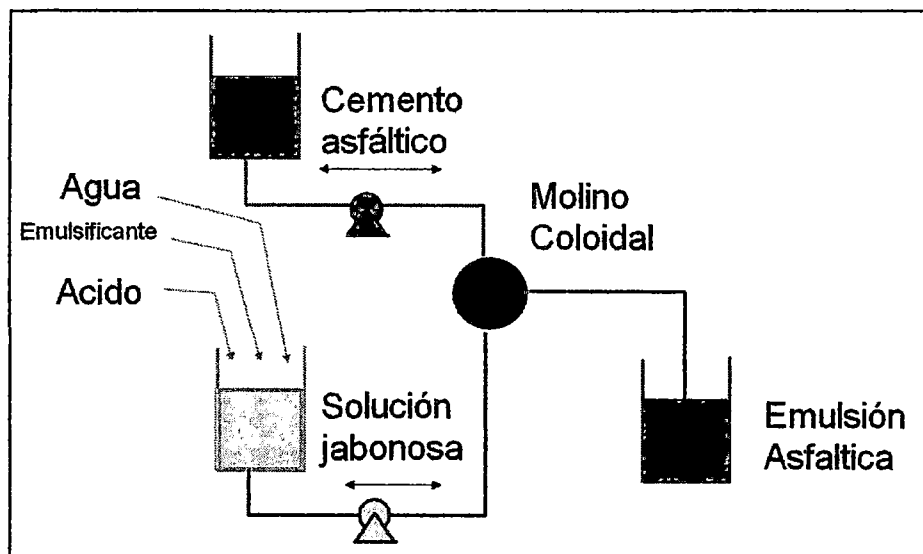
Un diagrama esquemático de una típica planta de elaboración de emulsiones asfálticas se muestra en la Figura 2.4 y en la Figura 2.5 se muestra una planta simplificada para la producción de una emulsión asfáltica.

Figura 2.4: Diagrama de una planta de elaboración de emulsión asfáltica.



Fuente: INSTITUTO DEL ASFALTO – MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (MS-19) – S/A.

Figura 2.5: Producción de una emulsión asfáltica.



Fuente: SAUCEDO, Ray – DIFERENTES USOS Y APLICACIONES EN VÍAS DE COMUNICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS (AKZO NOBEL) – 2002.

2.2.3.2 Proceso de emulsificación

- Preparación de la solución jabonosa: La adición del agente emulsivo al agua varía con el procedimiento de cada fabricante. Algunos emulsificantes como las aminas deben mezclarse y reaccionar con un ácido para ser solubles en agua. Otros como los ácidos grasos, deben mezclarse y reaccionar con un álcali. El emulsificante es adicionado al agua caliente que contenga ácido o álcali (dependiendo del tipo de emulsificante), y es agitado hasta su completa disolución y se ajusta el pH de la solución hasta el valor deseado. La solución jabonosa se alimenta al molino generalmente a una temperatura entre 30 °C y 40 °C.
- Preparación del asfalto: De manera independiente, el asfalto es calentado para bajarle la viscosidad y sea posible su manipulación. La temperatura del asfalto y de la solución jabonosa se ajustan dependiendo de las características de emulsificación del cemento asfáltico y de la compatibilidad entre el asfalto y el agente emulsivo; y debido a estas características las temperaturas de asfalto y solución jabonosa, así como de la emulsión producida, pueden tener cierta variación.

Ya que la temperatura de la emulsión al abandonar el molino debe ser inferior al punto de ebullición del agua, el asfalto no se lleva a temperaturas extremadamente altas, a menos que exista un sistema de enfriamiento.

- Emulsificación: Una vez que el asfalto y la solución jabonosa han alcanzado las condiciones de operación necesarias, son alimentadas simultáneamente al molino coloidal, donde el asfalto es dividido en pequeñas gotas por la fuerza mecánica que ejerce el molino sobre él, e integrado con la solución jabonosa para dar origen a la emulsión asfáltica.

Las proporciones de asfalto y de solución jabonosa deben medirse con exactitud, mediante medidores de flujo; sin embargo, también pueden controlarse verificando la temperatura en cada fase y de la descarga del molino. Si se utiliza el método de regulación de temperatura, a partir de los componentes se calcula la temperatura de salida deseada de la emulsión ya elaborada; y así se controla el porcentaje de contenido de asfalto.

Una vez producida la emulsión es bombeada a tanques de almacenamiento, que pueden estar equipados con agitadores mecánicos para mantener la uniformidad de la emulsión.

El tamaño de las partículas es un factor vital en la elaboración de una emulsión estable. A continuación se muestra el Cuadro 2.2 con los porcentajes de los tamaños promedios de una típica emulsión.

Cuadro 2.2: Tamaños promedios de las partículas de una emulsión.

TAMAÑO DE PARTÍCULA	PORCENTAJE
Menos de 0.001 mm.	28%
De 0.001 a 0.005 mm.	57%
De 0.005 a 0.010 mm.	15%

Fuente: INSTITUTO DEL ASFALTO – MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (MS-19) – S/A.

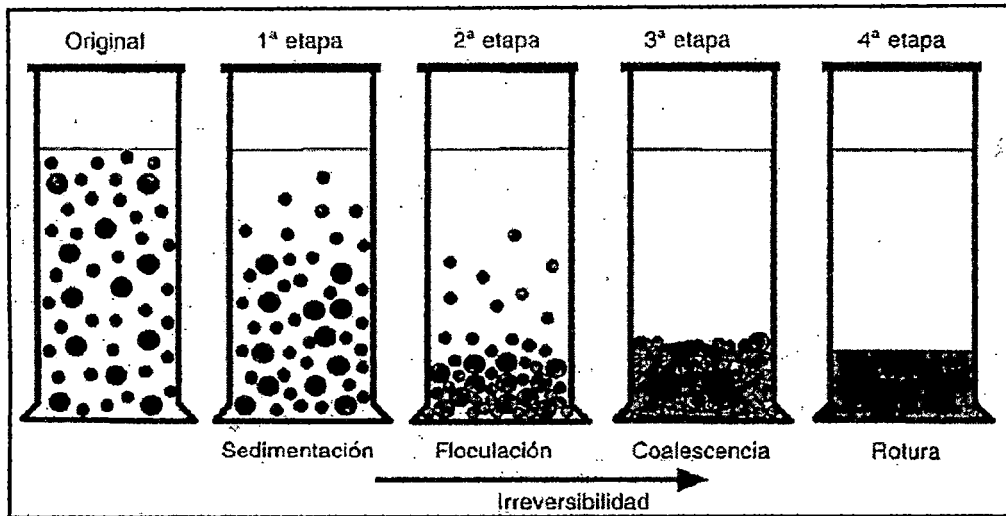
2.2.4 Rotura de la emulsión

En una emulsión asfáltica, el agua debe separarse de la fase asfáltica y evaporarse, para que actúe como ligante.

Hay varias etapas en el rompimiento de una emulsión que son las siguientes:

- **Decantación:** En esta etapa hay un aumento de concentración en la parte superior de la emulsión (cremado) o hay un aumento en la parte inferior de la emulsión (sedimentación), en este fenómeno se da una separación de dos zonas una de alta concentración y otra de baja concentración. Este es un proceso reversible.
- **Floculación:** En esta etapa los glóbulos de asfalto se aproximan y debido al empaquetamiento y rozamiento entre ellos, se eliminan de la interfase algunas moléculas del agente emulsificante cubriendo de este modo la superficie del agregado.
- **Coalescencia:** En esta etapa se da la integración de los glóbulos de asfalto originando partículas de mayor tamaño y produciendo la separación de agua de la emulsión (rotura).

Figura 2.6: Etapas de la rotura de la emulsión.



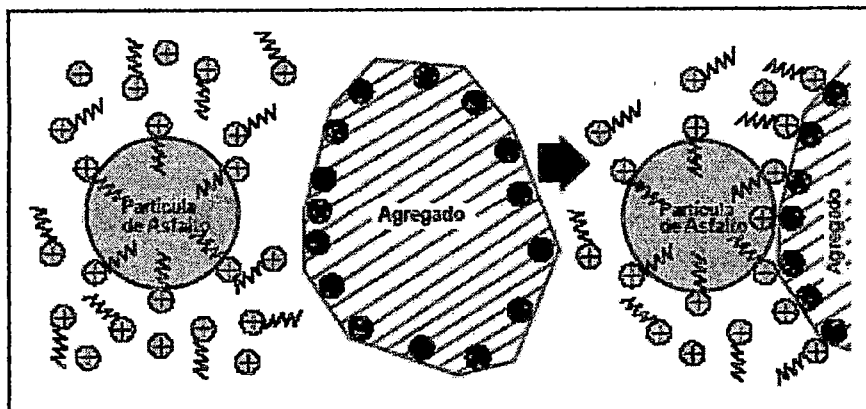
Fuente: RODRÍGUEZ MUÑOZ, Esperanza – FORMULACIÓN DE LA EMULSIÓN TIPO ECR-2P PARA SU APLICACIÓN EN RIEGOS DE SELLO A BAJA TEMPERATURA – 2006.

Existen dos procesos fundamentales que determinan el mecanismo de rotura de la emulsión, así se produce la separación de fases y la formación de una película de cemento asfáltico sobre el agregado. Ellos son la evaporación del agua y la reacción físico – química entre el emulsificante y la superficie del agregado. Ambos procesos son simultáneos en las emulsiones, pero mientras que en las catiónicas prevalece la reacción físico – química, en las aniónicas el proceso principal es el de evaporación del agua.

- **Rotura por evaporación:** Esta forma de contribución a la rotura es altamente dependiente de las condiciones atmosféricas, que será favorecida por las altas temperaturas, vientos fuertes y bajos porcentajes de humedad ambiental.
- **Mecanismo físico – químico:** Está relacionada con una verdadera reacción entre los iones del emulsificante y la superficie del agregado mineral. En este proceso ocurre una adsorción de los iones emulsificantes presentes en la fase acuosa sobre el árido. El fenómeno producido tiene dos importantes consecuencias:
 - a) Desequilibrio de la emulsión, debido a la desaparición de iones del emulsificante de la fase dispersante y al inducir a los iones presentes en la interfase asfalto – agua a pasar a la solución para que haya una compensación.

- b) La superficie del árido pasa a ser oleófila y tiene una buena afinidad con el asfalto, debido a que la superficie del agregado queda cubierta de los iones del emulsificante, orientada con su parte iónica hacia el árido y la cadena orgánica hacia el cemento asfáltico.

Figura 2.7: Rotura de la emulsión.

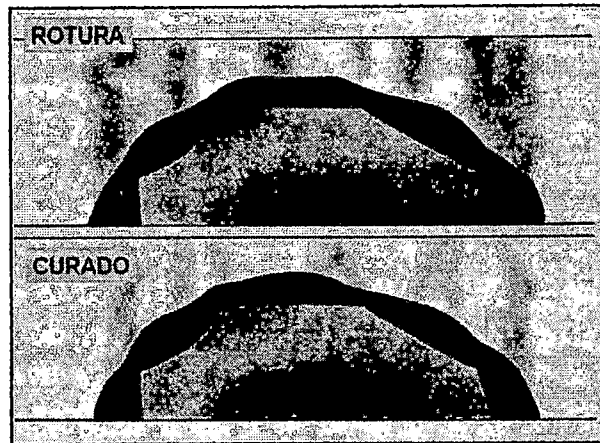


Fuente: RODRÍGUEZ MUÑOZ, Esperanza – FORMULACIÓN DE LA EMULSIÓN TIPO ECR-2P PARA SU APLICACIÓN EN RIEGOS DE SELLO A BAJA TEMPERATURA – 2006.

2.2.5 Curado de la emulsión

En este proceso es donde se desarrollan las propiedades mecánicas del cemento asfáltico, dando como resultado una película cohesiva continua capaz de mantener a los agregados adheridos. Este proceso se complementa cuando el agua llega a evaporarse completamente, pero dicha evaporación depende mucho de las condiciones climáticas. Si las condiciones climáticas son favorables, entonces la evaporación del agua se realizará de manera rápida, pero excesiva humedad, bajas temperaturas, o lluvias inmediatamente después de la aplicación pueden demorar dicho proceso.

Figura 2.8: Rotura y curado de las emulsiones asfálticas.



Fuente: HERENCIA PEÑA, Wendy – EMULSIONES ASFÁLTICAS – 2009.

2.3 EMULSIONES ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS

En la actualidad los pavimentos son sometidos a exigencias más críticas. El tráfico continuo que va incrementándose diariamente, las cargas más pesadas y la mayor presión de los neumáticos son factores que contribuyen a un deterioro más rápido de las capas de rodadura.

Este aumento de solicitaciones trae como consecuencia el ahuellamiento por deformación plástica, rotura por diferencias térmicas y también por fatiga, así como desprendimiento de agregados. Estos inconvenientes hoy en día se reducen considerablemente, mediante el empleo de emulsiones modificadas con polímeros.

Para modificar la emulsión asfáltica se puede hacer de dos maneras; la primera, si se emplea el polímero en forma de látex, mediante adición directamente a la emulsión terminada o a la fase acuosa en el momento de la molienda. En cambio, si se emplea un polímero sólido, este debe ser incorporado al cemento asfáltico de partida.

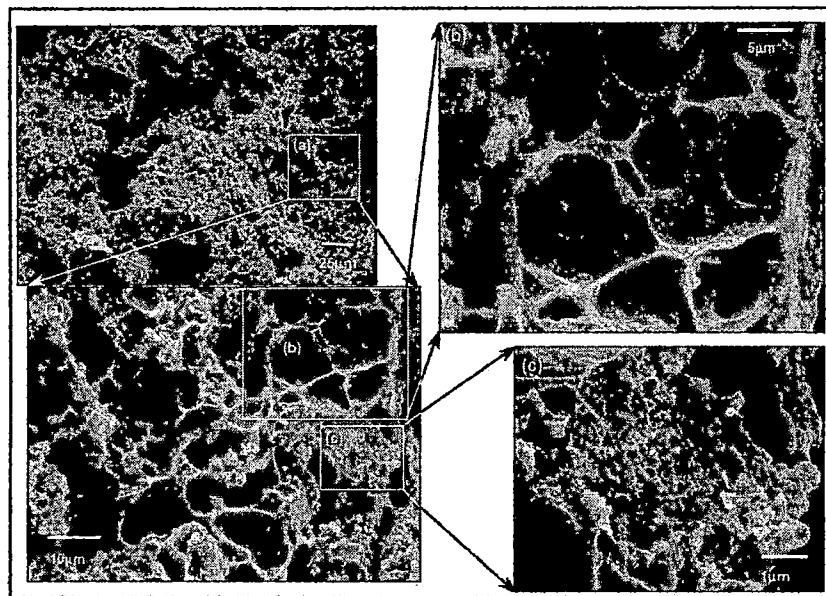
Actualmente se utiliza una gran variedad de polímeros comerciales con composición química y propiedades diferentes. Entre los empleados de forma más generalizada tenemos los elastómeros termoplásticos de estireno-butadieno-estireno (SBS) y de estireno butadieno (SBR), y los copolímeros de estireno acetato de vinilo (EVA).

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

En forma general, el objetivo de incorporar polímeros en el proceso de producción de las emulsiones asfálticas es para modificar las características del ligante, buscando:

- Aumentar la cohesión interna.
- Aumento en la viscosidad.
- Disminución de la susceptibilidad térmica.
- Mejora la adhesividad activa y pasiva.
- Aumenta la flexibilidad a bajas temperaturas.
- Aumenta la resistencia al envejecimiento.

Figura 2.9: Microfotografías del espécimen de micropavimento mostrando panel de abejas de polímero SBR formado alrededor de partículas de asfalto algunos polímeros adheridos a la superficie del agregado.



Fuente: PUIGGENÉ, Jordi – TORRES LLOSA, José – TAKAMURA, Koichi – EFECTO DEL EMPLEO DE LÁTEX DE SBR EN LA MODIFICACIÓN DE CEMENTO ASFÁLTICO Y DE EMULSIONES BITUMINOSAS DE USO VIAL – 2001.

2.4 ALMACENAMIENTO, MANIPULACIÓN Y MUESTREO

2.4.1 Almacenamiento de las emulsiones asfálticas

Para almacenar una emulsión asfáltica se debe de tomar las siguientes consideraciones:

- Se puede almacenar la emulsión a la temperatura especificada para el grado y aplicación particulares. El Cuadro 2.3 muestra los rangos de temperatura normales para el almacenamiento.
- No se permite que la emulsión asfáltica sea calentada por encima de los 85°C, debido que a altas temperaturas se evapora el agua, modificando las características de la emulsión asfáltica.
- No se permite que la emulsión asfáltica se congele, esto produciría la rotura de la emulsión, separándose el asfalto del agua. Se generarían dos estratos en el tanque que dificultaría su limpieza.
- No se permite que la temperatura de superficie de calentamiento exceda los 100°C, debido que produciría una rotura prematura de la emulsión.
- No se permite usar aire forzado para agitar la emulsión, debido que podría causar la rotura de la emulsión.

Cuadro 2.3: Temperaturas de almacenamiento para emulsiones asfálticas.

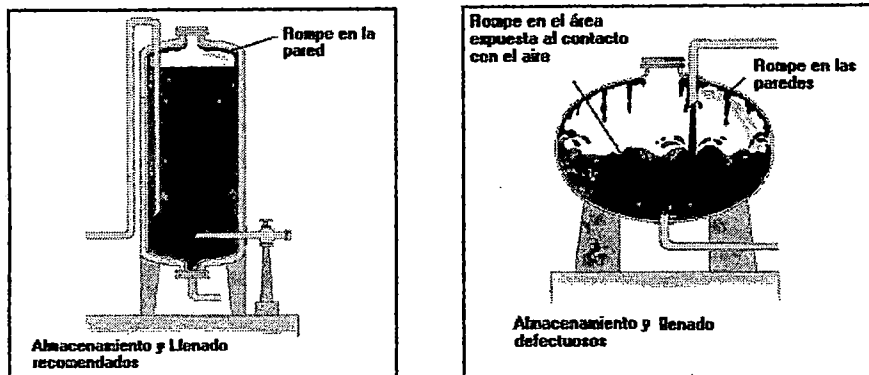
GRADO DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA	TEMPERATURA	
	Mínimo	Máximo
RS-1	20°C	60°C
RS-2, CRS-1, CRS-2, HFRS-2	50°C	85°C
SS-1, SS-1h, CSS-1, CSS-1h, MS-1, HFMS-1	10°C	60°C
CMS-2, CMS-2h, MS-2, MS-2h, HFMS-2, HFMS-2h, HFMS-2s	50°C	85°C

Fuente: INSTITUTO DEL ASFALTO – MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (MS-19) – S/A.

Los tanques de almacenamiento deberían estar aislados térmicamente, para proteger la emulsión contra el congelamiento y para un mejor aprovechamiento del calor. En la superficie de las emulsiones expuestas al aire se puede formar una piel de asfalto, consecuentemente, es mejor utilizar tanques verticales, de

gran altura, debido a que se exponen al aire la menor superficie de emulsión asfáltica como se muestra en la Figura 2.10.

Figura 2.10: Almacenamiento y llenado de la emulsión asfáltica.



Fuente: HERENCIA PEÑA, Wendy – EMULSIONES ASFÁLTICAS – 2009.

Pueden utilizarse propulsores de entrada lateral para revolver el material localizadas a un metro del fondo del tanque para evitar la formación de la piel, también puede utilizarse bombas para circulación vertical. Para ambos casos, el exceso de mezclado y de bombeo debe evitarse.

2.4.2 Manipulación de las emulsiones asfálticas

Para manipular una emulsión asfáltica se debe de tomar las siguientes consideraciones:

- Se puede agitar suavemente la emulsión durante el calentamiento para eliminar o reducir la formación de piel.
- Se debe proteger las bombas, válvulas y tuberías del congelamiento en los meses de invierno.
- Se debe calentar la bomba hasta una temperatura de 65°C para facilitar el arranque.
- Se debe verificar la compatibilidad del agua con la emulsión al diluir esta, haciendo una prueba sobre una pequeña cantidad.
- De ser posible, emplear agua caliente para la dilución, y siempre agregue el agua a la emulsión y no al revés.
- Se debe evitar el bombeo y recirculación, ya que la viscosidad puede bajar y el aire puede quedar atrapado, causando inestabilidad de la emulsión.

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

- Se debe de bombear la emulsión desde el fondo del tanque para minimizar la contaminación por la eventual formación de la piel como se muestra en la Figura 2.10.
- Se debe agitar las emulsiones que han estado almacenadas en forma prolongada, pudiéndose realizarse por recirculación.
- No se debe mezclar diferentes clases, tipos y grados de emulsiones asfálticas en tanques de almacenamiento, transportes y distribuidores. Las recomendaciones se muestra en el Cuadro 2.4.
- No se debe de diluir emulsiones asfálticas de rotura rápida en agua, en cambio las emulsiones asfálticas de rotura media y lenta pueden ser diluidas, pero siempre agregando lentamente agua a la emulsión asfáltica.

Cuadro 2.4: Guía de las condiciones exigidas de vaciado de tanques antes de cargar emulsiones asfálticas.

PRODUCTO A CARGAR	ÚLTIMO PRODUCTO EN EL TANQUE					
	Cemento Asfáltico	Asfaltos diluidos	Emulsión catiónica	Emulsión aniónica	Crudo de petróleo	Otros productos
Emulsión Catiónica	Vacío	Practicam. vacío	Sin problemas	Practicam. vacío	Practicam. vacío	Debe limpiarse
Emulsión Aniónica	Vacío	Practicam. vacío	Practicam. vacío	Sin problemas	Practicam. vacío	Debe limpiarse

Fuente: INSTITUTO DEL ASFALTO – MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (MS-19) – S/A.

2.4.3 Muestreo de las emulsiones asfálticas

El propósito del muestreo es obtener muestras representativas de la naturaleza y condición verdadera del material.

Los recipientes para muestreo de las emulsiones asfálticas serán botellas o tarros de plástico de boca ancha, con tapa a rosca o con cierre a fricción de triple sello. El tamaño de las muestras será generalmente de cuatro litros (aproximadamente un galón).

Siempre que sea práctico, la emulsión asfáltica será muestreada en el lugar de elaboración o de almacenamiento. Si esto no es práctico, las muestras serán tomadas del envío inmediatamente luego de la entrega. Se deben tomar tres

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

muestras que serán enviadas inmediatamente al laboratorio para que sean ensayadas.

a) Precauciones en el muestreo

- Se usarán recipientes nuevos, no deberán ser lavados ni enjuagados. Si hay restos de soldadura, o si no están limpios o secos, deberán ser descartados. El recipiente y su tapa deberán calzar ajustadamente.
- La muestra no será transferida a otro recipiente.
- El recipiente lleno será sellado herméticamente inmediatamente después de que la muestra sea tomada.

b) Medidas de seguridad

- Se debe usar guantes y las mangas se abotonarán sobre los guantes a la altura de la muñeca durante el muestreo y secado de los recipientes.
- Se debe usar máscaras de protección mientras se muestrean asfaltos.
- Evitar la respiración prolongada de gases, vapores, etc.
- Durante el sellado y limpieza, el recipiente será colocado sobre una superficie llana, para evitar salpicaduras, goteo o derrame de material.

c) Protección y preservación de las muestras

- Inmediatamente de ser llenados, sellados y limpiados, los recipientes serán identificados con un marcador indeleble.
- Las muestras de emulsiones serán empaquetadas, etiquetadas y protegidas de la congelación durante su envío.
- Cada muestra deberá ser identificada con una ficha como la que se muestra en la Figura 2.11.

Figura 2.11: Ficha de identificación de la muestra.

<ul style="list-style-type: none"> • Nombre del fletador y factura de carga: • Fecha de toma de la muestra: • Grado del producto: • Identificación del proyecto: • Otra información importante:
--

Fuente: Elaboración propia.

2.5 EMULSIONES ASFÁLTICAS PRODUCIDAS EN PERÚ

En el Cuadro 2.5 se muestra los tipos de emulsión asfáltica catiónica que son producidas en Perú por las empresas más importantes en el medio. Se debe saber que en el Perú no se produce emulsiones asfálticas aniónicas debido a su poco uso.

Cuadro 2.5: Emulsiones asfálticas catiónicas producidas en el Perú.

TIPO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIÓNICA	TDM ASFALTOS S.A.C.	BITUPER S.A.C.	CARLOS AMOROS HECK S.A.
Emulsiones asfálticas de rotura rápida	SI	SI	SI
Emulsiones asfálticas de rotura media	SI	SI	SI
Emulsiones asfálticas de rotura lenta	SI	SI	SI
Emulsiones asfálticas de rotura controlada	SI	SI	SI
Emulsiones asfálticas modificadas	SI	SI	SI

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIONES ASFÁLTICAS

3.1 GENERALIDADES

Como se conoce las mezclas asfálticas en caliente son mezclas de áridos gruesos y finos de alta calidad con cemento asfáltico, densamente graduada. Los áridos y el cemento asfáltico son calentados entre 130°C y 160°C, son mezclados en planta, aplicados con máquinas terminadoras y compactadas en caliente. Estas mezclas son consideradas como las de mejor calidad entre las mezclas asfálticas, con excelentes propiedades de estabilidad, durabilidad y flexibilidad.

Basados en el concepto anterior y dada su similitud, se define la mezcla asfáltica en frío con emulsiones asfálticas, como las constituidas por agregado mineral con o sin relleno mineral, con asfalto emulsionado y agua, que es mezclado, transportado, extendido y compactado a temperatura de ambiente.

En el caso de las mezclas asfálticas en frío, los agregados pétreos no deben secarse y calentarse como en el caso de las mezclas en caliente, es decir, que se los emplea con la humedad natural con los que se encuentran en campo.

En este tipo de mezclas existen 2 fases que son de gran importancia, estas son el reparto de la emulsión sobre el árido y el sistema de agitación y energía empleada. Respecto a la primera fase, se debe de tener un buen reparto de la emulsión sobre el árido, en forma de película continua, que recubra la mayor parte de las partículas minerales y, especialmente, forme un buen mortero con la fracción más fina. Para conseguir el objetivo anterior, es conveniente facilitar el recubrimiento de la emulsión, humedeciendo previamente los agregados.

Respecto a la segunda fase, el sistema de agitación y la energía empleada tienen una cierta relación con el agua añadida inicialmente, muchas veces con sistemas limitados de agitación, es necesario recurrir a cantidades más elevadas de agua.

Una vez conseguida la dispersión uniforme de la emulsión y asegurado el recubrimiento de la superficie mineral del agregado, seguirán los procesos de eliminación del agua y compactación de la mezcla. Una vez compactadas requieren un tiempo variable para poder adquirir una cohesión y resistencia final,

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

esta resistencia depende de la buena afinidad del árido con la emulsión, de la homogeneidad de mezclado, del agua que contiene la mezcla, de la humedad adecuada para la compactación y del mortero bituminoso formado.

Estas mezclas en frío son utilizadas, generalmente como carpetas asfálticas, bases, sub-bases y para trabajos de bacheo, como se muestra en el Cuadro 3.1, donde se recomienda su uso tanto para mezclas con emulsiones, como para asfaltos diluidos.

Cuadro 3.1: Guía para el uso de productos derivados del asfalto para mezclas en frío.

Tipo de Construcción			Asfaltos emulsificados								Asfaltos rebajados							
			Aniónicos				Catiónicos				Curado medio				Curado lento			
			MS-2 HFMS-2	MS-2H HFMS-2h	HFMS-2 S	SS-1	SS-1h	CMS-2	CMS-2h	CCS-1	CCS-1h	70	260	800	3000	260	800	3000
Mezclado en planta	Base y Superficies	Agregados con granulometría abiertas	X	X				X	X									
		Agregados bien graduados			X	X	X			X	X		X	X	X	X	X	X
	Bacheo uso inmediato				X	X			X	X		X	X			X		
	Bacheo apilamiento										X	X			X	X		
Mezclado en sitio	Base y Superficies	Agregados con granulometrías abiertas	X	X				X	X				X	X		X	X	
		Agregados bien graduados			X	X	X			X	X		X	X		X	X	
		Arena			X	X	X			X	X	X	X	X				
		Suelos arenosos			X	X	X			X	X		X	X				
	Bacheo uso inmediato			X	X	X			X	X		X	X			X		

Fuente: INSTITUTO DEL ASFALTO – ASPHALT COLD MIX MANUAL (MS-14) – 1997.

Este tipo de mezclas se recomiendan en construcción de carreteras, donde no se justifique económicamente las instalaciones más complejas que se requieren para la fabricación de las mezclas asfálticas en caliente. En el Perú se recomienda este tipo de mezclas para Carreteras Pavimentadas de bajo volumen de tránsito con un valor máximo de 300000 ejes equivalentes de 8.2 toneladas según el Manual para Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. Es necesario saber que en otros países se han aplicado en carreteras con un mayor volumen de tránsito e incluso se recomiendan también para Carreteras de mediano volumen de tránsito como se menciona en el Manual de Especificaciones Técnicas de la Institución de Panamá.

Las mezclas en frío empleando emulsiones asfálticas presentan cierto margen positivo para su elaboración en relación con las mezclas convencionales en caliente. En primer lugar porque la emulsión es más adaptable a los agregados pétreos debido a que contiene al emulsificante, que mejora su adherencia con los agregados; y en segundo lugar, porque pueden ser mezclados durante un tiempo más prolongado. En cambio, el mezclado en caliente es una operación que se ve limitado en el segundo aspecto, debido a que la operación de aplicación debe ser rápido para evitar el enfriamiento de la mezcla antes de su compactación.

3.2 ANTECEDENTES

Las primeras experiencias de pavimentaciones con mezclas asfálticas en frío empleando emulsiones asfálticas se realizaron en Argentina a comienzos de la década del 50, y las emulsiones utilizadas en estas obras fueron aniónicas.

Luego de algunas décadas, en 1971, se efectuó la primera pavimentación con emulsión catiónica superestable en la provincia de Tucumán, en el tramo Ampimpa – Quilmes de la ruta Provincial 307. La dosificación de esta mezcla fue diseñada por el método Marshall con probetas moldeadas con 50 golpes por cara. La carpeta asfáltica en frío construida fue de un espesor de 5 centímetros, un ancho de 6.7 metros y una longitud total de 23 Kilómetros.

Por su parte la Dirección Provincial de Vialidad de Santa Fe inició sus experiencias de laboratorio en 1975 y posteriormente, en 1976, con la construcción de la Ruta Provincial N° 83 – S, tramo R.N. 11, esta es la primera obra con base y capa de rodamiento de mezcla en frío con emulsión asfáltica catiónica de velocidad de rotura controlada. La carpeta asfáltica en frío construida fue de un espesor de 5 centímetros, un ancho de 6.7 metros y una longitud total de 15 Kilómetros.

Gracias a los enormes aportes de la Dirección Provincial de Vialidad de Santa Fe, no solo en trabajos presentados en diferentes congresos sino también por las obras efectuadas bajo su supervisión, se llegó a realizar una especificación técnica para este tipo de mezclas, destinadas a bases, carpetas y bacheos.

Estos trabajos de investigación continuaron y se complementaron en enero de 1986 con tramos experimentales realizados sobre la Ruta Nacional N° 3 y su

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

intersección con el acceso al Puerto San Antonio Este, en jurisdicción del Distrito N° 20 de la Dirección Nacional de Vialidad de Argentina. Se trató de la aplicación de una mezcla en frío con emulsión catiónica superestable de rotura lenta, con el que se construyó una carpeta de 5 centímetros de espesor en una extensión de 500 metros.

El tramo se compone de 5 secciones de 100 metros de longitud cada una, dentro de las cuales se contemplan algunas variaciones para poder realizar las comparaciones respectivas. Entre las que se mencionan, dos tipos de agregados (zarandeado y triturado), elaboración de la mezcla "in situ" con motoniveladora y en planta distribuida con terminadora. Entre las principales conclusiones de esta experiencia fue que se pudo comprobar la real respuesta de las mezclas en frío durante el proceso constructivo, en la que se incluye la evolución posterior de la densidad en servicio. Además con este trabajo se verificó las sucesivas etapas y la calidad obtenida, con miras a redactar una Especificación, como se mencionó anteriormente, que posibilite la construcción con su control de calidad de los pavimentos en frío.

En México también se ha tenido experiencias contemporáneas con las de Argentina. En 1975 se pavimentó el tramo de la Ciudad Alemán hasta el Río Tesechoacán, pertenecientes a la Carretera La Tinaja – Sayula con mezcla asfáltica en frío con emulsión asfáltica catiónica. La región de esta zona es tropical caliente, y presenta una precipitación pluvial bastante importante, además esta carretera es importante porque une a varias poblaciones agrícolas. El procedimiento de dosificación de la mezcla asfáltica emulsionada fue el Método Marshall Modificado y el de Compresión Simple, en ambos casos se tomo en cuenta la fase de inmersión, importante para el diseño de este tipo de mezclas.

La experiencia Colombiana no ha sido muy amplia, pero puede mencionarse algunas obras importantes donde se utilizó esta tecnología. En 1983, se pavimentó el aeropuerto de Quibdó de Colombia, donde se utilizó mezcla densa en frío con emulsión elaborada "in situ". También pueden mencionarse otras aplicaciones como en la Carretera Sogamoso – Yopal, en la Vía Quinchia – Irra y en la Vía Venecia – Cabrera.

Entre abril del 2001 y setiembre del 2002, se construyó la Carretera Quibdo – Yuto en el departamento de Chocó, Colombia. Para este proyecto se empleo

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

mezcla densa en frío como carpeta de rodadura, donde resulto un gran acierto su implementación debido al desempeño con el clima de la zona, que es altamente lluvioso, y la localización geográfica del departamento. La longitud de la vía fue de 20 kilómetros, con un ancho de 7.6 metros y el espesor de la carpeta asfáltica en frío fue de 5 centímetros. El método de diseño fue el Método Illinois, demostrando que es una metodología práctica para este tipo de diseño.

En el Perú también se ha tenido experiencias, aunque muy pocas, en la aplicación de este tipo de mezcla en frío para pavimentación, uno de los casos ha sido la Avenida Progreso y la Avenida Canal de Balarezo en el distrito de Castilla en el departamento de Piura en setiembre de 1998. La carpeta tuvo un espesor de 2 pulgadas, el tamaño máximo del agregado fue de $\frac{3}{4}$ " y para el diseño se aplicó el Marshall Modificado, obteniéndose buenos resultados.

En el 2002 se construye una zona de maniobras y acceso a una planta de óxidos para el procesamiento de cobre en el centro minero BHP Billington Tintaya. Este centro minero está ubicado en el departamento de Cusco, en la provincia de Espinar, a una altitud de 4050 m.s.n.m. y con una temperatura que varía de -8 °C hasta 21 °C. Según el especialista en dicha obra que fue el Ingeniero William Monteagudo Sucno, ingeniero con mucha experiencia en el tema de emulsiones asfálticas; menciona que debido a las diferentes dificultades como es el clima, las temperaturas bajo cero, la presencia de lluvias, heladas, nevadas y principalmente que el volumen a pavimentar no era de gran escala, se dificultaba el uso de las mezclas asfálticas en caliente. Por ese motivo, se aplicó una carpeta de mezcla asfáltica emulsionada en frío de gradación densa de 3 pulgadas, diseñada por el método AKZO NOBEL, que resultó ser una alternativa eficaz y ventajosa.

Debido a que la tecnología de las emulsiones asfálticas está tomando mayor importancia en el Perú; en el 2010, en el mejoramiento de la Carretera Vizcachani – Chivay (Arequipa), se optó por una carpeta asfáltica emulsionada de un espesor de 10 centímetros. El área a pavimentar fue de 157 476 metros cuadrados, con un ancho de vía de 6.6 metros. Esta carretera está ubicada en Chivay, perteneciente a la Región Arequipa, a una altitud de 4800 m.s.n.m. y con una temperatura que varía de -15 °C hasta 18 °C. Es así como se demuestra que estas mezclas pueden ser aplicadas en zonas de temperaturas extremas.

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

Al mencionar todas estas aplicaciones en diferentes países de América Latina, se demuestra que esta técnica de pavimentación da buenos resultados y que poco a poco se tomará más en cuenta y habrá un crecimiento enorme como se va dando en la actualidad a todas las aplicaciones empleando emulsiones asfálticas.

Aparte del uso de las mezclas asfálticas en frío con emulsiones asfálticas para pavimentación, también pueden ser utilizadas para el mantenimiento de carreteras, específicamente en las reparaciones puntuales en un pavimento flexible (bacheos). Respecto a esta aplicación, en diferentes países se aplica en grandes proporciones, debido a que los volúmenes a reparar no son a gran escala para usar mezclas asfálticas en caliente, que generarían gastos excesivos para las empresas que se dedican al mantenimiento rutinario y periódico en carreteras.

A continuación se presenta el Cuadro 3.2 referente a la aplicación de emulsiones asfálticas en diferentes países; se observa que se utiliza en grandes porcentajes para carpetas asfálticas y trabajos de bacheo principalmente en Europa y Norte - América, dando resultados satisfactorios.

Cuadro 3.2: Usos de las emulsiones asfálticas en el mundo.

Pais	Tratamientos Superficiales %	Estabilización de suelos %	Carpetas y bacheo %	Morteros o Slurry Seal %
USA	60	16	18	6
Japón	80	15	5	-
Francia	40	29	20	11
México	30	30	30	10
España	20	10	40	10

Fuente: RIVERA, Gustavo – EMULSIONES ASFÁLTICAS – 1998.

3.3 HUSOS GRANULOMÉTRICOS

Existen diferentes Especificaciones para las granulometrías de los agregados de las mezclas asfálticas en frío, estas están clasificadas en base al porcentaje de vacíos que tiene la mezcla asfáltica. A continuación se menciona algunos husos granulométricos dados en diferentes especificaciones.

3.3.1 Manual Básico de las Emulsiones Asfálticas (MS-19)

El Instituto del Asfalto clasifica las mezclas en frío con emulsiones en base a su granulometría, en mezclas densas o cerradas y mezclas abiertas, a continuación se muestra las granulometrías típicas de los agregados.

Cuadro 3.3: Granulometrías cerradas y abiertas para mezclas con emulsión.

Tamiz	Mezclas Asfálticas Cerradas % Acumulado que pasa					Mezclas Abiertas % Acum. que pasa
	A	B	C	D	E	
2"	100	-	-	-	-	-
1 1/2"	90 - 100	100	-	-	-	-
1"	-	90 - 100	100	-	-	-
3/4"	60 - 80	-	90 - 100	100	-	-
1/2"	-	60 - 80	-	90 - 100	100	-
3/8"	-	-	60 - 80	-	90 - 100	100
Nº 4	20 - 55	25 - 60	35 - 65	45 - 70	60 - 80	30 - 50
Nº 8	10 - 40	15 - 45	20 - 50	25 - 55	35 - 65	5 - 15
Nº 50	2 - 16	3 - 18	3 - 20	5 - 20	6 - 25	-
Nº 200	0 - 5	1 - 7	2 - 8	2 - 9	2 - 10	0 - 2

Fuente: INSTITUTO DEL ASFALTO – MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (MS-19) – S/A.

3.3.2 Recomendaciones Españolas

En España la clasificación de las mezclas asfálticas en frío en base a su granulometría, también es en función del porcentaje de vacíos final de las mezclas. La clasificación es la siguiente:

- a) Mezclas cerradas (Densas, DF): 3 a 6% de vacíos.
- b) Mezclas semicerradas (Semidensas, SF): 6 a 12% de vacíos.
- c) Mezclas abiertas (AF): Superior a 12%.

Para cada uno de estos tres tipos de mezclas, se adoptan, además tres husos granulométricos de acuerdo con el espesor que tendrá la capa compactada.

Cuadro 3.4: Espesores de la carpeta asfáltica compactada según el tipo de granulometría y el tamaño máximo nominal del agregado según las recomendaciones Españolas.

Espesor de la capa compactada (cm.)	Denominación de las mezclas		
	Densas	Semidensas	Abiertas
<= 4	DF 12	SF 12	AF 12
4 - 6	DF 20	SF 20	AF 20
>= 6	DF 25	SF 25	AF 25

Fuente: PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES PARA OBRAS DE CARRETERAS Y PUENTES – 2002.

Los números 12, 20 y 25 corresponden al tamaño máximo nominal de las partículas de cada árido en milímetros (valor redondeado), es decir, los tamices ½", ¾" y 1", respectivamente.

A continuación se muestra los husos granulométricos adoptados en España:

Cuadro 3.5: Husos granulométricos para las mezclas con emulsión, de granulometrías densas, semidensas y abiertas según las recomendaciones Españolas.

Tamiz	% Acumulado que pasa								
	Densas			Semidensas			Abiertas		
	DF 12	DF 20	DF 25	SF 12	SF 20	SF 25	AF 12	AF 20	AF 25
1 ½"	-	-	100	-	-	100	-	-	100
1"	-	100	80 – 95	-	100	80 – 95	-	100	65 – 90
¾"	100	80 – 95	-	100	80 – 95	-	100	65 – 90	-
½"	80 – 95	-	62 – 77	80 – 95	-	60 – 75	65 – 90	-	-
3/8"	-	60 – 75	-	-	60 – 75	-	-	35 – 60	-
Nº 4	60 – 65	-	45 – 60	47 – 62	-	40 – 55	20 – 40	-	10 – 30
Nº 10	-	35 – 50	-	-	30 – 45	-	-	5 – 20	-
Nº 80	-	13 – 23	-	-	10 – 18	-	-	-	-
Nº 200	-	3 - 8	-	-	2 - 7	-	-	0 - 4	-
Asf. %	4,0 – 5,5			3,5 – 5,0			2,5 – 4,0		

Fuente: PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES PARA OBRAS DE CARRETERAS Y PUENTES – 2002.

3.3.3 Recomendaciones del Sindicato Francés de Emulsiones

En Francia se clasifica las mezclas en frío con emulsiones en base a su granulometría, según el tamaño máximo nominal de los agregados, a continuación se muestra las granulometrías típicas.

Cuadro 3.6: Husos granulométricos para las mezclas con emulsión según recomendaciones del Sindicato Francés de Emulsiones.

Tamiz	2 a 4 % de emulsión CSS		3 a 6 % de emulsión CSS
1 ½"	100	-	-
1"	80 - 100	100	-
¾"	60 - 85	80 - 100	100
Nº 4	40 - 65	50 - 75	80 - 100
Nº 10	25 - 50	40 - 60	60 - 80
Nº 40	15 - 30	20 - 35	30 - 50
Nº 100	10 - 20	13 - 25	20 - 35
Nº 200	8 - 15	10 - 16	13 - 30

Fuente: FERNÁNDEZ DEL CAMPO, Juan - PAVIMENTOS BITUMINOSOS EN FRÍO - 1983.

3.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON EMULSIÓN

La mezcla asfáltica en frío empleando emulsiones asfálticas deberá satisfacer los requisitos dados en las normas, cada una de ellas tiene sus propias restricciones, pero cada una de ellas con valores similares. A continuación se muestran las normas encontradas para este tipo de mezclas.

3.4.1 Método Illinois

Cuadro 3.7: Especificaciones técnicas del Método Illinois.

Propiedad en ensayo	Mínimo	Máximo
Estabilidad, lb (N) a 22.2°C Mezclas pavimentación	500 (2224)	-
Vacios totales, % Mezcla compactada	2	18
Pérdida de estabilidad, % 4 días de inmersión a 22.2°C	-	50
Humedad absorbida, % 4 días de inmersión a 22.2°C	-	4
Cubrimiento agregado, %	50	-

Fuente: DEVELOPMENT OF EMULSIFIED ASPHALT – AGGREGATE COLD MIX DESIGN PROCEDURE – 1978.

3.4.2 Marshall Modificado (MS-14)

Cuadro 3.8: Especificaciones técnicas del Método Marshall Modificado.

Propiedad en ensayo	Mínimo	Máximo
Estabilidad, lb (N) a 22.2°C Mezclas pavimentación	500 (2224)	-
Pérdida de estabilidad, % Saturación al vacío e inmersión	-	50
Cubrimiento agregado, %	50	-

Fuente: INSTITUTO DEL ASFALTO – ASPHALT COLD MIX MANUAL (MS-14) – 1997.

3.4.3 Instituto del Asfalto

Cuadro 3.9: Especificaciones técnicas del Instituto del Asfalto.

Propiedad en ensayo	Mínimo	Máximo
Estabilidad, lb (N) a 22.2°C Mezclas pavimentación	500 (2224)	-
Vacios totales, % Mezcla compactada	3	18
Flujo (Pulg./100)	8	18
Cubrimiento agregado, %	50	-

Fuente: MEDINA RAMÍREZ, Victor – APLICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS Y LOS ASFALTOS DILUIDOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO UTILIZANDO AGREGADOS DEL RÍO AGUAYTÍA – UCAYALI – 2003.

3.4.4 Especificaciones de Panamá

Cuadro 3.10: Especificaciones técnicas de Panamá.

Propiedad en ensayo	Mínimo	Máximo
Estabilidad, lb (N) a 22.2°C Mezclas pavimentación	800 (3560)	-
Vacios totales, % Mezcla compactada	3	12
Pérdida de estabilidad, % Saturación al vacío e inmersión	-	50
Flujo, Pulg./100	-	16

Fuente: MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DE PANAMÁ – MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA INSTITUCIÓN – 2007.

3.4.5 Especificaciones de Colombia

Cuadro 3.11: Especificaciones técnicas de Colombia.

Propiedad en ensayo	Mínimo	Máximo
Estabilidad, lb (N) a 22.2°C	750 (3336)	-
Vacios totales, % Mezcla compactada	3	8
Pérdida de estabilidad, %	-	5
Flujo, Pulg./100	3	18

Fuente: MÉNDEZ PINILLA, Fabio – PAVIMENTACIÓN DE LA VÍA QUIBDO YUTO, DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ, COLOMBIA – 2003.

3.4.6 Manual AKZO NOBEL

Cuadro 3.12: Especificaciones técnicas del Manual de AKZO NOBEL.

Propiedad en ensayo	Mínimo	Máximo
Nº de golpes por cara	75	
Estabilidad, lb (N) a 25°C	800 (3560)	-
Pérdida de estabilidad, % 3 días de inmersión en agua	-	50
Cubrimiento agregado, %	50	-

Fuente: MONTEAGUDO SUCNO, William – APLICACIÓN DE MEZCLAS DENSAS EMULSIONADAS EN ALTURA, LA EXPERIENCIA TINTAYA – 2002.

3.4.7 Especificaciones de Brasil

Cuadro 3.13: Especificaciones técnicas de Brasil.

Propiedad en ensayo	Mínimo	Máximo
Estabilidad, lb (N) a 22.2°C	1087 (4835)	-
Vacios totales, % Mezcla compactada	5	30
Flujo, Pulg./100	8	16

Fuente: YAMUNAQUÉ, Jorge – INFLUENCIA DE LA HUMEDAD DE COMPACTACIÓN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EMULSIONADAS DENSAS – 1999.

Existen algunas diferencias en los que respecta a las especificaciones mencionadas en los cuadros anteriores, se observa que el parámetro principal que es la estabilidad varía. Estos cambios se deben principalmente a que estas especificaciones tienen diferentes formas y temperaturas de curado que influyen directamente a la estabilidad, ya que al evaporarse mayor cantidad de agua, la resistencia a las deformaciones plásticas aumenta considerablemente. Por ejemplo, la metodología Illinois presenta valores mínimos de estabildades del orden de 500 libras y su curado se realiza durante 3 días a la temperatura de 22.2 °C dentro del molde; mientras que la metodología AKZO NOBEL presenta valores mínimos de estabildades del orden de 800 libras, mayores en un 60% y su curado se realiza fuera del molde en el horno a una temperatura de 60 °C durante 3 días.

3.5 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

Las mezclas asfálticas en frío son clasificadas de las siguientes maneras:

3.5.1 Clasificación según el ligante utilizado

a) Mezcla asfáltica en frío con emulsión

Esta mezcla es producida con emulsión, agua de mezclado, agregados y si es que requiere se utiliza relleno mineral. La mezcla debe contar con un tiempo adecuado para que se pueda trabajar y compactar, para que luego rompa al evaporarse la suficiente cantidad de agua y la mezcla comienza a tener una buena resistencia. Se utiliza comúnmente como material para bacheo y para pavimentación.

b) Mezcla asfáltica en frío con asfalto diluido

Esta mezcla es producida con asfalto diluido en gasolina u otra fracción liviana del petróleo. Luego que se aplica la mezcla, el solvente se evapora. Debido a que dichos solventes contaminan el medio ambiente, se ha prohibido en los Estados Unidos desde los años 70. Aunque en Europa y en el resto del mundo, se siguen utilizando en pequeña escala.

3.5.2 Clasificación según el método de mezclado

a) Mezcla en planta

Estas mezclas se producen en plantas estacionarias, que permiten un control más estricto desde la producción de los materiales hasta la elaboración de la mezcla final. Pueden utilizarse las mismas plantas destinadas a la elaboración de las mezclas en caliente, prescindiendo para ello del sistema de calefacción para el secado de los agregados y el calentamiento y circulación del asfalto. El extendido y la compactación se hacen con los equipos convencionales de pavimentación como son las terminadoras o con motoniveladoras para el extendido de la mezcla y con rodillos neumáticos para la compactación.

b) Mezcla en el sitio

Estas mezclas se producen en el lugar de pavimentación (calzada) por medio de plantas móviles y equipos simples de mezclado como son las mezcladoras livianas portátiles, motoniveladoras o cargadores frontales. La colocación y la compactación se hacen con los mismos equipos mencionados anteriormente.

3.5.3 Clasificación según el tipo de curva granulométrica

a) Graduación abierta

Estas mezclas contienen un gran porcentaje de vacíos que a través de ellos drena agua. Para que funcione de manera correcta debe haber un buen diseño del sistema de drenaje. Estas mezclas han sido utilizadas muy exitosamente para carpetas de rodamiento y son económicamente atractivas.

b) Graduación cerrada

Estas mezclas contienen un menor porcentaje de vacíos y son utilizadas ampliamente para trabajos de pavimentación para tránsito medios y livianos; aparte también sirve como material para bacheo.

3.5.4 Clasificación según el tipo de mantenimiento

a) De uso inmediato

Estas mezclas emulsión-agregado pueden ser producidas en un tambor mezclador y transportada al sitio donde va a ser utilizada. A pesar de que se recomienda utilizar mezcladoras de planta, se pueden producir mezclas de calidad aceptable, utilizando un distribuidor de asfalto y mezclando con una moto-niveladora.

b) De apilamiento

Estas mezclas pueden ser utilizadas luego de períodos de almacenamiento de más de 6 meses, y se mantienen trabajables sin tener que ser calentadas. Este tipo de mezcla se produce en grandes cantidades y el equipo requerido es un tambor mezclador y un sistema para la adecuada dosificación de agregados y la emulsión.

Se debe tener mucho cuidado para el almacenaje de esta mezcla, debe ser en un área cubierta que provea una mejor protección y ayude a mantener la trabajabilidad.

Figura 3.1: Mezcla en frío del tipo apilamiento.



Fuente: JIMÉNEZ ACUÑA, Mónica - MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EN COSTA RICA, CONCEPTOS, ENSAYOS Y ESPECIFICACIONES – 2009.

c) De apilamiento utilizando el RAP

En muchos proyectos viales se incluye trabajos de fresado que pueden producir grandes cantidades de RAP (pavimento de asfalto reciclado).

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

Este tipo de mezcla tiene muchas aplicaciones y una de ellas es para producir mezclas de mantenimiento, principalmente en zonas donde los agregados son difíciles de conseguir.

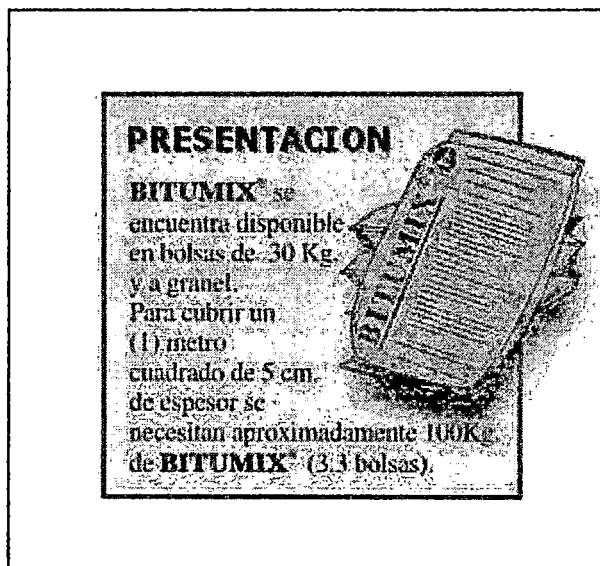
La emulsión asfáltica se agrega al RAP utilizando una planta de mezclado, los contenidos típicos de emulsión están en el rango de 1 a 2.5% por peso seco de RAP.

Es necesario buscar lugares donde poder procesar y almacenar dicho material, además es importante separarlo dependiendo de la fuente para producir apilamientos más uniformes.

d) Prefabricadas

Estas mezclas en frío vienen empacadas bajo una marca registrada. Estas se utilizan para bacheo de emergencia, cuya duración es corta, solo para evitar que el daño se extienda a las capas subyacentes. Se aplican en climas secos y húmedos, lo que los hace muy versátiles.

Figura 3.2: Mezcla en frío prefabricada embolsada.



Fuente: BITUPER – MEZCLAS ASFÁLTICAS INSTANTANEAS (BITUMIX) – S/A.

CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

En este caso se trabajará con mezclas asfálticas en frío con emulsión asfáltica de rotura lenta, dejando de lado los asfaltos diluidos debido que ya se han prohibido en muchos países ya que emplean solventes caros y contaminan el medio ambiente. Por este motivo en esta investigación se trabajará sólo con emulsiones asfálticas y cuando se mencione “mezclas asfálticas en frío” se estará refiriendo a mezclas asfálticas en frío con emulsión asfáltica.

4.1 CARACTERIZACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA

Para caracterizar a una emulsión se debe realizar ensayos para su control de calidad. Estos ensayos se han diseñado para medir las cualidades relacionadas con la composición, consistencia, estabilidad, performance, entre otros.

Existe gran cantidad de requerimientos y métodos de ensayos, pero este capítulo trata básicamente de los métodos correspondientes a la ASTM D 244 y AASHTO T 59, aceptados a nivel mundial. También se refiere a los ensayos descritos en el Manual de Ensayos de Materiales (EM 2000) porque son las especificaciones normadas en Perú y son basadas en las normas ASTM Y AASHTO. Las principales propiedades de la emulsión que se caracterizan son:

a) **Ensayo de destilación de emulsiones asfálticas (MTC E 401 - 2000).**

El objetivo de este ensayo es separar el agua de la emulsión asfáltica para poder obtener el cemento asfáltico residual y realizar ensayos adicionales, con el objeto de determinar las proporciones físicas del asfalto de uso final.

El ensayo consiste en destilar una muestra de emulsión hasta una temperatura de 260 °C (500 °F) durante 15 minutos. Así se puede medir las proporciones relativas de cemento asfáltico, agua y destilado de petróleo, si es que contiene.

- b) Ensayo de viscosidad Saybolt de emulsiones asfálticas (MTC E 403 - 2000).

El objetivo de este ensayo es determinar la viscosidad o consistencia de las emulsiones asfálticas por medio del viscosímetro Saybolt Furol. Dependiendo del tipo de emulsión, se realiza a una de dos temperaturas, 25 °C o 50 °C (77 °F o 122 °F).

El ensayo consiste en verter la muestra en el tubo del viscosímetro y después se deja caer al matraz. Se toma el tiempo en llegar al aforo y se registra como segundos Saybolt Furol (ssf).

- c) Ensayo de sedimentación en las emulsiones asfálticas (MTC E 404 - 2000).

El objetivo de este ensayo es determinar la tendencia de los glóbulos de asfalto a sedimentar a lo largo de un período de tiempo (tiempo de almacenamiento).

El ensayo consiste en verter en una probeta una muestra de emulsión y se deja reposar durante 5 días, al final de este tiempo se toman una muestra de la parte superior y otra de la parte inferior, se calcula el residuo por evaporación del agua de cada una y por diferencia se calcula el porcentaje de asentamiento de la emulsión.

- d) Ensayo de tamizado de las emulsiones asfálticas (MTC E 405 - 2000).

El objetivo de este ensayo es determinar la cantidad de producto asfáltico mal emulsionado que hay en una emulsión.

El ensayo consiste en verter la emulsión a través de un tamiz de 850 mm. (Nº 20), después se lava la malla, se seca y se pesa. Por diferencia de pesos se calcula el porcentaje de asfalto retenido en la malla.

- e) Ensayo de demulsividad de las emulsiones asfálticas (MTC E 406 -2000).

El objetivo de este ensayo es determinar la cantidad de material bituminoso que se separa de la emulsión, para poder así hallar la velocidad relativa en que los glóbulos de asfalto coalescen.

El ensayo consiste en mezclar una muestra de emulsión con una solución de cloruro de calcio (para emulsión aniónica) o con una solución de

dioctilsulfosuccinato de sodio (para emulsión catiónica) y verter a través del tamiz y se enjuaga hasta que el agua salga limpia. Luego se coloca en un horno para poder eliminar la cantidad de agua aún presente y se pesa, calculando así el porcentaje de demulsibilidad de la emulsión. Es aplicable para las emulsiones de rotura rápida y media.

- f) **Ensayo de carga de las partículas de las emulsiones asfálticas (MTC E 407 - 2000).**

El objetivo de este ensayo es identificar a las emulsiones asfálticas aniónicas y catiónicas.

El ensayo consiste en introducir en la emulsión una pareja de electrodos, uno positivo y otro negativo, unidos a una fuente de alimentación de corriente continua, observando, al cabo de un tiempo, en que electrodo se ha depositado la capa de ligante.

- g) **Ensayo de cubrimiento y resistencia al desplazamiento por el agua de las emulsiones asfálticas (MTC E 409 - 2000).**

Los objetivos de este ensayo es determinar la capacidad de una emulsión asfáltica a recubrir el agregado completamente, resistir el efecto de mezcla mientras permanece como película sobre los agregados y resistir la acción de lavado del agua una vez finalizada la mezcla. Es aplicable solo para las emulsiones de rotura media.

El ensayo consiste en recubrir el agregado con polvo de carbonato de calcio y luego mezclado con la emulsión asfáltica. La mitad de la mezcla se coloca sobre un papel absorbente para analizarlo visualmente y el resto de la mezcla es rociada con agua y lavada hasta que el agua salga clara. Este material se coloca sobre un papel absorbente, y se examina el recubrimiento. Se repite el ensayo, pero en esta ocasión, se debe de agregar agua a la emulsión y analizar el recubrimiento.

- h) **Ensayo de estabilidad de las emulsiones asfálticas (mezcla con cemento) (MTC E 410 - 2000).**

El objetivo de este ensayo es determinar el porcentaje de emulsión que rompe cuando se mezcla con cemento, es así como se determina la

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

capacidad de dicha emulsión para mezclarse, sin romper, con un material de alta superficie específica. Es aplicable solo para las emulsiones de rotura lenta.

El ensayo consiste en mezclar una muestra de emulsión asfáltica con cemento portland finamente molido; la mezcla debe lavarse sobre el tamiz de 1.40 mm. (Nº 14) y el porcentaje retenido en dicha malla se considera como la emulsión rota.

Al realizar el ensayo de destilación, obtenemos el residuo asfáltico que debe ser caracterizado con los siguientes ensayos:

- i) Ensayo de solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno (MTC E 302 - 2000).

El objetivo de este ensayo es determinar los constituyentes cementantes activos en el residuo asfáltico y los contaminantes inorgánicos.

El ensayo consiste en disolver el cemento asfáltico en el solvente y se pasa a través de un papel filtro. El material insoluble es lavado, secado y pesado.

- j) Ensayo de penetración de materiales asfálticos (MTC E 304 – 2000).

El objetivo de este ensayo es determinar la penetración o dureza del residuo asfáltico a una temperatura específica.

El ensayo consiste en verter una muestra de residuo asfáltico a una cápsula, se deja enfriar y posteriormente se sumerge a un baño de agua a 25 °C (77 °F) por un tiempo determinado. Luego se deja caer una aguja normalizada durante cinco segundos y se mide la penetración.

- k) Ensayo de ductilidad de los materiales bituminosos (MTC E 306 - 2000).

El objetivo de este ensayo es determinar la ductilidad de los materiales asfálticos, de consistencia sólida y semisólida.

El ensayo consiste en someter a una briqueta a un ensayo de tracción, luego de que ha sido llevado en un baño de agua a la temperatura de prueba. Finalmente, se estira a una velocidad normalizada hasta que la

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

muestra se rompa. La distancia a la cual se rompe la muestra se le llama ductilidad.

- l) Ensayo del punto de ablandamiento de materiales bituminosos (Anillo y bola) (MTC E 307 - 2000).

El objetivo de este ensayo es determinar el punto de ablandamiento para poder tener un valor índice de la tendencia del material a fluir cuando se somete a temperaturas elevadas.

El ensayo consiste en calentar a una velocidad controlada dos discos horizontales de material bituminoso, que soportan cada uno de ellos una bola de acero. Cuando los discos se ablanden lo suficiente, dejarán caer las bolas de acero cubiertas con el material bituminoso desde una distancia de 1". El promedio de las dos temperaturas registradas se le llama punto de ablandamiento.

- m) Ensayo de recuperación elástica por torsión de asfaltos modificados (MTC E 320 - 2000).

El objetivo de este ensayo es determinar el grado de elasticidad que presentan los residuos de asfalto modificado.

El ensayo consiste en sumergir, en la muestra derretida de residuo asfáltico, un cilindro de dimensiones especificadas y luego de enfriarse, es torsionado un ángulo de 180 ° C. Luego de un tiempo determinado, se determina el ángulo recuperado, hallando el porcentaje de recuperación.

A continuación se muestran los Cuadros 4.1 y 4.2, donde observa los principales ensayos que se realizaron a la emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta de asfalto base 85-100 (CSS-1h) y los principales ensayos que se realizaron al residuo asfáltico, respectivamente. Además se muestra las especificaciones para las emulsiones catiónicas y para el residuo dados por la ASTM D-2397. El producto utilizado y los resultados fueron brindados por la empresa proveedora de emulsiones asfálticas, TDM Asfaltos S.A.C..

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

Cuadro 4.1: Ensayos sobre la emulsión catiónica de rotura lenta.

ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN	MÉTODO	UNID.	RESULT.	ESPECIF.
Viscosidad Saybolt Furol, 25 °C	ASTM D 244-00	ssf.	34	20 – 100
Estabilidad por almacenamiento, 24 horas	ASTM D 244-00	%	0.5	Máx. 1
Residuo por evaporación, 163 °C, 3 horas	ASTM D 244-00	%	61.2	Mín. 57
Prueba del tamiz N° 20, 25 °C	ASTM D 244-00	%	0	Máx. 0.1
Mezcla con cemento	ASTM D 244-00	%	0.3	Máx. 2
Carga de particular	ASTM D 244-00	%	+	+

Cuadro 4.2: Ensayos sobre el residuo asfáltico de la emulsión.

ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO	MÉTODO	UNID.	RESULT.	ESPECIF.
Penetración, 25 °C, 100 g., 5 seg.	ASTM D 5	dmm.	86	40 – 90
Ductibilidad, 25 °C, 5 cm./min.	ASTM D 113	cm.	76	Mín. 40
Solubilidad en tricloroetileno	ASTM D 2042	%	99.5	Mín. 97.5

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los pavimentos con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales conglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos.

4.2.1 Consideraciones acerca del empleo de los agregados

Los agregados para mezclas asfálticas se emplean en combinación con el asfalto o derivados de este, como los agregados constituyen el 90% en peso de dichas mezclas, sus propiedades tienen gran influencia sobre el producto terminado. Los agregados más utilizados son la piedra, grava chancada o natural, arena chancada y arena natural.

Como se mencionó, las propiedades de los agregados influirán en el producto final; es por eso que se deben considerar algunos aspectos fundamentales para su buen desempeño a la hora de formar parte en alguna de las capas del pavimento y principalmente en la elaboración de las mezclas asfálticas. A continuación se mencionan los aspectos fundamentales de los agregados:

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

a) Naturaleza e identificación:

Incluye la naturaleza petrográfica de los agregados, grado de alteración de los componentes minerales, porosidad y propiedades químicas.

b) Propiedades geométricas:

Incluye básicamente la forma y angularidad de las partículas.

c) Propiedades mecánicas:

Incluye a los parámetros de resistencia al desgaste y al pulimento.

d) Ausencia de impurezas:

Es fundamental la ausencia de impurezas capaces de afectar el buen comportamiento de las capas. Si se emplean agregados sucios en la construcción de un pavimento, puede provocar la degradación rápida de este.

e) Adhesividad:

Es fundamental que los agregados sean afines con los ligantes asfálticos que van a ser empleados en la construcción del pavimento, se pueden utilizar aditivos que garanticen un buen comportamiento de las mezclas asfálticas.

4.2.2 Evaluación de afinidad con el agregado pétreo

Gracias al avance de la tecnología de las emulsiones, muy en particular de las emulsiones catiónicas, se ha mejorado algunas características que hasta hace un tiempo atrás eran consideradas indeseables, desde el punto de vista de afinidad asfalto – agregado.

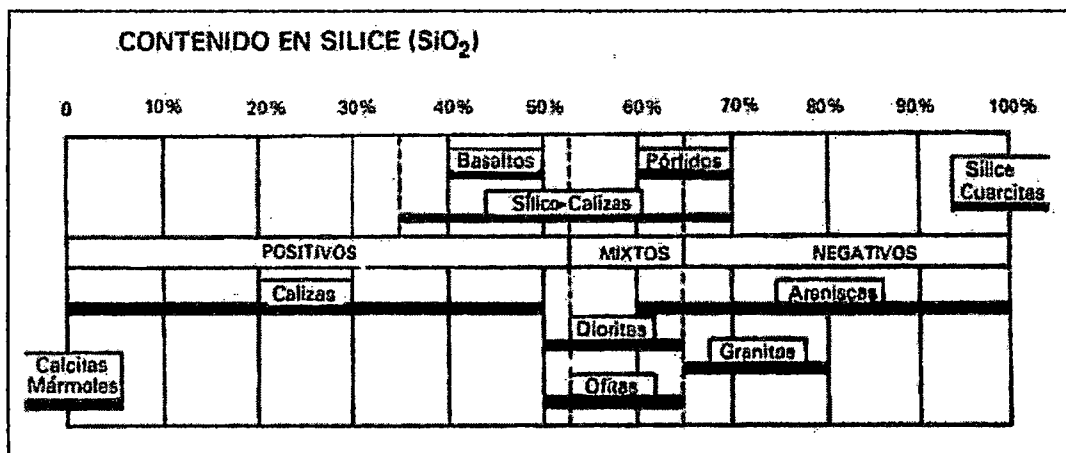
Todos estos hechos conducen a que en la actualidad se considere más racional adaptar la emulsión asfáltica al agregado, y no a la inversa. Para encontrar a la emulsión adecuada se debe de seguir los siguientes pasos:

- Obtener un recubrimiento inicial no menor que 80%, tanto en las mezclas como en riegos al realizar el mezclado (adherencia activa).
- Efectuar mezclados en un tiempo razonable sin rompimiento prematuro, conservando la mezcla una buena trabajabilidad.
- Lograr que la rotura de la emulsión, una vez recubierto, se logre en un tiempo relativamente corto, dando lugar a un rápido desarrollo de cohesión, importante para iniciar la compactación.

- Producir una película que, una vez, curada, presente resistencia a la acción perjudicial del agua (adherencia pasiva).

Durante mucho tiempo hubo que decidir entre una emulsión aniónica y una catiónica y esta decisión estuvo fuertemente influenciada por la conocida clasificación de los agregados, debida a Bellanger y Duriez. Esta se basa en los contenidos porcentuales de sílice, mostrada en la Figura 4.1.

Figura 4.1: Clasificación de los agregados, debida a Bellanger y Duriez, basada en contenidos porcentuales de sílice.



Fuente: MUSURUANA, Eliodoro – SÁNCHEZ DE ROSACO, Susana – LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS EN LAS CONSTRUCCIONES VIALES – 1998.

La experiencia indica que las emulsiones catiónicas solo pueden utilizarse para la mayoría de los agregados, tanto silicios y calizos; esto se debe a la gran variedad de emulsificantes catiónicos que existen en la actualidad en el mercado.

De acuerdo a los antecedentes, resulta aconsejable dar prioridad a una emulsión catiónica frente a una aniónica, aún tratándose de agregados netamente calizos. Por ese motivo en la mayoría de países la producción de emulsiones catiónicas es mucho mayor que la producción de emulsiones aniónicas, además las empresas peruanas dedicadas a la producción de emulsiones solo fabrican emulsiones catiónicas.

Por lo explicado anteriormente se realizará ensayos para determinar el porcentaje de óxido de silicio y de carbonato de calcio, compuestos químicos que se encuentran en mayor proporción y que le dan la carga iónica a la

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

superficie del agregado. Los resultados realizados a los agregados serán mostrados más adelante, en el punto 4.2.4.

Además debe mencionarse que el requerimiento del tercer punto es más fácilmente logrado con las emulsiones catiónicas, donde la rotura se inicia apenas las micelas de asfalto emulsionado entran en contacto con el agregado. La liberación de agua, y el desarrollo de la cohesión se producen con mayor velocidad y son afectados en mucho menor medida por las condiciones climáticas.

El desarrollo de la cohesión es una etapa caracterizada por el aumento de la viscosidad de la capa de bitumen que recubre al agregado, debido a la progresiva transformación de la emulsión en cemento asfáltico. Dicho aumento de viscosidad se produce a diferente velocidad según el tipo de emulsión catiónica de que se trate.

Para poder evaluar si una emulsión catiónica es apta para mezclar con el agregado en estudio, es imprescindible evaluar la compatibilidad de cada emulsión con el agregado seleccionado, en especial si el mismo tiene un bajo equivalente de arena.

Una vez confirmado que una emulsión dada es capaz de mezclar y/o recubrir el agregado de la obra (adherencia activa), debe ser verificado el comportamiento en el tiempo de la película asfáltica (adherencia pasiva).

No existe un ensayo universalmente aceptado para medir o comparar la adherencia asfalto – agregado. Los métodos disponibles tienen fundamentos muy variados, desde someter a la mezcla a la acción del agua a temperatura ambiente en forma estática, hasta aplicar un tiempo determinado de ebullición con agua a una mezcla curada. Por otro lado, algunos introducen factores externos que pretenden reproducir el tráfico en el pavimento. En la medida que se desarrollen métodos que reproduzcan fielmente las condiciones más severas a las que se verá sometido el pavimento, esto es la acción abrasiva del tráfico en presencia de agua, los métodos ganarán aceptación. Además se desea que los nuevos métodos dejen de lado los factores de subjetividad, como el mezclado manual, evaluación visual del recubrimiento, entre otros.

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

4.2.3 Especificaciones que deben de cumplir los agregados

4.2.3.1 Agregados gruesos

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz N°4. A continuación se presenta los ensayos que se deben de realizar para caracterizar los agregados gruesos según las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2000):

- a) Ensayo de peso unitario y vacíos de agregados gruesos (MTC E 203 – 2000 / ASTM C 29).

El objetivo de este ensayo es obtener el peso unitario suelto y compactado de los agregados gruesos, estos valores son útiles para hacer las transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa.

El ensayo para peso unitario compactado consiste en colocar el agregado en un recipiente en tres capas compactando con 25 golpes por capa con una varilla. Luego debe pesarse el recipiente de volumen conocido.

El ensayo para peso unitario suelto se debe llenar el recipiente pero sin compactar y se debe pesar el recipiente de volumen conocido.

- b) Ensayo de análisis granulométrico de agregados gruesos (MTC E 204 – 2000 / ASTM C 136).

El objetivo de este ensayo es determinar, cuantitativamente, los tamaños de las partículas de agregados gruesos por medio de tamices normalizados.

El ensayo consiste en hacer pasar cierta cantidad de muestra por dichos tamices normalizados, ordenados de mayor a menor abertura, y pesar los materiales retenidos en cada una de ellos; para poder así hallar el porcentaje acumulado que pasa y poder realizar la curva granulométrica.

Para una mejor comprensión de este ensayo se debe conocer estos dos términos, el tamaño máximo y el tamaño máximo nominal:

- El tamaño máximo del agregado es el tamiz de menor abertura por el cual pasa el 100% del material.
- El tamaño máximo nominal es el tamiz de mayor abertura que retiene más del 10% del material.

c) **Ensayo de gravedad específica y absorción de agregados gruesos (MTC E 206 -2000 / ASTM C 127).**

El objetivo de este ensayo es determinar la relación entre el peso y el volumen del agregado y así poder hallar el contenido de vacíos de las mezclas asfálticas al realizar el ensayo Marshall.

El ensayo consiste en hallar los pesos de las muestras gruesas a diferentes condiciones, peso de la muestra seca, peso de la muestra saturada con superficie seca y peso sumergido en agua de la muestra saturada; para poder así hallar la gravedad específica y la absorción del agregado.

Para una mejor comprensión de este ensayo se debe conocer estos términos:

- El peso específico de un agregado es la proporción entre el peso de un volumen de material y el peso de un volumen igual de agua a temperatura entre 20 y 25°C.
- El peso específico seco aparente es la proporción entre el peso de un volumen seco de material y el peso de un volumen igual de agua, excluyendo los vacíos accesibles al agua.
- El peso específico seco bulk (base seca) es la proporción entre el peso de volumen seco de material y el peso de un volumen igual de agua, incluyendo los vacíos accesibles de agua.
- El peso específico saturada superficialmente seca bulk es la proporción entre el peso de volumen saturado superficialmente seco y el peso de un volumen igual de agua, incluyendo los vacíos accesibles de agua.

d) **Ensayo de abrasión de los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm. (1 ½") (MTC E 207 – 2000 / ASTM C 131).**

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia al desgaste de agregados debido a que estos deben de resistir la producción, colocación y compactación y sobre todo los esfuerzos ejercidos durante la vida de servicio.

El ensayo consiste en tomar una muestra de agregado grueso e introducirla en la Máquina de los Ángeles, junto con las cargas abrasivas, que depende de los porcentajes retenidos en cada malla. Se hace rotar a 500 revoluciones durante 15 minutos. Finalizado la rotación, el material debe ser tamizado por la malla N°12, se lava y se pesa, calculando de esta manera el porcentaje de desgaste.

- e) **Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio (MTC E 209 – 2000 / ASTM C 88).**

El objetivo del ensayo es determinar la resistencia del agregado grueso al deterioro por acción de los agentes climáticos durante la vida útil de la obra.

El ensayo consiste en exponer a la muestra de agregado en ciclos alternativos de baño de inmersión en una solución de sulfato de sodio o magnesio y secado al horno. Una inmersión y un secado se consideran un ciclo de durabilidad, se deben de realizar cinco ciclos de durabilidad para este ensayo.

- f) **Ensayo de porcentaje de caras fracturadas en los agregados (MTC E 210 – 2000 / ASTM D 5821).**

El objetivo de este ensayo es determinar la angulosidad e irregularidad del agregado, ya que este influye en la resistencia del esqueleto mineral, debido a que existe un mayor entrelazamiento al ser compactadas.

El ensayo consiste en separar la muestra por tamices y en hacer una inspección y detección de las partículas fracturadas con una, dos o más de dos caras de fracturas, separándolas de las partículas redondeadas. Se debe pesar las cantidades con caras de fracturas para hallar el porcentaje requerido.

- g) **Ensayo de sales solubles en agregados para pavimentos flexibles (MTC E 219 – 2000 / ASTM D 1889).**

El objetivo del ensayo es determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados empleados en mezclas asfálticas.

El ensayo consiste en someter al agregado a continuos lavados con agua destilada a ebullición. La presencia de sales se debe detectar mediante reactivos químicos, los cuales al menor indicio de sales forman precipitados fácilmente visibles. Del agua total de lavado, una porción debe de cristalizarse para determinar la cantidad de sales presentes.

h) Ensayo del índice de aplanamiento de los agregados – Partículas chatas y alargadas (MTC E 221 – 2000).

El objetivo de este ensayo es determinar el porcentaje en peso de las partículas chatas (dimensión mínima es inferior a $3/5$ de la dimensión media) y alargadas (dimensión máxima es superior a $9/5$ de la dimensión media). Este tipo de agregados son peligrosas, debido a que en el proceso de compactación o por el efecto del tráfico, se pueden romper y variar la granulometría del agregado.

El ensayo consiste en separar la muestra por tamices y se debe tomar muestras representativas de cada uno para poder pasarlos por el calibrador de aplanamiento y por el calibrador de alargamiento. Se debe pesar la cantidad que pasa y comparada con el peso total, se obtiene los índices de aplanamiento y de alargamiento.

Se debe también evaluar al agregado con ligante asfáltico usado para poder hallar la adhesividad que existe entre el agregado y la mezcla asfáltica.

i) Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos (incluye emulsiones) en presencia del agua (stripping) (MTC E 517 – 2000 / ASTM D 2489).

El objetivo de este ensayo es determinar el grado de cubrimiento del agregado en una mezcla bituminosa, en este caso con una emulsión asfáltica.

El ensayo consiste en mezclar vigorosamente agregados secos con emulsión asfáltica para luego ser curados a 135°C por dos horas y seguir con un remezclado. Se debe cubrir con cierta cantidad de agua y dejar reposar de 16 a 18 horas, para luego estimar visualmente el porcentaje de cubrimiento del agregado.

Ya que el objetivo final de la mezcla asfáltica en frío es servir de carpeta de rodadura y como trabajos de bacheo, entonces para tomar en cuenta que el agregado grueso es de buena calidad, los resultados se compararán con las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2000) y se tomarán como referencia otras normas como la del Manual de las Mezclas Asfálticas en Frío del Instituto del Asfalto (MS - 14), el Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales SIECA y el Método de la Universidad de Illinois como se muestra en el Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3: Ensayos de calidad de agregados gruesos.

ENSAYO	MTC	ASTM	AASHTO	ESPECIFICACIÓN				
				MS - 14	Sieca	Illinois	EG - 2000	
							< 3000 m.s.n.m.	> 3000 m.s.n.m.
Peso unitario y vacíos	E 203	C - 29						
Gravedad específica y absorción	E 206	C - 127	T 85				1 %	Según diseño
Abrasión de los Ángeles	E 207	C - 131	T 96	40 % máx.	40 % máx.	45 % máx.	40 % máx.	35 % máx.
Durabilidad (Sulfato de Magnesio)	E 209	C - 88	T 104		12% máx.		18 % máx.	15 % máx.
Caras fracturadas	E 210	D - 5821			75 % mín.	65 % mín.		
Sales solubles	E 219	D - 1889					0.5 % máx.	0.5 % máx.
Partículas chatas y alargadas	E 221						10% máx.	10 % máx.
Adherencia agregado - bitumen	E 517	D - 2489					+95	+95

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.2 Agregados finos

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz N°4 y queda retenido en el tamiz N°200. A continuación se presenta los ensayos que se deben de realizar para caracterizar los agregados finos según las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2000):

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

- a) Ensayo de determinación del límite líquido de suelos (MTC E 110 – 2000 / ASTM D 4318).

El objetivo de este ensayo es determinar el contenido de humedad para el cual el suelo se encuentra entre el estado plástico y el estado líquido.

El ensayo consiste en tomar una muestra y colocarla en la cuchara de Casagrande con cierto contenido de humedad para poder cerrar la ranura del suelo con cierta cantidad de golpes. El límite líquido será el contenido de humedad al dar 25 golpes, para hallarlo debe pesarse el material húmedo y el material después del secado.

- b) Ensayo de determinación del límite plástico e índice de plasticidad (MTC E 111 – 2000 / ASTM D 4318).

El objetivo de este ensayo es determinar el contenido de humedad para el cual el suelo se encuentra entre el estado plástico y semi-sólido.

El ensayo consiste en tomar una muestra y realizar barritas de 1/8", con la humedad más baja, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichas barritas se desmoronen. Si es que no ocurre desmoronamiento, se debe pesar la barrita húmeda y la barrita después del secado.

Para determinar el índice de plasticidad se debe restar el límite líquido menos el límite plástico, así se determina si el suelo tiene plasticidad, que será perjudicial para mezclas asfálticas.

- c) Equivalente de arena, suelos y agregados finos (MTC E114 – 2000 / ASTM D 2419).

El objetivo de este ensayo es determinar la proporción de polvo fino nocivo o material arcilloso.

El ensayo consiste en tomar una muestra representativa y colocarla en probetas graduadas que contienen una disolución lavadora, dejándose reposar durante 10 minutos. Después se debe agitar la probeta durante 30 segundos para luego colocar la probeta en posición vertical de reposo. Se enjuaga las paredes con la disolución lavadora hasta llegar a la base de la probeta aplicando una ligera rotación para lograr una subida de los finos y de materiales arcillosos, esto se realiza hasta que la disolución

llegue hasta la marca superior de la probeta. Finalmente se deja reposar durante 20 minutos y se realizan las mediciones y cálculos respectivos para hallar la proporción de polvo nocivo o material arcilloso en el agregado fino.

- d) Ensayo de material fino que pasa por el tamiz N° 200 (MTC E 202 – 2000 / ASTM C 117).

El objetivo de este ensayo es determinar, por lavado, la cantidad de material fino que pasa el tamiz N°200.

El ensayo consiste en tomar una muestra representativa y agregar agua hasta cubrirla, provocando la suspensión del material fino. Luego se debe pasar el material por el tamiz N°200 y el agregado retenido debe ser secado y pesado. Por diferencia de pesos y comparando con el peso inicial se halla el material más fino que pasa la malla N°200.

- e) Ensayo de peso unitario y vacío de agregados finos (MTC E 203 – 2000 / ASTM C 29).

El objetivo y el procedimiento es el mismo que para el agregado grueso que fue especificado en el 4.2.2.1 a.

- f) Ensayo de análisis granulométrico de agregados finos (MTC E 204 – 2000 / ASTM C 136).

El objetivo y el procedimiento es el mismo que para el agregado grueso que fue especificado en el 4.2.2.1 b.

- g) Ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E 205 – 2000 / ASTM C 128).

El objetivo y las definiciones son las mismas que para el agregado grueso que fue especificado en el 4.2.2.1 c.

El ensayo consiste en hallar los pesos de las muestras finas a diferentes condiciones, peso de la muestra seca, peso de la muestra saturada con superficie seca y peso sumergido en agua de la muestra saturada; para poder así hallar la gravedad específica y la absorción del agregado. A

diferencia de los agregados gruesos, en este caso se utiliza un picnómetro de peso conocido.

- h) Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio (MTC E 209 – 2000 / ASTM C 88).

El objetivo y el procedimiento es el mismo que para el agregado grueso que fue especificado en el 4.2.2.1 e.

- i) Ensayo de impurezas orgánicas en el agregado fino (MTC E 213 – 2000 / ASTM C 40).

El objetivo de este ensayo es determinar la presencia y el contenido de materia orgánica en el agregado fino.

El ensayo consiste en introducir el agregado fino en un frasco e incorporarle hidróxido de sodio para poder determinar el color del líquido que sobrenada encima de la muestra después del reposo. Este color es comparado con el de la solución normal o con la tableta de vidrio con los cinco colores estándares.

- j) Ensayo de sales solubles en agregados para pavimentos flexibles (MTC E 219 – 2000 / ASTM C 1889).

El objetivo y el procedimiento es el mismo que para el agregado grueso que fue especificado en el 4.2.2.1 g.

Se debe también evaluar al agregado con el ligante asfáltico usado para poder hallar la adhesividad que existe entre el agregado y la mezcla asfáltica.

- k) Ensayo de adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos – Riedel Weber (MTC E 220 - 2000).

El objetivo de este ensayo es determinar la adhesividad del agregado fino con los ligantes asfálticos.

El ensayo consiste en mezclar agregado fino con emulsión asfáltica y dejar reposar durante un cierto intervalo de tiempo, para luego formar 10 esferas de 0.50 gramos, colocarlas en tubos de ensayos con líquido y colocarlas sobre un mechero para que con un análisis visual determinar

el índice de adhesividad que va desde "0" al "9". El valor de "0" es cuando el líquido es agua destilada y los valores crecientes son para carbonatos de sodio de grado creciente.

Al igual que para el agregado grueso, para los agregados finos se debe tomar en cuenta las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2000) y se tomarán como referencia otras normas como la del Manual de las Mezclas Asfálticas en Frío del Instituto del Asfalto (MS - 14), el Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales SIECA y el Método de la Universidad de Illinois como se muestra en el Cuadro 4.4.

Cuadro 4.4: Ensayos de calidad de agregados finos.

ENSAYO	MTC	ASTM	AASHTO	ESPECIFICACIÓN				
				MS - 14	Sieca	Illinois	EG - 2000	
							< 3000 m.s.n.m.	> 3000 m.s.n.m.
Límite Líquido (malla N°40)	E 110	D - 4318	T 89					
Límite Líquido (malla N°200)	E 110	D - 4318	T 89					
Índice de Plasticidad (malla N°40)	E 111	D - 4318	T 90				NP	NP
Índice de Plasticidad (malla N°200)	E 111	D - 4318	T 90				4 % Máx	NP
Equivalente de Arena	E 114	D - 2419	T 176	35 % mín.	35 % mín.	25 % mín.	45 mín. - 55 mín.	45 mín. - 55 mín.
Peso unitario y vacíos	E 203	C - 29						
Gravedad específica y absorción	E 205	C - 128	T 84				0.5 %	Según diseño
Durabilidad (Sulfato de Magnesio)	E 209	C - 88	T 104		12 % máx.			
Impurezas Orgánicas	E 213	C - 40	T 21					
Sales Solubles	E 219	D - 1889						
Riedel Weber	E 220						4 % mín.	6 % mín

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.3 Relleno mineral (Filler)

- a) Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E 205 – 2000 / ASTM C 128).

El objetivo de este ensayo es determinar la relación entre el peso y el volumen de los agregados más finos, incluyendo el filler y así poder hallar el contenido de vacíos de las mezclas asfálticas al realizar el ensayo Marshall.

El ensayo consiste en hallar los pesos de las muestras de filler a diferentes condiciones, peso de la muestra seca, peso de la muestra saturada con superficie seca y peso sumergido en agua de la muestra saturada; para poder así hallar la gravedad específica y la absorción del filler. A diferencia de los agregados, en este caso se utiliza el frasco de Le Chatelier.

- b) Análisis granulométrico del relleno mineral (MTC E 216 – 2000 / ASTM D 546).

El objetivo de este ensayo es determinar, cuantitativamente, los tamaños del filler mineral por medio de tamices normalizados.

El ensayo consiste en pasar el filler por los tamices N° 30, N° 50 y N° 200, para esto, se debe lavar el material con un chorro de agua del caño. Finalmente se debe secar el residuo de cada tamiz y determinar el peso retenido, así como el porcentaje de material pasante de cada tamiz.

4.2.4 Análisis de los resultados de los ensayos a los agregados

Los agregados que se utilizarán para este estudio son los materiales de la Cantera Santa Rosa y de la Cantera Km. 770+100, la primera es una cantera de río y la segunda es una cantera de cerro, ambas canteras pertenecen a la Carretera Interoceánica Sur – Tramo I. La primera está ubicada en el Km. 389+500, en el Quinto Sector de esta Carretera llamado Chalhuanca – Empalme Ruta 03S, en el Departamento de Ayacucho; y la segunda en el Km. 770+100, en el Sexto Sector de la Carretera llamado Empalme Ruta 03S - Abancay, en el Departamento de Apurímac. Por cuestión de orden a la Cantera Km. 770+100 se identificará como Cantera “S/N” (Sin Nombre) debido a que el otro dato sería la ubicación dentro del Tramo Carretero.

4.2.4.1 Composición química

Ensayo para determinar la cantidad de óxido de silicio y carbonato de calcio.

Cuadro 4.5: Contenido de óxido de silicio y de carbonato de calcio en los agregados.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM. 770+100)
Óxido de silicio (%)	78.03	5.34
Carbonato de calcio (%)	5.16	91.50

Según el Cuadro 4.5, se observa que los dos agregados son de una composición química opuesta, ya que tienen los dos compuestos químicos más representativos de un agregado en cantidades muy diferenciadas. Se observa que el agregado de la Cantera Santa Rosa tiene un porcentaje de óxido de silicio mucho mayor que la Cantera S/N y un porcentaje de carbonato de calcio mucho menor. Respecto a estos valores obtenidos se demuestra que el agregado de la Cantera Santa Rosa es un agregado silicio, en cambio el agregado de la Cantera S/N es calizo; en este segundo caso puede ser que se generen problemas de adherencia en la mezcla debido al origen del agregado. Esta hipótesis se demostrará en los resultados de los ensayos de adherencia a los agregados y en el ensayo de tracción indirecta evaluado en el Capítulo VI.

4.2.4.2 Agregados gruesos

- a) Ensayo de peso unitario y vacíos de agregados gruesos (MTC E 203 – 2000 / ASTM C 29).

Cuadro 4.6: Peso unitario suelto y varillado de los agregados gruesos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1.448	1.409
Peso unitario varillado	1.530	1.489

Suponiendo que se necesita una tonelada de agregado grueso para elaborar una mezcla asfáltica en frío. Entonces para cada uno de estos

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

agregados se necesitará diferente cantidad de volumen y cantidad de volquetes con el que se trasladará a obra que dependerá de los pesos unitarios hallados en el cuadro anterior.

Cuadro 4.7: Cantidad de volumen y de volquetes para una tonelada de agregados gruesos.

	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
VOLUMEN (M3)	690.61	709.72
	691	710
VOLQUETES (15 M3)	46.07	47.33
	46	48

Según el Cuadro 4.7, se observa que a menor peso unitario suelto se necesitará mayor volumen, por ende se necesitará mayor cantidad de volquetes y mayor costo de transporte.

- b) Ensayo de análisis granulométrico de agregados gruesos (MTC E 204 – 2000 / ASTM C 136).

Cuadro 4.8: Granulometría de los agregados gruesos

Malla	CANTERA SANTA ROSA		CANTERA KM 770+100	
	Retiene %	Pasa %	Retiene %	Pasa %
1"				100
¾"		100	15	85
½"	5	95	62	23
3/8"	42	53	21	2
¼"	41	12	-	2
Nº 4	8	4	1	1
Nº 6	2	2	-	1
Nº 8	1	1	-	1
Nº 10	-	1	-	1
Nº 16	1	-	-	1
Nº 20			-	1
Nº 30			1	-
Nº 40				
Nº 50				
Nº 80				
Nº 100				
Nº 200				
<Nº 200				

Gráfico 4.1: Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso de la
 Cantera Santa Rosa.

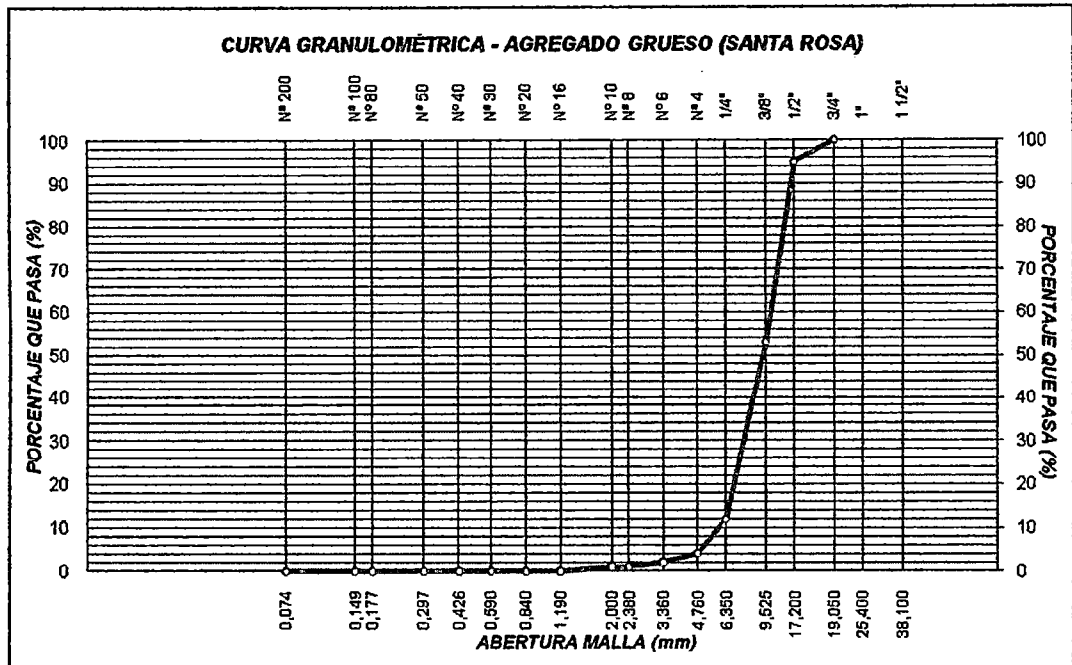
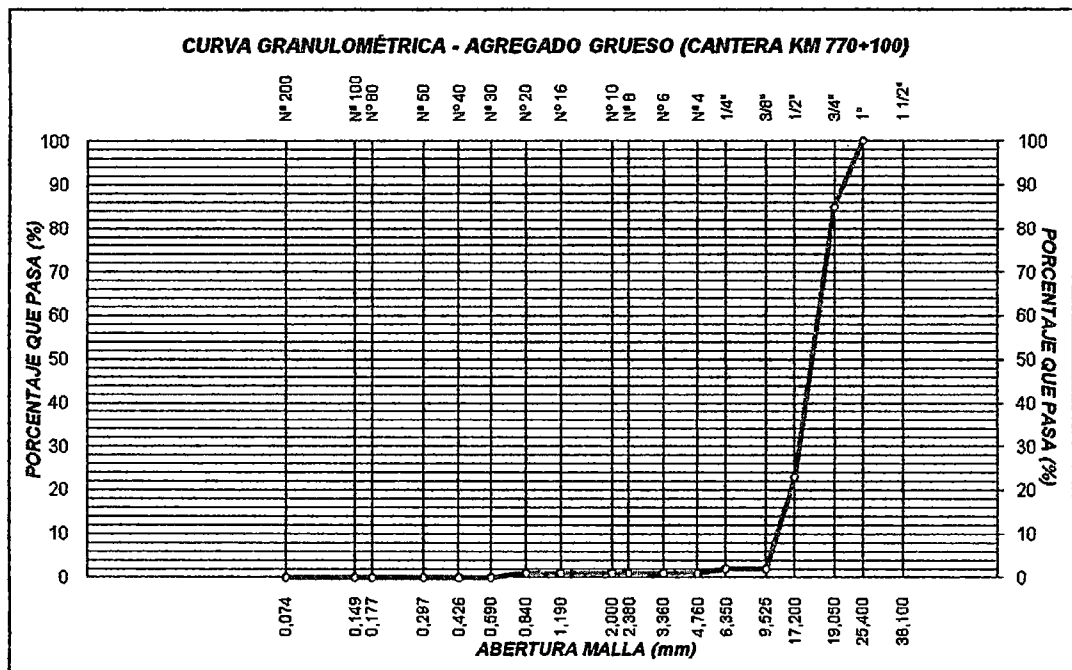


Gráfico 4.2: Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso de la
 Cantera S/N (Km 770+100).



Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

Según el Cuadro 4.8 y los Gráficos 4.1 y 4.2, se observa que el agregado de la Cantera Santa Rosa tiene un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ ", valor que es menor al agregado grueso de la Cantera S/N, cuyo tamaño máximo es de 1". Respecto a estos valores se podría decir que la mezcla asfáltica en frío que se realizará con el agregado de la Cantera S/N tendrá un esqueleto de mayores dimensiones que la mezcla con el agregado de la Cantera Santa Rosa, pudiendo dar mayores valores de estabilidad esto podrá comprobarse al realizar los diseños de mezcla.

También se observa que la Cantera Santa Rosa tiene un mayor porcentaje de finos, del orden de 4%, mientras que la Cantera S/N tiene alrededor de 1% de finos.

- c) Ensayo de gravedad específica y absorción de agregados gruesos (MTC E 206 -2000 / ASTM C 127).

Cuadro 4.9: Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Peso específico Bulk (Base Seca)	2.576	2.601
Peso Específico Bulk (Base Saturada)	2.614	2.621
Peso Especifico Aparente (Base Seca)	2.676	2.653
Absorción	1.5 %	0.7 %

Según el Cuadro 4.9, se observa que el agregado grueso de la Cantera Santa Rosa tiene un peso específico mayor que el agregado grueso de la Cantera S/N, aunque estos valores son muy cercanos. Los valores de los pesos específicos influirán en el peso específico del agregado global utilizado en la mezcla y del porcentaje de vacíos totales que presente la mezcla final.

También se observa que el agregado grueso procedente de la Cantera Santa Rosa tiene un mayor porcentaje de absorción, esto quiere decir que absorberá mayor cantidad de asfalto residual, lo cual podrá comprobarse al realizar los diseños de mezcla.

- d) Ensayo de abrasión de los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm. (1 ½") (MTC E 207 – 2000 / ASTM C 131).

Cuadro 4.10: Abrasión de los Ángeles de los agregados gruesos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Abrasión (%)	18 % - Gradación "C" - 8 esferas	21 % - Gradación "B" - 12 esferas

Según el Cuadro 4.10, se observa que el agregado grueso de la Cantera Santa Rosa tiene una resistencia a la abrasión mayor que el agregado grueso de la Cantera S/N, aunque estos valores son muy cercanos. Además se debe de mencionar que si se quiere realizar una comparación, estos resultados podrían no ser comparables debido a que la cantidad de esferas utilizadas para el ensayo fue diferente, debido a que depende del tamaño máximo nominal de cada una de los dos agregados.

- e) Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio (MTC E 209 – 2000 / ASTM C 88).

Cuadro 4.11: Durabilidad al sulfato de sodio de los agregados gruesos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Durabilidad (%)	3.97	0.69

Según el Cuadro 4.11, se observa que la resistencia a la disgregación debido a los sulfatos es buena, lo que nos indica que los dos agregados, en especial el de la Cantera S/N, resistirán los cambios de temperatura que se producen en obra.

- f) Ensayo de porcentaje de caras fracturadas en los agregados (MTC E 210 – 2000 / ASTM D 5821).

Cuadro 4.12: Porcentaje de caras de fractura de los agregados gruesos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Caras de fractura, 1 a más (%)	96 %	100 %
Caras de fractura, 2 a más (%)	93 %	100 %

Según el Cuadro 4.12, se observa que el agregado grueso de la Cantera Santa Rosa tiene un menor porcentaje de caras de fractura, en cambio la Cantera S/N tiene un porcentaje perfecto de caras de fractura. A mayores porcentajes de caras de fractura, habrá un mejor reacomodo de partículas en la mezcla resultando en una mezcla con menor porcentaje de vacíos y mayor resistencia, debido alrozmamiento de las partículas dentro del esqueleto mineral. Esto podrá comprobarse al realizar los diseños de mezcla.

- g) Ensayo de sales solubles en agregados para pavimentos flexibles (MTC E 219 – 2000 / ASTM C 1889).

Cuadro 4.13: Cantidad de sales solubles de los agregados gruesos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Sales solubles (%)	0.0178	0.0052

Según el Cuadro 4.13, se observa que el agregado grueso de la Cantera Santa Rosa tiene un mayor porcentaje de sales solubles que la Cantera S/N. De igual modo, estos porcentajes son muy bajos comparados con las especificaciones.

- h) Ensayo del índice de aplanamiento de los agregados – Partículas chatas y alargadas (MTC E 221 – 2000).

Cuadro 4.14: Cantidad de partículas chatas y alargadas de los agregados gruesos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Partículas chatas y alargadas (%)	1.0	2.0

Según el Cuadro 4.14, se observa que el agregado grueso de la Cantera Santa Rosa tiene un menor porcentaje de partículas chatas y alargadas que la Cantera S/N. De igual modo, estos porcentajes son muy bajos, lo que significa que a la hora de la compactación o al pasar el tráfico no ocurrirán grandes cambios en la granulometría por fractura de este tipo de partículas.

- i) Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos (incluye emulsiones) en presencia del agua (stripping) (MTC E 517 – 2000 / ASTM D 2489).

Cuadro 4.15: Adherencia de los agregados gruesos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Adherencia (%)	+ 95	+ 95

Según el Cuadro 4.15, se observa que los dos tipos de agregados gruesos tienen buena adherencia con la emulsión asfáltica de rotura lenta con asfalto residual base de 85 – 100. Aunque se debe mencionar que este ensayo es cualitativo y se encuentra en discusión porque muchas veces no refleja la adherencia de la muestra compactada.

En el Cuadro 4.16 se muestra el resumen de los resultados obtenidos en el Laboratorio para cada uno de los agregados gruesos en estudio con sus requerimientos exigidos, donde se puede apreciar si cumplen o no con las especificaciones. En cuanto a la absorción del agregado grueso de la Cantera Santa Rosa no cumple con los requerimientos exigidos, por lo cual se debe tener

cuidado especial en el diseño de la mezcla asfáltica en frío para que tenga un buen comportamiento.

A pesar de no cumplir con la propiedad de absorción, las otras propiedades si son adecuadas para los agregados gruesos y considerando que estas propiedades son generales, estas pueden ser modificadas según los requerimientos del proyecto y la disponibilidad de material cercana a la zona de la obra.

Cuadro 4.16: Cuadro resumen de las propiedades físicas y químicas de los agregados gruesos de las Canteras Santa Rosa y Km 770+100.

ENSAYO	AGREGADO GRUESO			
	CANTERA SANTA ROSA	CANTERA KM 770+100	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
			< 3000 m.s.n.m.	> 3000 m.s.n.m.
Peso unitario Suelto (Kg/m ³)	1.448	1.409		
Peso Unitario Varillado (Kg/m ³)	1.530	1.489		
Peso específico Bulk (Base Seca)	2.576	2.601		
Peso Específico Bulk (Base Saturada)	2.614	2.621		
Peso Específico Aparente (Base Seca)	2.676	2.653		
Absorción	1.5 %	0.7 %	1.0 %	Según diseño
Abrasión de los Ángeles	18 % Gradación "C" 8 Esferas	21 % Gradación "B" 11 Esferas	40 % máx.	35 % máx.
Durabilidad (Sulfato de Magnesio)	3.97	0.69	18 % máx.	15 % máx.
Caras fracturadas (1 o más caras de fractura)	96 %	100 %	85 % mín.	85 % mín.
Caras fracturadas (2 o más caras de fractura)	93 %	100 %	50 % mín.	50 % mín.
Sales solubles	0.0178 %	0.0052 %	0.5 % máx.	0.5 % máx.
Partículas chatas y alargadas	1.0 %	2.0 %	10 % máx.	10 % máx.
Adherencia agregado - bitumen	+ 95	+ 95	+ 95	+ 95

4.2.4.3 Agregados finos

- a) Ensayo de determinación del límite líquido de suelos (MTC E 110 – 2000 / ASTM D 4318).

Cuadro 4.17: Limite líquido de los finos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Límite líquido < N° 40 (%)	--	--
Límite líquido < N° 200 (%)	25	19

Según el Cuadro 4.17, se observa que ninguno de los dos materiales finos de las dos Canteras tiene un contenido de humedad para cambiar su comportamiento de un estado líquido a un estado plástico para el material que pasa la malla N° 40, en cambio si presenta valores de humedades para el material que pasa la malla N° 200. Estos valores serán tomados para hallar el índice de plasticidad.

- b) Ensayo de determinación del límite plástico e índice de plasticidad (MTC E 110 – 2000 / ASTM D 4318).

Cuadro 4.18: Límite plástico e índice de plasticidad de los finos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Límite plástico < N° 40 (%)	.-	.-
Límite plástico < N° 200 (%)	.-	.-
Índice de plasticidad < N° 40 (%)	NP	NP
Índice de plasticidad < N° 200 (%)	NP	NP

Según el Cuadro 4.18, se observa que ninguno de los dos materiales finos de las dos Canteras tiene un contenido de humedad para cambiar su comportamiento de un estado plástico a un estado semi-sólido. Por tal motivo, estos finos no presentarán comportamientos perjudiciales en la mezcla al contacto con el agua.

- c) Equivalente de arena, suelos y agregados finos (MTC E 114 - 2000 / ASTM D 2419).

Cuadro 4.19: Equivalente de arena de los agregados finos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Equivalente de arena (%)	70	80

Según el Cuadro 4.19, se observa que los dos agregados finos chancados tienen equivalentes de arena altos, superiores a los que indica las especificaciones, esto quiere decir que estos agregados están limpios, con un porcentaje mayor de limpieza en el agregado fino de la Cantera S/N. Por lo tanto el agregado de la Cantera Santa Rosa

necesitará mayor cantidad de agua de premezcla y mayor cantidad de asfalto residual, debido a la mayor superficie específica que tienen los materiales finos y sucios. Esto podrá comprobarse al realizar los diseños de mezcla.

- d) Ensayo de material fino que pasa por el tamiz N° 200 (MTC E 202 – 2000 / ASTM C 117).

Cuadro 4.20: Material más fino que la malla N° 200 de los agregados finos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Material fino < N° 200 (%)	8	8

Según el Cuadro 4.20, se observa que el material fino de las dos canteras son iguales y de un valor aceptable, esto quiere decir que es posible que al realizar la mezcla de agregados haya una cantidad aceptable de finos y por granulometría no sería necesario la utilización de filler en ninguna de las dos mezclas para aumentar la cantidad de finos.

- e) Ensayo de peso unitario y vacio de agregados finos (MTC E 203 – 2000 / ASTM C 29).

Cuadro 4.21: Peso unitario suelto y varillado de los agregados finos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1.570	1.632
Peso unitario varillado	1.812	1.797

Suponiendo que se necesita una tonelada de agregado fino para elaborar una mezcla asfáltica en frío. Entonces para cada uno de estos agregados se necesitará diferente cantidad de volumen y cantidad de volquetes con el que se trasladará a obra que dependerá de los pesos unitarios hallados en el cuadro anterior.

Cuadro 4.22: Cantidad de volumen y de volquetes para una tonelada de agregados finos.

	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
VOLUMEN (M3)	636.94	612.75
	637	613
VOLQUETES (15 M3)	42.47	40.87
	43	41

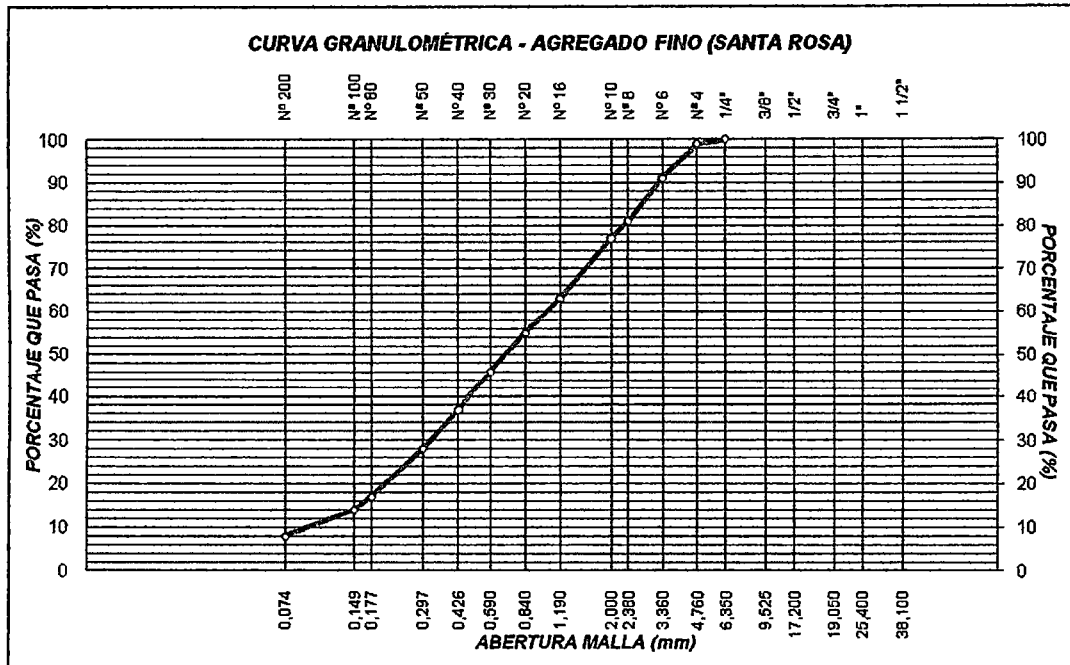
Según el Cuadro 4.22, se observa que a menor peso unitario suelto se necesitará mayor volumen, por ende se necesitará mayor cantidad de volquetes y mayor costo de transporte.

- f) Ensayo de análisis granulométrico de agregados finos (MTC E 204 – 2000 / ASTM C 136).

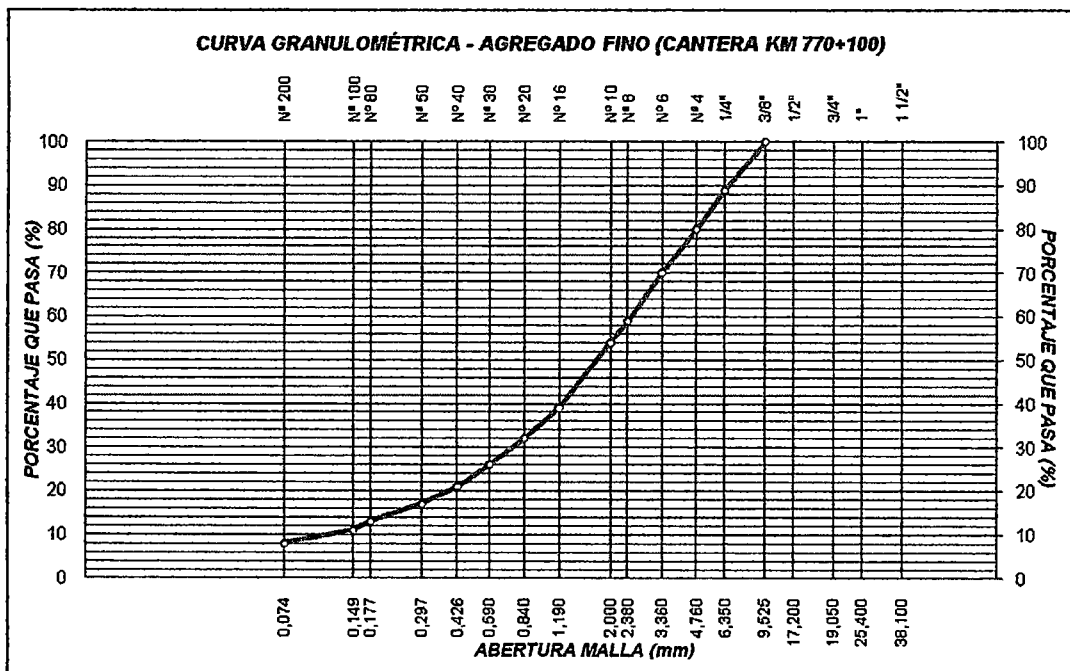
Cuadro 4.23: Granulometría de los agregados finos

Malla	CANTERA SANTA ROSA		CANTERA KM 770+100	
	Retiene %	Pasa %	Retiene %	Pasa %
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				100
1/4"		100	11	89
Nº 4	1	99	9	80
Nº 6	8	91	10	70
Nº 8	10	81	11	59
Nº 10	4	77	5	54
Nº 16	14	63	15	39
Nº 20	8	55	7	32
Nº 30	9	46	6	26
Nº 40	9	37	5	21
Nº 50	9	28	4	17
Nº 80	11	17	4	13
Nº 100	3	14	2	11
Nº 200	6	8	3	8
<Nº 200	8	-	8	-

Gráfica 4.3: Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino de la
Cantera Santa Rosa.



Gráfica 4.4: Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino de la
Cantera S/N (Km. 770+100).



Según el Cuadro 4.23 y las Gráficas 4.3 y 4.4, se observa que el agregado fino de la Cantera Santa Rosa tiene un tamaño máximo de $\frac{1}{4}$ ", valor que es menor al agregado fino de la Cantera S/N, cuyo tamaño máximo nominal es de $\frac{3}{8}$ ".

- g) Ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E 205 – 2000 / ASTM C 128).

Cuadro 4.24: Gravedad específica y absorción de los agregados finos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Peso específico Bulk (Base Seca)	2.631	2.668
Peso Específico Bulk (Base Saturada)	2.653	2.691
Peso Específico Aparente (Base Seca)	2.688	2.729
Absorción	0.80 %	0.84 %

Según el Cuadro 4.24, se observa que el agregado fino de la Cantera Santa Rosa tiene un peso específico menor que el agregado fino de la Cantera S/N. Los valores de los pesos específicos influirán en el peso específico del agregado global utilizado en la mezcla y del porcentaje de vacíos totales que presente la mezcla final.

También se observa que los agregados finos de las dos Canteras tienen un porcentaje de absorción muy parecido, esto quiere decir que ambos materiales finos absorberán cantidades muy parecidas de asfalto residual, estos valores se deben de evaluar al mezclarse con el agregado grueso.

- h) Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio (MTC E 209 – 2000 / ASTM C 88).

Cuadro 4.25: Durabilidad al sulfato de sodio de los agregados finos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Durabilidad (%)	2.79	2.48

Según el Cuadro 4.25, se observa que la resistencia a la disgregación debido a los sulfatos es buena, lo que nos indica que los dos agregados resistirán los cambios de temperatura que se producen en obra.

- i) Ensayo de impurezas orgánicas en el agregado fino (MTC E 213 – 2000 / ASTM C 40).

Cuadro 4.26: Impurezas orgánicas en los agregados finos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Impurezas orgánicas	Grado 1 (aceptable)	Grado 1 (aceptable)

Según el Cuadro 4.26, los agregados finos de las dos Canteras son aceptables debido a que no presentan material orgánico.

- j) Ensayo de sales solubles en agregados para pavimentos flexibles (MTC E 219 – 2000 / ASTM D 1889).

Cuadro 4.27: Sales solubles en los agregados finos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Sales solubles (%)	0.0348	0.0198

Según el Cuadro 4.27, se observa que los valores de sales solubles en los agregados finos es escasa al igual que en los agregados gruesos.

- k) Ensayo de adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos – Riedel Weber (MTC E 220 - 2000).

Cuadro 4.28: Adhesividad Riedel Weber en los agregados finos.

ENSAYO	SANTA ROSA	S/N (KM 770+100)
Desprendimiento parcial	2	0
Desprendimiento total	4	1

Según el Cuadro 5.28, se observa que el agregado fino de la Cantera Santa Rosa se encuentra al límite de la especificación, en cambio el agregado fino de la Cantera S/N no cumple. La diferencia entre los

resultados se debe a la naturaleza química de los agregados, mientras que el primero es un material con alto contenido de óxido de silicio, el segundo es un material con alto contenido de carbonato de calcio. Es así como para el primer agregado se genera atracción por la emulsión catiónica y para el segundo se genera repulsión, dando resultados muy bajos. Se debe mencionar que este ensayo, al igual como se mencionó anteriormente con el ensayo de adherencia del agregado grueso, son actualmente discutidos por lo que solo analizan al agregado por separado y no a la mezcla asfáltica.

En el Cuadro 4.29 se muestra el resumen de los resultados obtenidos en el Laboratorio para cada uno de los agregados finos en estudio con sus requerimientos exigidos, donde se puede apreciar si cumplen o no con las especificaciones. En cuanto a la absorción del agregado fino, ninguna de las dos canteras cumple con los requerimientos exigidos al igual que el agregado grueso de la Cantera Santa Rosa.

A pesar de no cumplir con la propiedad de absorción y con la adherencia Riedel Weber, las otras propiedades si son adecuadas para los agregados finos y como se dijo en la sección de agregados gruesos y en el análisis de resultados del ensayo Riedel Weber, estos requerimientos pueden ser modificadas según el proyecto y la disponibilidad de material cercana a la zona de la obra.

Cuadro 4.29: Cuadro resumen de las propiedades físicas y químicas de los agregados finos de las Canteras Santa Rosa y Km 770+100.

ENSAYO	AGREGADO FINO			
	CANTERA SANTA ROSA	CANTERA KM 770+100	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
			< 3000 m.s.n.m.	> 3000 m.s.n.m.
Límite Líquido (Malla N° 40)	--	--		
Límite Líquido (Malla N° 200)	25 %	19 %		
Índice de Plasticidad (malla N°40)	NP	NP	NP	NP
Índice de Plasticidad (malla N°200)	NP	NP	4 % Máx	NP
Equivalente de arena	70	80	45 – 55 mín.	45 – 55 mín.
Peso unitario Suelto (Kg/m ³)	1.570	1.632		
Peso Unitario Varillado (Kg/m ³)	1.812	1.797		
Peso específico Bulk (Base Seca)	2.631	2.668		
Peso Específico Bulk (Base Saturada)	2.653	2.691		
Peso Específico Aparente (Base Seca)	2.688	2.729		
Absorción	0.80	0.84	0.5 %	Según diseño
Durabilidad (Sulfato de Magnesio)	2.79	2.48		
Impurezas Orgánicas	Grado 1	Grado 1		
Sales Solubles	0.0348 %	0.0198 %		
Riedel Weber	4	1	4 % mín.	6 % mín

4.2.4.4 Relleno mineral (filler)

- a) Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E 205 – 2000 / ASTM C 128).

Cuadro 4.30: Peso específico del filler.

ENSAYO	CEMENTO PORTLAND	CAL HIDRATADA
Peso específico (gr./cm ³)	3.15	2.30

Según la Cuadro 4.30, se observa que el cemento portland tipo I tiene un peso específico mayor que la cal hidratada, aproximadamente del 35% de diferencia. Por ese motivo se concluye que para una misma cantidad de masa de filler, la cal hidratada ocupará un mayor volumen en la mezcla; de manera que para obtener volúmenes parecidos de filler, la cal hidratada tendrá que usarse en menor proporción en comparación con el cemento portland.

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

- b) Análisis granulométrico del relleno mineral (MTC E 216 – 2000 / ASTM D 546).

Cuadro 4.31: Granulometría del filler.

Malla	CEMENTO PORTLAND		CAL HIDRATADA	
	Retiene %	Pasa %	Retiene %	Pasa %
Nº 30				
Nº 50		100		100
Nº 200	0.5	99.5	1.1	98.9
<Nº 200	99.5	-	98.9	-

Según el Cuadro 4.31, se observa que el cemento portland tipo I y la cal hidratada tienen valores semejantes de finos (<Nº 200), aunque un porcentaje mayor de finos tiene el cemento portland. Estos materiales aportarán diferentes características a las mezclas que se estudiarán y evaluarán en el Capítulo VI.

4.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE PREMEZCLA

No existe una Norma que especifique los ensayos que deben de realizarse al agua de premezcla que se utiliza para elaborar cualquier tipo de mezclas con emulsiones asfálticas. Lo que sí se recomienda, es que preferiblemente, ésta sea agua potable, aunque es muy difícil poder contar con este tipo de agua en las obras de carreteras. Las empresas dedicadas a la fabricación de emulsiones asfálticas recomiendan que los ensayos de calidad que se deben de realizar al agua tiene relación con la rotura prematura de la emulsión al realizar el mezclado, disminuyendo su trabajabilidad; por tal motivo se recomienda realizar los ensayos de Dureza Total y la determinación del Potencial de Hidrógeno (pH). La dureza total expresa las concentraciones de sales disueltas en el agua, que, a su vez, es la suma de la dureza temporal o carbonatada, representada por aquellas sales que se pueden eliminar por medio de ebullición, y la dureza permanente, que reúne aquellas sales que no son eliminadas por ebullición. Específicamente, solo se toma en cuenta las concentraciones de calcio y magnesio presentes en el agua, debido a que son las de mayor influencia en la dureza. Las empresas dedicadas a la elaboración de emulsiones toman como

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

requisito que la dureza total del agua no supere los 380 ppm. expresada en carbonatos de calcio (CaCO_3), si es que éste valor es superado se debe evaluar la compatibilidad con la emulsión para ver si es trabajable o si se necesita alguna emulsión con una formulación especial debido a que las sales pueden absorber de manera acelerada los agentes emulsificantes acelerando la rotura de la emulsión.

El Potencial de Hidrógeno (pH) es una medida de la acidez y alcalinidad de una solución. El pH va de 0 a 14, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH igual a 7 indica la neutralidad de la disolución. Se sabe que una emulsión catiónica es una disolución ácida, entonces si es que para la mezcla se cuenta con un agua ácida no habría problema en realizar la mezcla, en cambio cuando se tiene un agua muy alcalina o básica podría haber problemas produciendo una rotura acelerada de la emulsión. Las empresas recomiendan que el pH del agua de premezcla sea menor a 8.

No recomiendan ensayos como sulfatos o cloruros porque éstos no tienen relación en lo que respecta a la rotura prematura de la emulsión, estos ensayos son conocidos porque son recomendados para el agua usada en la elaboración de concretos. Esto se debe a que los sulfatos reaccionan con el aluminato tricálcico (C_3A) que es un compuesto del cemento portland, que generan expansiones que desintegran paulatinamente al concreto. Respecto a los cloruros, no se recomienda porque este compuesto afecta principalmente a la armadura que lleva el concreto armado, acelerando su proceso de corrosión.

Para esta investigación se utilizó agua potable para las mezclas asfálticas en frío realizadas. Los resultados de los ensayos realizados se muestran en el Cuadro 4.32:

Cuadro 4.32: Ensayos de Dureza y pH al agua potable.

	Dureza (CaCO_3)	pH
Agua Potable	210	7.12

CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EL MÉTODO DE ILLINOIS

Existen diferentes métodos para el diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsiones, la mayoría de estas son modificaciones del Método Marshall para mezclas en caliente. A continuación se mencionan los métodos más conocidos, pero aún no normalizados:

- Método de la Compañía de Armak
- Método de Illinois
- Método Marshall Modificado (MS-14)
- Método AKZO NOBEL
- Técnica de la Dirección Provincial de Vialidad de Santa Fe
- Técnica de la Dirección Nacional de Vialidad
- Técnica Marshall Modificada según Normas Francesas

Todos estos métodos se basan en la determinación de los parámetros dados por el Marshall Convencional, que incluyen a la estabilidad, el flujo, el porcentaje de vacíos y la densidad seca. La diferencia es que los cuatro primeros métodos toman en cuenta la saturación de las muestras, obteniendo nuevos parámetros como la estabilidad en húmedo, el cambio en la estabilidad y el porcentaje de humedad absorbida. Estos nuevos parámetros son de mucha importancia porque muestran la influencia de la acción del agua en la mezcla.

Esta tesis se enfocará en el Método de Illinois, debido a que es un método aceptado por el Instituto del Asfalto (MS-19) y reconocido en diferentes países pero falta divulgación en el Perú. Además es un método completo que incluye la fase de inmersión y en esta tesis se realizarán todas las etapas como lo indica "La propuesta de Illinois para el diseño de mezclas en frío emulsión - agregado" publicada por la Universidad de Illinois en febrero de 1978 en el estudio "Development of emulsified asphalt – aggregate cold mix design procedure".

El método Illinois es aplicable para mezclas y para estabilización de bases para pavimentos con bajos volúmenes de tráfico, que contengan emulsión asfáltica y agregado mineral con gradación densa y tamaños máximos de una pulgada o menos. Este método es recomendable para mezclas en vía o mezclas en planta preparadas a temperatura de ambiente.

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

5.1 OBJETIVO DEL MÉTODO

El objetivo del método es proveer una cantidad adecuada de asfalto residual que económicamente establezca el material granular con el fin de:

- Dar resistencia o estabilidad requerida para soportar las aplicaciones de cargas repetidas sin una deformación permanente excesiva o rotura por fatiga
- Volver a la mezcla lo suficientemente inerte a los efectos de cambios de humedad.

5.2 PROCEDIMIENTO DEL MÉTODO

5.2.1 Ensayos sobre los agregados

Como se mencionó en el Capítulo IV, en la sección 4.2.1, las propiedades del agregado son un factor determinante en el comportamiento final de la mezcla.

En el Cuadro 4.3 y en el Cuadro 4.4 del Capítulo IV, se mencionan los ensayos para los agregados gruesos y finos, respectivamente y en el Cuadro 4.16 y 4.29 se mencionan los resultados obtenidos para las Canteras Santa Rosa y S/N de los agregados gruesos y finos, respectivamente.

5.2.2 Ensayos sobre la emulsión asfáltica

Las especificaciones para emulsiones, usualmente corresponden a los ensayos estándar y especificaciones de la ASTM o de la AASTHO y se listan a continuación.

Aniónicas: ASTM D977 o AASHTO M140

Catiónicas: ASTM D2397 o AASHTO M208

En el Cuadro 4.1 y en el Cuadro 4.2 del Capítulo IV, se mencionan los ensayos y resultados para la emulsión catiónica de rotura lenta utilizada.

5.2.3 Contenido de asfalto residual tentativo

El contenido de asfalto residual tentativo se determina en base al análisis granulométrico del agregado o de la mezcla de agregados y de la capacidad de absorción de estos. Esta fórmula está basada en los datos obtenidos en varios diseños de mezclas con emulsiones.

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

La expresión es la siguiente:

$$CA = 0.032 a + 0.045 b + k c + K$$

CA: Contenido de asfalto residual tentativo como porcentaje de peso seco del agregado.

a: % retenido en el tamiz N°10.

b: % que pasa el tamiz N°10 y retiene el tamiz N°200.

c: % que pasa el tamiz N°200.

k: si el % que pasa el tamiz N°200 está entre 10 y 15% es 0.20.

k: si el % que pasa el tamiz N°200 está entre 5 y 10% es 0.18.

k: si el % que pasa el tamiz N°200 es menos del 5% es 0.15.

K: depende de la absorción del agregado, máximo 2.

La cantidad de emulsión se calcula de la siguiente manera:

$$\%E = \% CA / \% \text{ de residuo}$$

5.2.4 Recubrimiento

La selección del tipo y grado de emulsión asfáltica que será utilizada en los proyectos se basa fundamentalmente en la capacidad que tiene la emulsión en recubrir al agregado en estudio.

Algunos factores que afectan la selección son:

- Tipo de agregado
- Gradación del agregado y características de los finos
- Contenido de agua del agregado
- Disponibilidad de agua en el sitio de construcción

El ensayo de recubrimiento se realiza combinando el contenido de emulsión tentativa hallada en la sección 5.2.3 con el agregado en estudio y con una cantidad de agua de premezcla y se estima visualmente el recubrimiento como un porcentaje del área total. El agua de premezcla es de mucha importancia debido a que esta funciona como el medio para que la emulsión pueda recubrir el agregado. La importancia de la cantidad de agua de premezcla se evidencia

cuando los agregados contienen gran cantidad de material que pasa el tamiz N°200, donde insuficiente cantidad de agua de premezcla generaría un aglutinamiento del asfalto con los finos y por lo tanto un recubrimiento insuficiente, principalmente en los agregados de mayor tamaño. Por este motivo el ensayo de recubrimiento se efectúa a diferentes contenidos de agua en porcentajes del peso del agregado seco.

Procedimiento:

- a) Obtener muestras representativas de la emulsión considerada para el proyecto.
- b) Obtener muestras representativas del agregado o de la mezcla del agregado.
- c) Preparar el agregado secándolo al aire para ser separada por tamaños utilizando los siguientes tamices 1", ¾", ½", 3/8" y N°4.
- d) Determinar el contenido de humedad de una muestra representativa de la muestra secada al aire.
- e) Colocar una muestra representativa de agregado en el recipiente y añadir un porcentaje de agua como porcentaje en peso del agregado seco y mezclar hasta que el agua se disperse totalmente.
- f) Añadir la cantidad de emulsión teórica determinada en la sección 5.2.3 y mezclar hasta dispersar la emulsión en toda la mezcla.
- g) Repetir los pasos e) y f) añadiendo un incremento de 0.5% o 1% de agua como porcentaje en peso del agregado seco. Las mezclas que comiencen a ser fluidas o a segregarse se consideran inaceptables, entonces se deberá seguir con el paso siguiente.
- h) Dejar curar las muestras, preferible al medio ambiente hasta que ocurra la rotura de la emulsión.
- i) Calificar la apariencia de la superficie de la mezcla seca por estimación visual del área superficial del agregado cubierta con asfalto. Para cada contenido de agua de premezcla, anotar el recubrimiento estimado.

5.2.5 Contenido óptimo de agua en la compactación

Es necesario optimizar el contenido de agua en la compactación para maximizar las propiedades de la mezcla deseada, debido a que este contenido de agua

define las propiedades de densificación de las muestras compactadas. Esto debe realizarse para cada combinación de tipo de emulsión, grado de emulsión y tipo de agregado en estudio.

Procedimiento:

- a) Preparar tres muestras de alrededor de 1100 gramos para cada contenido de agua de compactación. Generalmente es suficiente cuatro puntos para obtener la curva de estabilidad vs Contenido de agua en la compactación.
- b) Se adiciona la cantidad de agua de premezcla obtenido en la sección 5.2.4 y mezclar hasta que el agua se disperse totalmente.
- c) Se le adiciona la cantidad de emulsión obtenida en la sección 5.2.3 y mezclar hasta dispersar la emulsión en toda la mezcla.
- d) Airear la mezcla para reducir el contenido de agua de la mezcla (humedad natural del agregado + agua de premezcla + agua de la emulsión) con un 1% de incremento de agua por cada punto que se requiera.
- e) Una vez que las muestras lleguen al contenido de agua deseado, se compactan usando los moldes Marshall, con 75 golpes por cara.
- f) El curado se realiza dentro del molde a 22.2° C durante un periodo de 24 horas.
- g) Se desmoldan las muestras, dejándose airear durante 2 horas y se ensayan en el equipo Marshall obteniendo la Curva Estabilidad vs Contenido óptimo de agua en la compactación. El óptimo contenido de agua en compactación se determina con el punto más alto de la curva y este valor será usado en todas las siguientes compactaciones independientemente del contenido de asfalto residual.

5.2.6 Variación del contenido de asfalto residual

El contenido de asfalto residual en una muestra agregado – emulsión debe determinarse a través de una serie de ensayos sobre muestras con diferentes contenidos de asfalto. Generalmente son suficientes cinco muestras con una variación de 0.5% por vez con dos incrementos por encima y dos por debajo del óptimo teórico determinado en la sección 5.2.3.

Procedimiento:

- a) Preparar seis muestras de alrededor de 1100 gramos para cada contenido de asfalto residual.
- b) Se adiciona la cantidad de agua de premezcla y mezclar hasta que el agua se disperse totalmente. Es importante saber que a medida que el asfalto residual aumenta, la cantidad de agua que contribuye la emulsión también aumenta. Por lo tanto la cantidad de agua de premezcla disminuye al aumentar asfalto residual y aumenta al disminuir asfalto residual.
- c) Se adiciona la cantidad de asfalto residual requerida y mezclar hasta dispersar la emulsión en toda la mezcla.
- d) Airear la mezcla para reducir el contenido de agua de la mezcla hasta llegar al contenido óptimo de agua en la compactación.
- e) Una vez que las muestras lleguen al contenido de agua deseado, se compactan las seis muestras por cada contenido de asfalto residual usando para tres de ellas los moldes Marshall estándar y para los otros tres se utilizan los moldes Marshall especialmente tratados con base perforada, para los dos casos se debe dar 75 golpes por cara.
- f) El curado tendrá un tiempo de 72 horas en el molde.

Determinación de la densidad Bulk

El método usado será la norma ASTM D 2726 "Ensayo para determinar la densidad bulk de mezclas bituminosas compactadas usando muestras saturadas y secas superficialmente".

Ensayos de estabilidad y flujo

- a) Ensayar las muestras en la prensa Marshall y anotar el valor de estabilidad y flujo a 22.2 ° C.
- b) Colocar la muestra fallada en un recipiente previamente pesado y romper la muestra anotando el peso de la muestra fallada y colocar en el horno a 93° C +/- 6° C. Las muestras se retiran del horno después de 24 horas y se deben pesar.

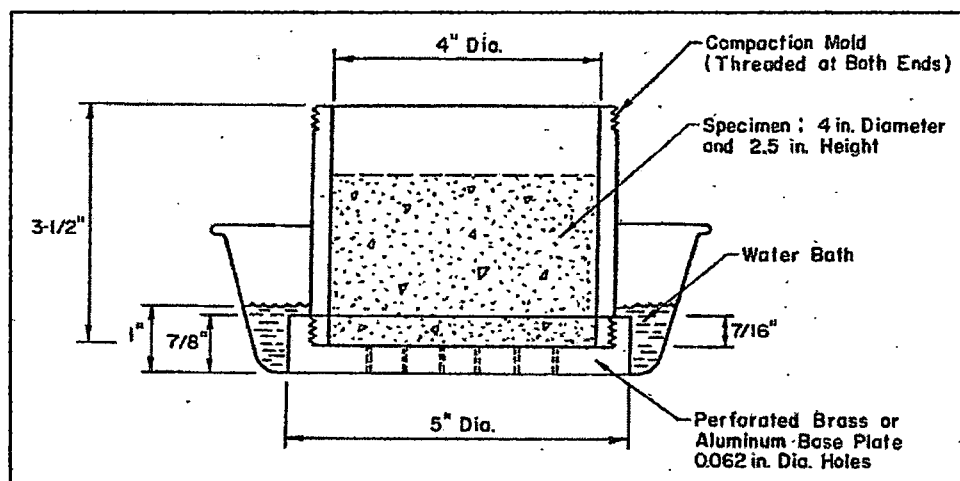
Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

Ensayo de estabilidad y flujo de las muestras sometidas a inmersión

Las tres muestras restantes se colocan en inmersión para ser sometidas posteriormente a estabilidad y flujo.

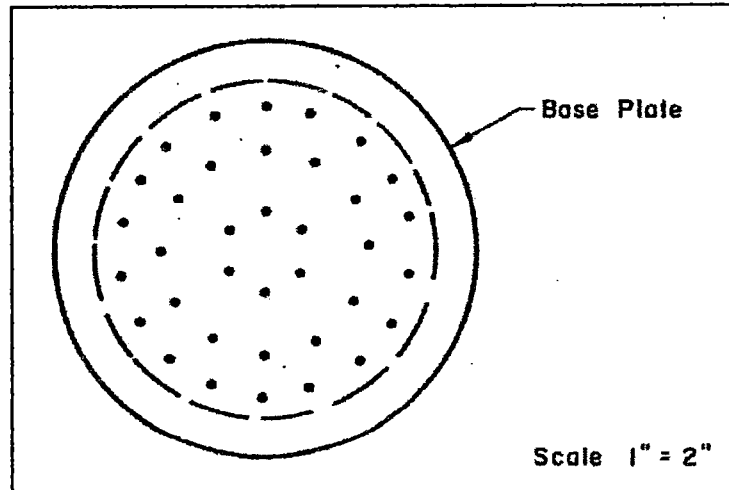
- Después del curado de 72 horas, las muestras de los moldes especialmente roscados son empujados hasta quedar a ras con cada uno de los extremos.
- Las bases de aluminio o latón son roscadas a los extremos del molde y son colocados en una bandeja, la cual se llena de agua hasta una altura de 1", como se muestra en la Figura 5.1. Se debe cubrir la superficie del molde para evitar pérdidas de humedad por evaporación.
- Después de 48 horas el conjunto se retira de la bandeja de agua, la base se desenrosca y la muestra se empuja hasta que quede a ras con el otro extremo del molde y se procede a enroscarse y colocarse en la bandeja de agua. La superficie nuevamente es cubierta.
- Después de 48 horas se retiran las muestras y se extraen de los moldes especialmente roscados.
- Se ensayan las muestras idénticamente como en la parte seca y se determina el contenido de humedad.

Figura 5.1: Equipo para la prueba de inmersión para las mezclas asfálticas con emulsión.



Fuente: DEVELOPMENT OF EMULSIFIED ASPHALT - AGGREGATE COLD MIX DESIGN
PROCEDURE - 1978.

Figura 5.2: Base perforada de aluminio para la fase de inmersión.



Fuente: DEVELOPMENT OF EMULSIFIED ASPHALT – AGGREGATE COLD MIX DESIGN
PROCEDURE – 1978.

En esta etapa de la prueba es de mucha importancia porque se podrá acondicionar a la muestra a un tipo de saturación por medio de unos moldes tratados que se tuvieron que mandar a fabricar para la elaboración de la tesis. El fenómeno que sucede en esta etapa es que al aplicarle cierta carga de agua a la mezcla, se generarán presiones en la parte inferior de la base, dichas presiones provocarán que el agua pueda infiltrarse a través de los pequeños orificios que tiene la base perforada y el agua subirá a través de la muestra por el fenómeno de capilaridad; saturando a la muestra y generando que pierda un porcentaje de su resistencia a las deformaciones plásticas (estabilidad).

5.2.7 Análisis de densidad y vacíos

Con ciertas fórmulas se obtendrán los valores de densidad de la mezcla y los vacíos totales, en función del contenido de humedad, la densidad bulk de los agregados, la densidad del asfalto y la densidad bulk de la muestra.

5.2.8 Elaboración de gráficas

Para finalizar con el diseño de mezcla se realiza las siguientes gráficas, que ayudan a poder obtener el porcentaje óptimo de asfalto residual. Las gráficas son las siguientes:

- a) Estabilidad seca a un día vs. Humedad de compactación.

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

- b) Estabilidad seca y húmeda vs. Contenido de asfalto residual.
- c) Densidad seca bulk corregida por humedad vs. Contenido de asfalto residual.
- d) Porcentaje total de vacíos vs. Contenido de asfalto residual.
- e) Porcentaje de humedad absorbida vs. Contenido de asfalto residual.
- f) Pérdida de estabilidad en porcentaje vs. Contenido de asfalto residual.

5.3 DISEÑOS EMPLEANDO EL MÉTODO DE ILLINOIS

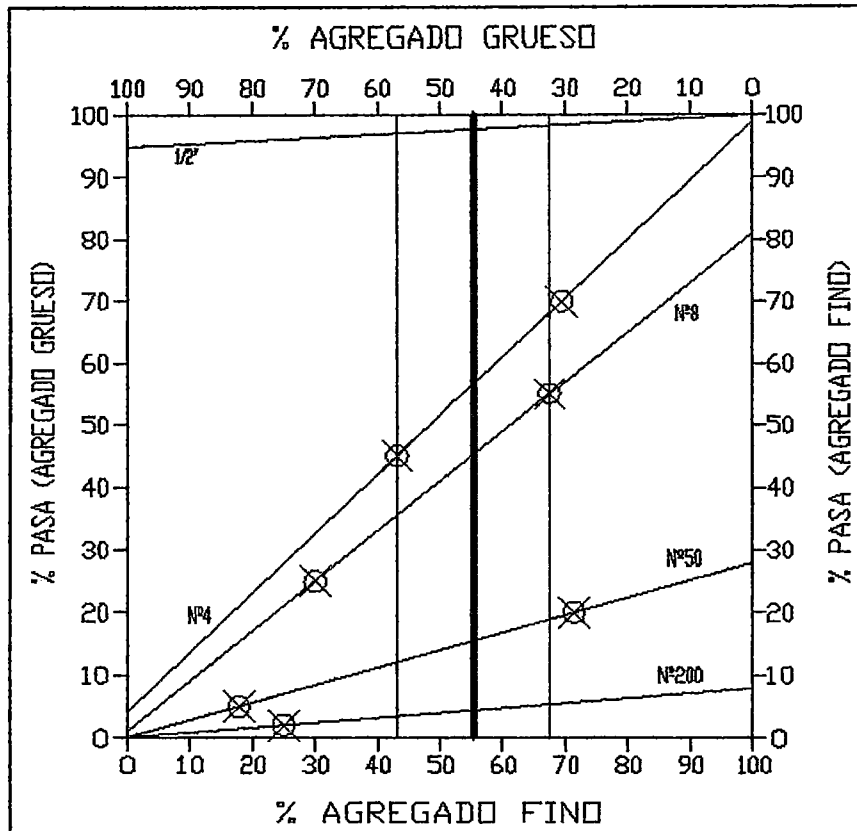
Se realizó dos diseños de mezcla en frío empleando una emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, con un cemento asfáltico base de 85/100. Para cada uno de los diseños de mezcla se utilizaron dos tipos de agregados de diferentes canteras, el primer diseño es con el agregado de la Cantera Santa Rosa (Diseño 1), ubicada en el departamento de Ayacucho, en el Km 389+500 (Sector N° 5) de la Carretera Interoceánica Sur – Tramo I, sector conocido como Chalhuanca – Empalme Ruta 03S. Para el segundo diseño se utilizó el agregado de la Cantera nombrada S/N (Diseño 2), ubicada en el departamento de Apurímac, en el Km 770+100 (Sector N° 6) de la misma carretera, sector conocido como Empalme Ruta 03S – Abancay.

5.3.1 Diseño Illinois con los agregados de la Cantera Santa Rosa (Diseño 1)

5.3.1.1 Granulometría

Se realizó la combinación de agregados por el Método del Cuadrado para poder cumplir con la granulometría “D” del Manual Básico de emulsiones asfálticas del Instituto del Asfalto (MS-19) que se muestra en el Cuadro 3.3. Las granulometrías del agregado grueso y fino de la Cantera Santa Rosa se muestran en los Cuadros 4.8 y 4.23, respectivamente.

Gráfico 5.1: Método del cuadrado para la combinación de agregados (Cantera Santa Rosa).



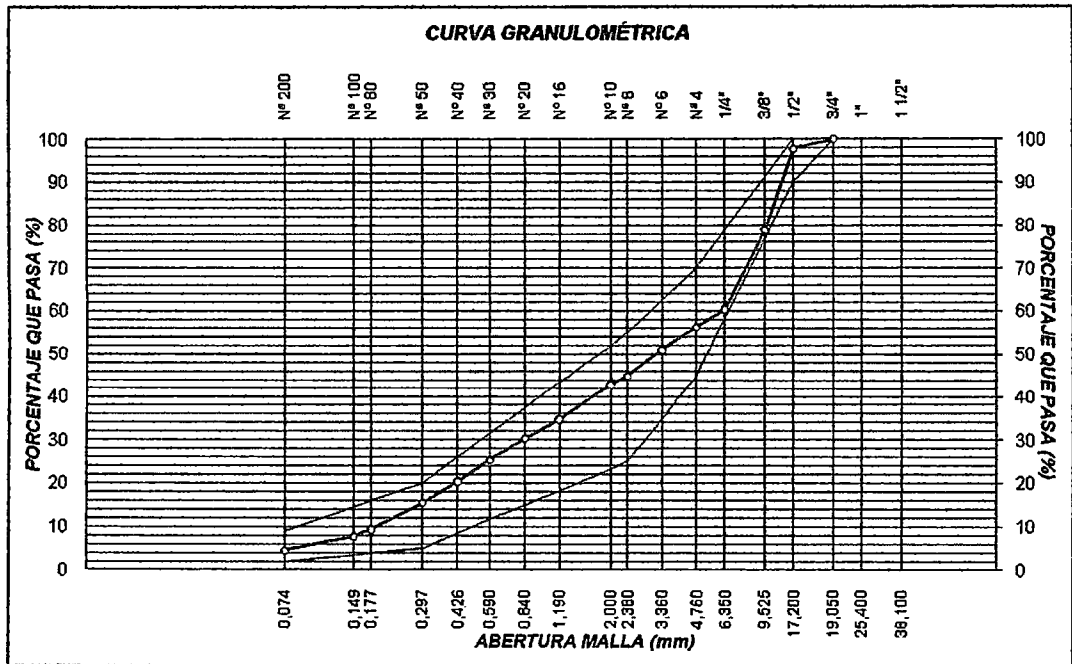
Aplicando el método del cuadrado como se muestra en el Gráfico 5.1, se obtiene un rango de valores para el agregado fino que varía entre 43% a 68% y para el agregado grueso que varía entre 32% a 57%. Los valores escogidos para la combinación son los obtenidos en la media del rango, los cuales son de 45% de agregado grueso y 55% de agregado fino. Con estos porcentajes obtenemos una curva granulométrica adecuada que cumple con las consideraciones de la granulometría "D" mencionada anteriormente, además el porcentaje de finos también es el adecuado, por ese motivo no se le adiciona filler. En el Cuadro 5.1 se muestra la combinación de agregados para el diseño de mezcla.

**Cuadro 5.1: Combinación de agregados (Cantera Santa Rosa – 45% Agregado
 Grueso, 55% Agregado Fino)**

MALLA	AG. GRUESO	AG. FINO	COMB.	ESPECIF.
	PASA (%)	PASA (%)	PASA (%)	GRAD. D
3/4"	100		100	100
1/2"	95		97.8	90 – 100
3/8"	53		78.9	
1/4"	12	100	60.4	
Nº 4	4	99	56.3	45 – 70
Nº 6	2	91	51.0	
Nº 8	1	81	45.0	25 – 55
Nº 10	1	77	42.8	
Nº 16	0	63	34.7	
Nº 20	0	55	30.3	
Nº 30	0	46	25.3	
Nº 40	0	37	20.4	
Nº 50	0	28	15.4	5 – 20
Nº 80	0	17	9.3	
Nº 100	0	14	7.7	
Nº 200	0	8	4.4	2 - 9

Combinación = 0.45 (AG. GRUESO) + 0.55 (AG. FINO)

Gráfico 5.2: Curva granulométrica de la combinación de agregados (Cantera Santa Rosa – 45% agregado grueso, 55% agregado fino).



La curva granulométrica obtenida de la mezcla de agregados por el Método del Cuadrado se encuentra dentro de los límites establecidos en la Granulometría de Gradación "D" del Manual Básico de Emulsiones Asfálticas del Instituto del Asfalto, pero se observa cambios bruscos en las mallas de $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ " y $\frac{1}{4}$ ", por ese motivo se probó con otro porcentaje de mezcla de agregados. Con valores de 40% de agregado grueso y 60% de agregado fino, se cumple con las consideraciones de la granulometría "D" mencionada anteriormente, además tampoco se le adiciona filler. En el Cuadro 5.2 se muestra la combinación de agregados para el diseño de mezcla.

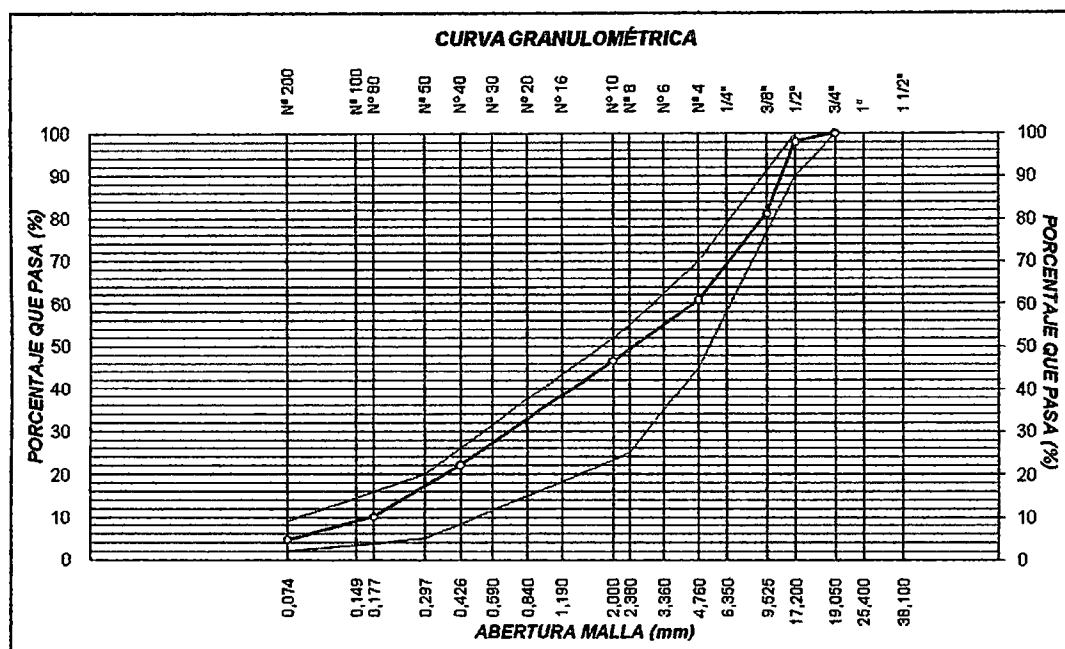
Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

Cuadro 5.2: Combinación de agregados (Cantera Santa Rosa – 40% Agregado Grueso, 60% Agregado Fino)

MALLA	AG. GRUESO	AG. FINO	COMB.	ESPECIF.
	PASA (%)	PASA (%)	PASA (%)	GRAD. D
3/4"	100		100	100
1/2"	95		98.0	90 – 100
3/8"	53		81.2	
1/4"	12	100	64.8	
Nº 4	4	99	61.0	45 – 70
Nº 6	2	91	55.4	
Nº 8	1	81	49.0	25 – 55
Nº 10	1	77	46.6	
Nº 16	0	63	37.8	
Nº 20	0	55	33.0	
Nº 30	0	46	27.6	
Nº 40	0	37	22.2	
Nº 50	0	28	16.8	5 – 20
Nº 80	0	17	10.2	
Nº 100	0	14	8.4	
Nº 200	0	8	4.8	2 - 9

$$\text{Combinación} = 0.40 (\text{AG. GRUESO}) + 0.60 (\text{AG. FINO})$$

Gráfico 5.3: Curva Granulométrica de la combinación de agregados (Cantera Santa Rosa – 40% agregado grueso, 60% agregado fino).



En el Gráfico 5.3 se observa que el cambio de tendencia de la Curva Granulométrica no es tan brusco y que la curva ya no se encuentra al límite de la Gradación "D" utilizada. Por ese motivo se realizó el diseño de mezcla con esta combinación de agregados.

5.3.1.2 Contenido de asfalto residual tentativo

Se aplica la siguiente fórmula:

$$CA = 0.032 a + 0.045 b + k c + K$$

$$a = 53.4$$

$$b = 41.8$$

$$c = 4.8$$

$$k = 0.15 \text{ (0 – 5\% pasa la malla N° 200)}$$

$$\text{Absorción del agregado grueso} = 1.5\%$$

$$\text{Absorción del agregado fino} = 0.8\%$$

$$K = 1.2 \text{ (media)}$$

$$CA = 5.5\% \text{ (valor redondeado)}$$

$$\%E = 5.5 / 0.612 = 9.0\% \text{ de emulsión}$$

5.3.1.3 Recubrimiento

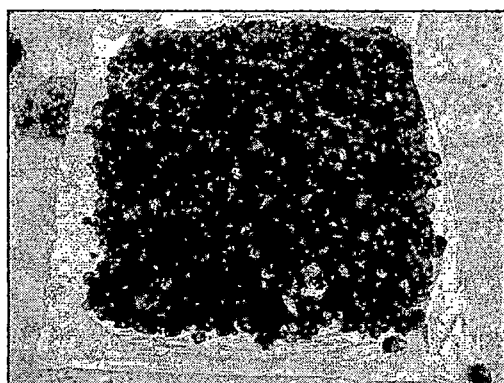
El ensayo de recubrimiento fue realizado usando el contenido de asfalto residual tentativo (5.5%) y el intervalo de agua de premezcla variando entre 1% y 2.5%. Los porcentajes de recubrimiento fueron muy buenos, solo hubo problemas para el agua de premezcla de 1%, pero todos estos porcentajes superaron el valor límite que da el Método Illinois que es de 50% de recubrimiento. Los resultados se muestran el Cuadro 5.3:

Cuadro 5.3: Porcentajes de agua de premezcla para el ensayo de recubrimiento

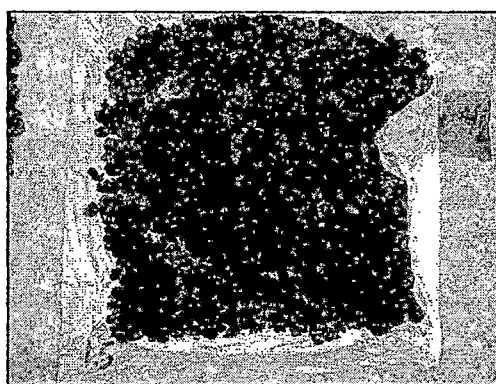
MEZCLA Nº	AGUA AÑADIDA	HUMEDAD MEZCLA	RECUBRIM. 10 Min.	RECUBRIM. 24 Hrs.	OBSERVACIONES
1	1.0%	4.7%	90%	85%	Bajo recubrimiento
2	1.5%	5.2%	100%	95%	Película delgada
3	2.0%	5.6%	100%	100%	Película adecuada
4	2.5%	6.1%	100%	100%	Saturada

Según el Cuadro 5.3 se optó por un agua de premezcla de 2%, debido a que se obtuvo un 100% de recubrimiento al poco tiempo de ser mezclado y después de 24 horas, cuando la emulsión ya ha roto. Además la película de asfalto residual que recubre al agregado es de un espesor adecuado.

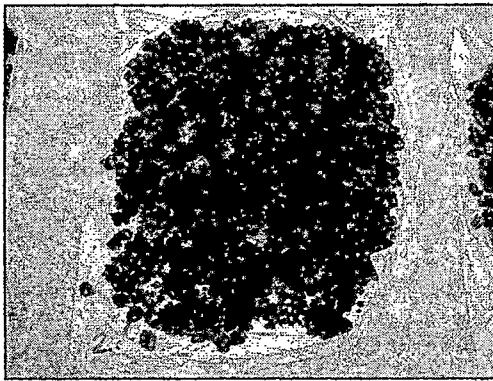
Figura 5.3: Mezclas realizadas para el ensayo de recubrimiento con 1%, 1.5%, 2% y 2.5% de agua de premezcla.



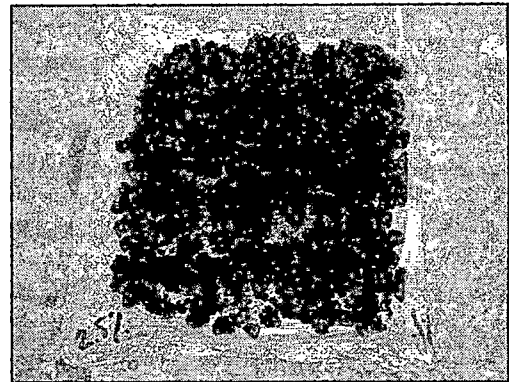
(a) Mezcla con 1% de agua de premezcla.



(b) Mezcla con 1.5% de agua de premezcla.



(c) Mezcla con 2% de agua de premezcla.

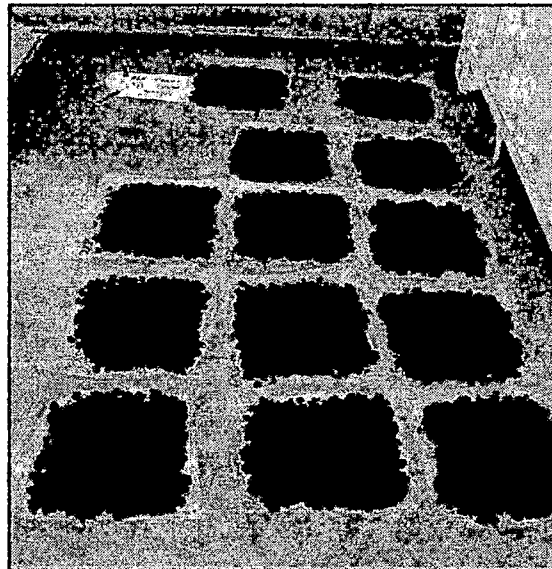


(d) Mezcla con 2.5% de agua de premezcla.

5.3.1.4 Contenido óptimo de agua en la compactación

Como se observa en el Cuadro 5.3, la humedad total de la mezcla para un agua de premezcla de 2% es de 5.6%. Entonces las muestras fueron compactadas variando los contenidos de agua de compactación, esto se logró con una aireación homogénea al medio ambiente, debido a que el espesor de aireación fue menor a 1" como se recomienda en el Método Illinois.

Figura 5.4: Muestras siendo aireadas para llegar a las humedades de compactación de 5%, 4%, 3%, 2% y 1%.



Los valores de humedad con que se compactaron las muestras fueron de 5%, 4%, 3%, 2% y 1%. Las muestras fueron curadas dentro del molde por un período

de 24 horas, para ser desmoldadas 2 horas antes de ser ensayadas en estabilidad Marshall a 22.2°C.

Figura 5.5: Muestras curadas en el molde por 24 horas.

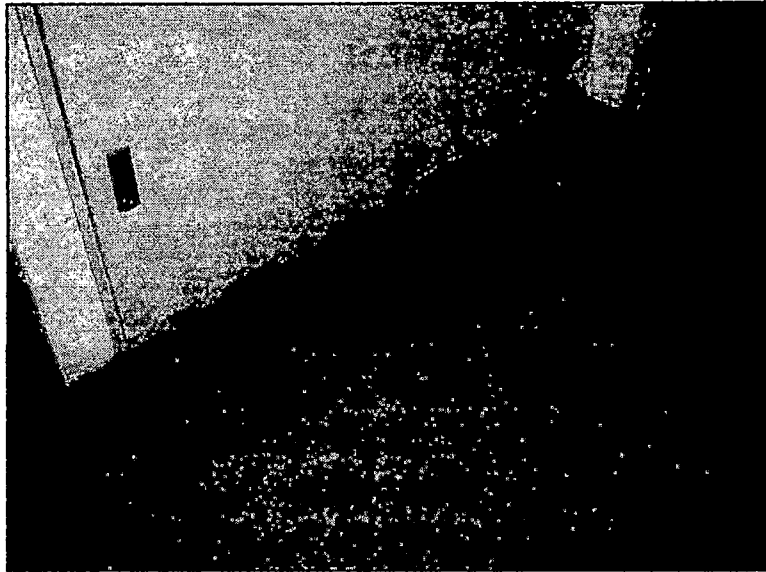
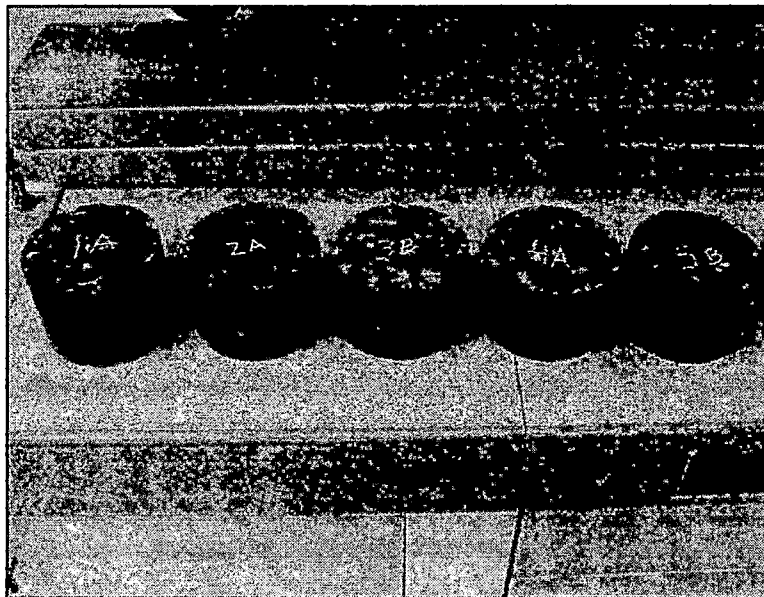


Figura 5.6: Muestras sacadas del molde 2 horas antes del ensayo de estabilidad seca, se puede observar que para valores muy bajos de humedad, la muestra se encuentra muy porosa, con altos porcentajes de vacíos.

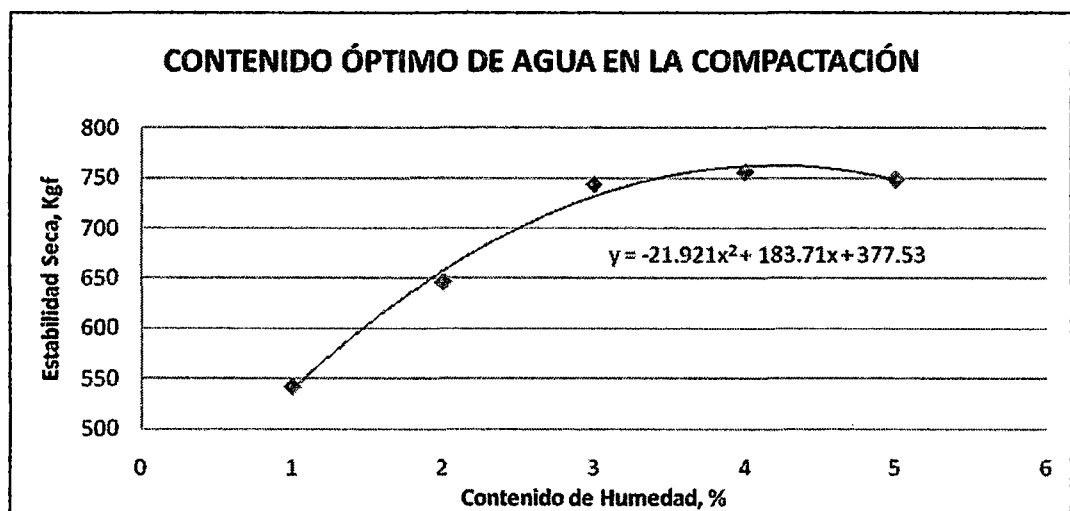


A continuación se muestra el Cuadro 5.4 y el Gráfico 5.4 de Estabilidad VS. Contenido de Humedad antes de la Compactación.

Cuadro 5.4: Determinación del porcentaje óptimo de humedad de compactación.

BRIQ. Nº	% HUM. AL COMPACTAR	ESTABILIDAD	
		MEDIDA, Kgf.	PROM. Kgf.
1A	1	745	749
1B		709	
1C		793	
2A	2	766	756
2B		747	
2C		755	
3A	3	732	743
3B		805	
3C		694	
4A	4	614	647
4B		666	
4C		659	
5A	5	561	543
5B		520	
5C		547	

Gráfico 5.4: Gráfico de Estabilidad versus Contenido de humedad antes de la compactación.



De la ecuación obtenida de el Gráfico 5.4, se obtiene un pico en la estabilidad para el valor de 4.2 de humedad de compactación, contenido de humedad usado para compactar las muestras fabricadas en el siguiente paso de la metodología.

Cuadro 5.5: Resumen del contenido óptimo de humedad de compactación.

ASFALTO RESIDUAL TEÓRICO (61.2%), %	5.5
EMULSIÓN, %	9.0
ESTABILIDAD MÁXIMA, Kgf.	762
W. OPTIMA COMPACTACIÓN, %	4.2
PESO DEL AGREGADO SECO, gr.	1093.2

5.3.1.5 Variación del contenido de asfalto residual

Se prepararon muestras a contenidos de asfaltos residuales que varían en 0.5%, con valores de 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%. Estas muestras fueron compactadas al 4.2% de humedad de compactación hallada en el paso anterior y fueron curadas durante 72 horas dentro del molde a una temperatura de 22.2°C.

Figura 5.7: Curado de las muestras con diferente porcentaje de asfalto residual dentro del molde durante 72 horas.

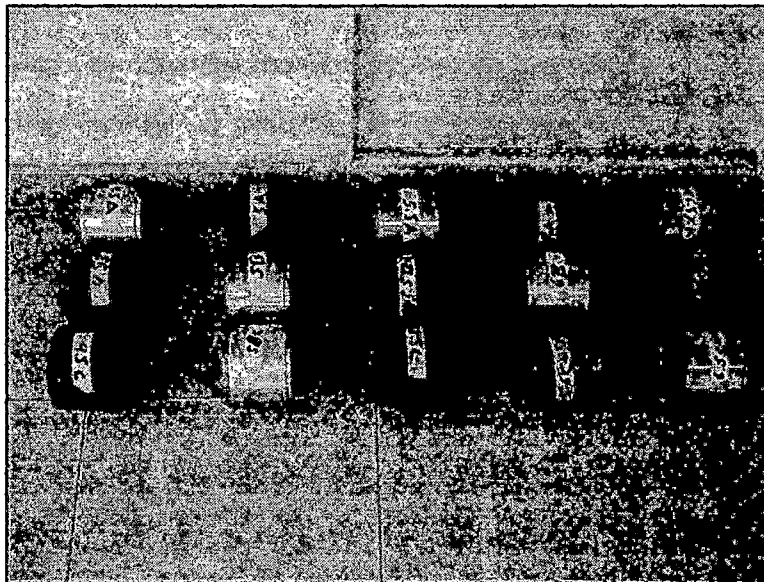
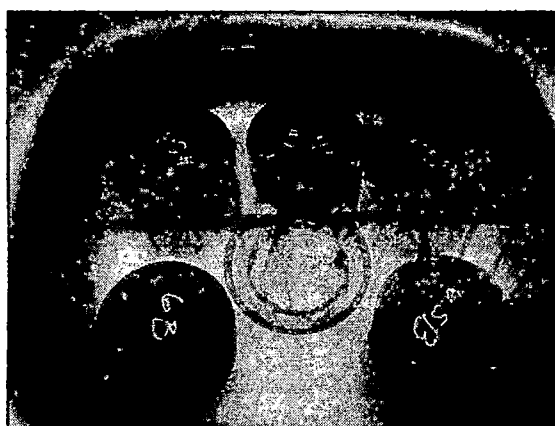


Figura 5.8: Muestras sacadas del molde 2 horas antes del ensayo de densidad y estabilidad.



Figura 5.9: Determinación de la densidad bulk de las muestras compactadas.

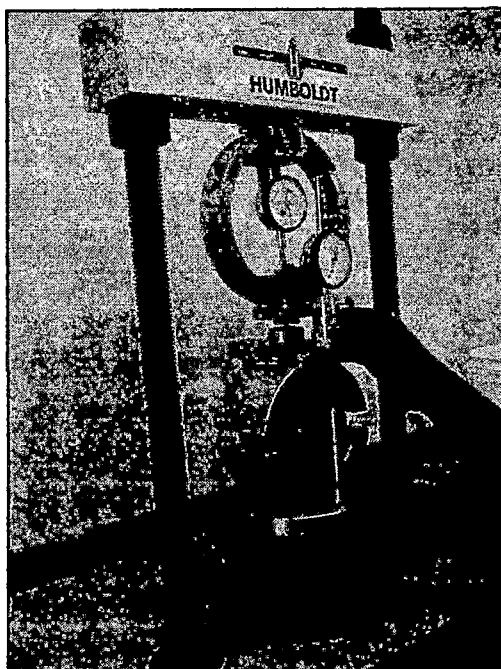


(a) Saturación de las muestras por 5 minutos.



(b) Determinación del peso en el agua.

Figura 5.10: Ensayo de estabilidad y flujo a las muestras compactadas.



Después de realizar los procedimientos mencionados se obtuvo los valores promedios que se muestran en el Cuadro 5.6.

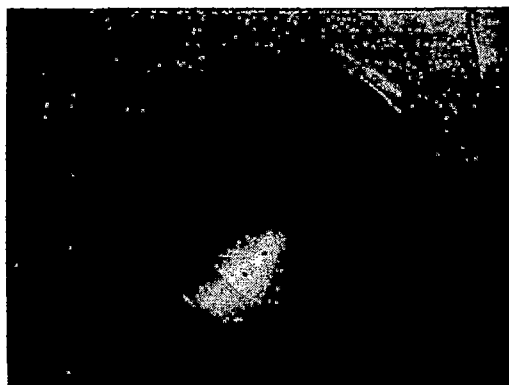
Cuadro 5.6: Determinación de los parámetros de la Metodología Illinois (Fase seca).

% ASFALTO RESIDUAL	DENSIDAD SECA PROM. gr/cm ³	VACÍOS %	ESTABILIDAD SECA Kgf.	FLUJO 0.01"
4.5	2.107	15.6	1013	11.7
5.0	2.109	14.9	877	13.0
5.5	2.112	14.2	854	14.7
6.0	2.111	13.6	793	15.3
6.5	2.107	13.2	745	15.7

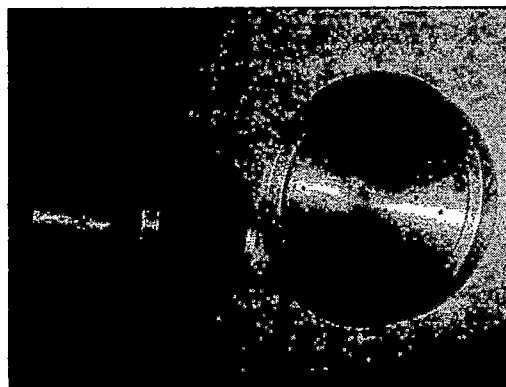
Al igual que en el ensayo en seco, para las muestras sometidas en inmersión se prepararon muestras a contenidos de asfaltos residuales que varían en 0.5%, con valores de 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%. Estas muestras fueron compactadas y curadas exactamente igual que las muestras ensayadas en seco, pero después del curado de 72 horas, las muestras fueron sometidas a inmersión como se muestra en la Figura 5.11 y en la Figura 5.12.

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

Figura 5.11: Moldes fabricados para las muestras sometidas en inmersión.



(a) Molde Illinois con base perforada enroscada.



(b) Molde Illinois con base perforada.

Figura 5.12: Con una gata empujar hasta que quede a ras con el molde para enroscar la base perforada y colocarlo en un tazón de base horizontal para el ciclo de inmersión.



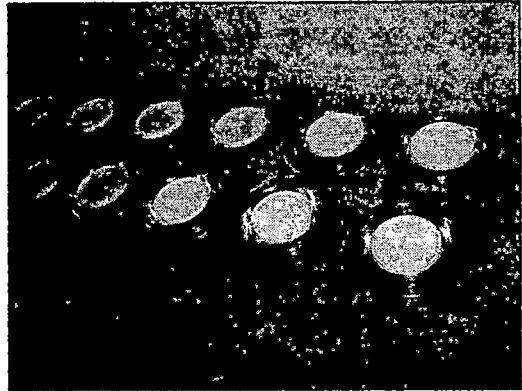
(a) Moldes Illinois curados y enroscados, listos para comenzar el ciclo de inmersión.



(b) Adición del agua a los tazones con la muestra.



(c) El agua deberá llegar a una altura de 1", ejerciendo una presión de agua en la base.



(d) Saturación de muestras por 4 días, 2 días por cara para luego ser ensayadas por estabilidad.

Después de realizar los procedimientos mencionados se obtuvo los valores promedios que se muestran en el Cuadro 5.7.

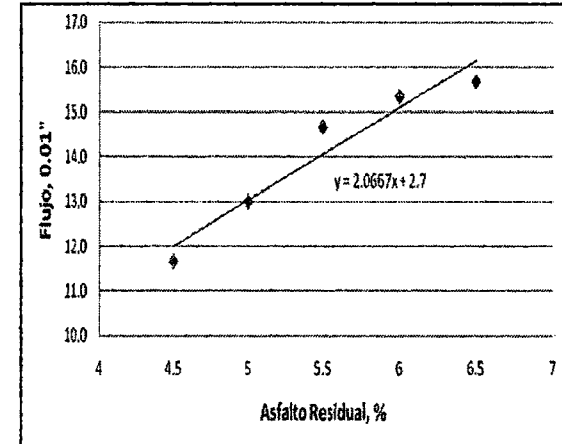
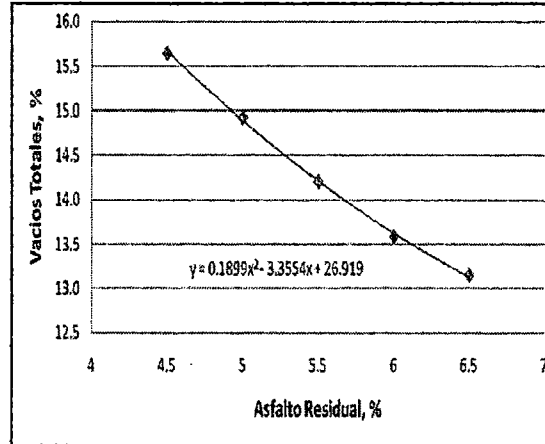
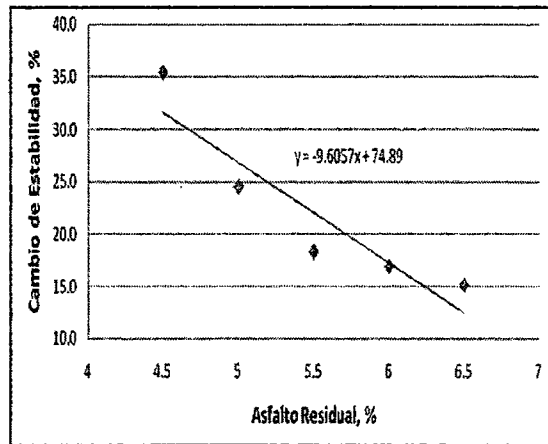
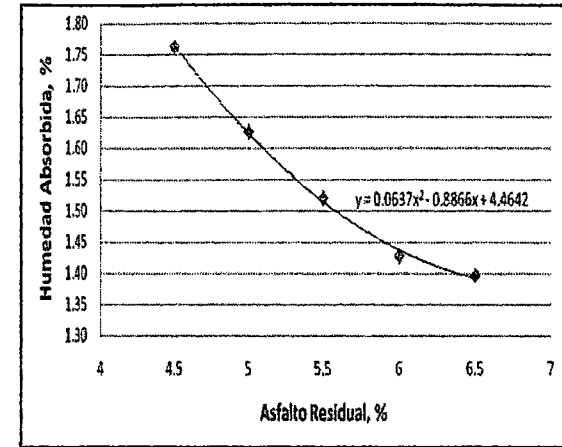
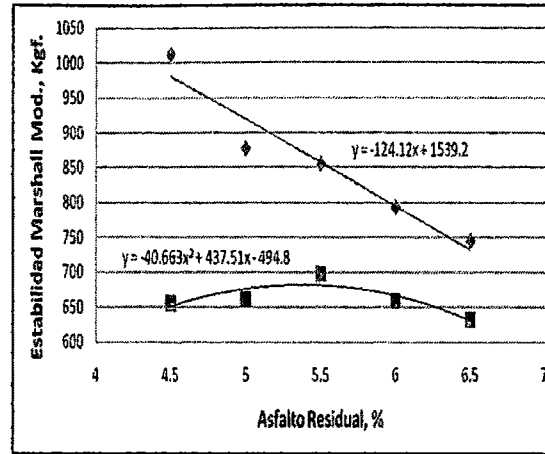
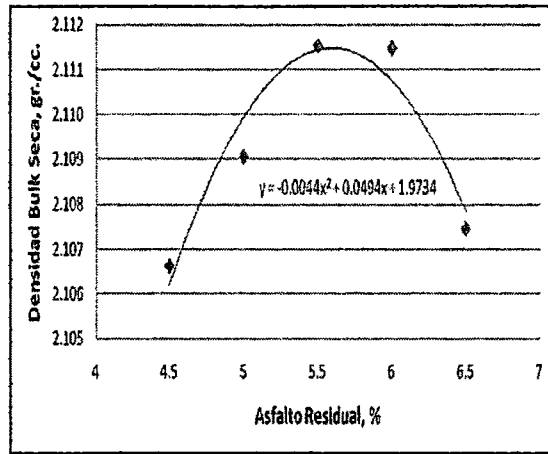
Cuadro 5.7: Determinación de los parámetros de la Metodología Illinois (Fase húmeda).

% ASFALTO RESIDUAL	HÚMEDAD ABSORBIDA %	ESTABILIDAD HÚMEDA Kgf.	% PÉRDIDA ESTABILIDAD Kgf.
4.5	1.76	655	35.3
5.0	1.63	662	24.5
5.5	1.52	698	18.3
6.0	1.43	659	16.9
6.5	1.40	632	15.1

5.3.1.6 Elaboración de gráficas

Al terminar con el procedimiento Illinois se debe de realizar las siguientes gráficas para poder determinar el porcentaje óptimo de emulsión. Los resultados se muestran en el Gráfico 5.5.

Gráfico 5.5: Gráficos del diseño Illinois con el agregado de la Cantera Santa Rosa.



"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

Analizando las 6 gráficas obtenidas del Diseño Illinois, tomamos como principal parámetro la estabilidad Marshall Modificado retenida, esto quiere decir, después del proceso de saturación en los moldes con base perforada. Según la ecuación obtenida, se llega al pico de estabilidad retenida cuando se trabaja con un 5.4 % de asfalto residual, este valor será tomado como el contenido óptimo de asfalto en la mezcla. Los demás parámetros serán mostrados en el Cuadro 5.8.

Cuadro 5.8: Parámetros obtenidos del Diseño Illinois con el óptimo de asfalto residual para el agregado de la Cantera Santa Rosa (Diseño 1).

Descripción	Resultados	Especificación - Illinois
Residuo asfáltico óptimo (%)	5.4	
Agua en la mezcla (%)	5.6	
Agua en compactación (%)	4.2	
Emulsión Asfáltica (%)	8.8	
Densidad seca bulk (gr./cm ³ .)	2.112	
Estabilidad seca (Kgf.)	869	Mín. 230
Estabilidad saturada (Kgf.)	682	
Humedad absorbida (%)	1.53	Máx. 4
Cambio de estabilidad (%)	23.0	Máx. 50
Vacios totales (%)	14.3	2 – 18
Flujo (Pulg/100)	13.9	
Cubrimiento (%)	100	Mín. 50

Se observa en el Cuadro 5.8 que para el 5.4% de porcentaje óptimo de asfalto residual se obtiene parámetros que están dentro de las especificaciones del Diseño Illinois, se escogió estos parámetros debido a que para esta investigación se utilizó esta metodología y además ésta da mayores criterios de diseño comparadas con las otras especificaciones mencionadas en la sección 3.4 del Capítulo III.

5.3.2 Diseño Illinois con los agregados de la Cantera S/N – Km. 770+100 (Diseño 2)

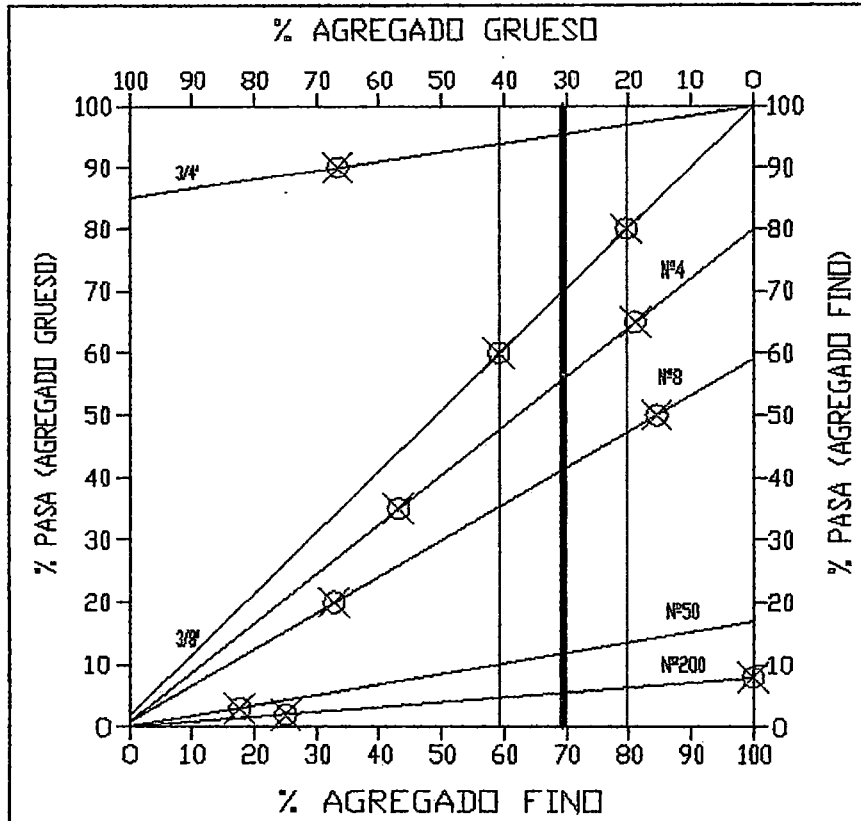
5.3.2.1 Granulometría

Se realizó la combinación de agregados por el Método del Cuadrado para poder cumplir con la granulometría "C" del Manual Básico de emulsiones asfálticas del

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

Instituto del Asfalto (MS-19) que se muestra en el Cuadro 3.3. Las granulometrías del agregado grueso y fino de la Cantera S/N se muestran en los Cuadros 4.8 y 4.23, respectivamente.

Gráfico 5.6: Método del cuadrado para la combinación de agregados (Cantera S/N).



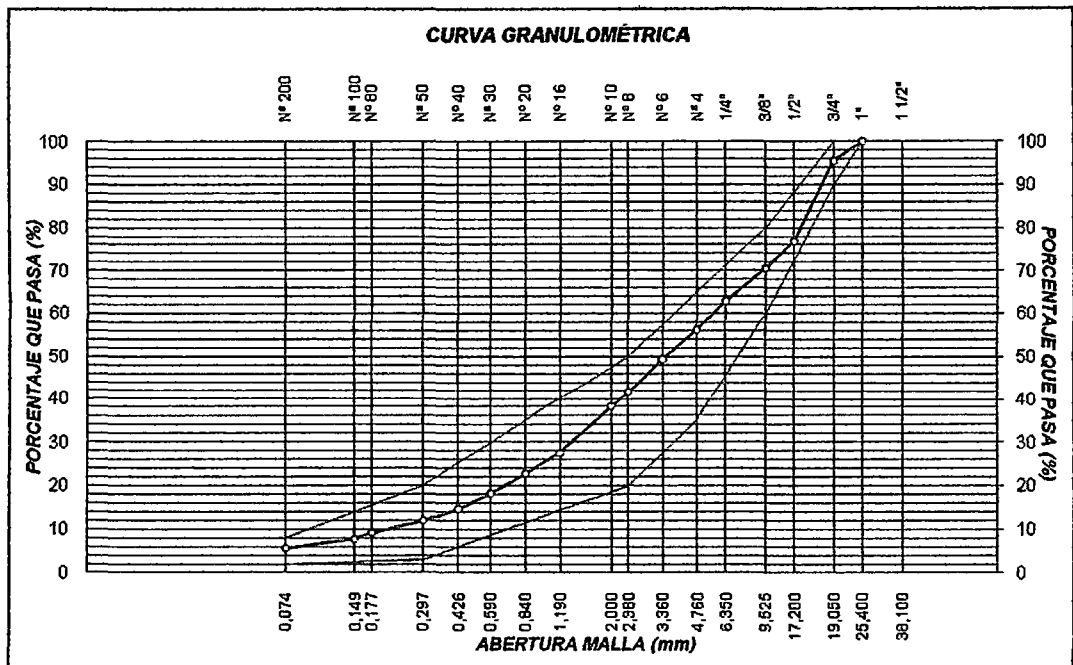
Aplicando el método del cuadrado como se muestra en el Gráfico 5.6, se obtiene un rango de valores para el agregado fino que varía entre 60% y 80% y para el agregado grueso que varía entre 20% y 40%. Los valores escogidos para la combinación son los obtenidos en la media del rango, los cuales son de 30% de agregado grueso y 70% de agregado fino. Con estos porcentajes obtenemos una curva granulométrica adecuada que cumple con las consideraciones de la granulometría "C" mencionada anteriormente, además el porcentaje de finos también es el adecuado, por ese motivo no se le adiciona filler. En el Cuadro 5.9 siguiente se muestra la combinación de agregados para el diseño de mezcla.

Cuadro 5.9: Combinación de agregados (Cantera S/N).

MALLA	AG. GRUESO	AG. FINO	COMB.	ESPECIF.
	PASA (%)	PASA (%)	PASA (%)	GRAD. C
1"	100		100	100
3/4"	85		95.5	90 - 100
1/2"	23		76.9	
3/8"	2	100	70.6	60 - 80
1/4"	2	89	62.9	
Nº 4	1	80	56.3	35 - 65
Nº 6	1	70	49.3	
Nº 8	1	59	41.6	20 - 50
Nº 10	1	54	38.1	
Nº 16	1	39	27.6	
Nº 20	1	32	22.7	
Nº 30	0	26	18.2	
Nº 40	0	21	14.7	
Nº 50	0	17	11.9	3 - 20
Nº 80	0	13	9.1	
Nº 100	0	11	7.7	
Nº 200	0	8	5.6	2 - 8

Combinación = 0.30 (AG. GRUESO) + 0.70 (AG. FINO)

Gráfico 5.7: Curva Granulométrica de la combinación de agregados (Cantera S/N).



5.3.2.2 Contenido de asfalto residual tentativo

Se aplica la siguiente fórmula:

$$CA = 0.032 a + 0.045 b + k c + K$$

$$a = 61.9$$

$$b = 32.5$$

$$c = 5.6$$

$$k = 0.18 \text{ (mayor a 10\% pasa la malla N° 200)}$$

$$\text{Absorción del agregado grueso} = 0.7\%$$

$$\text{Absorción del agregado fino} = 0.84\%$$

$$K = 0.8 \text{ (media)}$$

$$CA = 5.5\% \text{ (valor redondeado)}$$

$$\%E = 5.5 / 0.612 = 9.0\% \text{ de emulsión}$$

5.3.2.3 Recubrimiento

El ensayo de recubrimiento fue ejecutado usando el contenido de asfalto residual tentativo (5.5%) y el intervalo de agua de premezcla variando entre 0.5% y 1.5%.

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

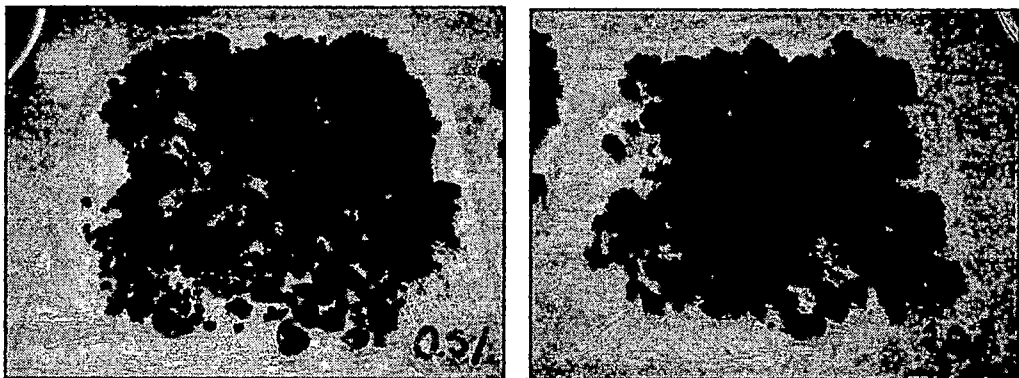
Los porcentajes de recubrimiento fueron muy buenos, solo hubo problemas para el agua de premezcla de 0.5%, pero todos estos porcentajes superaron el valor límite que da el Método Illinois que es de 50% de recubrimiento. Los resultados se muestran en el Cuadro 5.10:

Cuadro 5.10: Porcentajes de agua de premezcla para el ensayo de recubrimiento.

MEZCLA N°	AGUA AÑADIDA	HUMEDAD MEZCLA	RECUBRIM. 10 Min.	RECUBRIM. 24 Hrs.	OBSERVACIONES
1	0.5%	4.1%	85%	85%	Bajo recubrimiento
2	1.0%	4.6%	100%	100%	Película adecuada
3	1.5%	5.1%	100%	100%	Saturada

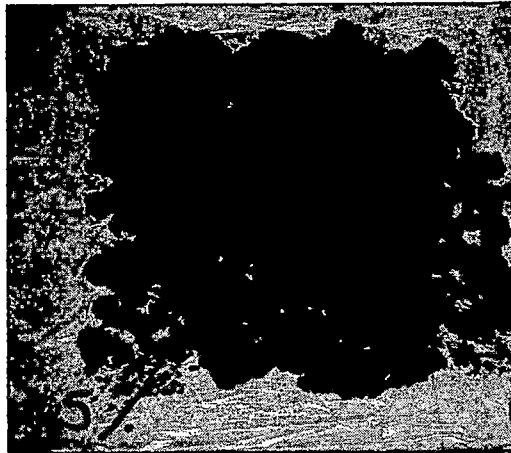
Según el Cuadro 5.10 se optó por un agua de premezcla de 1%, debido a que se obtuvo un 100% de recubrimiento al poco tiempo de ser mezclado y después de 24 horas, cuando la emulsión ya ha roto. Además la película de asfalto residual que recubre al agregado es de un espesor adecuado.

Figura 5.13: Mezclas realizadas para el ensayo de recubrimiento con 0.5%, 1.0% y 1.5% de agua de premezcla.



(a) Mezcla con 0.5% de agua de premezcla.

(b) Mezcla con 1% de agua de premezcla.



(a) Mezcla con 1.5% de agua de premezcla.

5.3.2.4 Contenido óptimo de agua en la compactación

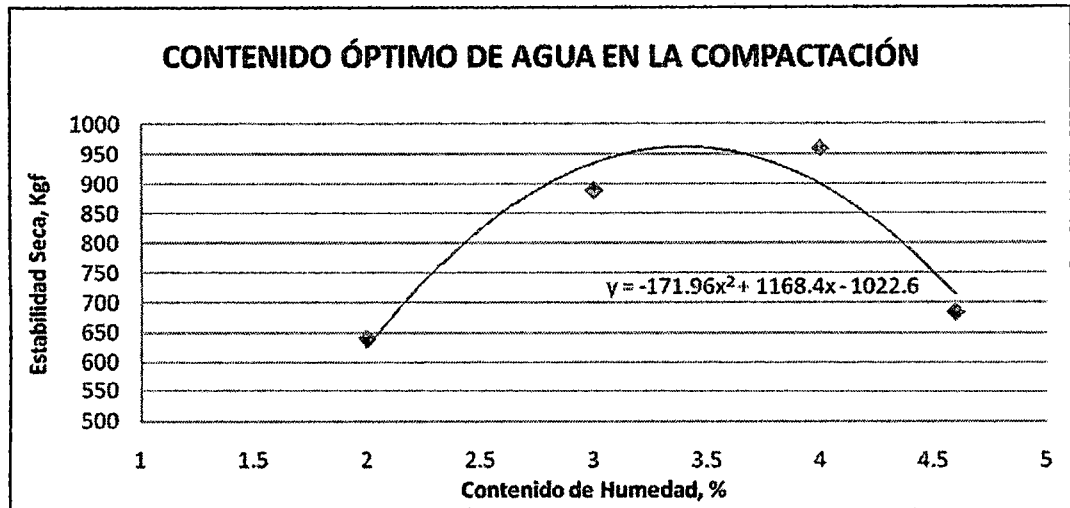
Como se observa en el Cuadro 5.10, la humedad total de la mezcla para un agua de premezcla de 1% es de 4.6%. Entonces los valores de humedad con que se compactaron las muestras fueron de 4.6%, 4%, 3% y 2%. El procedimiento de curado fue el mismo mencionado en la sección 5.3.1.4.

A continuación se muestra en el Cuadro 5.11 y el Gráfico 5.8 de Estabilidad VS. Contenido de Humedad antes de la Compactación.

Cuadro 5.11: Determinación del porcentaje óptimo de humedad de compactación.

BRIQ. Nº	% HUM. AL COMPACTAR	ESTABILIDAD	
		MEDIDA, Kgf.	PROM. Kgf.
1A	2	596	640
1B		676	
1C		648	
2A	3	891	890
2B		870	
2C		909	
3A	4	927	960
3B		1093	
3C		860	
4A	4.6	689	685
4B		676	
4C		689	

Gráfico 5.8: Gráfico de Estabilidad versus Contenido de humedad antes de la compactación.



De la ecuación obtenida de el Gráfico 5.8, se obtiene un pico en la estabilidad para el valor de 3.4 de humedad de compactación, contenido de humedad usado para compactar las muestras fabricadas en el siguiente paso de la metodología.

Cuadro 5.12: Resumen del contenido óptimo de humedad de compactación.

ASFALTO RESIDUAL TEÓRICO (61.2%), %	5.5
EMULSIÓN, %	9.0
ESTABILIDAD MÁXIMA, Kgf.	962
W. OPTIMA COMPACTACIÓN, %	3.4
PESO DEL AGREGADO SECO, gr.	1098.4

5.3.2.5 Variación del contenido de asfalto residual

Se prepararon muestras a contenidos de asfaltos residuales que varían en 0.5%, con valores de 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%. Estas muestras fueron compactadas al 3.4% de humedad de compactación hallada en el paso anterior y fueron curadas durante 72 horas dentro del molde a una temperatura de 22.2°C.

Después de realizar los procedimientos mencionados en la sección 5.3.1.5 se obtuvo los valores promedios que se muestran en el Cuadro 5.13.

Cuadro 5.13: Determinación de los parámetros de la Metodología Illinois (Fase seca).

% ASFALTO RESIDUAL	DENSIDAD SECA PROM. gr/cm ³	VACÍOS %	ESTABILIDAD SECA Kgf.	FLUJO 0.01"
4.5	2.240	11.1	1289	8.0
5.0	2.243	10.3	1051	9.3
5.5	2.237	9.9	952	11.0
6.0	2.219	10.0	811	11.3
6.5	2.188	10.6	651	12.7

Al igual que en el ensayo en seco, para las muestras sometidas en inmersión se prepararon muestras a contenidos de asfaltos residuales que varían en 0.5%, con valores de 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%. Estas muestras fueron compactadas y curadas exactamente igual que las muestras ensayadas en seco, pero después del curado de 72 horas, las muestras fueron sometidas a inmersión.

Después de realizar los procedimientos mencionados se obtuvo los valores promedios que se muestran en el Cuadro 5.14.

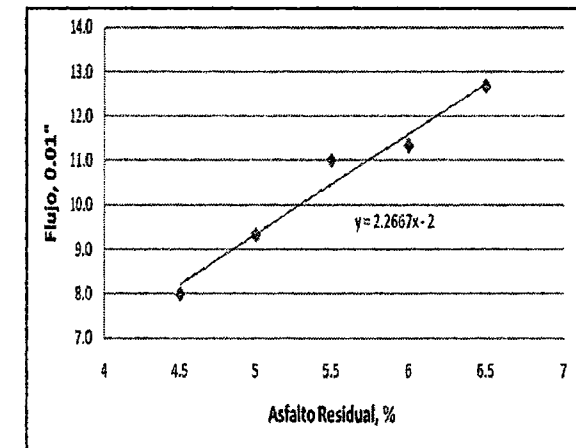
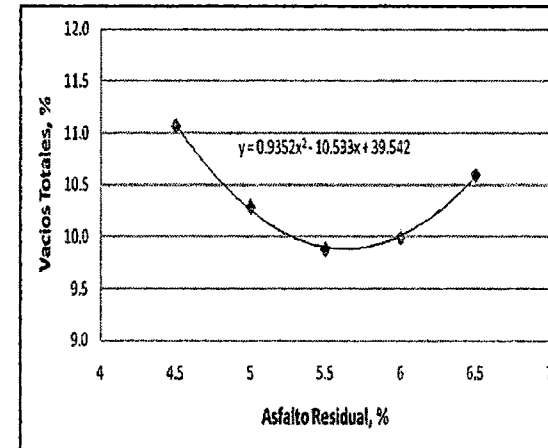
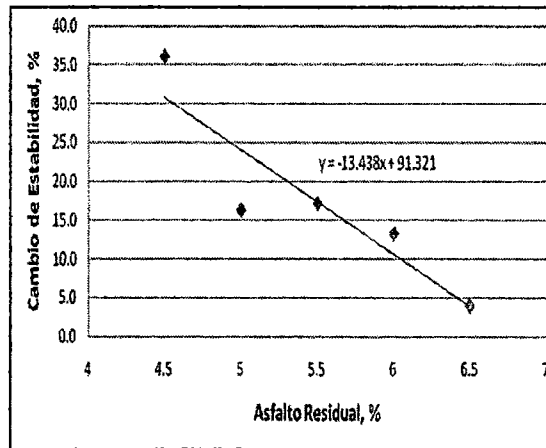
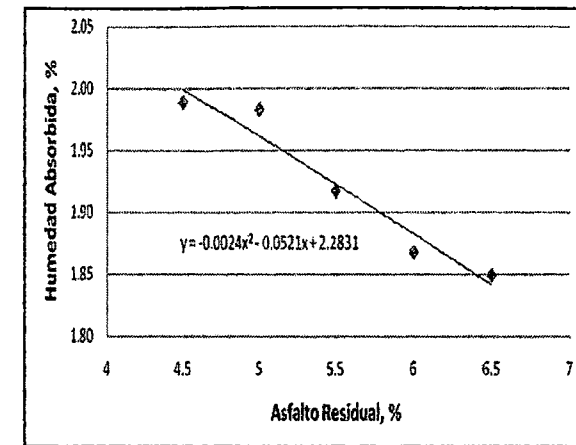
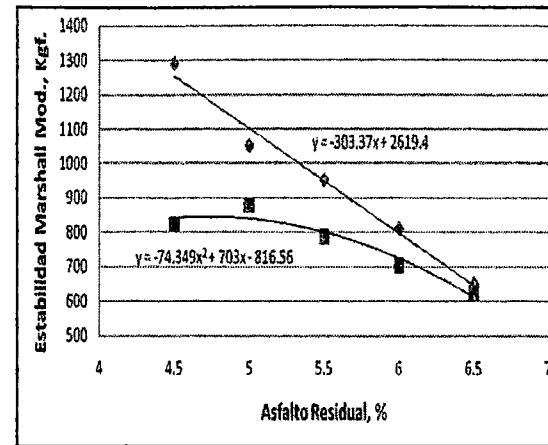
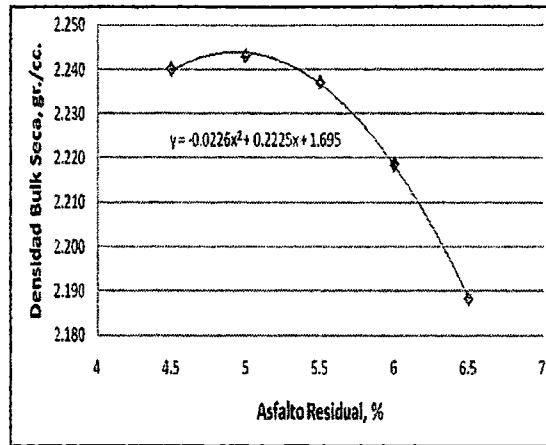
Cuadro 5.14: Determinación de los parámetros de la Metodología Illinois (Fase húmeda).

% ASFALTO RESIDUAL	HÚMEDAD ABSORBIDA %	ESTABILIDAD HÚMEDA Kgf.	% PÉRDIDA ESTABILIDAD Kgf.
4.5	1.99	824	36.1
5.0	1.98	879	16.4
5.5	1.92	788	17.2
6.0	1.87	703	13.3
6.5	1.85	625	4.0

5.3.2.6 Elaboración de gráficas

Al terminar con el procedimiento Illinois se debe de realizar las siguientes gráficas para poder determinar el porcentaje óptimo de emulsión. Los resultados se muestran en el Gráfico 5.9.

Gráfico 5.9: Gráficos del diseño Illinois con el agregado de la Cantera S/N (Km 770+100).



"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

Analizando las 6 gráficas obtenidas del Diseño Illinois, tomamos como principal parámetro la estabilidad Marshall Modificado retenida, esto quiere decir, después del proceso de saturación en los moldes con base perforada. Según la ecuación obtenida, se llega al pico de estabilidad retenida cuando se trabaja con un 4.7 % de asfalto residual, este valor será tomado como el contenido óptimo de asfalto en la mezcla. Los demás parámetros serán mostrados en el Cuadro 5.15.

Cuadro 5.15: Parámetros obtenidos del Diseño Illinois con el óptimo de asfalto residual para el agregado de la Cantera Santa Rosa (Diseño 2).

Descripción	Resultados	Especificación - Illinois
Residuo asfáltico óptimo (%)	4.7	
Agua en la mezcla (%)	4.6	
Agua en compactación (%)	3.4	
Emulsión Asfáltica (%)	7.7	
Densidad seca bulk (gr./cm ³ .)	2.242	
Estabilidad seca (Kgf.)	1194	Mín. 230
Estabilidad saturada (Kgf.)	845	
Humedad absorbida (%)	1.99	Máx. 4
Cambio de estabilidad (%)	28.2	Máx. 50
Vacios totales (%)	10.7	2 – 18
Flujo (Pulg/100)	8.7	
Cubrimiento (%)	100	Mín. 50

Se observa en el Cuadro 5.15 que para el 4.7% de porcentaje óptimo de asfalto residual se obtiene parámetros que están dentro de las especificaciones del Diseño Illinois como se obtuvo en el Diseño 1.

5.3.3 Aspectos comparativos de los diseños de mezcla

Se analizarán los parámetros obtenidos de los Diseños Illinois realizados, se harán comparaciones para las mezclas con los agregados de la Cantera Santa Rosa (Diseño 1) y de la Cantera S/N (Diseño 2).

Los datos obtenidos en laboratorio de las mezclas y de los diseños de mezcla se muestran en el Cuadro 5.16 y en el Cuadro 5.17.

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

Cuadro 5.16: Parámetros obtenidos de las mezclas para la Cantera Santa Rosa y para la Cantera S/N.

Descripción	Cantera Santa Rosa (Diseño 1)	Cantera S/N (Diseño 2)	Especificación Illinois
Agua añadida (%)	2.0	1.0	
Agua en la mezcla (%)	5.6	4.6	
Cubrimiento (%)	100	100	Mín. 50

- Respecto al agua añadida:

El agregado de la Cantera Santa Rosa requiere de una cantidad mayor de agua para realizar la premezcla y lograr un recubrimiento del 100% comparado con la Cantera S/N. Esto se puede explicar debido a dos motivos, el primero es que los agregados de la Cantera Santa Rosa tienen 1.08% promedio ($0.6 \times 0.8 + 0.4 \times 1.5$) de absorción, por tal motivo este agregado absorbe mayores cantidades de agua de premezcla. El segundo punto es sobre la composición química del agregado, se puede observar que para un agregado con alto contenido de carbonato de calcio, se logra una buena adherencia activa con una emulsión catiónica usando menores porcentajes de agua en comparación con un agregado con alto contenido de óxido de silicio que requiere mayores porcentajes de agua. Pero ocurrirá lo contrario si se evalúa la adherencia pasiva, debido a que las cargas negativas del agregado silicio tienen atracción con la emulsión catiónica (carga positiva).

- Respecto al agua en la mezcla:

Como es de suponerse la mezcla con agregados de la Cantera Santa Rosa tendrá un mayor porcentaje de agua que la mezcla con agregados de la Cantera S/N. Esto se explica debido a que los agregados de la Cantera Santa Rosa necesitaron mayor cantidad de agua de premezcla resultando en mayores cantidades de agua en la mezcla.

- Respecto al cubrimiento:

El recubrimiento de los dos tipos de agregados fue del 100% al realizar la mezcla. Se debe mencionar que con el agregado de la Cantera S/N al

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

hacer un mezclado excesivo o al realizar mezclados antes de la rotura de la emulsión se producía peladuras en la mezcla, en cambio el agregado de la Cantera Santa Rosa, por tener un alto contenido de sílice, no presentó este problema.

Cuadro 5.17: Parámetros obtenidos de los Diseños Illinois para las Canteras Santa Rosa y para la Cantera S/N.

Descripción	Cantera Santa Rosa (Diseño 1)	Cantera S/N (Diseño 2)	Especificación Illinois
Agua en compactación (%)	4.2	3.4	
Residuo asfáltico óptimo (%)	5.4	4.7	
Emulsión Asfáltica (%)	8.8	7.7	
Densidad seca bulk (gr./cm3.)	2.112	2.242	
Estabilidad seca (Kgf.)	869	1194	Mín. 230
Estabilidad saturada (Kgf.)	682	845	
Humedad absorbida (%)	1.53	1.99	Máx. 4
Cambio de estabilidad (%)	23.0	28.2	Máx. 50
Vacios totales (%)	14.3	10.7	2 – 18
Flujo (Pulg./100)	13.9	8.7	

- Respecto al agua de compactación:

El Diseño 1 necesita una mayor cantidad de agua de compactación que el Diseño 2, esto se debe a principalmente a que el Diseño 1 tiene una mayor cantidad de agua inicial, entonces requerirá menor cantidad de pérdida de humedad para lograr compactarse. Esta explicación variará con diferentes agregados, debido que cada uno tiene diferentes características.

- Respecto al residuo asfáltico y emulsión asfáltica:

El Diseño 1 requiere una mayor cantidad de asfalto residual que el Diseño 2 para proveer los parámetros adecuados a la mezcla para que soporte las aplicaciones de cargas repetidas sin una deformación permanente. Esto se debe principalmente a que el agregado del Diseño 1 tiene mayor porcentaje de absorción y un menor equivalente de arena,

por lo tanto, requiere porcentajes mayores de asfalto residual para los diseños de mezcla.

- **Respecto a los vacíos totales:**

El Diseño 2 tiene un menor porcentaje de vacíos que el Diseño 1, esto se puede explicar debido a dos motivos. El primero es que la cantidad de finos que tiene el Diseño 2 (5.6%) es mayor que el que tiene el Diseño 1 (4.8%). La otra razón tiene que ver con el porcentaje de caras de fracturas, debido a que a mayores caras de fracturas habrá un mejor reacomodo de las partículas al compactar la mezcla, reduciendo el porcentaje de vacíos totales. Aunque el Diseño 1 tiene un alto porcentaje de vacíos totales, del orden de 14.3%, este valor cumple con las especificaciones dadas. Para este tipo de mezclas asfálticas en frío se necesita altos porcentajes de vacíos totales comparado con las mezclas en caliente, esto se debe a que por estos vacíos se evaporará el agua de premezcla y contenida en la emulsión con el transcurso del tiempo, adquiriendo de este modo mayores resistencias.

- **Respecto a la densidad seca bulk:**

El Diseño 2 tiene mayores densidades secas bulk que el Diseño 1, esto se debe principalmente a que Diseño 1 tiene un mayor porcentaje de vacíos que el Diseño 2, por lo tanto los especímenes compactados tienen mayores volúmenes reduciendo de este modo las densidades secas bulk.

- **Respecto a la estabilidad seca:**

El Diseño 2 tiene mayores estabilidades secas que el Diseño 1, esto se puede explicar debido a tres motivos. El primero es que el Diseño 1 tiene una menor cantidad de asfalto residual y en consecuencia una mayor estabilidad como se muestra en el Cuadro 5.17. La segunda razón tiene que ver con el porcentaje de caras de fracturas, debido a que a mayores caras de fracturas habrá un mejor reacomodo de las partículas al compactar la mezcla y generando fricción entre éstas, aumentando la estabilidad seca. Finalmente, el Diseño 1 tiene un tamaño máximo de 1" y el Diseño 2 tiene un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ ", a mayor tamaño máximo la

mezcla tiene un esqueleto más resistente, por consecuencia una mayor estabilidad seca.

- **Respecto a la humedad absorbida:**

El Diseño 2 tiene mayores humedades absorbidas que el Diseño 1, estos valores podrían entenderse como una contradicción, debido a que el Diseño 2 tiene menores porcentajes de vacíos. Esto se puede explicar debido a la afinidad que se obtenía entre el tipo de agregado y la emulsión, para el agregado del Diseño 1, por tener un alto contenido de sílice era una mezcla más trabajable y las caras inferiores y superiores quedaban con un mejor acabado al compactarse, es decir más cerradas. En cambio para los agregados del Diseño 2, por tener un alto contenido de carbonatos de calcio, las caras inferiores y superiores de la mezcla se observaban más porosas. Como en la Metodología Illinois, la mezcla sólo absorbe agua por las caras inferiores y superiores y no por las caras laterales, ya que estas están confinadas con el molde, el Diseño 2 absorbía mayor cantidad de agua.

- **Respecto a la estabilidad saturada:**

El Diseño 2 tiene mayores estabilidades saturadas que el Diseño 1, las razones son las mismas que las que se obtuvo en los valores de las estabilidades secas. La otra razón sería que el Diseño 1 tiene un mayor porcentaje de vacíos afectando más severamente a la mezcla en su interior comparada con el Diseño 2.

- **Respecto a los cambios de estabilidad:**

El Diseño 2 tiene mayores cambios de estabilidad que el Diseño 1, pero estos dos valores se encuentran dentro de los rangos establecidos por la Metodología Illinois que es de 50% como máximo.

- **Respecto al flujo:**

El Diseño 1 tiene un mayor flujo que el Diseño 2, pero estos dos valores se encuentran dentro de los rangos establecidos por las especificaciones Colombianas y Brasileñas, indicados en los Cuadros 3.11 y 3.13,

respectivamente. Estos resultados se pueden explicar debido a que a mayores cantidades de asfalto residual se obtienen mayores flujos, por tal motivo el Diseño 1 tiene flujos mayores.

5.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL DISEÑO DE MEZCLA - METODOLOGÍA ILLINOIS

En el Cuadro 5.18 se puede observar las ventajas y desventajas de la Metodología Illinois para el diseño de mezcla.

Cuadro 5.18: Ventajas y desventajas de la Metodología Illinois.

	DISEÑO DE MEZCLA – METODOLOGÍA ILLINOIS
VENTAJAS	Ensayo relativamente sencillo.
	El tipo de muestra y equipos son los mismos que los utilizados en el Ensayo Marshall para mezclas asfálticas en caliente, a excepción de los moldes especiales para la saturación.
	El curado que se le somete a las muestras son a temperatura de 22.2°C, temperatura más similar a lo que ocurren en campo comparado con otras temperaturas de curado.
	Se obtienen buenas tendencias de los resultados.
	Las especificaciones que debe de cumplir los parámetros obtenidos son más completas en relación con otras metodologías.
DESVENTAJAS	El procedimiento es un poco largo comparado con otros métodos, puede durar de 11 a 14 días, depende de la cantidad de moldes que se cuenta.
	La saturación de las muestras puede dar resultados contradictorios respecto a la relación que se debe tener entre la humedad absorbida y el porcentaje de vacíos, debido a que la saturación de las muestras sólo se realiza por capilaridad por la cara superior e inferior.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI: ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA EVALUAR EL DAÑO POR HUMEDAD EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

6.1 INTRODUCCIÓN

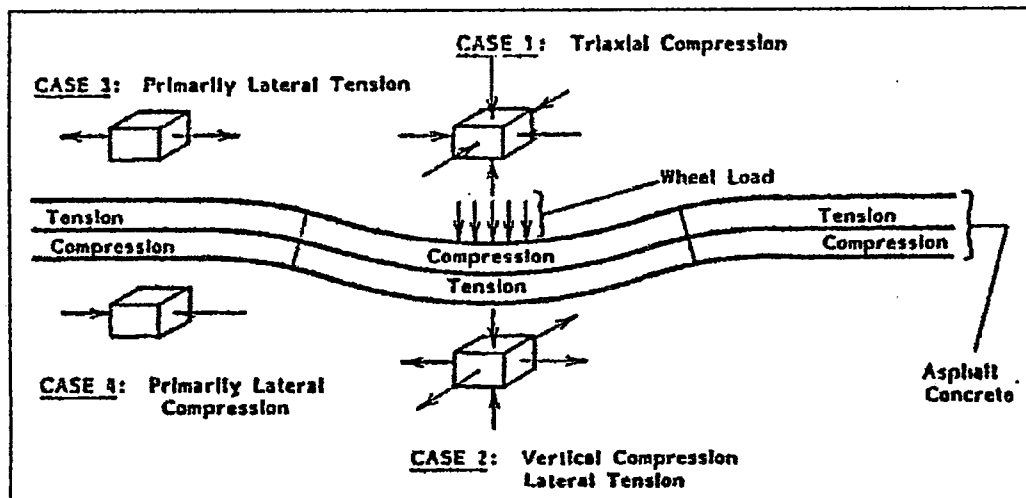
Tras su puesta en servicio, el pavimento comienza a deteriorarse debido a un gran número de factores, siendo los de mayor trascendencia los agentes climáticos y las cargas del tráfico. Las causas de falla están asociadas a deformaciones plásticas (ahuellamientos), fisuración por retracción térmica y fisuración por fatiga. Por este motivo es necesario conocer que ensayo debe utilizarse para caracterizar a la mezcla y qué análisis se debe realizar a partir de los datos obtenidos.

El ensayo para determinar las características de la mezcla será un compromiso entre la precisión obtenida y lo factible que sea su empleo, con la finalidad de obtener un modelo lo más representativo posible pero a la vez de fácil aplicación considerando la disponibilidad de tiempo, de recursos económicos y de equipamientos.

Sería ideal contar con un ensayo capaz de reproducir un estado de tensiones a las briquetas, similar a la que se produce en la capa bituminosa. Roque y Buttlar esquematizan en la siguiente figura el estado de tensiones provocado por una carga simple en la estructura de un pavimento, donde se distinguen cuatro casos:

- 1) Compresión triaxial en la superficie inmediatamente bajo la rueda.
- 2) Tracción longitudinal y transversal combinada con una compresión vertical en la parte inferior de la capa bituminosa bajo la rueda.
- 3) Tracción longitudinal o transversal en la superficie a una cierta distancia de la carga.
- 4) Compresión longitudinal o transversal en el fondo de la capa bituminosa a una cierta distancia de la carga.

Figura 6.1: Estado de tensiones en un pavimento bajo una carga simple.



Fuente: MARTÍNEZ, Adriana – ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN EL CONTROL DE SU EJECUCIÓN – 2000.

Existen ensayos que representan cada uno de estos cuatro estados tensionales, pero no hay uno que reúna todos. Sin embargo, no es necesario analizar las cuatro situaciones, pues la experiencia ya ha determinado que la zona más crítica se produce en la fibra inferior de la capa bituminosa, bajo la carga. El ensayo de tracción indirecta reproduce este estado de tensión crítica para una mezcla bituminosa, siendo la elegida para ser utilizada en esta tesis.

6.2 ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

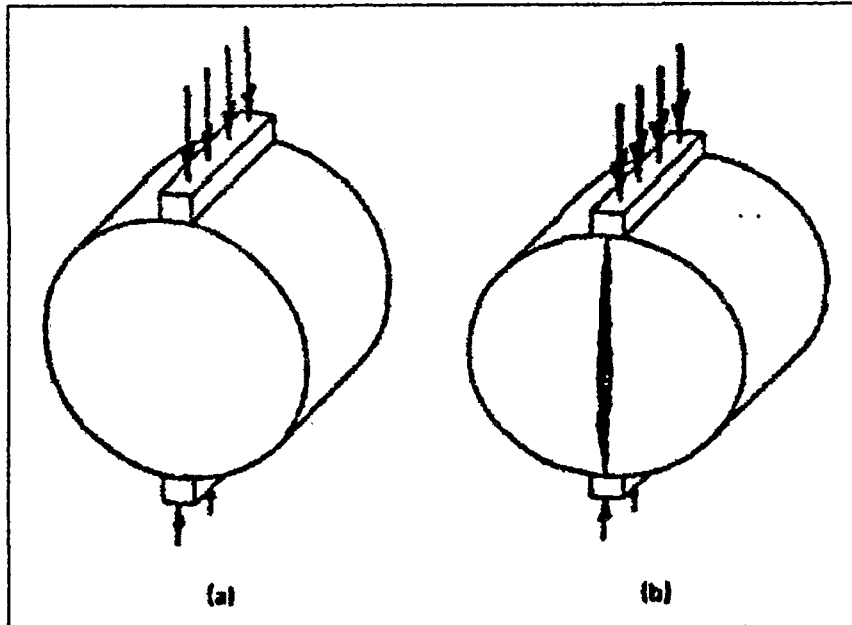
El ensayo de tracción indirecta reproduce el estado de tensión en la fibra inferior de la capa asfáltica o zona de tracción. Es un método práctico y sencillo para caracterizar las propiedades de las mezclas bituminosas o evaluar las fallas causadas por tensiones de tracción.

El ensayo consiste en aplicar una carga de compresión diametral a una briqueta cilíndrica, igual a la utilizada en el ensayo Marshall, de tal manera que los esfuerzos aplicados se ubiquen sobre dos generatrices opuestas a lo largo de un plano diametral vertical como se muestra en la Figura 6.2a. Esta configuración de carga genera una tensión de tracción uniforme perpendicular a la dirección de carga aplicada y a lo largo del plano vertical diametral, que finalmente causa el

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

fallo de la muestra desencadenando la rotura a lo largo del diámetro vertical como se muestra en la Figura 6.2b.

Figura 6.2: Configuración de la carga y rotura del ensayo de tracción indirecta.



Fuente: MARTÍNEZ, Adriana – ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN EL CONTROL DE SU EJECUCIÓN – 2000.

El parámetro a medir es la carga de rotura de la briqueta. Si es que se tiene los sistemas adecuados, se podría determinar el desplazamiento vertical y la deformación horizontal del diámetro de la briqueta.

Thomas Kennedy, verdadero precursor del ensayo de tracción indirecta en Estados Unidos, promueve la utilización de este ensayo debido a los siguientes motivos:

- El ensayo es relativamente simple.
- El tipo de muestra y el equipo son los mismos que los utilizados para otros ensayos.
- La rotura no está seriamente afectada por las condiciones de superficie.
- La rotura se inicia en una región relativamente uniforme de tensiones de tracción.
- El coeficiente de variación de los resultados de ensayos es bajo comparado a otros métodos.

- El ensayo puede utilizarse bajo carga estática o carga repetida.
- Provee información sobre propiedades elásticas resilientes, de fisuración térmica, de fisuración por fatiga y de deformación permanente.
- Puede usarse para evaluar el efecto de humedad en mezclas asfálticas.

Este último punto será tratado en la presente tesis, debido a que esta característica implica que la resistencia conservada sea menor a los límites que garantizan un buen comportamiento de la mezcla. Además se debe de aplicar este ensayo a las mezclas asfálticas en frío con emulsiones asfálticas, método no estandarizado ni normado, debido a que esta metodología se aplica a las mezclas en caliente según la norma AASHTO T283 y ASTM D4867, conocido como el Ensayo Lottman Modificado.

La velocidad de desplazamiento del sistema durante el ensayo será uniforme e igual a 50.8 mm./min., igual a la empleada por la prensa en el ensayo Marshall. El fallo de las muestras se produce por rotura a tracción y viene dada por la siguiente ecuación:

$$RT = \frac{2 * P_{m\acute{a}x}}{\pi * t * d}$$

Donde:

RT: Resistencia a la rotura por tracción indirecta.

Pmax: Carga máxima o carga de rotura.

t: Espesor de la briqueta.

d: Diámetro de la briqueta.

Para determinar el índice de resistencia conservada o razón de la resistencia a la tracción de las muestras con y sin acondicionamiento, se utiliza esta ecuación:

$$RRT = \frac{RT_{saturada}}{RT_{seca}} * 100$$

Donde:

RRT: Índice de resistencia conservada o razón de resistencia a tracción.

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

RT seca: Resistencia a la tracción en muestras seca o sin acondicionamiento.

RT saturada: Resistencia a la tracción en muestras saturadas o con acondicionamiento.

Según los pliegos de especificaciones el índice de resistencia conservada debe ser mayor o igual a 75%, este valor no ha sido normado en el Perú para mezclas asfálticas en frío con emulsiones, ni para mezclas asfálticas en caliente. La metodología Superpave del Programa SHRP recomienda valores más exigentes que están por encima de 80%.

6.3 SENSIBILIDAD A LA ACCIÓN DEL AGUA

Uno de los agentes agresivos que más afecta a los pavimentos es el agua que puede presentarse de diferentes maneras como por ejemplo en las lluvias, en desbordes de los ríos, en infiltraciones debido a los sembríos aledaños a la carretera, entre otros. Estos daños por humedad es una de las principales formas de deterioración de los pavimentos y un causante de otros problemas como las deformaciones permanentes, la aparición de fisuras y la formación de desprendimientos, los que afectarían negativamente a la estructura, ya sea, a nivel de superficie de rodadura o favoreciendo al ingreso de agentes agresivos externos a las capas inferiores del paquete estructural, siendo la consecuencia más seria la desintegración total del pavimento. El daño por humedad se produce en las mezclas asfálticas debido a la combinación de las cargas mecánicas y de la humedad. Existen tres mecanismos por los cuales la humedad degrada la mezcla:

- Pérdida de cohesión entre el asfalto y el mastic.
- Pérdida de adhesión entre el ligante asfáltico y el agregado.
- Degradación del agregado.

La pérdida de la fuerza de cohesión y adhesión resulta en la disminución del espesor de la matriz del asfalto, lo cual puede producir una pérdida de la rigidez y reducción de la vida útil del pavimento.

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

Los daños causados por la humedad en los pavimentos es un fenómeno complejo, que depende de factores meteorológicos, procesos constructivos y características de las mezclas asfálticas. Respecto a los factores meteorológicos, los mayores daños se presentan en condiciones climáticas extremas, particularmente cuando ocurre congelamiento combinado con alto volumen de tráfico. Respecto a la práctica constructiva, los factores más influyentes son la calidad de la compactación y las condiciones climáticas presentes durante el proceso de colocación de la carpeta asfáltica.

Respecto a los componentes de las mezclas asfálticas, los factores más influyentes en los daños causados por la humedad son la composición mineralógica, química y morfológica de los agregados, además de características específicas como la porosidad, área superficial, absorción, forma, textura y angularidad de éstos. En cuanto al ligante asfáltico, los principales factores son las características físico – químicas, composición química y las propiedades visco – elásticas de éstos.

Entre las características que influyen en el deterioro de las mezclas asfálticas por la influencia de la humedad, que generan los mecanismos de falla mencionados anteriormente, han sido estudiadas por muchos investigadores, destacando las siguientes causas:

- Presión de poros del agua en los vacíos de la mezcla debido a repeticiones de carga, diferencias térmicas que producen expansión y contracción por la formación de hielo, ciclos de congelamiento y deshielo o una combinación de estos factores.
- Desprendimiento del asfalto por efecto del agua en la mezcla, a temperaturas entre moderadas y altas.
- Interacción del vapor de agua con el mastic formado por el asfalto y el filler y las interfaces de los áridos más grandes.
- Interacción del agua con minerales arcillosos en el árido fino.

En 1982 Robert Lottman publicó su informe final sobre una metodología para predecir el daño causado por la humedad en las mezclas asfálticas. Lottman propone en su método evaluar el efecto de la humedad mediante ensayos de tracción sobre briquetas sometidas a distintas condiciones, intentando reproducir la situación en que se encuentra el pavimento en servicio.

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

Para la realización del ensayo se elaboran briquetas de las dimensiones del ensayo Marshall, un grupo se mantiene para ensayar en seco, otro para ensayar saturando las muestras al vacío y el último para el ensayo en la condición acelerada, que consiste en una saturación al vacío seguido de un ciclo de congelamiento e inmersión en agua caliente. Luego se debe hallar los cocientes entre las briquetas saturadas al vacío y las secas simulando el efecto de la humedad a corto plazo. El cociente entre las briquetas sometidas a la condición acelerada y las secas simularía el efecto de la humedad a largo plazo.

El procedimiento mencionado es para mezclas asfálticas en caliente, en el caso de mezclas asfálticas en frío se evaluará también un cociente entre las briquetas acondicionadas pero solo por la inmersión al agua caliente y en estado seco. Además se tomará en cuenta diferentes porcentajes de conglomerantes y como estos disminuyen el efecto perjudicial de la humedad.

6.4 INFLUENCIA DE LOS FILLERS COMERCIALES

En esta investigación se utilizó la palabra extranjera “filler” para referirnos a los rellenos minerales, debido a que es una palabra muy común en el área de los pavimentos, en especial de las mezclas asfálticas.

Los fillers son conglomerantes debido a que son materiales capaces de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por transformaciones químicas en su masa. Los conglomerantes que se utilizarán en esta investigación son los fillers comerciales más usuales para la elaboración de mezclas asfálticas, que son el cemento portland y la cal hidratada. Gran parte de la literatura indica la necesidad de incorporar a las mezclas asfálticas un conglomerante para mitigar el efecto perjudicial del daño por humedad, este será uno de los objetivos de esta investigación.

El filler empleado en la elaboración de mezclas asfálticas de cualquier tipo es un material finamente molido o pulverizado, este término proviene del inglés y significa “rellenador o llenante”. Mucha gente tiene una idea equivocada del filler y solo lo considera como material de relleno de vacíos en las mezclas asfálticas, pero este concepto ha evolucionado y actualmente se considera al filler no simplemente como un material inerte relleno sino como un material que al

mezclarse con el asfalto manifiesta cierta actividad que modifica algunas propiedades de la mezcla asfáltica.

El filler y el asfalto en mezclas asfálticas en caliente o asfalto residual en mezclas emulsionadas conforman una masa asfáltica o mastic, este compuesto es muy importante fundamentalmente en la impermeabilidad y durabilidad de la mezcla asfáltica, además en las mezclas emulsionadas influye en el tiempo de rotura de la emulsión. A continuación se menciona algunas de las propiedades que el mastic proporciona a la mezcla:

- Mejora las propiedades del material bituminoso ya que actúa como espesante del asfalto, mejora su adherencia y provee de un mayor espesor a la lámina que recubre los áridos, disminuyendo los procesos de volatilización y oxidación; es decir que retarda el envejecimiento del ligante asfáltico.
- Incrementa el punto de ablandamiento, reduce la penetración y aumenta la rigidez del ligante asfáltico, estas características dependen de la cantidad de filler agregado, del tamaño y de la forma de las partículas.
- Actúa de barrera protectora minimizando los daños que puede generar el agua, debido a que al reaccionar con el ligante asfáltico da lugar a la formación de enlaces más fuertes.
- Proporciona puntos de contacto entre los agregados de mayor tamaño y los encaja limitando sus movimientos, aumentando así la estabilidad del conjunto.
- Incrementa la resistencia al ahuellamiento porque produce una mezcla bastante resistente, demostrado por el aumento en el módulo dinámico.
- Pueden interceptar y desviar las microfisuras cuando comienzan a formarse, evitando que éstas se unan formando macrofisuras que dañan el pavimento ya que al reaccionar con el ligante asfáltico, forma partículas más grandes que evitan que las grietas crezcan juntas, alargando el tiempo de vida del pavimento.
- Acelera la deshidratación de las mezclas asfálticas emulsionadas, permitiendo proseguir casi inmediatamente con la compactación.
- Rellena los vacíos del esqueleto de agregados gruesos y finos, por lo tanto impermeabiliza y densifica el esqueleto, esto ocurre principalmente

en las mezclas asfálticas en caliente; para las mezclas asfálticas emulsionadas podría ocurrir lo contrario.

- Como limitación, el exceso de filler en las mezclas asfálticas, puede fragilizar y endurecer a la mezcla dejando un material poco flexible y comprometiendo su comportamiento principalmente a bajas temperaturas.

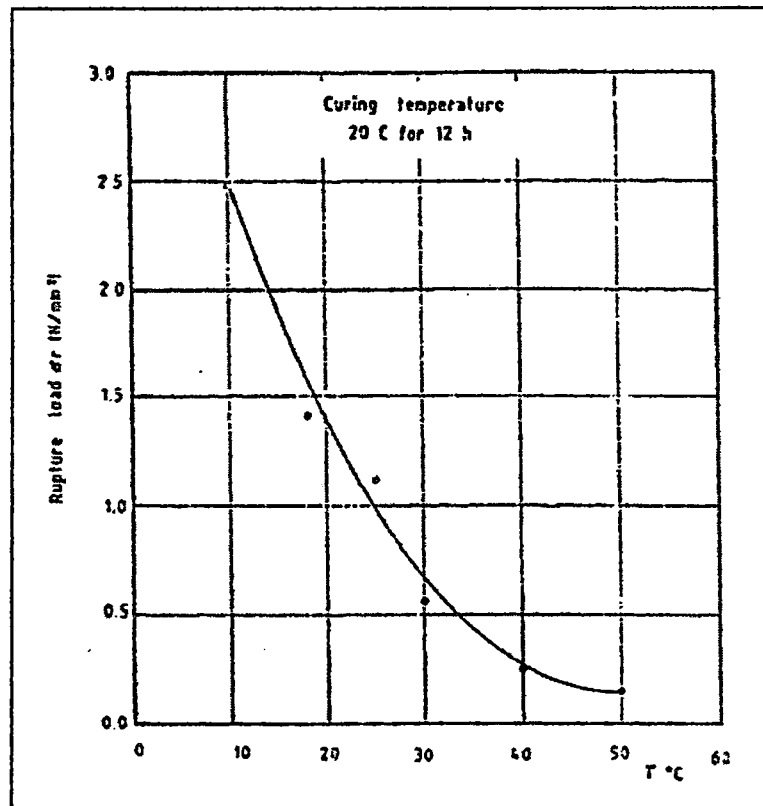
6.5 VARIABLES DE ESTUDIO

Algunos investigadores han publicado los resultados obtenidos con el ensayo de tracción indirecta evaluando algunas variables que pueden influir en las propiedades de las mezclas bituminosas. A continuación se mencionan los más importantes que serán de importancia para la aplicación del ensayo de tracción indirecta explicado en el punto 6.6.

6.5.1 Temperatura del ensayo

Tesoriere, Marino y Canale han estudiado mezclas bituminosas con áridos calcáreos triturados, con un 4% de asfalto 80-100, ensayándolas a diferentes temperaturas y encontrando que en un rango de temperatura entre 10°C y 25°C el valor de la resistencia varía en forma lineal, evidenciando el predominio de la componente elástica, mientras que a temperaturas mayores a 30°C la función adquiere una tendencia parabólica prevaleciendo la componente viscosa y con mayores dispersiones en los resultados como puede observarse en el Gráfico 6.1.

Gráfico 6.1: Resistencia a tracción indirecta versus temperatura de acondicionamiento.

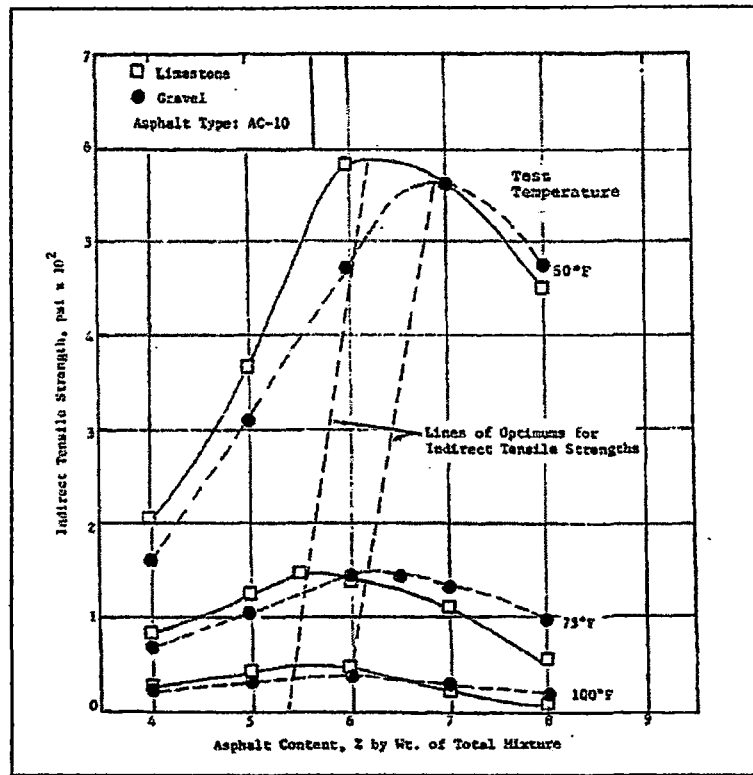


Fuente: MARTÍNEZ, Adriana – ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN EL CONTROL DE SU EJECUCIÓN – 2000.

6.5.2 Temperatura de ensayo y contenido de ligante

Kennedy estudio dos tipos de mezcla con diferente tipo de agregado y un ligante tipo AC-10 (penetración 80). Según el Gráfico 6.2 se puede observar que a altas temperaturas (100°F, 40°C) la variación de la resistencia con el contenido de ligante se vuelve casi imperceptible, mientras que a bajas temperaturas (50°F, 10°C) las diferencias son importantes.

Gráfico 6.2: Relación entre la resistencia a tracción indirecta y el contenido de asfalto para mezclas elaboradas con árido calizo y grava.



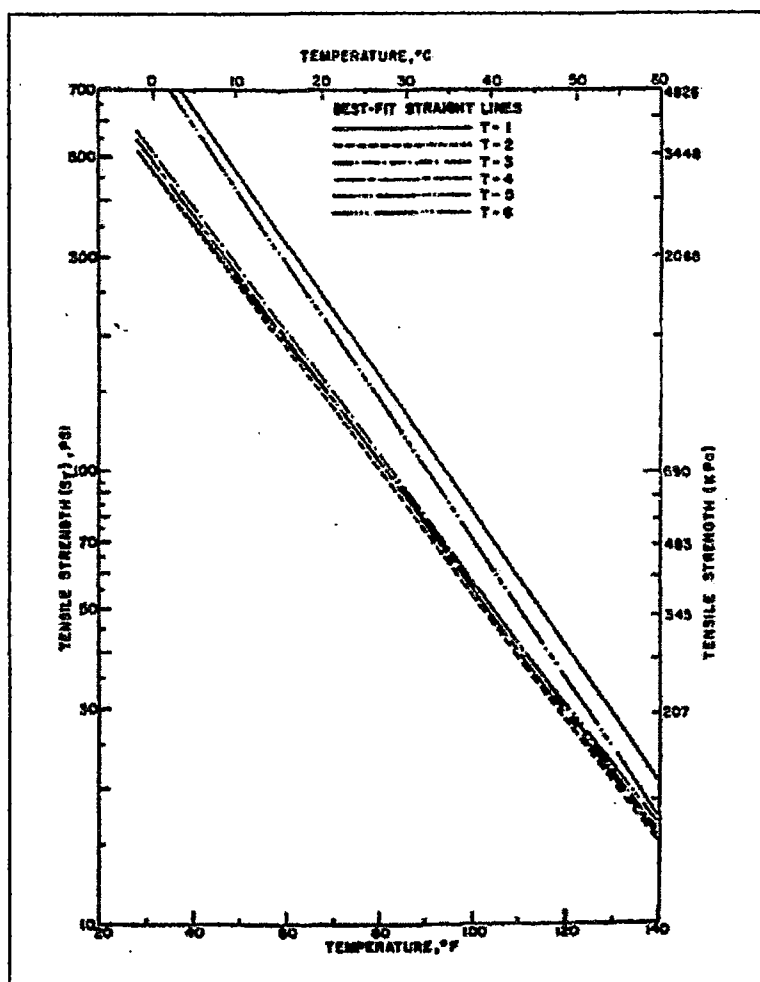
Fuente: MARTÍNEZ, Adriana – ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN EL CONTROL DE SU EJECUCIÓN – 2000.

6.5.3 Temperatura de ensayo y tipo de ligante

Prithvi Kandhal ha estudiado seis tipos de asfalto de diferente procedencia, con penetraciones que varían de 42 a 80, estos fueron utilizados para una mezcla de tipo densa para un pavimento de prueba. Se determinaron las propiedades de los ligantes y se ensayaron las briquetas a las temperaturas de 4°C, 15.6°C, 25°C y 60°C.

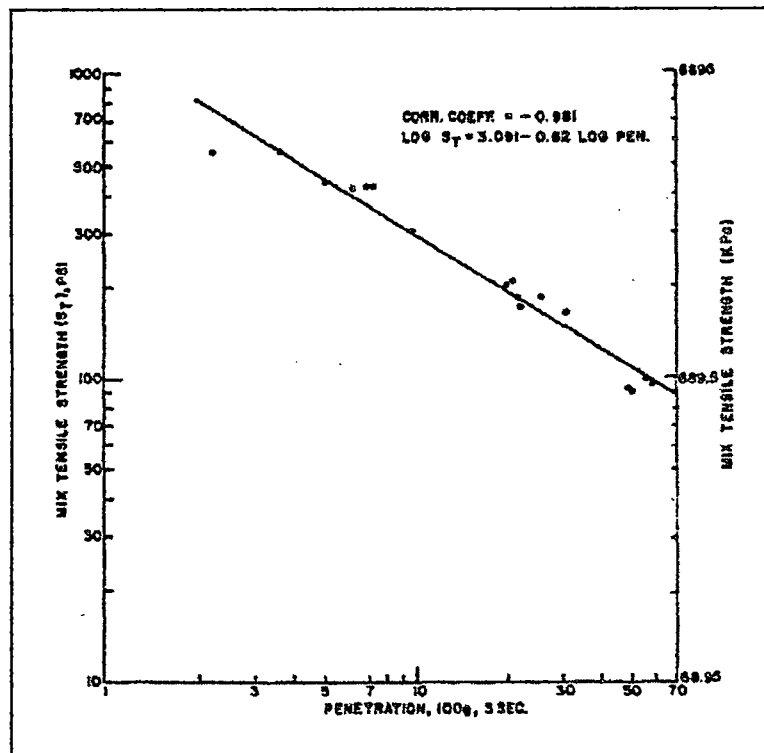
Con esta investigación se demostró que existe una correlación entre la resistencia a tracción con la temperatura de ensayo y la penetración del asfalto, aumentando cuando la temperatura o la penetración bajaba con una tendencia recta en ejes de resistencia a tracción y penetración logarítmicos, estas tendencias son mostradas en los Gráficos siguientes.

Gráfico 6.3: Temperatura versus resistencia a tracción indirecta para diferentes
asfaltos.



Fuente: MARTÍNEZ, Adriana – ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS
MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN EL CONTROL DE SU
EJECUCIÓN – 2000.

Gráfico 6.4: Penetración versus resistencia a tracción indirecta.



Fuente: MARTÍNEZ, Adriana – ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN EL CONTROL DE SU EJECUCIÓN – 2000.

Debido a estas investigaciones, la Doctora Adriana Martínez de la Universidad Politécnica de Cataluña, en su tesis doctoral realizó el ensayo de tracción indirecta a una temperatura de 5°C. En esta tesis se realizará el ensayo a 25°C, temperatura aceptable según las investigaciones mencionadas anteriormente debido a que se garantiza un comportamiento elástico de la mezcla. Para un futuro se recomendaría realizar el ensayo a la temperatura de 5°C recomendada por la Doctora Adriana Martínez y también a 15°C, temperatura recomendada por la Unificación de Normas Europeas redactada en el 2008.

6.6 ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA APLICADO A MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON EMULSIONES ASFÁLTICAS

Se ha tenido que adecuar el ensayo de tracción indirecta para las mezclas asfálticas en frío con emulsiones asfálticas, esto se ha realizado gracias a las investigaciones del Doctor Adrián Noretta y del Ingeniero Jorge Marcelo Lockhart

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

de la Universidad Nacional de la Plata de Argentina, del Ingeniero Jorge Ripani de la Dirección de Viabilidad de la Provincia de Buenos Aires de Argentina y de los Doctores Félix Pérez Jiménez y Adriana Martínez de la Universidad Politécnica de Cataluña de España. Todos estos investigadores han estudiado a fondo diferentes tipos de mezclas asfálticas emulsionadas y se ha realizado una metodología que se aplicará en esta tesis y que se espera que a futuro se puedan seguir con estos estudios para que esta metodología pueda ser normada en Perú para que se utilice en la evaluación de todo tipo de mezclas con emulsiones como las mezclas asfálticas en frío, estabilizaciones de suelos, mezclas recicladas, entre otros.

En esta tesis se utilizará el ensayo de tracción indirecta para evaluar el efecto perjudicial que produce la humedad y como la incorporación de conglomerantes (cemento portland y cal hidráulica) ayudará para mitigar este efecto perjudicial. Cabe destacar que porcentajes elevados de estos materiales producen capas más frágiles con tendencia a fisurarse a edades tempranas, por tal motivo se tomará en cuenta porcentajes recomendados por los investigadores mencionados anteriormente que no llegan a fragilizar la mezcla.

Tampoco se conoce un método de evaluación de los porcentajes óptimos de filler a incorporar. En general se recomiendan contenidos de cemento portland y cal hidratada sin considerar las características de los materiales actuantes y en la mayoría de casos solo se considera como llenante, cuando la arena tiene poca cantidad de finos. Entonces también ayudará como una metodología para poder hallar un rango de porcentajes óptimos de filler.

6.6.1 Objetivo del Método

El objetivo del método es proveer una cantidad adecuada de filler que económicamente le aporte una adecuada resistencia conservada para garantizar un buen comportamiento de la mezcla asfáltica en presencia de humedad.

6.6.2 Procedimiento del Método

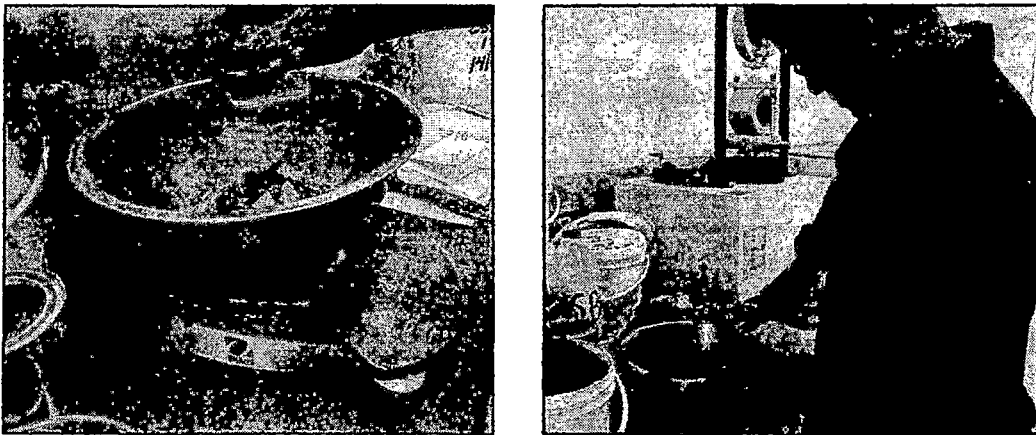
6.6.2.1 Dosificación y preparación de las muestras

Las muestras fueron preparadas con una granulometría fija obtenida del ensayo de tamizado y del método del cuadrado para la mezcla de agregado grueso y fino, luego se le incorpora la cantidad de agua de premezcla que recubra los

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

agregados hasta que exista homogeneidad en la mezcla, para finalmente incorporar la cantidad de emulsión óptima hallada mediante el procedimiento del Diseño Illinois y mezclarse hasta que el agregado quede bien recubierto, todos estos datos son obtenidos del Capítulo V, a excepción del agua de premezcla, que varió en función de la cantidad de filler que se incorporó.

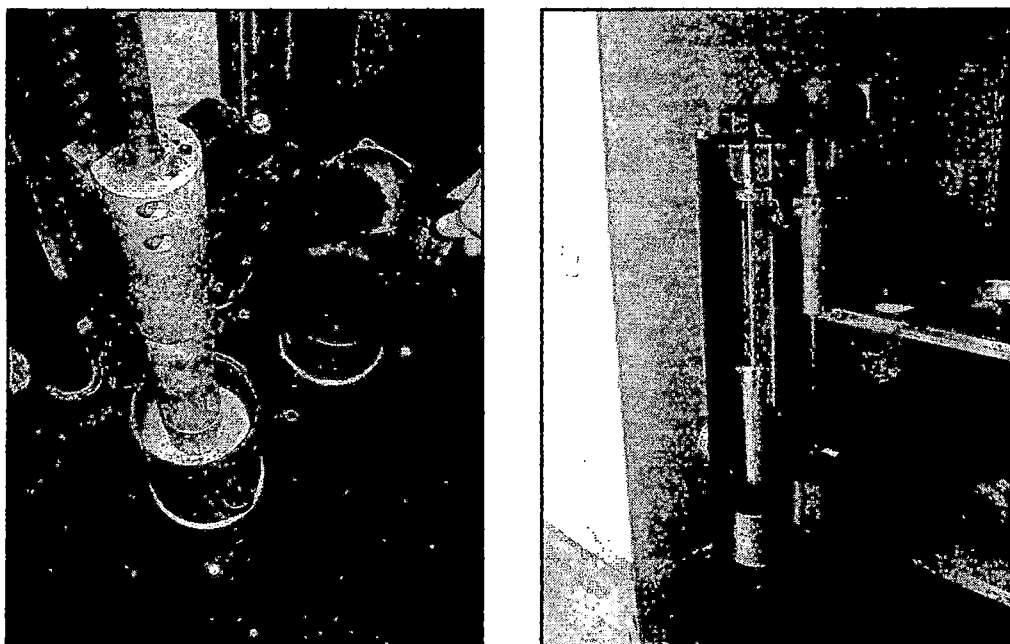
Figura 6.3: Incorporación del agua de premezcla a la mezcla de agregados y mezclado de la mezcla asfáltica en frío.



6.6.2.2 Compactación

Las muestras fueron compactadas con 75 golpes por cara con el óptimo de humedad de compactación hallado en el ensayo de Óptimo de agua de compactación del procedimiento del Diseño Illinois.

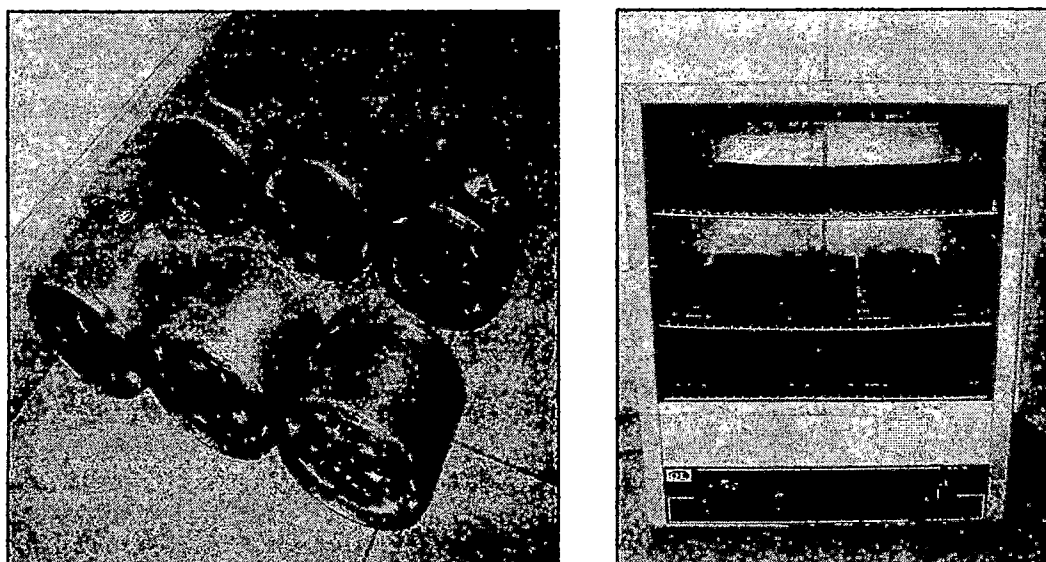
Figura 6.4: Colocación de la mezcla asfáltica en frío en el molde y compactación de las muestras con 75 golpes por cara.



6.6.2.3 Curado

El curado de las muestras se realizó durante 24 horas a temperatura de ambiente confinadas en su molde para que la mezcla tuviera una cohesión inicial que permitiese desmoldarlas sin disgregarse y luego de desmoldarlas se las colocaba en un horno a 60°C durante 4 días para producir un curado en forma acelerada, eliminando toda la humedad residual existente.

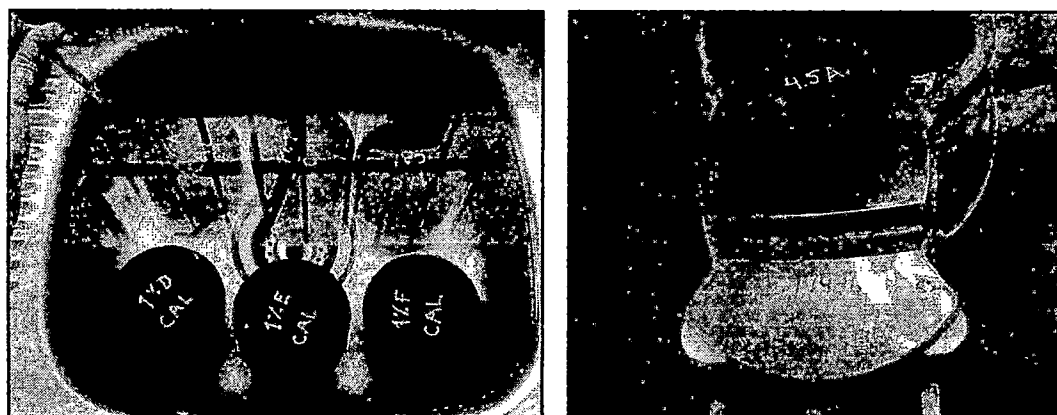
Figura 6.5: Curado de las muestras durante 24 horas dentro del molde y curado de las muestras en el horno a 60°C durante 4 días.



6.6.2.4 Densidades

Luego de transcurrido el período de curado, se retiraron las briquetas del horno hasta que las mismas tomaran temperatura de ambiente. Procediendo a continuación a determinar la densidad mediante la norma ASTM D 2726.

Figura 6.6: Saturación de las muestras a 25 °C para determinar las densidades de las muestras y determinación del peso saturado superficialmente seco.



6.6.2.5 Evaluación de la resistencia a tracción indirecta

La evaluación de la Resistencia se ejecutó mediante el ensayo de Tracción Indirecta por Compresión Diametral siguiendo la Norma NLT-346 "Resistencia a compresión diametral (ensayo brasileño) de mezclas bituminosas"

El ensayo se ejecutó en las seis briquetas moldeadas para cada tipo de mezcla, tres de ellas en estado seco y las tres restantes después de un proceso de inmersión en agua.

- Ensayo en estado seco: Tras medir la densidad, se procedió a la rotura por tracción indirecta a 25 °C.

Figura 6.7: Determinación de la resistencia a la tracción indirecta a 25 °C.



- Rotura tras inmersión en agua: Tras medir la densidad, se colocaron las briquetas en un baño maría a 60 °C durante un período de 24 horas; luego se las introdujo en un baño a temperatura de ambiente durante dos horas para poder acondicionar a la muestra a la temperatura de ensayo. Finalmente se procedió a la rotura por tracción a 25 °C.

Figura 6.8: Saturación de las muestras en baño maría durante 24 horas para la determinación de la resistencia a la tracción indirecta saturada.

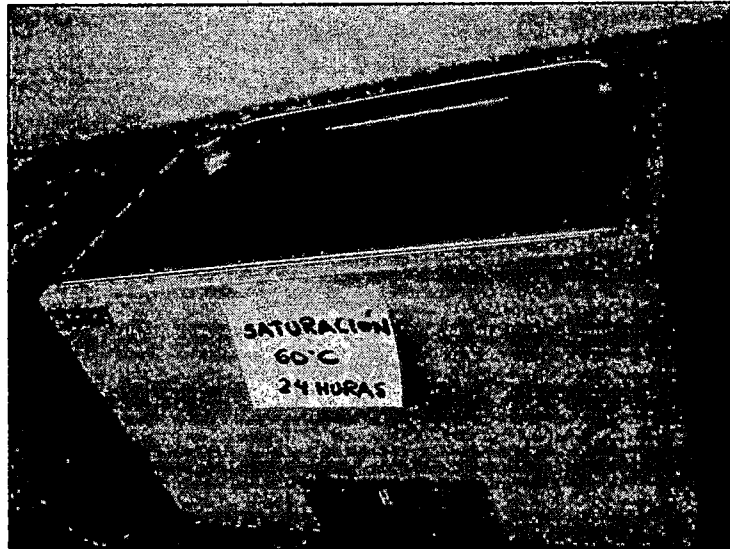
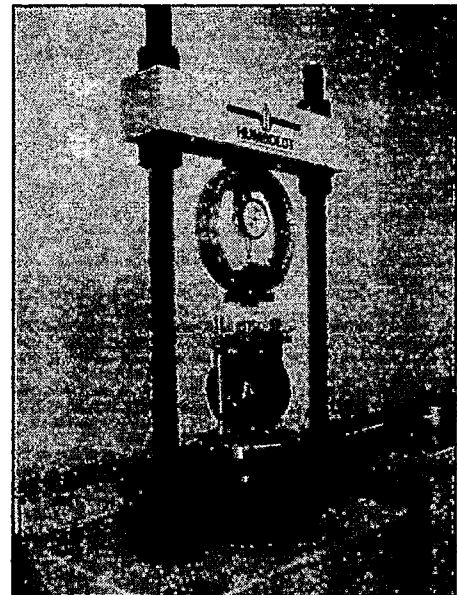
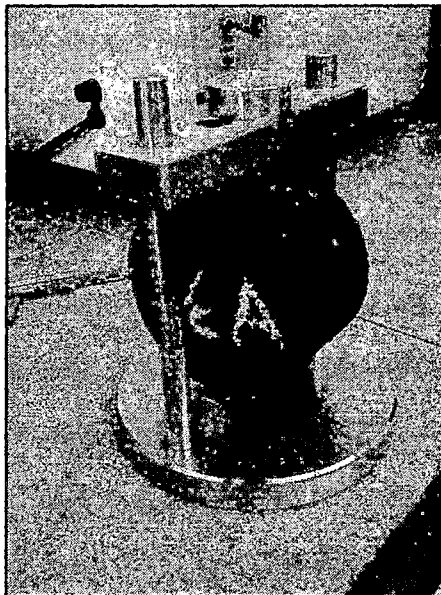


Figura 6.9: Vistas de la mordaza de tracción indirecta con la muestra lista para ser ensayada.



6.7 APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

6.7.1 Tracción Indirecta con los agregados de la Cantera Santa Rosa

6.7.1.1 Mezclas con aporte de cemento portland

Para la preparación de las muestras se utilizó el óptimo contenido de asfalto residual (5.4%) y el intervalo de agua de premezcla varió en función de la cantidad de cemento portland tipo I añadido. Los porcentajes de recubrimiento fueron muy buenos, aunque se observó que la cantidad de agua de premezcla se debía de aumentar en pequeños porcentajes al aumentar la cantidad de cemento portland para lograr 100% de recubrimiento. Esto se debe a la elevada superficie específica y a que la reacción que ocurre al mezclar el cemento con el agua es del tipo exotérmica liberando una cierta cantidad de calor que absorbe agua, debiendo de aumentar la cantidad de agua de premezcla para compensar esta pérdida de humedad. Los datos obtenidos de la dosificación, compactación y curado se muestran en el Cuadro 6.1:

Cuadro 6.1: Porcentajes de agua de premezcla para diferentes porcentajes de Cemento Portland Tipo I para la Cantera Santa Rosa.

% CEMENTO	AGUA AÑADIDA	HUMEDAD MEZCLA	RECUBRIM.	HUMEDAD COMPACT.	CURADO
0.0 %	2.0%	5.6%	100%	4.2%	1 día confinado en el molde y 4 días en el horno a 60°C
0.5 %	2.4%	6.0%	100%	4.2%	
1.0 %	2.7%	6.3%	100%	4.2%	
2.0 %	3.0%	6.6%	100%	4.2%	
3.0 %	3.2%	6.8%	100%	4.2%	

Luego las muestras fueron aireadas al medio ambiente hasta llegar al 4.2% de humedad de compactación obtenido del Ensayo de Contenido óptimo de agua en la compactación del Capítulo V. Luego se llevó a un curado como se muestra en el Cuadro 6.1.

Finalmente a las muestras se les determinó su densidad y fueron ensayadas a tracción indirecta, por vía seca y húmeda, como se indicó en la sección 6.6.2, obteniendo los resultados mostrados en el Cuadro 6.2.

Cuadro 6.2: Resistencias a la tracción indirecta en condición seca y saturada con y sin Cemento Pórtland Tipo I para la Cantera Santa Rosa.

% C. P.	DENSIDAD gr./cm ³ .	VACÍOS %	HUM. ABS. %	RT SECA Kgf./cm ² .	RT SAT. Kgf./cm ² .	RRT. %
0.0 %	2.106	14.7	2.80	5.46	2.65	48.5
0.5 %	2.122	14.1	2.89	4.67	4.19	89.8
1.0 %	2.125	14.1	2.81	5.21	4.77	91.5
2.0 %	2.114	14.6	2.72	5.29	4.95	93.7
3.0 %	2.127	14.3	2.49	5.81	5.38	92.6

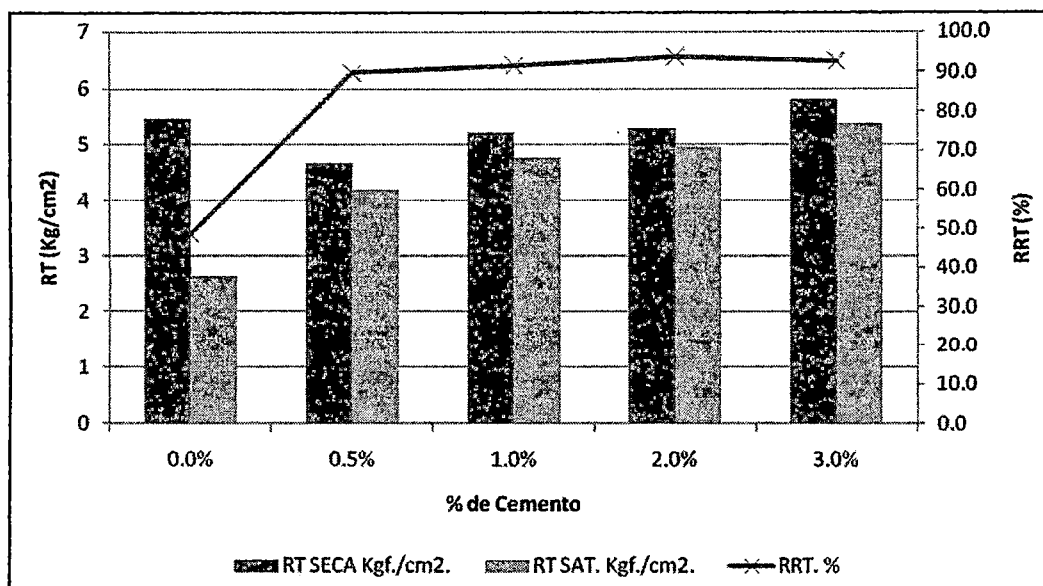
Para una mejor visualización de los resultados, éstos han sido representados en un gráfico de barras, en los cuales se muestran las resistencias en seco y tras inmersión para cada porcentaje de cemento portland y sin él. Además, en el mismo puede verse la evolución de la razón de la resistencia a la tracción o resistencia conservada.

En el Gráfico 6.5, se observa que la incorporación de pequeños porcentajes de cemento portland permite incrementar la razón de la resistencia a la tracción del 49% al 90% e incluso a valores superiores. Para el caso de 0.5% de cemento portland incorporado la resistencia tras inmersión aumenta de 2.65 kgf./cm². a 4.19 kgf./cm²., valores que representan un aumento del 58%. La razón a la resistencia a la tracción llega a valores de 90%.

Si se aumenta el contenido de cemento portland hasta un 1%, las resistencias tras inmersión aumentan un 80% respecto de la mezcla sin filler y la razón a la resistencia a la tracción llega a valores de 92%.

Para valores del 2% y 3%, las resistencias tras inmersión aumentan un 87% y un 103% respecto de la mezcla sin filler y las razones a la resistencia a la tracción llega a valores mayores al 90%, demostrando la efectividad del material incorporado al daño por humedad. Respecto al porcentaje de vacíos, estos se mantienen en el orden del 14 al 15%, en consecuencia las humedades absorbidas son similares. A excepción, cuando se utiliza 3% de cemento portland que ocurre una disminución de la humedad absorbida.

Gráfico 6.5: Resistencias a tracción indirecta en condición seca versus condición saturada y razón a la resistencia, en función del contenido de cemento para la Cantera Santa Rosa.



6.7.1.2 Mezclas con aporte de cal hidratada

Al igual que en el caso de las mezclas con cemento portland, se utilizó un óptimo contenido de asfalto residual (5.4%), se compactó cuando la mezcla llegó a la óptima humedad de compactación y se dejó curando de la misma manera que en el caso de las mezclas con cemento. Es de destacar que los porcentajes de agua añadida aumentaron en mayor porcentaje comparándolos con los porcentajes de cemento portland, esto se puede deber a que la reacción que ocurre entre la cal y el agua absorbe mayor cantidad de agua que en el caso del cemento portland. Los datos obtenidos de la dosificación, compactación y curado se muestran en el Cuadro 6.3:

Cuadro 6.3: Porcentajes de agua de premezcla para diferentes porcentajes de Cal Hidratada para la Cantera Santa Rosa.

% CAL HIDRATADA	AGUA AÑADIDA	HUMEDAD MEZCLA	RECUBRIM.	HUMEDAD COMPACT.	CURADO
0.0 %	2.0%	5.6%	100%	4.2%	1 día confinado en el molde y 4 días en el horno a 60°C
0.5 %	2.7%	6.3%	100%	4.2%	
1.0 %	3.2%	6.8%	100%	4.2%	
1.5 %	3.6%	7.2%	100%	4.2%	
2.0 %	3.9%	7.4%	100%	4.2%	

Igualmente al caso anterior, se determinó la densidad y la resistencia a la tracción indirecta en condiciones secas y saturadas como se muestra en el Cuadro 6.4:

Cuadro 6.4: Resistencias a la tracción indirecta en condición seca y saturada con y sin Cal Hidratada para la Cantera Santa Rosa.

% C. H.	DENSIDAD gr./cm ³ .	VACÍOS %	HUM. ABS. %	RT SECA Kgf./cm ² .	RT SAT. Kgf./cm ² .	RRT. %
0.0 %	2.106	14.7	2.80	5.46	2.65	48.5
0.5 %	2.106	14.6	3.43	4.39	3.80	86.5
1.0 %	2.088	15.3	3.51	4.51	3.98	88.2
1.5 %	2.122	13.9	3.15	4.93	4.58	92.9
2.0 %	2.106	14.5	3.54	4.49	3.95	88.0

Al igual que en el caso del cemento portland, para el caso de la cal hidratada los resultados fueron representados en gráfico de barras, en los cuales se muestran las resistencias en seco, tras inmersión y la razón de la resistencia a la tracción para cada porcentaje de cal hidratada y sin él.

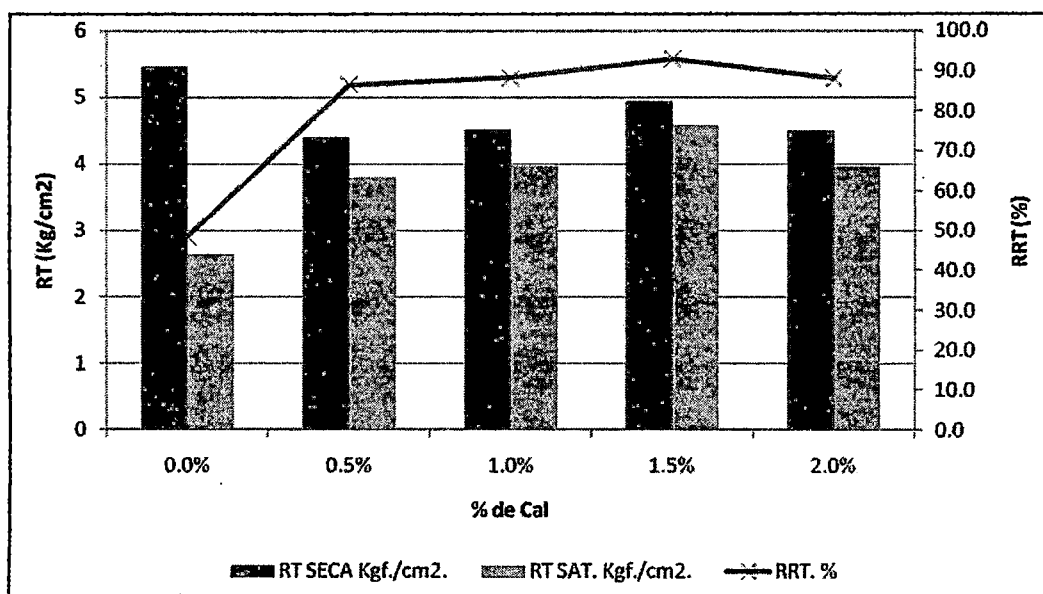
En el Gráfico 6.6, se observa que la incorporación de pequeños porcentajes de cal hidratada permite incrementar la razón de la resistencia a la tracción del 49% al 87% e incluso a valores superiores. Para el caso de 0.5% de cal hidratada incorporado la resistencia tras inmersión aumenta un 43% respecto de la mezcla sin filler y la razón a la resistencia a la tracción indirecta llega a valores de 87%.

Al aumentar los porcentajes de cal hidratada en 1%, 1.5% y 2%, permite incrementar la resistencia tras inmersión en 50%, 73% y 50% respecto de la mezcla sin filler y la razón a la resistencia a la tracción indirecta llega a valores

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

mayores al 85%. Al aumentar los valores del 1.5% al 2% de cal hidratada añadida existe una disminución en la resistencia a la tracción indirecta y en la razón a la resistencia a la tracción indirecta como se muestra en el Gráfico 6.2. Respecto al porcentaje de vacíos, éstos se mantienen en el orden del 14 al 15%, en consecuencia las humedades absorbidas son similares. A excepción, cuando no se utiliza cal hidratada hay una menor absorción de humedad pero se obtienen menores valores de resistencia a la tracción indirecta, demostrando importancia de la incorporación de la cal hidratada.

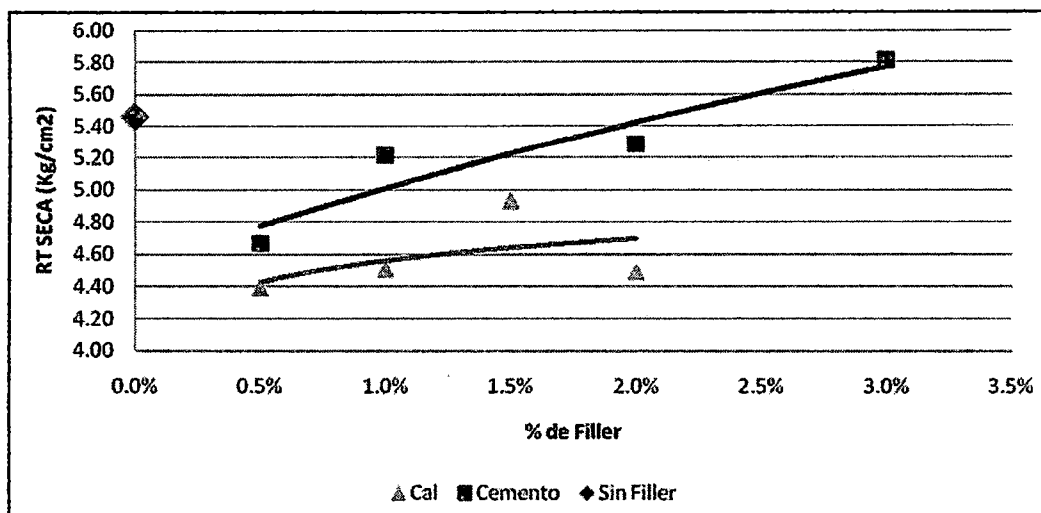
Gráfico 6.6: Resistencias a tracción indirecta en condición seca versus condición saturada y razón a la resistencia a la tracción, en función del contenido de cal para la Cantera Santa Rosa.



En el Gráfico 6.7 se puede comparar los resultados obtenidos a tracción indirecta en seco en función a los fillers utilizados. Se observa que con porcentajes de cemento del orden de 0.5% a 2%, las resistencias son menores a las que se obtienen con las mezclas sin filler. Al llegar al valor de 3% de cemento portland se alcanzan valores mayores de resistencia que las obtenidas con las mezclas sin filler. Al aumentar el porcentaje del cemento portland existe una tendencia de los resultados de aumentar a medida que se incorpora mayor porcentaje de cemento portland.

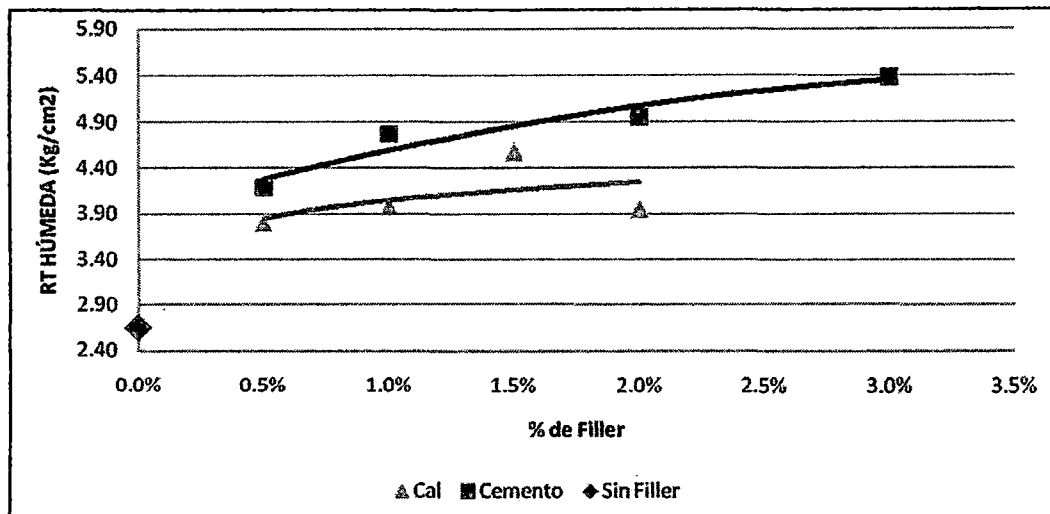
Respecto al porcentaje de cal hidratada incorporada, la tendencia es similar al del cemento portland pero en menor magnitud, además se obtiene una bajada al obtener el resultado con 2% de cal hidratada. Comparando los resultados con el valor obtenido sin filler, éstos son menores entre un 10 al 20%.

Gráfico 6.7: Resistencias a tracción indirecta en condición seca, en función del contenido de filler para la Cantera Santa Rosa.



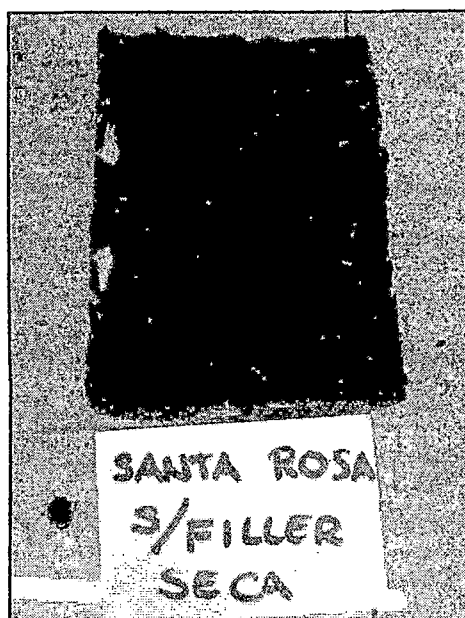
En el Gráfico 6.8 se puede comparar los resultados obtenidos a tracción indirecta en húmedo en función a los fillers utilizados. Se observa que con porcentajes de cualquier tipo de filler hay un incremento considerable en la resistencia a la tracción indirecta comparada con la muestra sin filler. La tendencia de la resistencia a la tracción indirecta a medida que se aumenta la cantidad de cemento portland es de incrementarse. Para el caso de la cal hidratada también aumenta pero hay una disminución cuando se incorpora 2% de este filler al compararse con 1.5%. Al comparar los resultados de resistencias a la tracción indirecta en húmedo para el cemento portland y la cal hidratada se obtienen mejores resultados al utilizar el primero, estas resistencias aumentan entre un 10 al 25%. Por tal motivo para este tipo de agregado se concluye que el filler más efectivo para proteger a las mezclas asfálticas contra la humedad es el cemento portland tipo I.

Gráfico 6.8: Resistencias a tracción indirecta en condición saturada, en función del contenido de filler para la Cantera Santa Rosa.

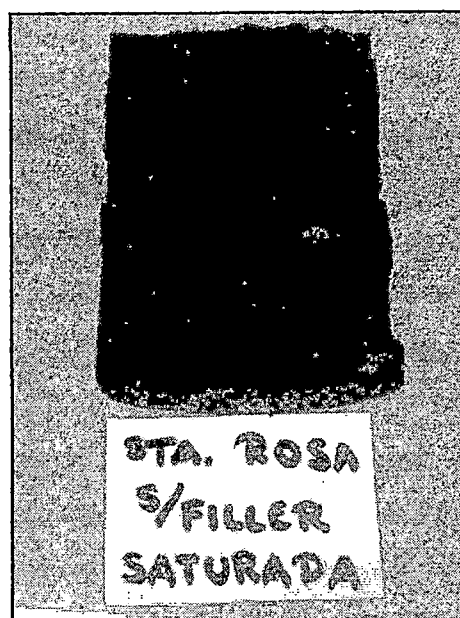


En la Figura 6.10, se muestra fotos de algunos especímenes ensayados a tracción indirecta por compresión diametral. En general se observa que hay un buen recubrimiento del agregado, esto se debe principalmente a la composición química del agregado de la Cantera Santa Rosa, ya que este es un material con un alto porcentaje de sílice en consecuencia hay una buena afinidad por una emulsión catiónica. Si se compara la Figura 6.10a con la Figura 6.10b se aprecia que hay una disminución del recubrimiento, ya que la saturación ha afectado a la muestra. En cambio, si se observa la Figura 6.10c y la Figura 6.10d existe una similitud en el recubrimiento con la Figura 6.10a, a pesar que estos hayan sido saturados, esto se debe a la influencia de la cemento portland y la cal hidratada. Además mejora en un gran porcentaje la cohesión de la mezcla ya que los agregados de mayor tamaño se parten a la hora de que ocurre la falla, igualmente hay un aumento en las resistencias a la tracción indirecta después de la saturación como se mostró en las Graficas anteriores.

Figura 6.10: Muestras de la Cantera Santa Rosa ensayadas a tracción indirecta.



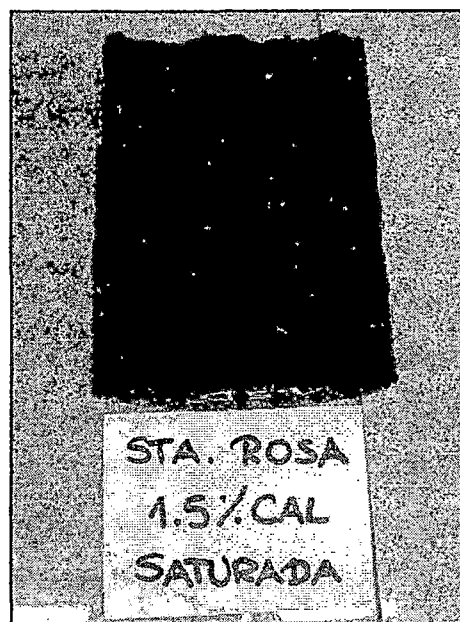
(a) Muestra sin filler (ensayada en seco).



(b) Muestra sin filler (ensayada húmeda).



(c) Muestra con 3% de cemento portland (ensayada húmeda).



(d) Muestra con 1.5% de cal hidratada (ensayada húmeda).

6.7.2 Tracción Indirecta con los agregados de la Cantera S/N (Km 770+100)

6.7.2.1 Mezclas con aporte de cemento portland

Para la preparación de las muestras se utilizó el óptimo contenido de asfalto residual (4.7%) y el intervalo de agua de premezcla varió en función de la cantidad de cemento portland tipo I añadido. Los porcentajes de recubrimiento fueron buenos y al igual que en la mezcla con los agregados de la Cantera Santa Rosa se requirió el aumento de mayor cantidad de agua de premezcla al aumentar la cantidad de cemento portland para lograr 100% de recubrimiento. Los datos obtenidos de la dosificación, compactación y curado se muestran en el Cuadro 6.5:

Cuadro 6.5: Porcentajes de agua de premezcla para diferentes porcentajes de Cemento Portland Tipo I para la Cantera S/N (Km. 770+100).

% CEMENTO	AGUA AÑADIDA	HUMEDAD MEZCLA	RECUBRIM.	HUMEDAD COMPACT.	CURADO
0.0 %	1.3%	4.4%	100%	3.4%	1 día confinado en el molde y 4 días en el horno a 60°C
0.5 %	1.7%	4.8%	100%	3.4%	
1.0 %	2.1%	5.2%	100%	3.4%	
2.0 %	2.4%	5.5%	100%	3.4%	
3.0 %	2.7%	5.8%	100%	3.4%	

Igualmente al caso anterior, se determinó la densidad y la resistencia a la tracción indirecta en condiciones secas y saturadas como se muestra en el Cuadro 6.6:

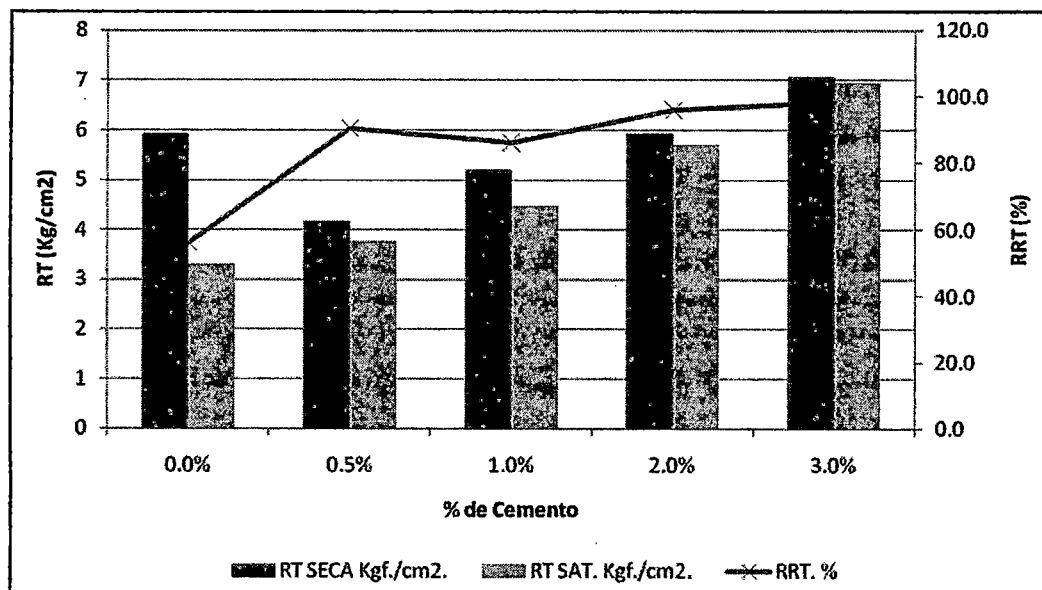
Cuadro 6.6: Resistencias a la tracción indirecta en condición seca y saturada con y sin Cemento Pórtland Tipo I para la Cantera S/N (Km. 770+100).

% C. P.	DENSIDAD gr./cm ³ .	VACÍOS %	HUM. ABS. %	RT SECA Kgf./cm ² .	RT SAT. Kgf./cm ² .	RRT. %
0.0 %	2.268	9.7	2.88	5.91	3.31	56.1
0.5 %	2.212	12.0	2.91	4.18	3.78	90.5
1.0 %	2.207	12.3	2.91	5.20	4.48	86.1
2.0 %	2.195	12.9	3.23	5.93	5.69	96.0
3.0 %	2.191	13.2	3.20	7.05	6.95	98.5

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

Nuevamente se realizó un gráfico de barras mostrando los resultados obtenidos. En el Gráfico 6.9, se observa que al incorporar pequeños porcentajes de cemento portland permite incrementar la razón de resistencia a la tracción de 56% hasta un 98%. Para el caso de 0.5% de cemento portland incorporado, las resistencias tras inmersión aumentan un 15% aproximadamente respecto de la mezcla sin filler y la razón a la resistencia a la tracción llega a valores de 91%. Al seguir incorporando mayores porcentajes de cemento portland hay un aumento progresivo de las resistencias tras inmersión que llegan a 35% con 1% de cemento portland, 72% con 2% de cemento portland y 110% con 3% de cemento portland respecto de la mezcla sin filler. Las razones de resistencia a la tracción aumentan y llegan a valores de 99% aproximadamente, manteniendo casi constante sus resistencias a la tracción indirecta. Respecto al porcentaje de vacíos, estos aumentan a medida que se incorpora mayor porcentaje de cemento portland permitiendo que el agua actúe en mayor medida pero las razones de resistencias a la tracción indirecta aumentan considerablemente debido al filler incorporado.

Gráfico 6.9: Resistencias a tracción indirecta en condición seca versus condición saturada y razón a la resistencia a la tracción, en función del contenido de cemento para la Cantera S/N (Km. 770+100).



6.7.2.2 Mezclas con aporte de cal hidratada

Al igual que en el caso de las mezclas con cemento portland, se utilizó un óptimo contenido de asfalto residual (4.7%), se compactó cuando la mezcla llegó a la óptima humedad de compactación y se dejó curando de la misma manera que en el caso de las mezclas con cemento. Al igual que en el caso de las mezclas con la Cantera Santa Rosa, los porcentajes de agua añadida aumentaron en mayor porcentaje comparándolos con los porcentajes de cemento portland, confirmando la hipótesis mencionada anteriormente. Los datos obtenidos de la dosificación, compactación y curado se muestran en el Cuadro 6.7:

Cuadro 6.7: Porcentajes de agua de premezcla para diferentes porcentajes de Cal Hidratada para la Cantera S/N (Km. 770+100).

% CAL HIDRATADA	AGUA AÑADIDA	HUMEDAD MEZCLA	RECUBRIM.	HUMEDAD COMPACT.	CURADO
0.0 %	1.3%	4.4%	100%	3.4%	1 día confinado en el molde y 4 días en el horno a 60°C
0.5 %	2.4%	5.5%	100%	3.4%	
1.0 %	2.9%	5.9%	100%	3.4%	
1.5 %	3.3%	6.3%	100%	3.4%	
2.0 %	3.6%	6.6%	100%	3.4%	

Igualmente al caso anterior, se determinó la densidad y la resistencia a la tracción indirecta en condiciones secas y saturadas como se muestra en el Cuadro 6.8:

Cuadro 6.8: Resistencias a la tracción indirecta en condición seca y saturada con y sin Cal Hidratada para la Cantera S/N (Km. 770+100).

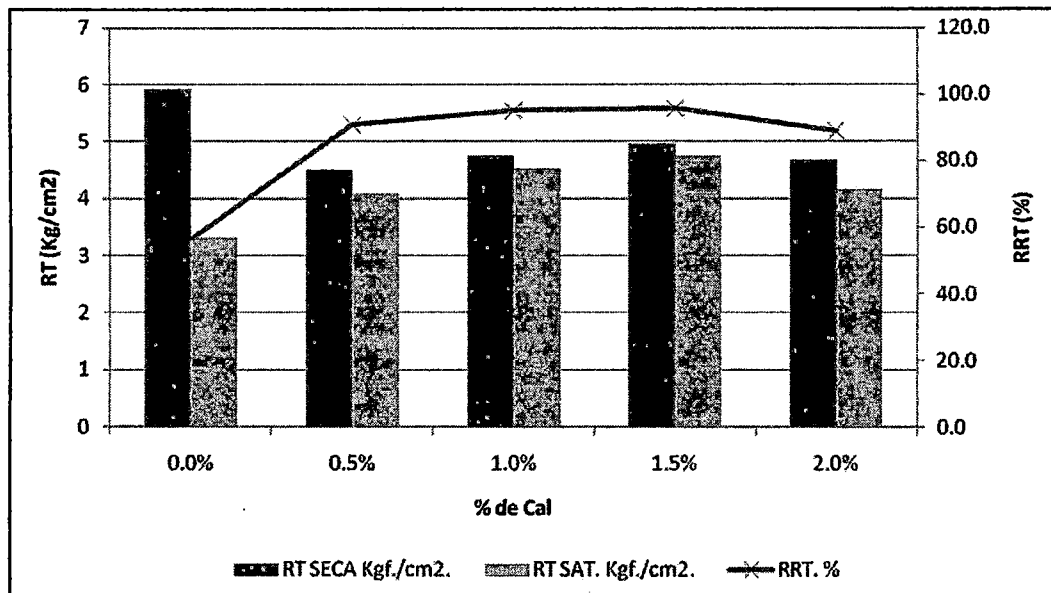
% C. H.	DENSIDAD gr./cm3.	VACÍOS %	HUM. ABS. %	RT SECA Kgf./cm2.	RT SAT. Kgf./cm2.	RRT. %
0.0 %	2.268	9.7	2.88	5.91	3.31	56.1
0.5 %	2.171	13.5	3.59	4.50	4.08	90.8
1.0 %	2.164	13.8	3.62	4.75	4.52	95.0
1.5 %	2.159	13.9	3.95	4.96	4.74	95.7
2.0 %	2.190	12.6	4.14	4.68	4.16	88.8

En el Gráfico 6.10, se observa que al incorporar pequeños porcentajes de cal hidratada permite incrementar la razón de resistencia de 56% hasta un 96%.

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

Para el caso de 0.5% de cal hidratada incorporada, las resistencias tras inmersión aumentan un 23% aproximadamente respecto de la mezcla sin filler y la razón a la resistencia a la tracción llega a valores de 91%. Al seguir incorporando mayores porcentajes de cal hidratada hay un aumento progresivo de las resistencias tras inmersión que llegan a 37% con 1% de cal hidratada, 43% con 1.5% de cal hidratada y 26% con 2% de cal hidratada respecto de la mezcla sin filler. Las razones de resistencia a la tracción aumentan y llegan a valores de 96%, aunque al llegar al valor de 2% ocurre una disminución llegando aproximadamente a un 89%. Respecto al porcentaje de vacíos, estos aumentan a medida que se incorpora mayor porcentaje de cal hidratada permitiendo que el agua actúe en mayor medida pero el filler minimiza este efecto perjudicial.

Gráfico 6.10: Resistencias a tracción indirecta en condición seca versus condición saturada y razón a la resistencia a la tracción, en función del contenido de cal para la Cantera S/N (Km. 770+100).

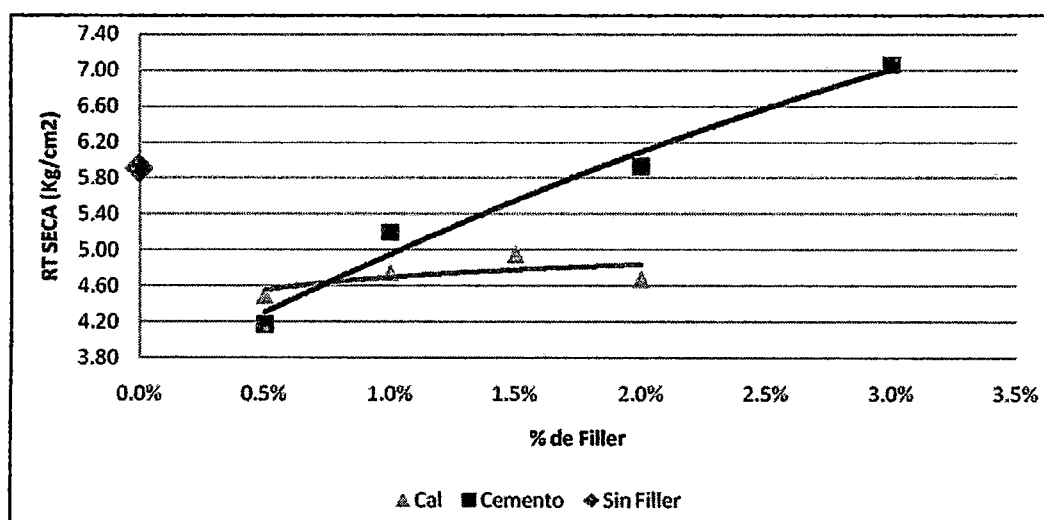


En el Gráfico 6.11 se puede comparar los resultados obtenidos a tracción indirecta en seco en función a los fillers utilizados. Se observa que con porcentajes de cemento del orden de 0.5% a 1%, las resistencias son menores a las que se obtienen con las mezclas sin filler. Al llegar al valor de 2% de cemento portland se alcanzan valores similares a las que se obtienen con las mezclas sin filler. Cuando se añadió 3% de cemento portland se alcanzan valores mayores

de resistencia que las obtenidas con las mezclas sin filler, de alrededor de 20%. Al igual que con las mezclas con los agregados de la Cantera Santa Rosa, la tendencia de los resultados es de aumentar a medida que se incorpora mayor porcentaje de cemento portland.

Respecto al porcentaje de cal hidratada incorporada, la tendencia es similar al del cemento portland pero en menor magnitud, además se obtiene una bajada al obtener el resultado con 2% de cal hidratada. Comparando los resultados con el valor obtenido sin filler, éstos son menores en un 16 al 25%. Es importante mencionar que se obtiene un mayor valor de resistencia a la tracción indirecta en seco cuando se incorpora 0.5% de cal hidratada en comparación con el cemento portland, pero estos valores van cambiando a medida que se aumenta mayor cantidad de filler.

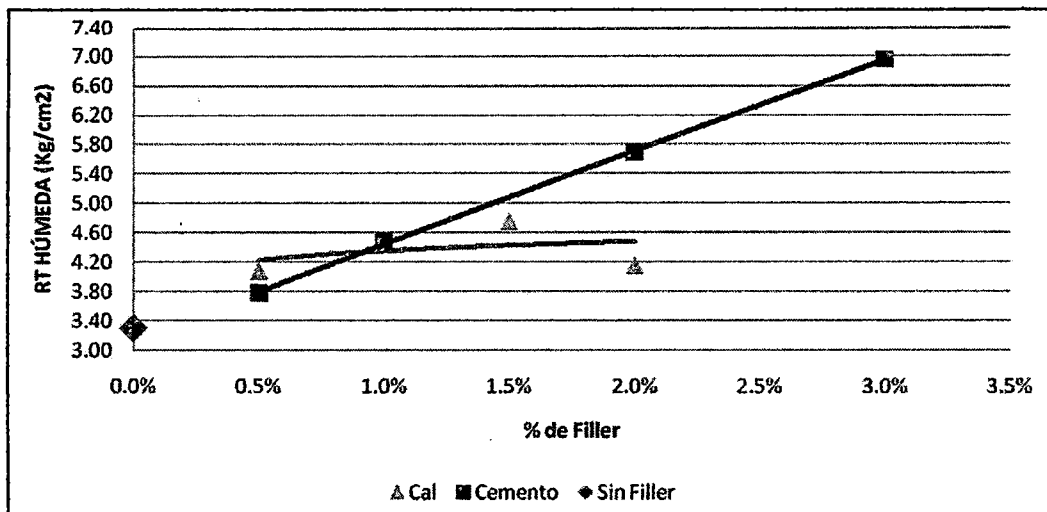
Gráfico 6.11: Resistencias a tracción indirecta en condición seca, en función del contenido de filler para la Cantera S/N (Km. 770+100).



En el Gráfico 6.12 se puede comparar los resultados obtenidos a tracción indirecta en húmedo en función a los fillers utilizados. Al igual que con el agregado de la Cantera Santa Rosa se observa que con porcentajes de cualquier tipo de filler hay un incremento considerable en la resistencia a la tracción indirecta comparada con la muestra sin filler. La tendencia de las resistencias a tracción son de aumentar pero al igual que en el caso de la Cantera Santa Rosa hay una disminución cuando se incorpora 2% de cal hidratada al compararse con 1.5%. Al comparar las resistencias a la tracción con

los dos tipos de fillers se obtienen resultados muy parecidos para 0.5 y 1% de filler, pero a medida que el porcentaje incorporado aumenta se obtienen mayores resistencias con el cemento portland igual como ocurre para las resistencias a la tracción en seco. Por tal motivo para este tipo de agregado se concluye nuevamente que el filler más efectivo para proteger a las mezclas asfálticas contra la humedad es el cemento portland tipo I.

Gráfico 6.12: Resistencias a tracción indirecta en condición saturada, en función del contenido de filler para la Cantera S/N (Km. 770+100).

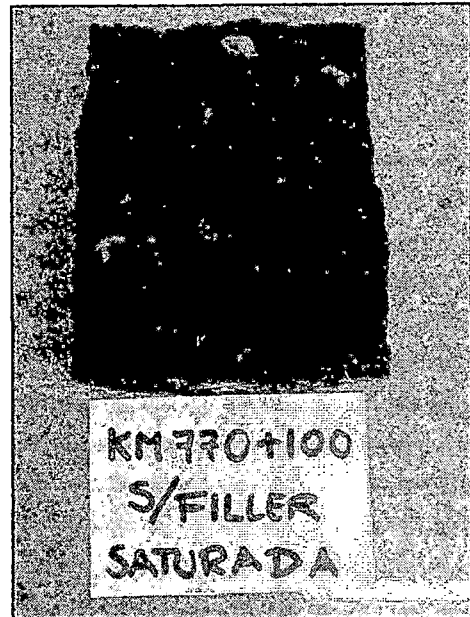


En la Figura 6.11, se muestra fotos de algunos especímenes ensayados a tracción indirecta por compresión diametral. En general se observa un buen recubrimiento, sólo se observa problemas en la muestra sin filler cuando es ensayada después de la saturación y si se agrega porcentajes de cemento portland y cal hidratada el recubrimiento mejora de manera apreciable como ocurrió con el agregado de las muestras de la Cantera Santa Rosa.

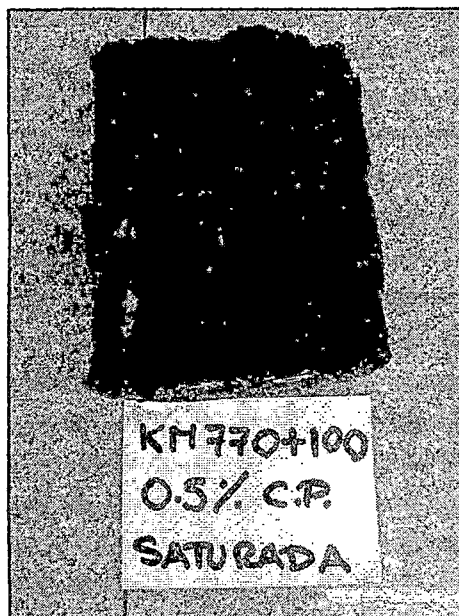
Figura 6.11: Muestras de la Cantera S/N (Km. 770+100) ensayadas a tracción indirecta.



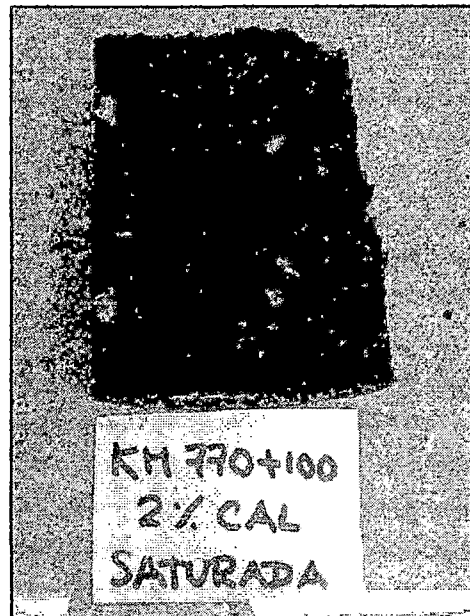
(a) Muestra sin filler (ensayada en seco).



(b) Muestra sin filler (ensayada húmeda).



(c) Muestra con 0.5% de cemento portland (ensayada húmeda).



(d) Muestra con 2% de cal hidratada (ensayada húmeda).

A pesar que el agregado de la Cantera S/N tenga un alto contenido de carbonato de calcio (agregado calizo) y no tenga buena afinidad con una emulsión

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

catiónica, se observa recubrimientos adecuados. Esto se debe principalmente al curado acelerado que se ha sometido a la muestra, ya que al perder la humedad total de la mezcla la cohesión aumenta y hay una mejor adhesividad, ya que el asfalto residual quedaría en contacto directo con el agregado. Esto se puede demostrar en la Figura 6.12, donde se observa una muestra ensayada cuando se realizó el diseño de mezcla por la Metodología Illinois descrita en el Capítulo V. La muestra se ve con un pobre recubrimiento debido a que ha sido ensayada después de un curado a una temperatura de 22.2 °C confinado dentro del molde durante 3 días y la cantidad de humedad contenida en la muestra todavía era alta y no existe una cohesión y adherencia adecuadas, a pesar de eso, las estabilidades encontradas si fueron altas.

Figura 6.12: Muestra de la Cantera S/N (Km. 770+100) ensayada en la prensa Marshall con un curado de 3 días confinada en el molde.



6.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA – METODOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA

En el Cuadro 6.9 se puede observar las ventajas y desventajas de la Metodología de la Universidad Politécnica de Cataluña para el ensayo de tracción indirecta para la evaluación del daño por humedad.

Cuadro 6.9: Ventajas y desventajas de la Metodología de la Universidad Politécnica de Cataluña.

	ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA – METODOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA
VENTAJAS	Ensayo relativamente sencillo.
	El tipo de muestra y equipos son los mismos que los utilizados en el Ensayo Lottman para mezclas asfálticas en caliente.
	Podría también probarse las etapas más severas de acondicionamiento como la etapa de congelamiento dada en el Ensayo Lottman.
	Se obtienen buenas tendencias de los resultados.
	Pueden utilizarse para evaluar incorporaciones de cualquier tipo de aditivo para mejorar la cohesión y adhesión de la mezcla.
DESVENTAJAS	El procedimiento es un poco largo, puede durar de 8 a más días, depende de la cantidad de porcentajes de aditivos que se incorporen, de la cantidad de moldes que se cuenta, del tamaño del horno y del baño maría que se utilicen.
	El curado que se realiza en laboratorio es muy acelerado en comparación con lo que ocurre en el campo.
	El ensayo podría realizarse a una temperatura de 5°C y para eso es necesario un congelador de alta precisión y muy pocos laboratorios en el Perú cuentan con este equipo.

CAPÍTULO VII: PROCESO CONSTRUCTIVO

7.1 TRABAJO DE PAVIMENTACIÓN

Existen diferentes procesos constructivos de una mezcla asfáltica en frío empleando emulsiones asfálticas, estas varían en la preparación y en el extendido de la mezcla asfáltica. La elección de estos métodos depende principalmente de los siguientes factores:

- Localización del proyecto.
- Condiciones de tráfico.
- Ubicación de las canteras del agregado que será utilizado.
- Volumen a emplear.
- Condiciones climáticas.
- Tipo de equipo disponible.

7.1.1 Preparación de la mezcla

Esta etapa puede efectuarse de dos maneras, in situ o en planta central.

La preparación in situ puede, a su vez, llevarse a cabo en la misma calzada o en una playa de elaboración, situada preferiblemente lo más cercana posible de la calzada de construcción para que el traslado de la mezcla al lugar de aplicación sea de manera más rápida.

Figura 7.1: Almacenamiento de la mezcla asfáltica en frío usada para la pavimentación de la Vía Quibdo – Yuto (Colombia).



Fuente: MÉNDEZ PINILLA, Fabio – PAVIMENTACIÓN DE LA VÍA QUIBDO YUTO, DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ, COLOMBIA – 2003.

Figura 7.2: Transporte de la mezcla a la calzada usada en el Tramo Carretero de la Ciudad Alemán a Río Tesechoacán, perteneciente a la Carretera La Tinaja – Sayula (México).



Fuente: RIVERA, Gustavo – EMULSIONES ASFÁLTICAS – 1998.

En cualquiera de los dos casos (calzada o playa de elaboración) el mezclado se efectúa en la mayoría de casos con una motoniveladora, equipo de más fácil disponibilidad en las obras dedicadas a los trabajos de carreteras. También puede utilizarse plantas camineras, mezcladoras livianas y hasta hormigoneras,

dando buenos resultados, debido al buen recubrimiento de los agregados que se obtiene.

La primera etapa será hacer caballetes separados de los materiales granulares en las cantidades establecidas por la fórmula de trabajo, para obtener, una vez compactado el espesor prefijado. Con la ayuda de la motoniveladora se realiza el mezclado de los caballetes individuales para formar un caballete único y homogéneo. Se debe calcular la demanda de agua y de emulsión del agregado en el caballete, esto será determinado por metro lineal de caballete.

A continuación se procede a la humectación, que se recomienda que se distribuya con un camión regador; luego son mezclados con la motoniveladora. Finalmente se incorpora la emulsión aplicada con un distribuidor, este deberá ir inmediatamente delante de la motoniveladora, al igual que en el caso de la humectación. El trabajo de la motoniveladora continúa por medio de una serie de acciones de volteado y volcado de la mezcla hasta alcanzar un recubrimiento uniforme, no se debe de realizar un mezclado excesivo ya que podría darse peladuras, especialmente en el agregado grueso.

Figura 7.3: Humectación del agregado realizado con camión regador.



Fuente: SÁNCHEZ SABOGAL, Fernando – CURSO BÁSICO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS – 2009.

Figura 7.4: Tendido de la carpeta con motoniveladora.

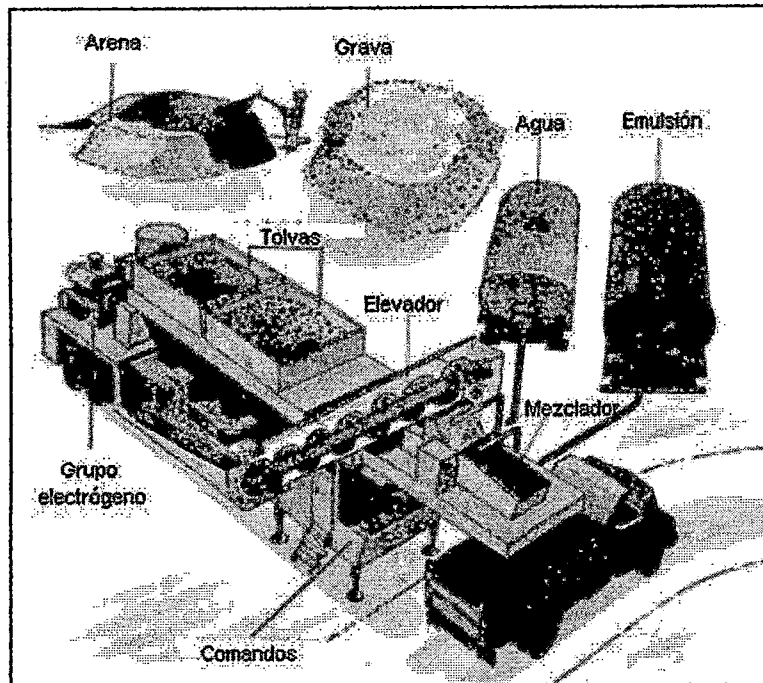


Fuente: SÁNCHEZ SABOGAL, Fernando – CURSO BÁSICO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS – 2009.

Las plantas centrales o fijas pueden ser especialmente diseñadas para este uso, o pueden ser plantas de mezcla en caliente que han sido adaptadas para trabajar en frío, para esto se le debe de eliminar el sistema de calefacción del asfalto y de secado de los agregados. En ambos casos hay plantas continuas y discontinuas.

Las plantas cuentan con tolvas dosificadoras para cada material granular, que alimentan cintas transportadoras que a su vez transportan los áridos al tanque mezclador del equipo. Para su correcto control, las tolvas de los áridos van provistas de compuertas y dispositivos mecánicos de salida, que permiten regular caudales constantes previamente tarados. La incorporación del agua y de la emulsión se controlará por separado mediante bombas adecuadamente calibradas para el flujo requerido.

Figura 7.5: Esquema de una planta de mezcla asfáltica en frío.



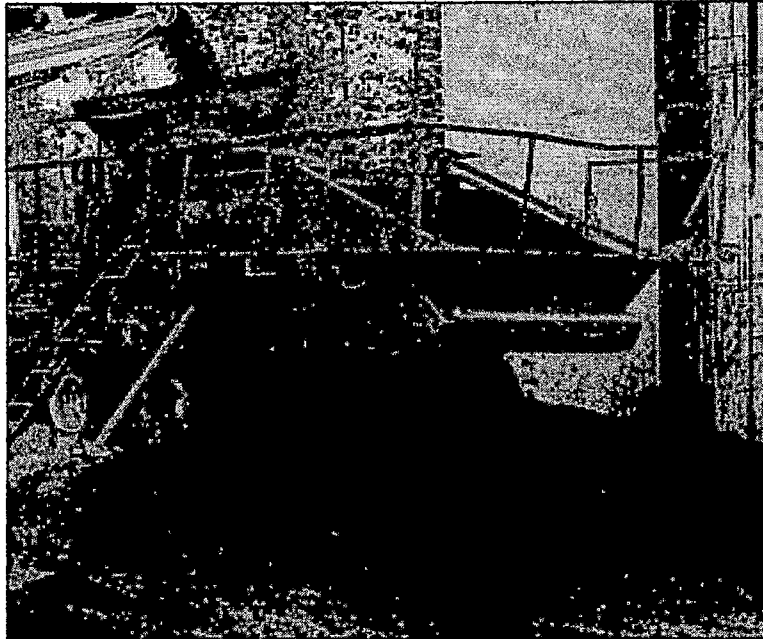
Fuente: SÁNCHEZ SABOGAL, Fernando – CURSO BÁSICO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS – 2009.

Figura 7.6: Planta de mezcla asfáltica en frío.



Fuente: SAUCEDO, Ray – DIFERENTES USOS Y APLICACIONES EN VÍAS DE COMUNICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS (AKZO NOBEL) – 2002.

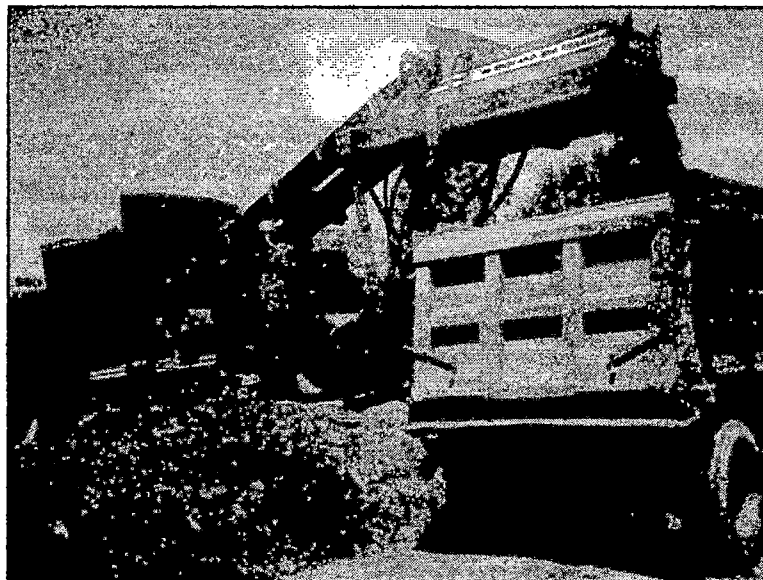
Figura 7.7: Planta portátil de mezcla asfáltica en frío.



Fuente: SÁNCHEZ SABOGAL, Fernando – CURSO BÁSICO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS – 2009.

Es preferible que la planta se encuentre ubicada en una plataforma superior que permita abastecer la mezcla directamente a la tolva de los volquetes, los que la transportarán a la terminadora o directamente a la calzada.

Figura 7.8: Planta común de producción de mezcla asfáltica en frío abasteciendo directamente a la tolva del volquete.



Fuente: SAUCEDO, Ray – DIFERENTES USOS Y APLICACIONES EN VÍAS DE COMUNICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS (AKZO NOBEL) – 2002.

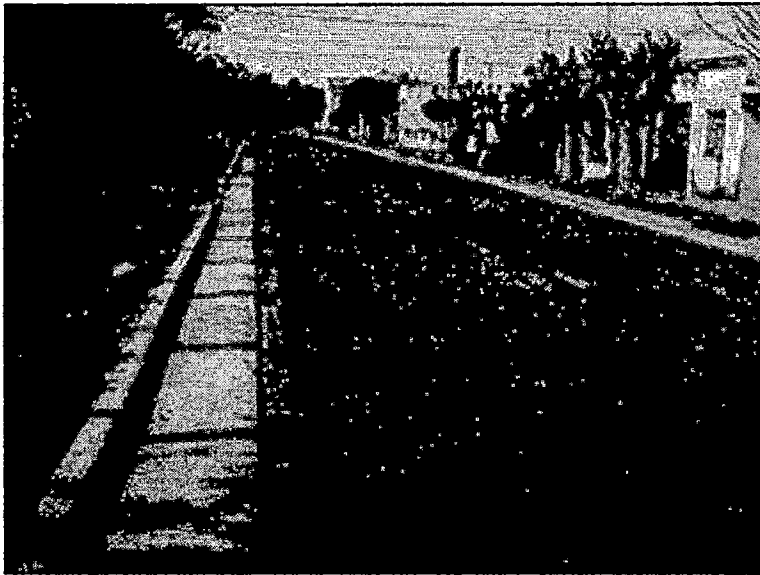
"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

Vallejo Ramírez, Diego César

7.1.2 Extendido de la mezcla

Antes del extendido de la mezcla asfáltica, la base debe ser perfectamente barrida de manera de asegurar que no quede material suelto para que haya una perfecta unión con la carpeta. Luego se debe aplicar un riego con emulsión asfáltica de imprimación, se debe dejar curar hasta no quedar agua en la superficie.

Figura 7.9: Riego de imprimación en el conglomerado calcáreo en las calles de La Plata (Argentina).



Fuente: CUATTROCCHIO – SOENGAS – BOTASSO – DEL POZO – CONGLOMERADO CALCÁREO, EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA MEJORAS EN CALLES DE TIERRA Y CAMINOS RURALES – 2006.

La extensión de la mezcla se realiza directamente mediante la terminadora, o por medio de la motoniveladora si la mezcla esta encaballetada, el espesor se controlará con un bastón y se deberá incluir el esponjamiento. Esta extensión se podrá hacer en una o en varias capas sucesivas para una mejor y más rápida compactación y curado, ninguna de las cuales tendrá un espesor inferior a dos veces el tamaño máximo del agregado. Cada vez que se extienda una capa, debe hacerse la compactación, operación que será explicada con detalle en el siguiente punto.

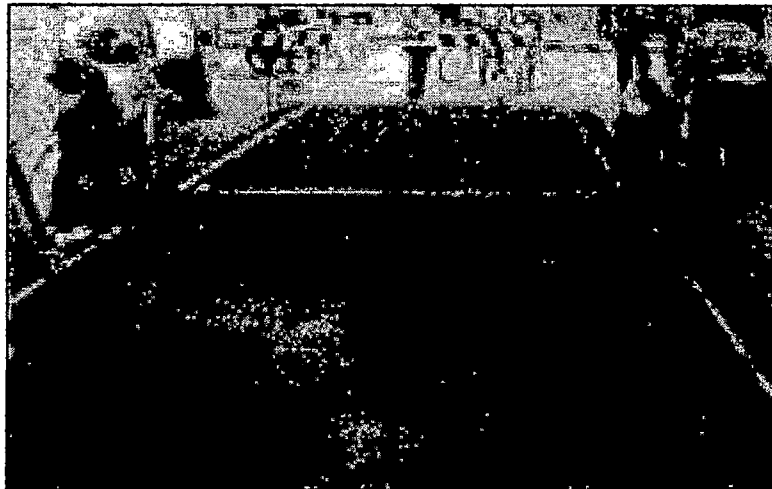
Figura 7.10: Extensión de la mezcla asfáltica en frío mediante la terminadora.



Fuente: SAUCEDO, Ray – DIFERENTES USOS Y APLICACIONES EN VÍAS DE COMUNICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS (AKZO NOBEL) – 2002.

En el caso de zonas inaccesibles para la terminadora o para la motoniveladora, se realizará en forma manual con la ayuda de reglas y rastrillos, controlándose el espesor con reglas calibradas.

Figura 7.11: Colocación manual de la mezcla asfáltica en frío en Chincha (Perú).



Fuente: BITUPER S.A.C. – EMULSIONES ASFÁLTICAS – S/A.

Figura 7.12: Colocación manual del conglomerado calcáreo en las calles de La Plata (Argentina).



Fuente: CUATTROCCHIO – SOENGAS – BOTASSO – DEL POZO – CONGLOMERADO CALCÁREO, EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA MEJORAS EN CALLES DE TIERRA Y CAMINOS RURALES – 2006.

7.1.3 Compactación de la mezcla

La operación que sigue al extendido es la compactación, pero esta debe de iniciarse si es que la mezcla contiene el óptimo de humedad de compactación. El equipo generalmente empleando es el rodillo neumático, inicialmente trabajando a baja velocidad y con una reducida presión de inflado.

Figura 7.13: Compactación de la mezcla con el rodillo neumático.



Fuente: HUAMÁN GUERRERO, Néstor – CURSO BÁSICO DE PAVIMENTOS – 2009.

La compactación se iniciará desde los bordes hacia el centro, superponiendo las pasadas. Pero en este paso ocurre un problema, debido a que los bordes no están confinados y las mezclas son relativamente fluidas, entonces al compactar

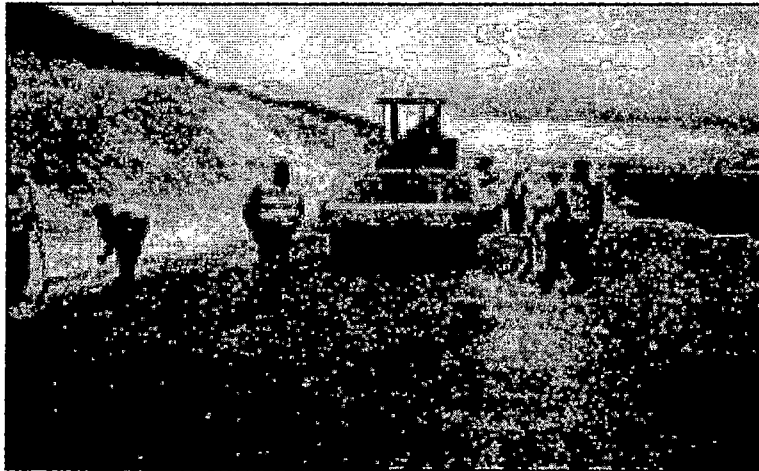
Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

podrían ocurrir escurrimientos de la mezcla. Este problema se puede evitar dejando sin compactar la zona de los bordes (20 a 30 cm.) hasta que la mezcla en esa zona adquiera suficiente consistencia como para soportar el paso del equipo.

Si debido al grado de fluidez de la mezcla se produjera un ahuellamiento pronunciado al paso del rodillo neumático, éste irá progresivamente desapareciendo a medida que evoluciona la densidad y el secado. Simultáneamente, se irá aumentando la presión de inflado de las llantas del rodillo neumático.

A los efectos de lograr un trabajo más efectivo en compactación, se recomienda intercalar una pasada de rodillo liso sin vibración luego de varias pasadas de rodillo neumático. El uso del rodillo liso deberá ser muy limitado, debido a que cierra demasiado la superficie, impidiendo una adecuada evaporación del agua contenida en la mezcla.

Figura 7.14: Compactación de suelo estabilizado en la Minera Yanacocha (Perú).



Fuente: BITUPER S.A.C. – EMULSIONES ASFÁLTICAS – S/A.

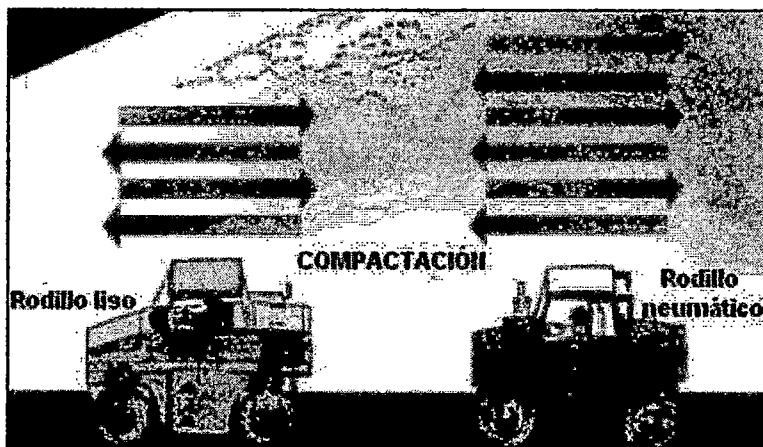
Figura 7.15: Compactación de la mezcla asfáltica en frío en la pavimentación de la Vía Quibdo – Yuto (Colombia).



Fuente: MÉNDEZ PINILLA, Fabio – PAVIMENTACIÓN DE LA VÍA QUIBDO YUTO, DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ, COLOMBIA – 2003.

Otros autores y especialistas en el campo de las pavimentaciones con mezclas emulsionadas en frío recomiendan que primero se debe realizar una compactación con un rodillo liso sin vibración, el número de pasadas recomendadas es de dos para que no se cierre totalmente la superficie. Después se debe seguir con la compactación con el rodillo neumático, el número de pasadas se verificará en campo dependiendo de la densidad obtenida como se muestra en la Figura 7.16.

Figura 7.16: Compactación de la mezcla asfáltica en frío.

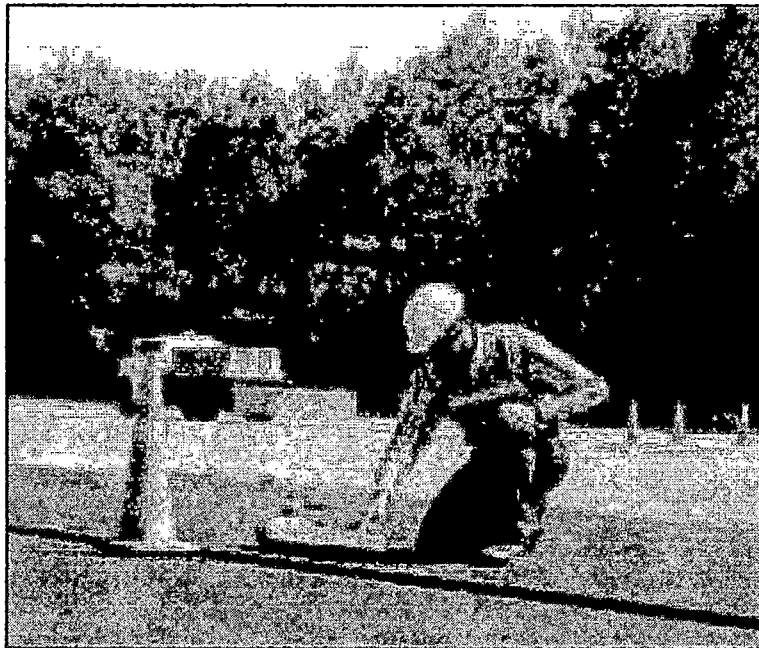


Fuente: SÁNCHEZ SABOGAL, Fernando – CURSO BÁSICO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS – 2009.

Cuando lluvias imprevistas caen sobre la calzada durante la compactación, se debe de realizar un remezclado de la mezcla para acelerar la pérdida de agua en exceso y se continúa con la compactación.

Se considera que se ha llegado al final de la compactación cuando la superficie está lisa y resistente al rodillo neumático, este estando en su máxima presión de inflado. El número total de pasadas del rodillo neumático deberá ajustarse en campo, de acuerdo a la densidad establecida por las especificaciones utilizando el densímetro nuclear.

Figura 7.17: Uso del densímetro nuclear para determinar la densidad en campo.



Fuente: TROXLER – DENSÍMETRO NUCLEAR DE CAPAS DELGADAS – 2001.

Después de llegar a la densidad adecuada podría colocarse sobre ellas nuevas capas adicionales. Esta operación puede repetirse, tantas veces como sea necesario, hasta llevar a la vía a la pendiente y coronación apropiadas. Para obtener una superficie suave de rodamiento, se debe arreglar con la motoniveladora, una vez que se haya terminado de compactar la capa superior.

Después de conformar la carpeta a la sección requerida, debe darse una última compactación, preferiblemente con un compactador liso sin vibración, hasta conseguir que se borren todas las marcas de compactación.

El librado del tránsito podrá efectuarse al cabo de 24 o 48 horas.

Figura 7.18: Vista del acabado de un carril de mezcla asfáltica en frío en la Carretera Vizcachani – Chivaya (Arequipa, Perú).



Fuente: TECNOLOGÍAS VIALES – SOLUCIONES INTEGRALES PARA LA INFRAESTRUCTURA VIAL – 2010.

Figura 7.19: Vista del acabado final de la carretera con mezcla asfáltica en frío en la pavimentación de la Vía Quibdo – Yuto (Colombia).



Fuente: MÉNDEZ PINILLA, Fabio – PAVIMENTACIÓN DE LA VÍA QUIBDO YUTO, DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ, COLOMBIA – 2003.

7.2 TRABAJOS DE MANTENIMIENTO (BACHEO)

Los tipos de deterioro más frecuentes en las calzadas de los pavimentos flexibles son peladuras por envejecimiento o por acción del agua, grietas, fisuras, ahuellamientos, baches de distinta magnitud, entre otros. Estos tipos de deterioro se deben principalmente a los cambios climáticos, a las cargas excesivas del tráfico y a un deficiente mantenimiento preventivo y rutinario de la carretera.

De acuerdo al tipo y grado de deterioro, se deberá seleccionar el tipo de material o mezcla más adecuada para su correcta reparación.

En este caso se explicará el tema de los baches, debido a que con las mezclas asfálticas en frío empleando emulsiones se reparan estos deterioros de manera correcta. Según la definición del Instituto del Asfalto, los baches son roturas de la superficie que penetran solo en la carpeta, hasta la base o por debajo de ella.

Para los baches con profundidades menores de 5 centímetros aproximadamente, se utilizan mezclas con tamaño máximo nominal de las partículas minerales del orden de $\frac{1}{2}$ ". Si la profundidad a rellenar no supera los 10 centímetros y no está comprometida la base se utilizan mezclas con tamaño máximo nominal de las partículas minerales del orden de $\frac{3}{4}$ ". Si la profundidad es superior a 10 centímetros, sería inapropiado y antieconómico utilizar únicamente una mezcla asfáltica. En estos casos se puede efectuar un buen relleno de material granular o con una estabilización de suelo (puede ser con cemento, cal, emulsión, entre otros), seguido de una buena compactación, una imprimación y finalmente una mezcla asfáltica en frío.

En los casos mencionados anteriormente, se debe seguir el mismo procedimiento constructivo para obtener adecuados resultados. Estas operaciones son las siguientes:

- Colocado de los dispositivos de seguridad.
- Trazo de la zona a bachear, los trazos deben de ser paralelos y perpendiculares al eje de la vía, formando cuadrados o rectángulos.
- Cortar la zona a bachear, de manera que la depresión tenga paredes rectas y lo más verticales posible.

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

Figura 7.20: Operario cortando la zona donde se realizará la reparación.



Fuente: RAMOS, Aldo - COMPLEMENTO AL PROCEDIMIENTO PARA BACHEO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA (CONCAR S.A.) – 2008.

Figura 7.21: Paredes verticales y perpendiculares al eje de la carretera.



Fuente: RAMOS, Aldo - COMPLEMENTO AL PROCEDIMIENTO PARA BACHEO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA (CONCAR S.A.) – 2008.

- Eliminar todo el material cortado y limpiar el material suelto o flojo mediante el barrido manual o soplado con motopulverizadora.

Figura 7.22: Eliminación del material.



Fuente: RAMOS, Aldo - COMPLEMENTO AL PROCEDIMIENTO PARA BACHEO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA (CONCAR S.A.) – 2008.

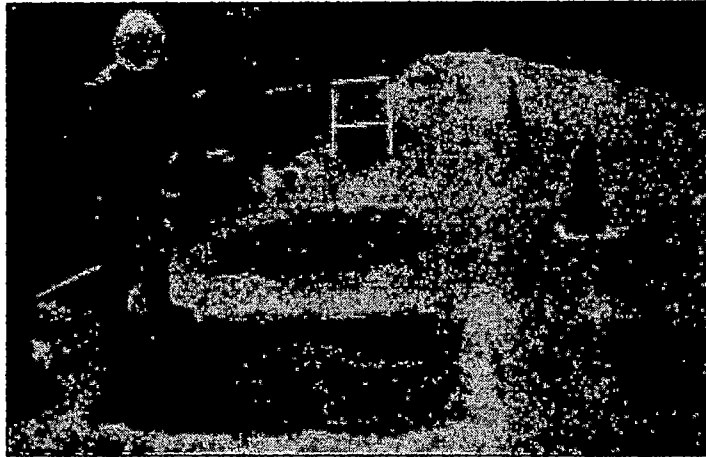
Figura 7.23: Soplado del material con motopulverizadora.



Fuente: RAMOS, Aldo - COMPLEMENTO AL PROCEDIMIENTO PARA BACHEO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA (CONCAR S.A.) – 2008.

- Efectuar la imprimación o riego de liga, según sea el caso y dependiendo del material del fondo de la depresión.

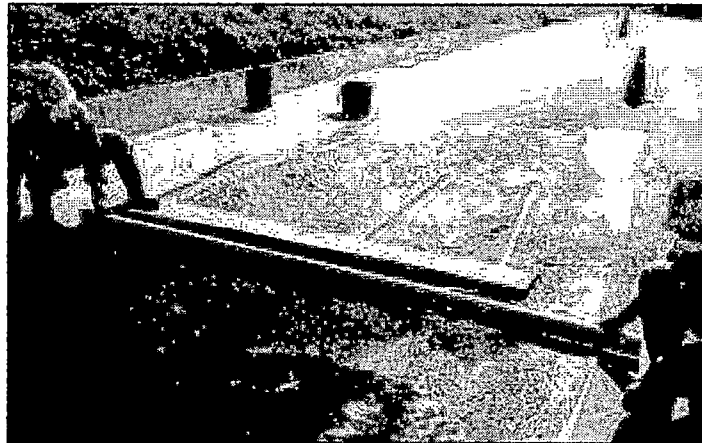
Figura 7.24: Riego de imprimación.



Fuente: RAMOS, Aldo - COMPLEMENTO AL PROCEDIMIENTO PARA BACHEO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA (CONCAR S.A.) – 2008.

- Colocación de la mezcla asfáltica en frío en capas de 5 centímetros como máximo de espesor, usando rastrillos y evitando que haya segregación del material grueso.

Figura 7.25: Colocación de la mezcla asfáltica manualmente.



Fuente: RAMOS, Aldo - COMPLEMENTO AL PROCEDIMIENTO PARA BACHEO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA (CONCAR S.A.) – 2008.

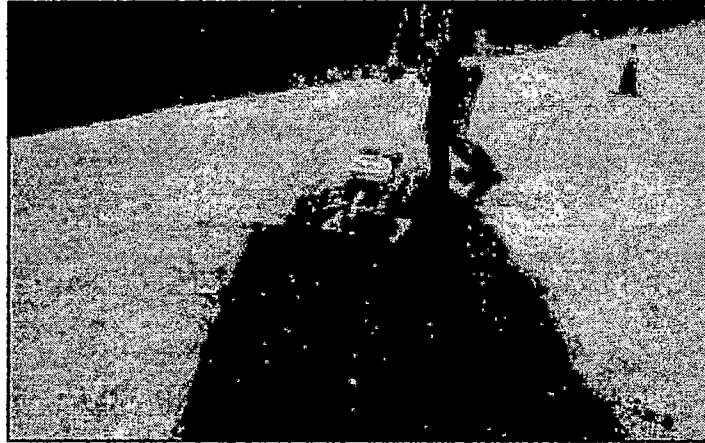
Figura 7.26: Utilización de lampas y rastrillos para la colocación de la mezcla.



Fuente: RAMOS, Aldo - COMPLEMENTO AL PROCEDIMIENTO PARA BACHEO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA (CONCAR S.A.) – 2008.

- Se compactará utilizando una plancha compactadora o rodillo liso manual. La compactación se iniciará en los bordes circundando todo el parche y luego realizar pasos de la plancha de afuera hacia dentro en rutas de ida y regreso, traslapando la mitad del área que se compactó previamente. Para la capa superior también puede compactarse con un camión o una camioneta, a baja velocidad, haciendo pasar los neumáticos por la zona reparada.

Figura 7.27: Compactación de la mezcla asfáltica con plancha compactadora.



Fuente: RAMOS, Aldo - COMPLEMENTO AL PROCEDIMIENTO PARA BACHEO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA (CONCAR S.A.) – 2008.

- Finalmente se recomienda que después de 24 horas de realizar el bacheo, se haga un barrido del material suelto para poder aplicar un tratamiento superficial o un mortero asfáltico, esto se realiza para alargar el período de vida del parche.

Figura 7.28: Barrido del material suelto.



Fuente: RAMOS, Aldo - COMPLEMENTO AL PROCEDIMIENTO PARA BACHEO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA (CONCAR S.A.) – 2008.

7.3 EJEMPLO DE APLICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO CON EMULSIONES – CENTRO MINERO TINTAYA

Gracias a las ponencias desarrolladas por el Ingeniero Dante Pérez Bravo y en especial al Ingeniero William Monteagudo Sucno es que se ha podido recopilar información valiosa de una experiencia peruana en la aplicación de mezcla asfáltica en frío con emulsiones usadas para pavimentación en el año 2002. La obra se trata del Centro Minero BHP BILLINGTON TINTAYA, proyecto de gran magnitud que incluyó diferentes frentes de trabajos, la más importante es la construcción de una planta de óxidos para el procesamiento de cobre. Como parte del proyecto, se requería la construcción de un pavimento para ser usada como zonas de maniobras, patios y accesos a la planta con el fin de eliminar el polvo y dar mayor confort a los trabajadores y clientes de la planta.

7.3.1 Antecedentes

El Centro Minero BHP BILLINGTON, está ubicada en Tintaya, en la provincia de Espinar, en el departamento de Cusco. La altitud de esta zona es de 4050 m.s.n.m., las temperaturas varían bruscamente desde $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ al amanecer hasta $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ al mediodía, esto produce mayor fatiga térmica de la carpeta asfáltica afectando su durabilidad, además es una zona que presenta lluvias, heladas, granizo y en algunos años se registra nieve.

Debido a los factores mencionados anteriormente y a la falta de plantas asfálticas en caliente cercanas a la obra, se decidió por el empleo de una carpeta asfáltica en frío con emulsiones asfálticas de 3 pulgadas de espesor.

El área a pavimentar es de 17500 metros cuadrados y para lograr producir una mezcla de muy alta calidad se trasladó a la zona de trabajos una planta de asfalto estacionaria de mezclado en frío con alimentación continua. La emulsión asfáltica fue alimentada por una bomba de engranes desde el Termotanque hasta las boquillas de inyección y el agua fue alimentada por una bomba centrífuga hasta las boquillas de agua de la planta.

7.3.2 Diseño de mezcla

El diseño de mezclas asfálticas en frío se realizó aplicando el Método Marshall Modificado para mezclas en frío con emulsiones asfálticas y agregados

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

minerales con un tamaño máximo de 1 pulgada, la metodología seguida fue la establecida por la corporación AKZO NOBEL.

7.3.2.1 Selección de agregados

Se realizó el mezclado de los agregados en las siguientes proporciones basándose en las curvas granulométricas según el MS-19 del Instituto del Asfalto y la AEMA (Asociación Mundial de Productores de Emulsiones Asfálticas) como se muestra en los Cuadros 7.1 y 7.2.

Cuadro 7.1: Proporción de la mezcla de agregados.

MATERIAL	PORCENTAJE
Piedra chancada, TM = 1" (Cantera del Río Salado)	50 %
Piedra chancada, TM = 3/8" (Cantera del Río Salado)	15 %
Arena (Cantera del Río Apurímac)	33 %
Cemento Portland Tipo I	2 %

Fuente: PÉREZ BRAVO, Dante – EMULSIONES ASFÁLTICAS Y SU APLICACIÓN EN ALTURA – 2002.

Cuadro 7.2: Granulometría de la mezcla de agregados.

TAMIZ ASTM	PIEDRA ¾" (50 %)	PIEDRA ¼" (15 %)	ARENA (33 %)	FILLER (2 %)	% PASA MEZCLA	MS-19 AEMA
1"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
¾"	82.3	100.0	100.0	100.0	91.15	90 – 100
½"	45.6	100.0	100.0	100.0	72.80	-
3/8"	30.6	100.0	100.0	100.0	65.35	60 – 80
Nº 4	14.9	31.30	99.58	100.0	47.01	35 – 65
Nº 8	21.4	44.96	98.41	100.0	45.20	20 – 50
Nº 30	4.1	8.61	72.09	100.0	29.13	-
Nº 50	3.1	6.51	24.7	100.0	12.68	3 – 20
Nº 100	2.4	5.04	4.35	100.0	5.39	-
Nº 200	1.7	3.57	0.67	100.0	3.61	2 – 8

Fuente: MONTEAGUDO SUCNO, William – APLICACIÓN DE MEZCLAS DENSAS EMULSIONADAS ALTURA – EXPERIENCIA TINTAYA – 2002.

7.3.2.2 Selección de la emulsión asfáltica

Se utilizó una emulsión catiónica de rotura lenta CSS – 1h recomendada para mezclas densas en frío con emulsiones. En el Cuadro 7.3 se muestra la formulación de la emulsión.

Cuadro 7.3: Formulación de la emulsión asfáltica.

FORMULACIÓN DE LA EMULSIÓN	
Cemento Asfáltico PEN 85 – 100	62 %
Emulsificante	1.2 %
Ácido clorhídrico	0.2 %
Agua	36.6 %

Fuente: MONTEAGUDO SUCNO, William – APLICACIÓN DE MEZCLAS DENSAS EMULSIONADAS ALTURA – EXPERIENCIA TINTAYA – 2002.

Los resultados de los ensayos realizados a la emulsión catiónica y al residuo asfáltico se muestran en el Cuadro 7.4.

Cuadro 7.4: Ensayos realizados a la emulsión catiónica y al residuo asfáltico.

ENSAYO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
Para la emulsión asfáltica:		
Viscosidad Saybolt – Furol a 25 °C, ssf.	29	20 – 100
Residuo asfáltico por evaporación, %	61.7	57 mínimo
Tamizado (retenido en malla # 20), %	0	0.1 máximo
Mezcla con cemento, %	0.4	2.0 máximo
Carga de partícula	+	+
Potencial de hidrógeno (ph)	1.2	
Tenor del solvente, %	0	
Estabilidad de almacenamiento 24 horas, %	0.1	1.0 máximo
Sedimentación a los 5 días, %	1.5	5.0 máximo
Para el residuo asfáltico:		
Penetración a 25 °C, dmm.	90	85 - 100

Fuente: MONTEAGUDO SUCNO, William – APLICACIÓN DE MEZCLAS DENSAS EMULSIONADAS ALTURA – EXPERIENCIA TINTAYA – 2002.

7.3.2.3 Selección del filler

Se utilizó Cemento Portland Tipo I en un porcentaje de 2%, la principal razón fue que los agregados contenían poco material pasante del tamiz N° 200.

7.3.2.4 Selección del agua

Se utilizó agua potable procedente de pozos utilizados por el centro minero.

7.3.2.5 Metodología AKZO NOBEL

Este procedimiento es similar a la Metodología Illinois, detallada en el Capítulo V, pero se diferencia en tres etapas: en la determinación del contenido óptimo de humedad de compactación, en el curado y en la inmersión.

Respecto a la determinación del contenido óptimo de humedad de compactación, este porcentaje de humedad se determina basada en la máxima densidad seca de la mezcla; en el caso de la Metodología Illinois, el contenido óptimo de compactación se determina basada en la máxima estabilidad seca.

Respecto a la etapa del curado, los especímenes después de compactarse son removidos del molde y son curados a 60 °C por tres días en el horno para remover toda el agua; en el caso de la Metodología Illinois, el espécimen era curado durante tres días dentro del molde a temperatura de 22.2 °C.

Respecto a la etapa de inmersión, los especímenes después del curado a 60 °C por tres días dentro del horno se dejan enfriar a temperatura de ambiente y son sumergidos en el baño maría a 25 °C durante tres días; en el caso de la Metodología Illinois, la etapa de inmersión se realiza en los moldes con base perforada por dos días por cara.

En el Cuadro 7.5 se muestra el formato que se utilizó para obtener el óptimo contenido de emulsión asfáltica para el diseño de la mezcla asfáltica en frío; en este caso, estos resultados son al trabajar con un 12 % de emulsión asfáltica.

Cuadro 7.5: Formato utilizado para el diseño de mezcla en frío.

PAVIMENTACION PLANTA DE OXIDOS BHP TINTAYA							
TRAMO :					ING° RESP.:		
CANTERA :					FECHA:		
UBICACIÓN :	TINTAYA - ESPINAR				TECNICO :		
ENSAYO MARSHALL MODIFICADO							
ASFALTO			AGREGADO				
TIPO Y GRADO	85-100		Capa			Carpeta Asfáltica de rodadura	
ASFALTO EN LA EMULSION	62 %		Tipo			Mezcla en frío con emulsion asfáltica	
Graved. Específica del asfalto (B)			Grav. esp.aparente (C)			2.54	
Asfalto residual en la mezcla (A)	7.418 %		% Emulsión asfáltica			12	
MEZCLA Y COMPACTACION							
Agua total de mezcla	10 %						
Agua de adición a la mezcla	5.44 %						
Agua de Compactación	9 %						
Fecha de Compactación							
ITEM	DATOS DE L. ESPECIMEN	SECO			SATURADO		
		1	2	PROM.	3	4	PROM.
DENSIDAD BULK							
	Peso de la probeta en Aire (D)	1154	1144	1149			
	Peso de la probeta en Agua (E)	594.4	594.3	594.35			
	Peso de la probeta SSD (F)	1157	1148.5	1152.75			
	Volumen por desplazamiento	562.6	554.2	558.4			
	Peso Espec. Bulk Probeta (G)	2.05	2.06	2.06			
	Peso Espec. Seco Bulk Probeta						
	Espesor (mm.)	71	71.3		7.05	6.90	
ESTABILIDAD MARSHALL							
	Lectura Dial	185	170		126	140	
	Estabilidad	2538	2332		1728	1920	
	Factor de corrección	0.86	0.86		0.86	0.86	
	Estabilidad Corregida (S) Lbs.	2182.68	2005.52	2094.1	1486.08	1651.2	1568.64
	Fluencia	9	12				
	Perdida de Estabilidad %			25.09 %			
CONTENIDO DE HUMEDAD							
	Peso de la probeta fallada	1151.2	1155.4				
	Peso de la probeta secada al horno	1142.2	1147.5				
	Peso del embase (tara)						
	Contenido de humedad	0.56	0.32				
	Humedad absorbida						
	Vacios totales Máximos %						
Ing. William Monteagudo Sucho							
CIP N° 57743							

Fuente: SAUCEDO, Ray – PAVIMENTACIÓN PLANTA DE ÓXIDOS MINA TINTAYA – 2002.

En el Cuadro 7.6 se muestra el resumen de los resultados obtenidos con diferentes contenidos de emulsión y también se muestra la especificación técnica que debe cumplir la mezcla asfáltica dada por la Metodología de AKZO NOBEL.

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

Cuadro 7.6: Resultados obtenidos con diferentes contenidos de emulsión asfáltica.

PARÁMETROS	RESULTADOS			ESPECIF.
Nº de golpes por cara	75	75	75	75
Contenido de emulsión asfáltica (%)	10	11	12	
Estabilidad en condición seca (Lb.)	2303.08	2302.65	2094.1	Mín. 800
Estabilidad en condición saturada (Lb.)	1763.0	1831.8	1568.64	
Pérdida de estabilidad (%)	23.45	20.45	25.09	Máx. 50%
Peso unitario bulk	2.13	2.10	2.06	
Flujo	12	12	11	

Fuente: MONTEAGUDO SUCNO, William – APLICACIÓN DE MEZCLAS DENSAS EMULSIONADAS ALTURA – EXPERIENCIA TINTAYA – 2002.

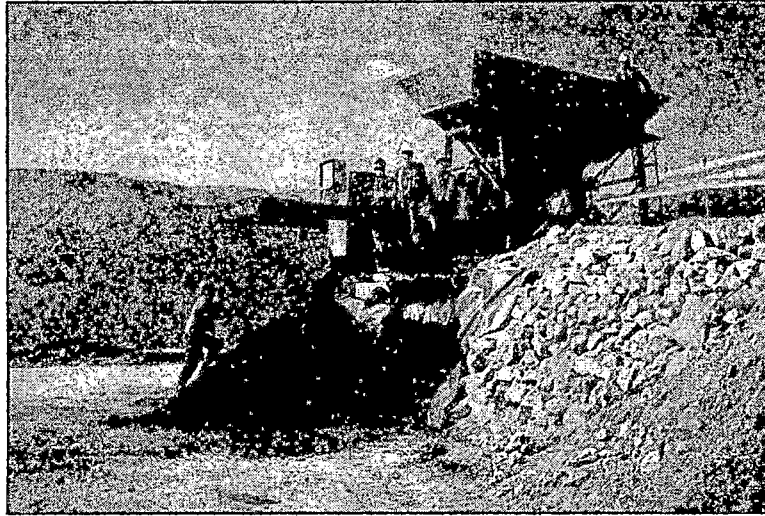
El óptimo contenido de emulsión asfáltica fue escogido tomando como parámetro principal la máxima estabilidad en condición saturada y el menor porcentaje de pérdida de estabilidad, obteniendo como resultados los parámetros sombreados en el Cuadro 7.6. Estos valores cumplen con los requerimientos de las especificaciones técnicas de obra que estaban basados en las especificaciones de la Metodología AKZO NOBEL.

7.3.3 Aplicación en campo

7.3.3.1 Producción de la mezcla

La producción de la mezcla se realizó en una planta de mezcla en frío provista de una tolva, sistema de bombas para controlar el flujo de la emulsión asfáltica y del agua y una faja transportadora para dosificar el agregado en peso.

Figura 7.29: Planta de mezcla en frío instalada en Tintaya.



Fuente: SAUCEDO, Ray – PAVIMENTACIÓN PLANTA DE ÓXIDOS MINA TINTAYA – 2002.

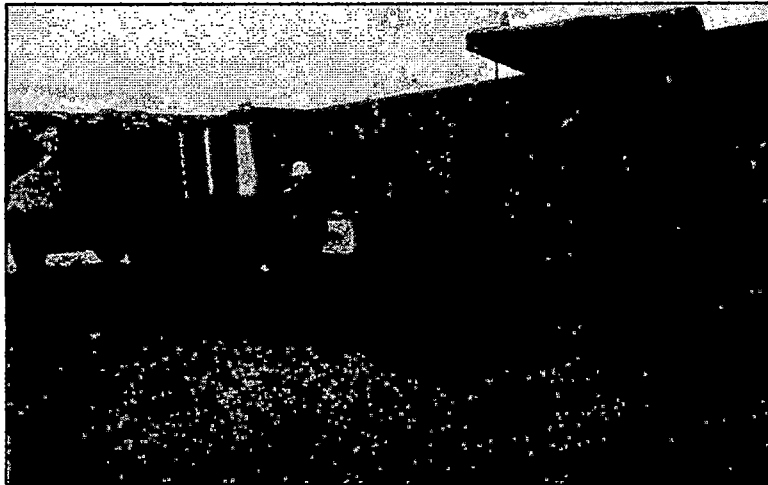
7.3.3.2 *Imprimado*

Se limpió la base para luego proceder a la imprimación de ésta con camión imprimador en una dosificación de 0.6 litros por metro cuadrado. El tipo de emulsión asfáltica utilizada fue una emulsión catiónica CSS – 1.

7.3.3.3 *Colocación y compactación de la mezcla asfáltica*

Para la colocación de la mezcla asfáltica en zonas masivas o accesibles, se utilizó una esparcidora de asfalto. En zonas inaccesibles para la esparcidora, se realizó la colocación de forma manual con la ayuda de reglas y rastrillos. El control del espesor de 3 pulgadas se realizó en forma permanente con teodolito y manualmente, considerando un esponjamiento mínimo de 25% para la compactación.

Figura 7.30: Esparcido utilizada para la colocación de la mezcla asfáltica en frío.



Fuente: SAUCEDO, Ray – PAVIMENTACIÓN PLANTA DE ÓXIDOS MINA TINTAYA – 2002.

Para iniciar la compactación, se verificó la humedad óptima de compactación, luego se realizó dos pasadas del rodillo tándem, seguida por diez pasadas del rodillo neumático como mínimo como se explico con la Figura 7.16. El número de pasadas del rodillo neumático se ajustó en campo en función a la densidad encontrada con el densímetro nuclear.

7.3.3.4 Colocación del sello asfáltico

Luego de tres días de la colocación de la carpeta asfáltica, se procedió a la colocación de un sello asfáltico, con el fin de darle mayor impermeabilidad y sellar los poros que presenta la superficie. Se utilizó una emulsión de rotura lenta modificada con polímeros tipo CSS – 1p, esta fue diluida con agua en una relación de 75% de emulsión y 25% de agua. Para su aplicación se utilizó un camión imprimador en las zonas donde fue posible su operación, en las áreas inaccesibles se realizó una aplicación manual con la ayuda de escobas.

Finalizado el sellado, se realizó un arenado con el fin de evitar que los vehículos puedan levantar el sello asfáltico.

7.3.4 Control de calidad

7.3.4.1 Agregados

Para los agregados se realizaron pruebas de granulometría, el que estuvo dentro de la banda granulométrica establecido en el diseño de mezcla. Además se

"Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales."

realizaron ensayos de contenido de humedad del agregado en cada producción de mezcla asfáltica para poder corregir la cantidad de agua de premezcla.

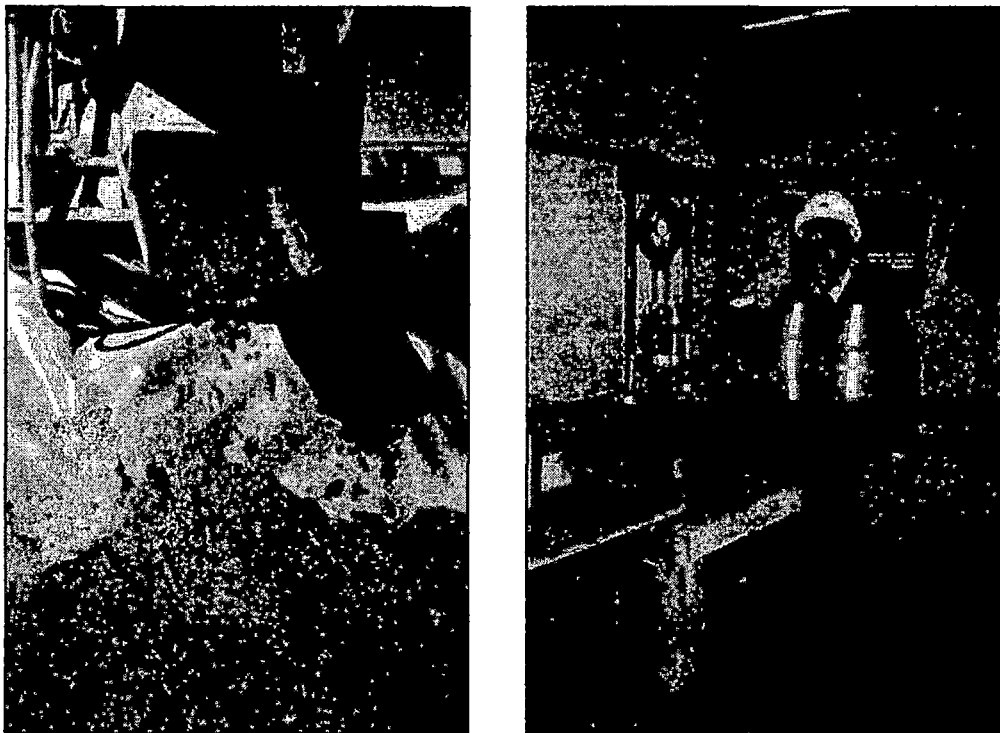
7.3.4.2 Emulsión asfáltica

El control de calidad de la emulsión asfáltica fue realizado por el proveedor de la emulsión para cada termotanque que llegaba a la planta. Los ensayos realizados se presentaron en el Cuadro 7.4.

7.3.4.3 Mezcla asfáltica

Las pruebas de calidad de la mezcla asfáltica se realizaron tomando muestras a la salida de planta. Se realizaron ensayos de contenido de humedad, lavado asfáltico y estabilidad Marshall. Los resultados del ensayo de lavado asfáltico estuvieron dentro de los rangos especificados en el diseño de mezcla, entre 6.2% y 7.5% de residuo asfáltico. Los resultados de estabilidad obtenidos estuvieron por encima de los valores mínimos con un promedio superior a 2000 libras después de un curado de tres días similar al del diseño de mezcla.

Figura 7.31: Producción de la mezcla asfáltica en frío y ensayo de estabilidad Marshall.

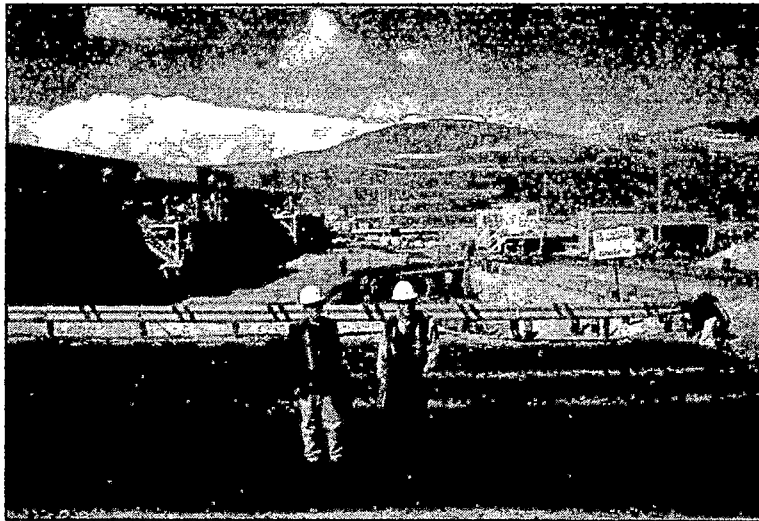


Fuente: SAUCEDO, Ray – PAVIMENTACIÓN PLANTA DE ÓXIDOS MINA TINTAYA – 2002.

7.3.4.4 Control de campo de la carpeta asfáltica

Para el control de campo de la carpeta asfáltica colocada se midió la densidad de ésta con el densímetro nuclear, se obtuvieron valores superiores al 95% para humedades menores al 2%, se verificó que para el clima de la zona, la humedad de la mezcla tiende a cero luego de más de una semana de colocada.

Figura 7.32: Vista del acabado final de la carpeta asfáltica en frío aplicada en Tintaya.



Fuente: SAUCEDO, Ray – PAVIMENTACIÓN PLANTA DE ÓXIDOS MINA TINTAYA – 2002.

CONCLUSIONES

1. Aunque presenten estabilidades que cumplen con las especificaciones y metodologías mencionadas, las mezclas asfálticas en frío elaboradas sin filler no son recomendables para trabajos de pavimentación, debido a la baja resistencia a la tracción indirecta que presentan en estado saturado. En cambio si estas mezclas se les añade porcentajes de fillers pueden ser utilizadas para dichos trabajos, debido a que las resistencias conservadas a tracción indirecta por compresión diametral superan el rango de valores de 75% a 80% habitualmente exigidos en las normas.
2. El tipo de agregado, principalmente su composición química (material calizo o silicio) y las características físicas, en especial el tamaño máximo del agregado, resistencia al desgaste, porcentaje de caras de fractura y de partículas chatas y alargadas influyen en los resultados finales en la determinación de la estabilidad y resistencias a la tracción indirecta en las mezclas asfálticas en frío.
3. Según los resultados analizados, el efecto del daño por humedad se ve notablemente atenuado con la incorporación de cemento portland y cal hidratada debido a que el mastic formado actúa como una barrera protectora minimizando los daños que pueda ocasionar la inmersión en agua. Esto sucede a pesar que los vacíos en la mezcla generalmente aumenten.
4. La incorporación del cemento portland y la cal hidratada ocasiona que se necesite una mayor cantidad de agua de premezcla debido a la alta superficie específica del material y por la reacción exotérmica que ocurre entre el filler y el agua, también puede haber una variación en la óptima humedad de compactación, aumentando este valor. Esto no fue analizado en esta tesis debido a que las variables de estudio aumentarían considerablemente.
5. El Ensayo de Tracción Indirecta en seco y saturada permite estudiar las pérdidas de adhesividad y cohesión en cualquier tipo de las mezclas

asfálticas; además permite evaluar los efectos que producen distintos materiales utilizados como son los fillers, mejoradores de adherencia, entre otros; respecto al daño por humedad.

6. Para los dos tipos de agregados utilizados, el filler que reduce en mayor proporción el daño por humedad es el cemento portland tipo I en comparación con la cal hidratada.
7. El rango óptimo de incorporación de cemento portland tipo I para la Cantera Santa Rosa y para la Cantera S/N es entre 1 a 2% debido a que la razón de resistencia a la tracción indirecta son mayores a 90%. No se toma el valor de 3% debido a que podría haber problemas de rigidización de la mezcla por el exceso de este tipo de filler.
8. El rango óptimo de incorporación de cal hidratada para la Cantera Santa Rosa y para la Cantera S/N es entre 1 a 1.5% debido a que las resistencias secas y saturadas son altas aunque menores a la resistencia seca sin filler de cada una de ellas y la razón de resistencia a la tracción indirecta son mayores a 88%.
9. Los ensayos subjetivos de adherencia como el Riedel Weber y el de adherencia del agregado grueso no son resultados confiables ya que son ensayos evaluados visualmente y por separado. Ya que al evaluar la adherencia y cohesión de la mezcla con un ensayo mecánico como el de tracción indirecta, resultó dando valores contradictorios debido a que la Cantera S/N dio buenas resistencias, incluso superiores a los de la Cantera Santa Rosa, que tenía mayor adherencia según los ensayos visuales debido a su composición química.

RECOMENDACIONES

1. Las mezclas asfálticas en frío con agregados de buena calidad y con la inclusión de un filler son recomendadas para trabajos de pavimentaciones de menor envergadura específicamente para zonas internas del Perú, alejadas de los grandes centros urbanos donde generalmente se ubican las plantas de mezclas asfálticas en caliente.
2. Para los trabajos de pavimentación se recomienda que la carpeta asfáltica en frío deba ser impermeabilizada por su alto porcentaje vacíos, especialmente en zonas húmedas. Esta impermeabilización se puede realizar con una aplicación de una capa de riego asfáltico o por algún tratamiento superficial como un sello de arena o un slurry seal, esto deberá ser evaluado según el presupuesto de la obra.
3. Se recomienda que su aplicación sea en épocas secas y soleadas, debido a que el clima ayudará a que la mezcla pueda eliminar más rápidamente el agua contenida y llegue de manera más acelerada a las resistencias adecuadas.
4. Se recomienda el uso de agregados con alto contenido de sílice para las mezclas emulsionadas ya que estos tienen mayor afinidad con las emulsiones catiónicas por la atracción de cargas, logrando llegar a cohesiones y recubrimientos adecuados en un período de tiempo más corto. Por tal motivo es necesario realizar los ensayos de contenido de óxidos de sílice y de carbonatos de calcio.
5. Aunque el porcentaje de finos sea adecuado, se recomienda que siempre deba utilizarse algún filler comercial como el cemento portland o la cal hidratada para poder minimizar el efecto perjudicial de la humedad.
6. Se sugiere que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones evalúe la posibilidad de incluir la Metodología Illinois y el Ensayo de Tracción Indirecta por la Metodología de la Universidad Politécnica de Cataluña, ya que sus resultados son aplicables y permiten identificar de mejor manera las características de las mezclas asfálticas en frío. Sin embargo los

Diseño de mezclas asfálticas en frío empleando emulsión asfáltica y su evaluación del daño por humedad utilizando fillers comerciales.

rangos especificados en estas metodologías deben de ser evaluados con más investigaciones en laboratorio y con la construcción de tramos de prueba para poder obtener características y parámetros reales, conforme a los tipos y características de los agregados peruanos y emulsiones asfálticas fabricadas en Perú.

7. Se sugiere que la construcción de los tramos de prueba sean en carreteras con diferentes volúmenes de tránsito, así se podrá saber con exactitud la cantidad de demanda de ejes equivalentes que pueda resistir este tipo de carpeta. En el extranjero este tipo de mezclas han sido utilizadas en carreteras de diferente volumen de tránsito mostrando un buen comportamiento en el transcurso del tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARENAS LOZANO, Hugo
"Tecnología del cementos asfáltico"
Faid Editores
Colombia, 2005.

2. BIANCHETTO, Hugo
MIRÓ RECASENS, Rodrigo
PÉREZ JIMÉNEZ, Félix
"Resistencia al envejecimiento de las mezclas bituminosas en caliente:
Beneficios y limitaciones de la incorporación de filleres comerciales.
Primera parte: Estudios en base al Método UCL"
Revista Infraestructura Vial
Costa Rica, 2007.

3. CAMPAGNOLI, Sandra
SANABRIA, Luis Enrique
"Aplicación de emulsiones asfálticas en Colombia"
XXIX Reunión del Asfalto
Argentina, 1996.

4. CUATTROCCHIO, A.
SOENGAS, C.
BOTASSO, G.
DEL POZO, C.
"Conglomerado calcáreo, emulsión asfáltica para mejoras en calles de
tierra y caminos rurales"
II Simposio Iberoamericano. II Simposio Ecuatoriano de Ingeniería de
Pavimentos
Quito – Ecuador, 2006.

5. DARTER, Michael
Ahlfeld, Steven
Wilkey, Patrick
Wasill, Richard
DEVELOPMENT OF EMULSIFIED ASPHALT – AGGREGATE COLD
MIX DESIGN PROCEDURE
Universidad de Illinois
Estados Unidos – Illinois, 1978.

6. ESCALANTE ZEGARRA, Jorge Rodolfo
FERNÁNDES JÚNIOR, José Leomar
“Evaluación del comportamiento de ligantes asfálticos peruanos al daño
por humedad inducida de mezclas asfálticas”
Universidad de Sao Paulo
Sao Paulo – Brasil, 2007.

7. FERNÁNDEZ DEL CAMPO, Juan
“Pavimentos bituminosos en frío”
Editores Técnicos Asociados S.A.
Barcelona – España, 1983.

8. FERREIRA PALACIOS, Carlos
RODRIGUEZ, Jaime
“Utilización de diferentes tipos de fillers en diseño de mezclas asfálticas
a 4000 m.s.n.m.”
La Paz – Bolivia.

9. FRANCESIO, Carlos
GARCÍA, Raúl
ALVAREZ, Néstor
“Tramo de estudio de un concreto en frío con emulsión catiónica”
XXIV Reunión del Asfalto
Argentina, 1986.

10. HERENCIA PEÑA, Wendy
"Emulsiones asfálticas"
Seminario IIFIC - UNI
Lima – Perú, 2009.
11. HUAMÁN GUERRERO, Néstor
"Curso básico de pavimentos"
FIC - UNI
Lima – Perú, 2009.
12. HUAMÁN GUERRERO, Néstor
Informe Técnico: "Ensayo Riedel Weber"
CASA – Construcción y Administración S.A.
Lima – Perú, 2009.
13. INSTITUTO DEL ASFALTO
AEMA
"Manual básico de emulsiones asfálticas (MS-19)"
Estados Unidos.
14. INSTITUTO DEL ASFALTO
"Asphalt cold mix manual (MS-14)"
Estados Unidos, 1997.
15. INSTITUTO DEL ASFALTO
"Un Manual básico de emulsiones asfálticas"
Estados Unidos, 1993.
16. JIMÉNEZ ACUÑA, Mónica
SIBAJA OBANDO, Denia
MOLINA ZAMORA, Doris
"Mezclas asfálticas en frío en costa rica, conceptos, ensayos y especificaciones"
Revista Infraestructura Vial
Costa Rica, 2009.

17. MARTÍNEZ DONGO, Robert

Tesis: "Empleo del polímero SBR en la fabricación de mezclas asfálticas para zonas en altura"

Biblioteca FIC - UNI

Lima - Perú, 2003.

18. MEDINA RAMÍREZ, Victor

Tesis: "Aplicación de las emulsiones asfálticas y los asfaltos diluidos en mezclas asfálticas en frío utilizando agregados del río Aguaytía – Ucayali"

Biblioteca FIC - UNI

Lima – Perú, 2003.

19. MÉNDEZ PINILLA, Fabio

ULLOA DUARTE, Javier

"Pavimentación de la vía Quibdo Yuto, Departamento del Chocó, Colombia"

XII Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto - CILA

Ecuador, 2003.

20. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DE PANAMÁ

"Manual de Especificaciones Técnicas de la Institución"

Capítulo 75: Mezcla asfáltica densa en frío

Panamá, 2007.

21. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS

"Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras – EG 2000"

Lima – Perú, 2000.

22. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES

"Manual de Ensayo de Materiales para Carreteras – EM 2000"

Lima – Perú, 2003.

23. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
"Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito"
Lima – Perú, 2008.
24. MONTEAGUDO SUCNO, William
PACHECO MOLINA, Gail
"Aplicación de mezclas densas emulsionadas en altura, la experiencia Tintaya"
V Congreso Nacional del Asfalto
Asociación Peruana de Caminos
Lima – Perú, 2002.
25. MUSURUANA, Eliodoro
SÁNCHEZ DE ROSACO, Susana
"Las emulsiones asfálticas en las construcciones viales"
Química Bonaerense C.I.S.A.
Argentina, 1998.
26. NOREÑA VALVERDE, Nilthson
"Determinación de la pérdida de adhesividad por tracción indirecta en mezclas asfálticas compactadas"
Biblioteca FIC - UNI
Lima – Perú, 2003.
27. NOSETTI, Rodolfo Adrián
PÉREZ JIMÉNEZ, Félix
MARTÍNEZ, Adriana
"Evaluación del daño por humedad de las mezclas recicladas en frío mediante el ensayo de tracción indirecta"
XXXV Reunión del Asfalto
Rosario – Argentina, 2008.

28. NOSETTI, Rodolfo Adrián
SUETA, Alberto
PÉREZ JIMÉNEZ, Félix
MARTÍNEZ, Adriana
“Características obtenidas en las mezclas asfálticas recicladas en frío con espuma de betún con el aporte de cal y cemento”
XIV Congreso Ibero – Latinoamericano del Asfalto
La Habana – Cuba, 2007.

29. PÉREZ BRAVO, Dante
“Emulsiones asfálticas y su aplicación en altura”
X CONEIC – Cusco
Cusco – Perú, 2002.

30. PETROBRAS ASFALTOS
“Por mejores caminos, cuidando el medio ambiente”
Brasil.

31. PETROPERÚ S.A.
“Asfaltos”
Lima – Perú.

32. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES PARA
OBRAS DE CARRETERAS Y PUENTES – PG 3
Liteam Ediciones
España, 2002.

33. PUIGGENÉ, Jordi
TORRES LLOSA, José
TAKAMURA, Koichi
“Efecto del empleo de látex de SBR en la modificación de cemento asfáltico y de emulsiones bituminosas de uso vial”
España, 2001.

34. QUINTERO FRANCO, Juan David
GARCÍA MESA, Helber
Tesis: "Comportamiento mecánico de mezclas asfálticas tipo MDC-2 sometidas al efecto del envejecimiento adicionadas con cal y/o cemento"
Universidad de Medellín
Medellín – Colombia, 2007.
35. RAMOS, Aldo
Informe Técnico: "Complemento al procedimiento para bacheo con emulsión asfáltica"
CONCAR S.A.
Perú, 2008.
36. RIPANI, Jorge
COVACICH, Sebastián
NOSETTI, Rodolfo Adrián
LOCKHART, Jorge Marcelo
"Mezclas bituminosas en frío densamente graduadas empleando áridos bonaerenses y emulsiones asfálticas convencionales y modificadas"
XIV Congreso Ibero – Latinoamericano del Asfalto
La Habana – Cuba, 2007.
37. RIVERA, Gustavo
"Emulsiones asfálticas"
Alfaomega Grupo Editor
México, 1998.
38. SALGADO BARRA, Breno
MOMM, Leto
BARIANI BERNUCCI, Liedi
"Evaluación del efecto de la acción del agua en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas de la región amazónica sobre las condiciones de humedad inducida"
Revista Infraestructura Vial
Costa Rica, 2006.

39. SÁNCHEZ SABOGAL, Fernando
"Curso básico de diseño de pavimentos"
Módulo 15: Construcción de pavimentos asfálticos
Escuela Colombiana de Ingeniería
Bogotá - Colombia, 2009.

40. SAUCEDO, Ray
"Diferentes usos y aplicaciones en vías de comunicación de las emulsiones asfálticas"
Curso sobre Emulsiones Asfálticas
Lima – Perú, 2002.

41. SAUCEDO, Ray
"Pavimentación Planta de óxidos Mina Tintaya"
Curso sobre Emulsiones Asfálticas
Lima – Perú, 2002.

42. YAMUNQUÉ MIRANDA, Jorge
"Influencia de la humedad de compactación en mezclas asfálticas emulsionadas densas"
III Congreso Nacional del Asfalto
Asociación Peruana de Caminos
Lima, 1999.

PÁGINAS DE INTERNET

1. BITUPER S.A.C.
"Emulsiones asfálticas"
<http://www.bituper.com/emul.htm>
Lima - Perú.

2. BITUPER
"Mezclas asfálticas instantaneas (Bitumix)"
<http://www.bituper.com/bitumix.htm>
Lima - Perú.

3. CONSEJO DEPARTAMENTAL DE LIMA – CIP
“La importancia del uso de las emulsiones asfálticas en el Perú y el Mundo”
<http://www.rtvciplima.com/2010/09/07/la-importancia-del-uso-de-las-emulsiones-asfalticas-en-el-peru-y-el-mundo/>
Lima – Perú, 2010.

4. ELSAMEX
“Tecnología de pavimentos asfálticos”
<http://www.elsamexinternacional.com/econtent/Library/Images/EMULSIONES.pdf>
Madrid – España.

5. MARTÍNEZ REGUERO, Adriana
Tesis Doctoral: “Aseguramiento de la calidad de mezclas bituminosas mediante la aplicación del ensayo de tracción indirecta en el control de su ejecución”
Universidad Politécnica de Cataluña
<http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0309110-142229/>
Barcelona – España, 2000.

6. MIRÓ RECASENS, Rodrigo
Tesis Doctoral: “Metodología para la caracterización de ligantes asfálticos mediante el empleo del Ensayo Cántabro”
Universidad Politécnica de Cataluña
<http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0222108-122735/>
Barcelona – España, 1994.

7. NÉSTOR HUAMÁN Y ASOCIADOS
“Trabajos de investigación – varios”
<http://www.nestorhuaman.pe/principal.html>
Perú.

8. RODRÍGUEZ MUÑOZ, Esperanza

Tesis: "Formulación de la emulsión tipo ECR-2p para su aplicación en riegos de sello a baja temperatura"

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/rodriguez_m_e/

Universidad de las Américas Puebla

Puebla – México, 2006.

9. TECNOLOGÍAS VIALES

"Soluciones integrales para la infraestructura vial"

<http://tecnologiasviales.com.pe/brochure.pdf>

Lima – Perú, 2010.

10. TROXLER

"Densímetro nuclear de capas delgadas"

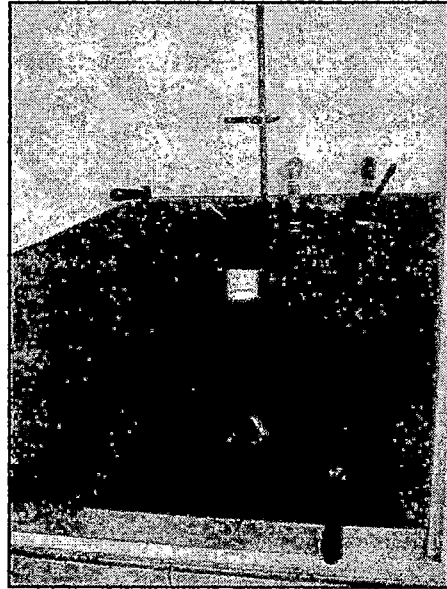
<http://www.troxlerlabs.com/pdf%20files/4640bspan.pdf>

Estados Unidos, 2001.

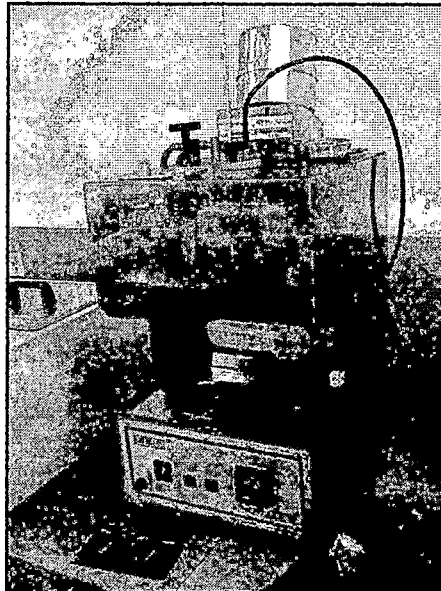
ANEXOS

ENSAYOS A LA EMULSIÓN ASFÁLTICA

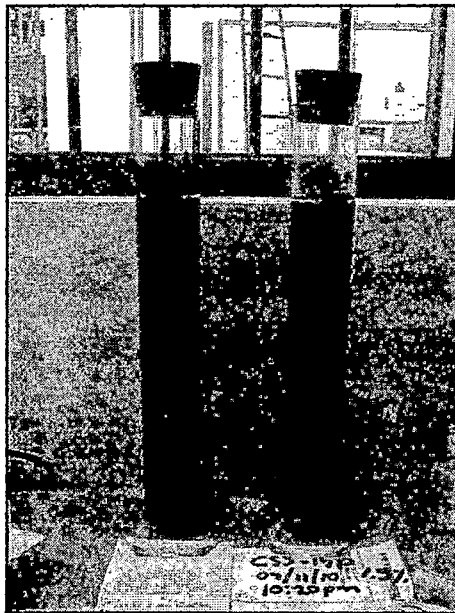
Ensayo de destilación de emulsiones asfálticas (MTC E 401 - 2000).



Ensayo de viscosidad Saybolt de emulsiones asfálticas (MTC E 403 - 2000).



Ensayo de sedimentación en las emulsiones asfálticas (MTC E 404 - 2000).



Ensayo de tamizado de las emulsiones asfálticas (MTC E 405 - 2000).

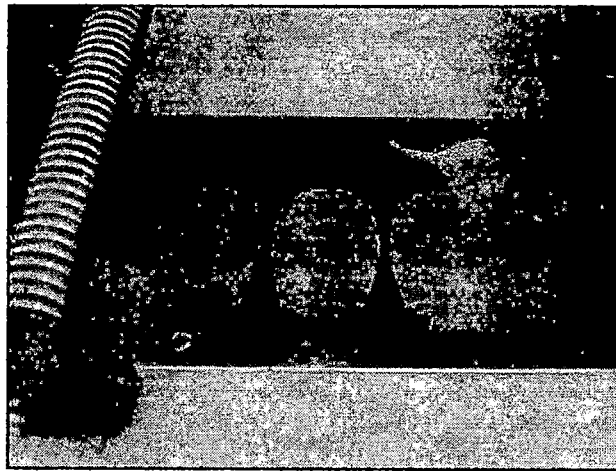


ENSAYOS AL RESIDUO ASFÁLTICO

Ensayo de penetración de materiales asfálticos (MTC E 304 – 2000).

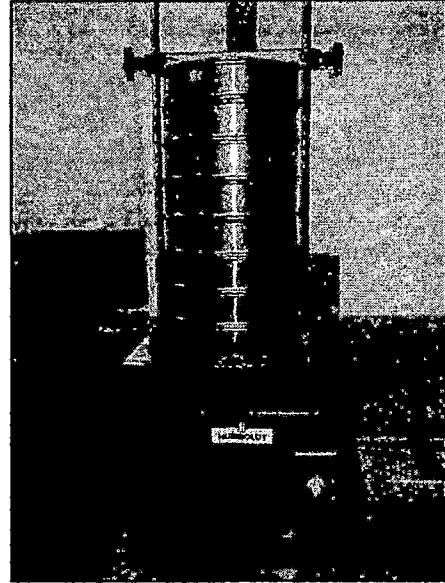


Ensayo de ductilidad de los materiales bituminosos (MTC E 306 - 2000).



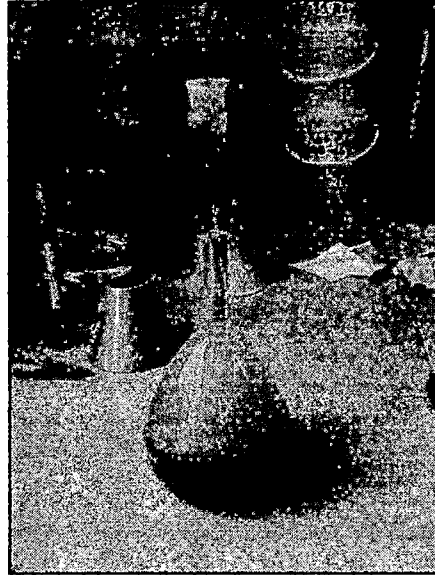
ENSAYOS A LOS AGREGADOS

Ensayo de análisis granulométrico de agregados (MTC E 204 – 2000 / ASTM C 136).



Ensayo de gravedad específica y absorción de agregados (MTC E 206 -2000 / ASTM C 127).

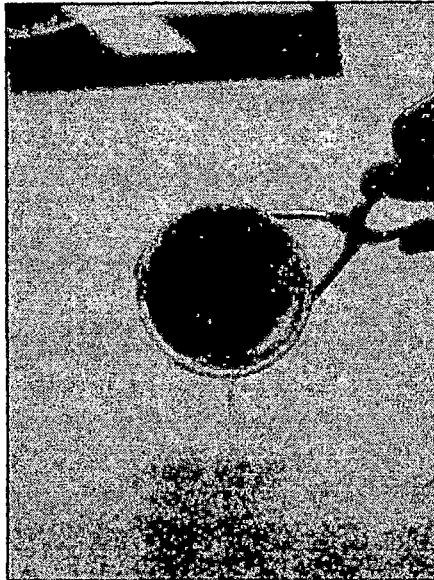




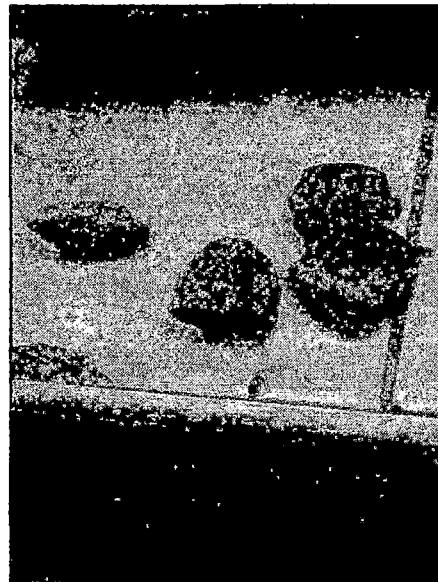
Ensayo de abrasión de los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm. (1 ½") (MTC E 207 – 2000 / ASTM C 131).



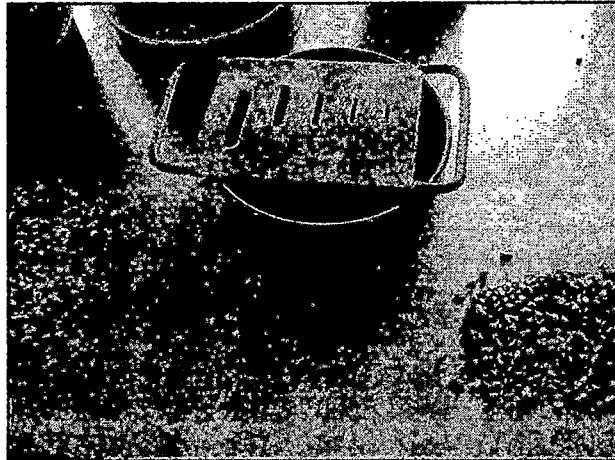
Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio (MTC E 209 –
2000 / ASTM C 88).



Ensayo de porcentaje de caras fracturadas en los agregados (MTC E 210 – 2000
/ ASTM D 5821).



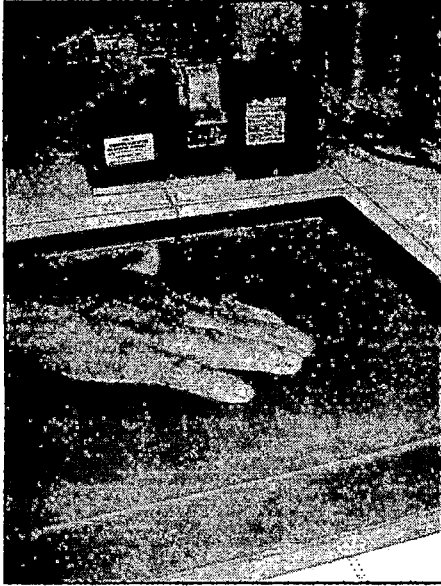
Ensayo del índice de aplanamiento de los agregados – Partículas chatas y alargadas (MTC E 221 – 2000).



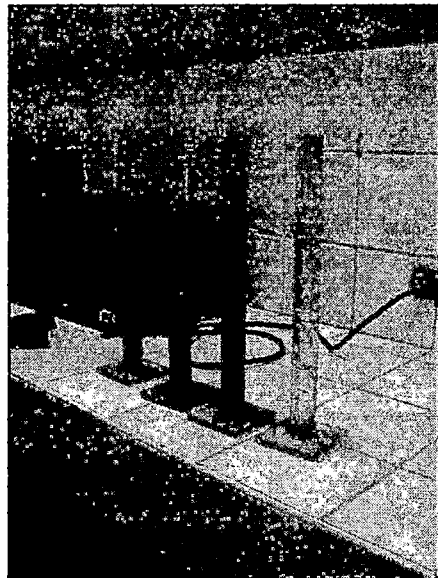
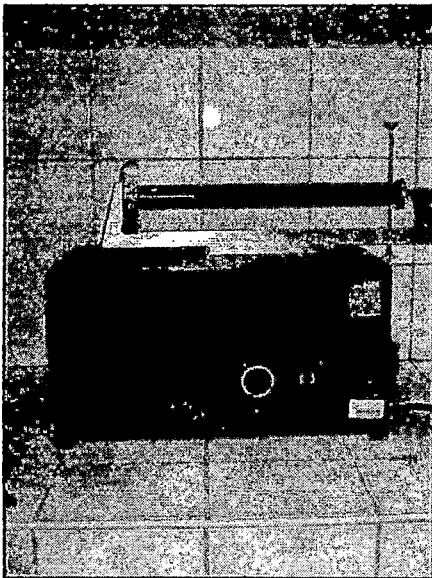
Ensayo de determinación del límite líquido de suelos (MTC E 110 – 2000 / ASTM D 4318).



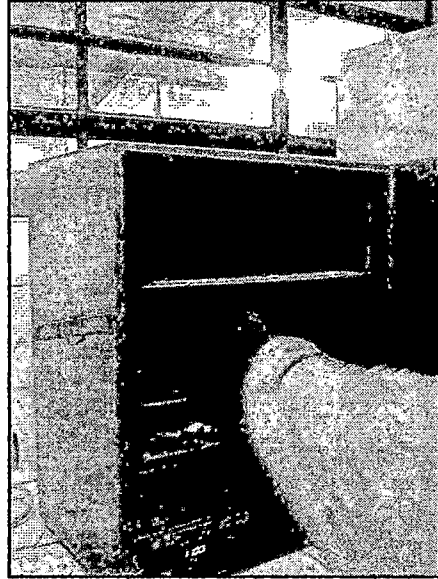
Ensayo de determinación del límite plástico e índice de plasticidad (MTC E 111 –
2000 / ASTM D 4318).



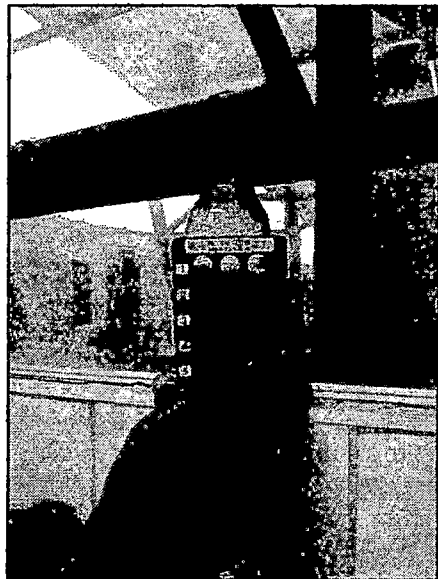
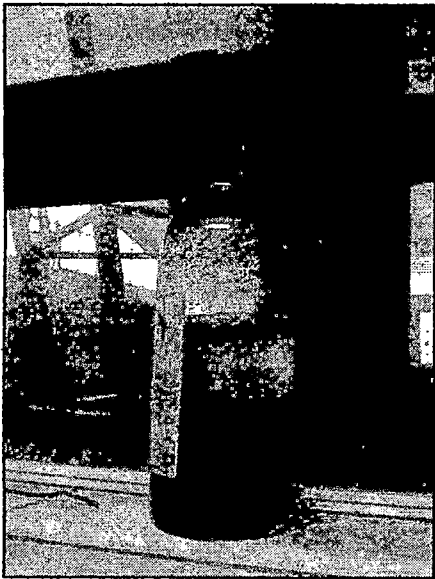
Equivalente de arena, suelos y agregados finos (MTC E114 – 2000 / ASTM D
2419).



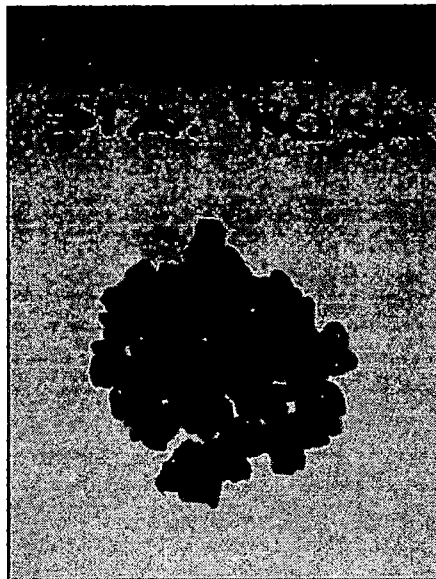
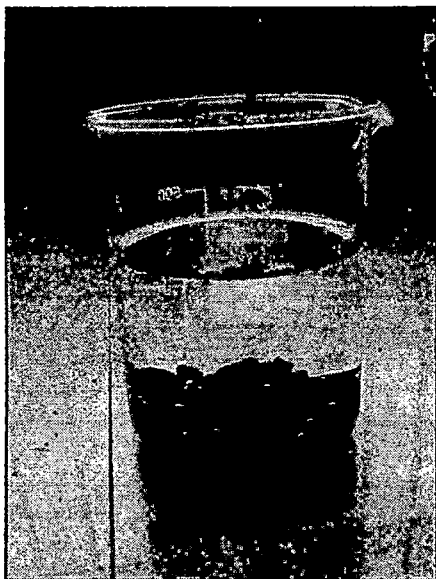
Ensayo de material fino que pasa por el tamiz N° 200 (MTC E 202 – 2000 /
ASTM C 117).



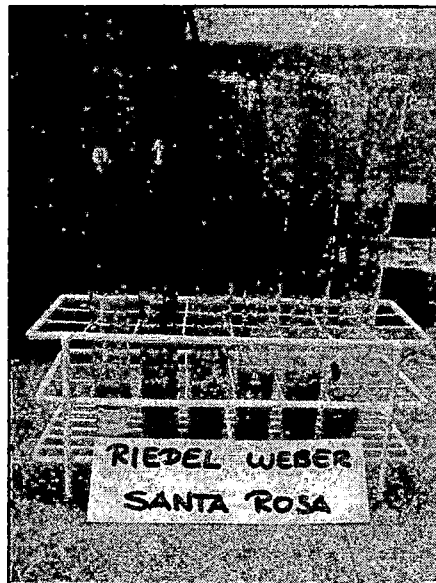
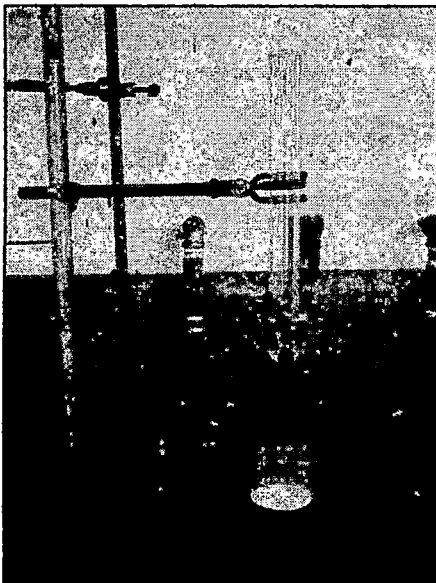
Ensayo de impurezas orgánicas en el agregado fino (MTC E 213 – 2000 / ASTM
C 40).



Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos (incluye emulsiones) en presencia del agua (stripping) (MTC E 517 – 2000 / ASTM D 2489).

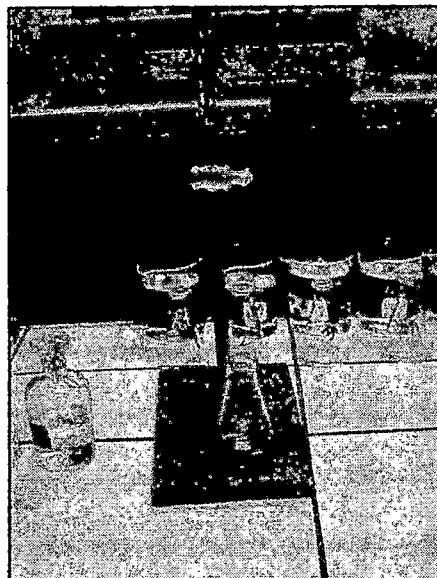


Ensayo de adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos – Riedel Weber (MTC E 220 - 2000).



CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE PREMEZCLA

Ensayos de dureza total

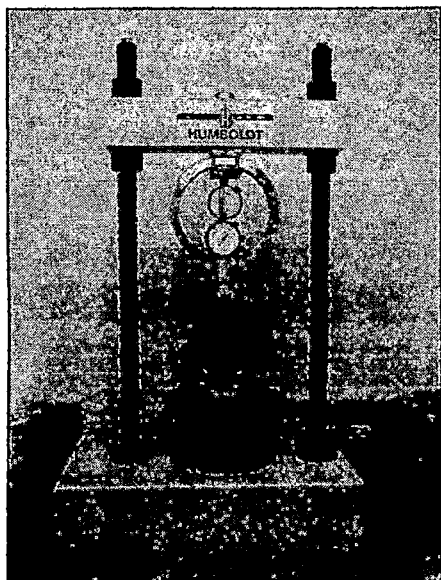


Ensayo de Potencial de Hidrógeno – pH (MTC E 716 - 2000)

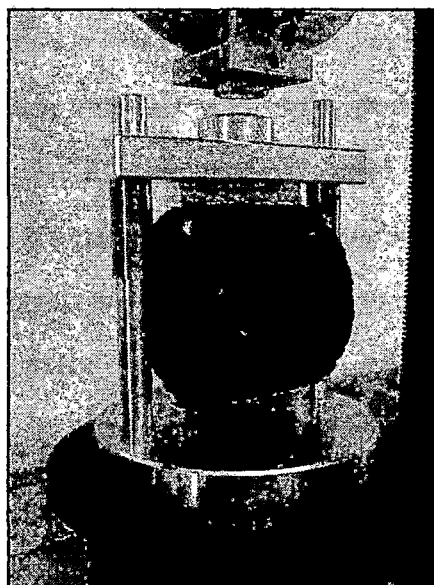
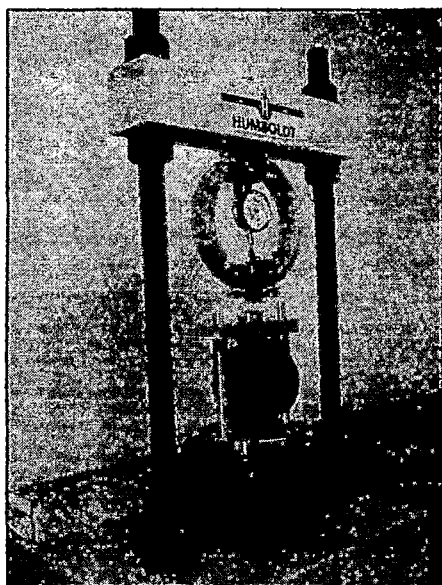


ENSAYOS A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

Diseño de mezcla (Metodología Illinois).



Ensayo de tracción indirecta (Método de la Universidad Politécnica de Cataluña).







**LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 098-2010-MTC/14.01**

SOLICITANTE : CONCAR S.A. MUESTRA : Agregados
 DOMICILIO LEGAL : Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo IDENTIFICACIÓN : El que se indica
 PROYECTO : Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos. CANTIDAD : 404,8 a 497,0 kg.
 REFERENCIA : REC N° 056-2010-FPL-501-G PRESENTACIÓN : Sacos de polietileno
 FECHA DE RECEPCIÓN : 24.02.2010 FECHA ENSAYO : 04 al 09.03.2010

MALLAS		DENOMINACIÓN	Cantera Grava Procedencia: Santa Rosa - Apurímac		Cantera Arena Procedencia: Santa Rosa - Apurímac		Cantera km 770+100 Grava Procedencia: Abancay - Apurímac		Cantera km 770+100 - Arena Procedencia: Abancay - Apurímac										
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	NORMAS ENSAYO	RET.(%)	PASA (%)	RET.(%)	PASA (%)	RET.(%)	PASA (%)	RET.(%)	PASA (%)									
3"	76,200	NTP 400.012(01)																	
2 1/2"	63,500																		
2"	50,800																		
1 1/2"	38,100																		
1"	25,400																		
3/4"	19,050				100			100											
1/2"	12,700							74		26									
3/8"	9,525				42		53		24		2		100						
1/4"	6,350				41		12		100		-		2		11		89		
N° 4	4,760				8		4		1		99		1		1		9		80
N° 6	3,360				2		2		8		91		-		1		10		70
N° 8	2,380				1		1		10		81		-		1		11		59
N° 10	2,000				-		1		4		77		-		1		5		54
N° 16	1,190				1		-		14		63		-		1		15		39
N° 20	0,840								8		55		-		1		7		32
N° 30	0,590								9		46		1		-		6		26
N° 40	0,426								9		37						5		21
N° 50	0,297								9		28						4		17
N° 80	0,177								11		17						4		13
N° 100	0,149								3		14						2		11
N° 200	0,074							6		8						3		8	
- N° 200	-	NTP 400.018(02)						8		-						8		-	
LÍMITE LÍQUIDO (%) - MALLA N° 40		NTP 339.129(99)		--			--			--			--			--			
ÍNDICE PLÁSTICO (%) - MALLA N° 40		NTP 339.129(99)		--			NP			--			NP						
LÍMITE LÍQUIDO (%) - MALLA N° 200		NTP 339.129(99)		--			25			--			19						
ÍNDICE PLÁSTICO (%) - MALLA N° 200		NTP 339.129(99)		--			NP			--			NP						
EQUIVALENTE DE ARENA (%)		NTP 339.146(00)		--			70			--			80						
ABRASIÓN (%)		NTP 400.019(02)		18			--						21			--			

Observaciones:

- Muestras proporcionadas e identificadas por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 26.02.2010
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
- Este documento no garantiza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
Lima, 09 de Marzo del 2010

USA (1/4)
ptc/gmg/lvv
O.S. N° 090



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA
COMISIÓN DE REGLAMENTOS TÉCNICOS Y
COMERCIALES CON REGISTRO N° 032



REGISTRO N° LE-032

000.2

Ministerio de Transportes y Comunicaciones
Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 098-2010-MTC/14.01
(VALOR OFICIAL, SEGÚN RESOLUCIÓN N° 073-2008/CRT - INDECOPI)

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD	: 404,0 a 497,0 kg
REFERENCIA	: REC N° 056-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 24.02.2010	FECHA DE ENSAYO	: 08 al 09.03.2010

NTP 400.018 (2 002) AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN POR EL TAMIZ NORMALIZADO 75 µm (N° 200) POR LAVADO EN AGREGADOS (PROCEDIMIENTO A)*

IDENTIFICACIÓN	RESULTADO (%)
Cantera Arena, Procedencia: Santa Rosa - Apurímac	7,8
Cantera km 770+100 - Arena, Procedencia: Abancay - Apurímac.	8,0

Observaciones:

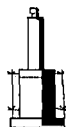
- Muestras proporcionadas e identificadas por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 26.02.2010
- (*) 2002 - 05 -16 (2ª Edición) Referencia a AGGREGATES. Standard test. method for determine materials finer than 75 µm (N° 200) sieve in aggregates by washing (ASTM C -117).
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos, o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO

Lima, 09 de Marzo del 2010

USA (2/4)
ptc/gmg
O.S. N° 090



LABORATORIO DEE

REVISIÓN: JUN-08

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rímac, Telf: 481-3707 Fax: 481-0677

FPL-504-A



PERÚ

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

00003

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 098-2010-MTC/14.01

SOLICITANTE : CONCAR S.A. MUESTRA : Agregados
DOMICILIO LEGAL : Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo IDENTIFICACIÓN : El que se indica
PROYECTO : Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos. CANTIDAD : 404,0 a 497,0 kg
REFERENCIA : REC N° 056-2010-FPL-501-G PRESENTACIÓN : Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN : 24.02.2010 FECHA DE ENSAYO : 05.03.2010

NTP 339.146 (2 000) SUELOS. MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO (*)

Table with 2 columns: DESCRIPCIÓN and RESULTADO (%). Rows include 'Cantera Arena, Procedencia: Santa Rosa - Apurimac' with result 70, and 'Cantera km 770+100 - Arena, Procedencia: Abancay - Apurimac.' with result 80.

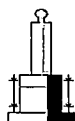
Observaciones:

- Muestras proporcionadas e identificadas por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 26.02.2010
- (*) 2000-06-21 (1ª Edición). Referencia a SOILS. Standard test method for sand equivalent value of soils and fine aggregate (ASTM D 2419 -91)
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos, o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI- CRT del 07.04.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario



ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
Lima, 09 de Marzo del 2010

USA (3/4)
ptc/lvv
O.S. N° 090



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rímac.

Telf.: 481-3707 Fax: 481-0677

**LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 098-2010-MTC/14.01**

SOLICITANTE : CONCAR S.A.	MUESTRA : Agregados
DOMICILIO LEGAL : Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN : El que se indica
PROYECTO : Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD : 411,9 a 424,4 kg
REFERENCIA : REC N° 056-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN : Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN : 24.02.2010	FECHA DE ENSAYO : 05.03.2010

NTP 400.019 (2 002) AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN EN AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO (%)
Cantera Grava, Procedencia: Santa Rosa - Apurimac.	Tamaño Máximo Nominal: 3/8"	18
	Gradación: "C"	
	Número de Esferas: 8	
Cantera km 770+100 - Grava, Procedencia: Abancay - Apurimac.	Tamaño Máximo Nominal: 1/2"	21
	Gradación: "B"	
	Número de Esferas: 11	

Observaciones:

- Muestras proporcionadas e identificadas por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 26.02.2010
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.




ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
 Lima, 09 de Marzo del 2010

USA (4/4)
ptc/gmg
O.S. N° 090

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 127 - 2010-MTC/14.01

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD	: 411,9 y 497,0 kg.
REFERENCIA	: REC N° 074-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 15.03.2010	FECHA ENSAYO	: 17 al 26.03.10

MALLAS		DENOMINACIÓN	Cantera km 770+100 - Grava Procedencia: Abancay - Apurimac							
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)		NORMAS ENSAYO	RET.(%)						
3"	76,200	NTP 400.012 (01)								
2 1/2"	63,500									
2"	50,800									
1 1/2"	38,100									
1"	25,400				100					
3/4"	19,050			15	85					
1/2"	12,700			62	23					
3/8"	9,525			21	2					
1/4"	6,350			-	2					
N° 4	4,760			1	1					
N° 6	3,360			-	1					
N° 8	2,380			-	1					
N° 10	2,000			-	1					
N°16	1,190			-	1					
N° 20	0,840			-	1					
N° 30	0,590			1	-					
N° 40	0,426									
N° 50	0,297									
N° 80	0,177									
N° 100	0,149									
N° 200	0,074									
- N° 200	-									
PESO UNITARIO SUELTO (kg/m3)		NTP 400.017(99)		1,409						
PESO UNITARIO VARILLADO (kg/m3)		NTP 400.017(99)		1,489						
P.ESP.BULK (BASE SECA) g/cm3		NTP 400.021/022 (02)		2.601						
P.ESP.BULK (BASE SATURADA) g/cm3		NTP 400.021/022 (02)		2.621						
P.ESP.APARENTE (BASE SECA) g/cm3		NTP 400.021/022 (02)		2.653						
ABSORCIÓN (%)		NTP 400.021/022 (02)		0.7						
CHATAS Y ALARG.AGREG.GRUESO (%)		NTP 400.040 (99)		2,0						
CARAS DE FRACTURA (1 ó más)		ASTM D-5821 (01/06)		100						
CARAS DE FRACTURA (2 ó más)		ASTM D-5821 (01/06)		100						

Observaciones:

- Muestras proporcionadas e identificadas por el solicitante
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 15.03.2010
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
Lima, 31 de Marzo del 2010

USA (17)
pftc/rmp/gmg/gaa/bedc
O.S. N° 116



**LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 127 - 2010-MTC/14.01**

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD	: 412 a 497 kg.
REFERENCIA	: REC N° 074-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 15.03.2010	FECHA DE ENSAYO	: 17.03.2010

NTP 400.017 (1999) AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL PESO UNITARIO DEL AGREGADO

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO (kg/m ³)
Cantera km 770+100 - Grava, Procedencia: Abancay - Apurimac.	Peso unitario suelto (fino)	1,409
	Peso unitario varillado (fino)	1,489
Cantera km 770+100 - Arena, Procedencia: Abancay - Apurimac.	Peso unitario suelto (fino)	1,632
	Peso unitario varillado (fino)	1,797

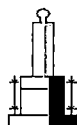
Observaciones:

- Muestras proporcionadas e identificadas por el solicitante
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 15.03.2010
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
Lima, 31 de Marzo del 2010

USA (2/7)
ptc/gaa
O.S. N° 116





PERÚ

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

00003

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 127 - 2010-MTC/14.01

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregado grueso
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD	: 412 a 497 kg.
REFERENCIA	: REC N° 074-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 15.03.2010	FECHA DE ENSAYO	: 18 al 19.03.10

NTP 400.021 (02) AGREGADOS. METODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO *

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO
Cantera km 770+100 - Grava, Procedencia: Abancay - Apurimac.	Peso específico bulk (base seca) g/cm ³	2.601
	Peso específico bulk (base saturada) g/cm ³	2.621
	Peso específico aparente (base seca) g/cm ³	2.653
	Absorción (%)	0.7

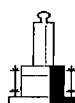
Observaciones:

- Muestras proporcionadas e identificadas por el solicitante
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 15.03.2010
- (*) Referencia: ASTM C-127-04 AGGREGATES. Standard test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



[Signature]
ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
 Ing. P. Tame Crisóstomo
 31 de Marzo del 2010
 LABORATORIO DE ESTUDIOS ESPECIALES
 SUELOS Y AGREGADOS

USA (3/7)
ptc/gmg
O.S. N° 116



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rímac.

Telf.: 481-3707 Fax: 481-0677



LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 127 - 2010-MTC/14.01

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregado fino
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD	: 497,0 kg
REFERENCIA	: REC N° 074-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 15.03.2010	FECHA DE ENSAYO	: 18 al 19.03.10

NTP 400.021 (02) AGREGADOS. METODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO *

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO
Cantera km 770+100 - Arena, Procedencia: Abancay - Apurímac.	Peso específico bulk (base seca) g/cm ³	2.668
	Peso específico bulk (base saturada) g/cm ³	2.691
	Peso específico aparente (base seca) g/cm ³	2.729
	Absorción (%)	0.84

Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 15.03.2010
- (*) Referencia: ASTM C-127-04 AGGREGATES. Standard test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



[Signature]
ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
 Lima, 31 de Marzo del 2010
 LABORATORIO DE SUELOS Y AGREGADOS

USA (47)
 ptc/gmg
 O.S. N° 116

**LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 127 - 2010-MTC/14.01**

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD	: 497,0 kg
REFERENCIA	: REC N° 074-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 15.03.2010	FECHA DE ENSAYO	: 17 al 18.03.10

NTP 400.024 (1999) AGREGADOS. METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR CUALITATIVAMENTE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO *

IDENTIFICACIÓN	RESULTADO (Número de Placa Orgánica del 1 al 5) **	INTERPRETACIÓN DE RESULTADO (Presencia cualitativa de impurezas orgánicas)
Cantera km 770+100 - Arena, Procedencia: Abancay - Apurimac.	Grado "1"	Aceptable

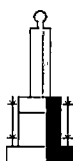
Observaciones:

- Muestras proporcionadas e identificadas por el solicitante
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 15.03.2010
- (*) Referencia: ASTM C-40; 99. "Standard test method for organic impurities in fine aggregates for concrete.
- ** Determinado con colorímetro Gardner.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.




ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
Lima, 31 de Marzo del 2010

USA (5/7)
ptc/bedlc
O.S. N° 116



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac.

Telf. : 481-3707 Fax : 481-0677



PERU

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

00006

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 127 - 2010-MTC/14.01

SOLICITANTE : CONCAR S.A. MUESTRA : Agregado grueso
 DOMICILIO LEGAL : Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo IDENTIFICACIÓN : El que se indica
 PROYECTO : Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos. CANTIDAD : 411,9 kg
 REFERENCIA : REC N° 074-2010-FPL-501-G PRESENTACIÓN : Sacos de polietileno
 FECHA DE RECEPCIÓN : 15.03.2010 FECHA DE ENSAYO : 26.03.2010

NTP 400.040 (1 999) AGREGADOS. PARTÍCULAS CHATAS O ALARGADAS EN EL AGREGADO GRUESO (*)

Identificación	Descripción	Resultado (%)
Cantera km 770+100 - Grava, Procedencia: Abancay - Apurímac.	Partículas chatas y alargadas	2,0

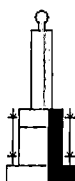
Observaciones:

- Muestras proporcionadas e identificadas por el solicitante
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 15.03.2010
- (*) 1999 - 12- 30 (1ª Edición). Referencia a "Aggregates. Flat or elongated particles in coarse aggregate" (ASTMD- 4791)
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.




 ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
 Lima, 31 de Marzo del 2010

USA (6/7)
pftc/rmp
O.S. N° 116



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rímac.

Tel.: 481-3707 Fax: 481-0677



**LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 127 - 2010-MTC/14.01**

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD	: 411,9 kg
REFERENCIA	: REC N° 074-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 15.03.2010	FECHA DE ENSAYO	: 26.03.2010

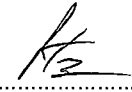
ASTM D-5821 (01/06) MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO.

Identificación	Descripción	Resultado (%)
Cantera km 770+100 - Grava, Procedencia: Abancay - Apurímac.	Partículas con una ó más caras de fractura	100
	Partículas con dos ó más caras de fractura	100

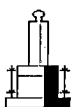
Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 15.03.2010
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.




 LABORATORIO DE SUELOS Y AGREGADOS
 ING. P. TAME CRISÓSTOMO
 Lima, 31 de Marzo del 2010

USA (7/7)
pftc/rmp
O.S. N° 116





PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

00008

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 1 2 7 - 2010 - MTC/14.01

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo de la República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos (Dpto. Apurímac - Abancay)	CANTIDAD	: 368 y 450 kg c/u
REFERENCIA	: REC N° 074-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos
FECHA DE RECEPCIÓN	: 15.03.2010	FECHA DE ENSAYO	: 19 al 22.03.2010

MTC E - 219 (2 000) SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

Identificación	Resultado (mg/kg)
Cantera km 770+100, grava; procedencia: Abancay - Apurímac	52
Cantera km 770+100, arena; procedencia: Abancay - Apurímac	198

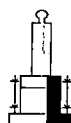
Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante; ensayos ejecutados a las contramuestras de la O.S. 090-2010
- Fecha de orden de ensayo 15.03.2010
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.
- Equivalencias: mg/kg = ppm; para obtener resultados en % dividir valores (en mg/kg ó ppm) por 10,000



[Signature]
QUÍM. ALINA MAGUIÑA ASTETE
 Lima, 22 de Marzo del 2010

UAQ (1/1)
ama/hrc
O.S.N° 116



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac.

Telf.: 481-3707

Fax: 481-0677



LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 1 5 1 - 2010-MTC/14.01

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD	: 382,6 y 367,0 kg
REFERENCIA	: REC N° 086-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 26.03.2010	FECHA DE ENSAYO	: 29.03.10.

NTP 400.017 (1999) AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL PESO UNITARIO DEL AGREGADO

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO (kg/m ³)
Grava Cantera Santa Rosa - Ayacucho	Peso unitario suelto (fino)	1,448
	Peso unitario varillado (fino)	1,530
Arena Cantera Santa Rosa - Ayacucho	Peso unitario suelto (fino)	1,570
	Peso unitario varillado (fino)	1,812

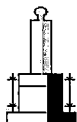
Observaciones:

- Ensayos solicitados con contramuestras de O. S. N° 090 (001/004 y 002)/004) en custodia en Laboratorio de la D.E.E.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 26.03.2010
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



[Signature]
ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
 Lima, 06 de Abril del 2010

USA (1/6)
 pftc/psdlc
 O.S. N° 145



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 · Rímac.

Telf.: 481-3707 Fax: 481-0677



LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 1 5 1 - 2010-MTC/14.01

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD	: 382,6 kg
REFERENCIA	: REC N° 086-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 26.03.2010	FECHA DE ENSAYO	: 30 al 31.03.10

NTP 400.021 (02) AGREGADOS. METODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO *

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO
Grava Cantera Santa Rosa - Ayacucho	Peso específico bulk (base seca) g/cm ³	2.576
	Peso específico bulk (base saturada) g/cm ³	2.614
	Peso específico aparente (base seca) g/cm ³	2.676
	Absorción (%)	1,5

Observaciones:

- Ensayos ejecutados con la contramuestra de la O.S. N° 090 (001/004), en custodia en Laboratorio D.E.E.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 26.03.2010
- (*) Referencia: ASTM C-127-04 AGGREGATES. Standard test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOP - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



P. Tamec
ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
 Lima, 06 de Abril del 2010

USA (2/6)
 pftc/gmg
 O.S. N° 145





00003

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 1 5 1 - 2010-MTC/14.01

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD	: 367,0 kg
REFERENCIA	: REC N° 086-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 26.03.2010	FECHA DE ENSAYO	: 30 al 31.03.10

NTP 400.021 (02) AGREGADOS. METODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO *

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO
Arena Cantera Santa Rosa - Ayacucho	Peso específico bulk (base seca) g/cm ³	2,631
	Peso específico bulk (base saturada) g/cm ³	2,653
	Peso específico aparente (base seca) g/cm ³	2,688
	Absorción (%)	0,8

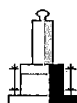
Observaciones:

- Ensayos ejecutados con la contramuestra de la O.S. N° 090 (002/004), en custodia en Laboratorio D.E.E.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 26.03.2010
- (*) Referencia: ASTM C-127-04 AGGREGATES. Standard test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



P. Tame
ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
 Lima, 06 de Abril del 2010

USA (3/6)
 pftc/gmg
 O.S. N° 145



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rímac.

Telf.: 481-3707 Fax: 481-0677



LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 1 5 1 - 2010-MTC/14.01

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD	: 367,0 kg
REFERENCIA	: REC N° 086-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 26.03.2010	FECHA DE ENSAYO	: 29 al 30.03.10

NTP 400.024 (1999) AGREGADOS. METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR CUALITATIVAMENTE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO *

IDENTIFICACIÓN	RESULTADO (Número de Placa Orgánica del 1 al 5) **	INTERPRETACIÓN DE RESULTADO (Presencia cualitativa de impurezas orgánicas)
Arena Cantera Santa Rosa - Ayacucho	Grado "1"	Acceptable

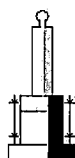
Observaciones:

- Ensayos ejecutados con la contramuestra de la O.S. N° 090 (002/004), en custodia en Laboratorio D.E.E.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 26.03.2010
- (*) Referencia: ASTM C-40; 99. "Standard test method for organic impurities in fine aggregates for concrete.
- ** Determinado con colorímetro Gardner.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



[Signature]
ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
 Lima, 06 de Abril del 2010

USA (4/6)
 pftc/gmg
 O.S. N° 145



LABORATORIO

DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac.

Telf.: 481-3707 Fax: 481-0677

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 1 5 1 - 2010-MTC/14.01

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD	: 382,6 kg
REFERENCIA	: REC N° 086-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 26.03.2010	FECHA DE ENSAYO	: 30.03.10.

NTP 400.040 (1 999) AGREGADOS. PARTÍCULAS CHATAS O ALARGADAS EN EL AGREGADO GRUESO (*)

Identificación	Descripción	Resultado (%)
Grava Cantera Santa Rosa - Ayacucho	Partículas chatas y alargadas	1,0

Observaciones:

- Ensayos ejecutados con la contramuestra de la O.S. N° 090 (001/004), en custodia en Laboratorio D.E.E.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 26.03.2010
- (*) 1999 - 12- 30 (1ª Edición). Referencia a "Aggregates. Flat or elongated particles in coarse aggregate" (ASTMD- 4791)
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



[Signature]
ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
 Lima, 06 de Abril del 2010

USA (5/6)
 pftc/edm
 O.S. N° 145

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 1 5 1 - 2010-MTC/14.01

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD	: 382,6 kg
REFERENCIA	: REC N° 086-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 26.03.2010	FECHA DE ENSAYO	: 30.03.10.

ASTM D-5821 (01/06) MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO.

Identificación	Descripción	Resultado (%)
Grava Cantera Santa Rosa - Ayacucho	Partículas con una ó más caras de fractura	96
	Partículas con dos ó más caras de fractura	93

Observaciones:

- Ensayos ejecutados con la contramuestra de la O.S. N° 090 (001/004), en custodia en Laboratorio D.E.E.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 26.03.2010
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



Pts
ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
 Lima, 06 de Abril del 2010

USA (6/6)
 pftc/edm
 O.S. N° 145



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

00007

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 1 5 1 - 2010 - MTC/14.01

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo de la República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos	CANTIDAD	: 382,6 y 367 kg c/u
REFERENCIA	: REC N° 086-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos
FECHA DE RECEPCIÓN	: 26.03.2010	FECHA DE ENSAYO	: 29 al 30.03.2010

MTC E - 219 (2 000) SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

Identificación	Resultado (mg/kg)
Cantera grava; procedencia Santa Rosa - Ayacucho	178
Cantera arena; procedencia Santa Rosa - Ayacucho	348

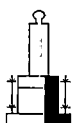
Observaciones:

- Muestras proporcionadas e identificadas por el solicitante; provenientes de contramuestra O.S. 090-2010-MTC/14.01
- Fecha de orden de ensayo 26.03.2010
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.
- Equivalencias: mg/kg = ppm; para obtener resultados en % dividir valores (en mg/kg ó ppm) por 10,000



[Signature]
 QUIM. ALINA MAGUINA ASTETE
 Lima, 31 de Marzo del 2010

UAQ (1/1)
ama/hrc
O.S. N° 145



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rímac.

Tel. : 481-3707 Fax : 481-0677



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

00001

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 159-2010-MTC/14.01

SOLICITANTE	: CONCAR S.A.	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Paseo De La República N° 4675 - Surquillo	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: Carretera Interoceánica Sur, Tramo I: San Juan de Marcona - Urcos.	CANTIDAD	: 404.8 y 497,0 kg
REFERENCIA	: REC N° 098-2010-FPL-501-G	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 31.03.2010	FECHA DE ENSAYO	: 05 al 14.04.2010


NTP 400.016 (1 999) AGREGADOS. DETERMINACIÓN DE LA INALTERABILIDAD DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO (*).

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	RESULTADO (%)
Grava, Cantera km 770+100, Procedencia: Abancay - Apurímac.	Pérdida o desgaste del agregado grueso	0,69
Arena, Cantera km 770+100, Procedencia: Abancay - Apurímac.	Pérdida o desgaste del agregado fino	2,48
Grava, Cantera Santa Rosa, Procedencia: Ayacucho.	Pérdida o desgaste del agregado grueso	3,97
Arena, Cantera Santa Rosa, Procedencia: Ayacucho.	Pérdida o desgaste del agregado fino	2,79

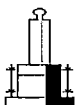
Observaciones:

- Ensayos ejecutados con las contramuestras de la O.S. N° 116 y O.S. N° 145.
- De acuerdo a indicaciones del solicitante los cálculos de los ensayos de durabilidad han sido realizados con las granulometrías de las O.S. N° 116 (001/002) y O.S. N° 090 (004/004, 001/004, 002/004) respectivamente.
- Ensayos ejecutados con Sulfato de Magnesio proporcionados por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 31.03.2010
- (*) 1999- 04-21 (2ª Edición). Referencia a "Aggregate. Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate" (ASTM C-88; 1990)
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos, o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.




ING. PEDRO TAME CRISÓSTOMO
 Lima, 14 de Abril del 2010

USA (1/1)
pftc/gmg
O.S. N° 161



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rímac.

Telf.: 481-3707 Fax: 481-0677



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

ANÁLISIS DE UNA MUESTRA DE AGREGADO

SOLICITADO POR : DIEGO VALLEJO RAMIREZ

PROCEDENCIA DE MUESTRA : CANTERA KM 770 + 100
ABANCAY-APURIMAC

RECEPCIÓN DE MUESTRA : Lima, 17 de Diciembre del 2010

TESIS : DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO EMPLEANDO
EMULSION ASFALTICA Y SU EVALUACION DEL DAÑO POR
HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES.

RESULTADO DEL ANÁLISIS DE MUESTRA DE AGREGADO

Muestra	% CaCO ₃	% SiO ₂
PIEDRA CHANCADA	91,50	5,34

Lima, 21 de Diciembre del 2010



ANTONIO MENDOZA A.
Lab. Espectrometría



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

ANÁLISIS DE UNA MUESTRA DE AGREGADO

SOLICITADO POR : DIEGO VALLEJO RAMIREZ

PROCEDENCIA DE MUESTRA : CANTERA SANTA ROSA
AYACUCHO

RECEPCIÓN DE MUESTRA : Lima, 17 de Diciembre del 2010

TESIS : DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO EMPLEANDO
EMULSION ASFALTICA Y SU EVALUACION DEL DAÑO POR
HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES.

RESULTADO DEL ANÁLISIS DE MUESTRA DE AGREGADO

Muestra	% SiO_2	% CaCO_3
PIEDRA CHANCADA	78,03	5,16

Lima, 21 de Diciembre del 2010




ATILIO MENDOZA A.
Lab. Espectrometría



ASFALTOS

EMULTEC CSS-1h

EMULSIÓN CATIONICA DE RUPTURA LENTA

INFORME DE ENSAYO N° 001(T)-2010 EMULTEC CSS-1h

GUIA TDM ASFALTOS :

CLIENTE: BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 PROYECTO: TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES

REFERENCIAS:

TANQUE: MINIPLANTA CINTILLO DE SEGURIDAD N°:
 LOTE DE PRODUCCIÓN:
 CANTIDAD:
 FECHA DE PRODUCCIÓN: 20/07/2010

ENSAYOS SOBRE EMULSIÓN	MÉTODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MÍNIMO	MÁXIMO	
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL, 25 °C	D 244	ssf	20	100	34
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO, 24 horas	D 244	%	--	1	0,5
RESIDUO POR EVAPORACIÓN, 163°C, 3 horas	D 244	%	57	--	61,2
PRUEBA DEL TAMIZ N° 20	D 244	%	--	0,1	0
MEZCLA CON CEMENTO	D 244	%	--	2	0,3
CARGA DE PARTÍCULA	D 244		POSITIVA		POSITIVA

ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE EMULSIÓN					
PENETRACIÓN, 25°C, .100 g, 5 seg.	D 5	dmm	40	90	86
DUCTILIDAD, 25°C, 5 cm/min	D 113	cm	40	--	76
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	D 2042	%	97,5	--	99,5

OBSERVACIONES: El producto cumple especificaciones ASTM D 2397
 Los resultados corresponden sólo a la muestra analizada
 PE:0.997 g/cm³

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC

La información contenida en este documento se basa en ensayos adecuados, seguros y correctos. 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.

TDM ASFALTOS se reserva el derecho de efectuar cambios con el objeto de adaptar este producto a las más modernas tecnologías.



INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN :
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLER COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 23.07.10

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACION : CANTERA SANTA ROSA
 DESCRIPCION : MEZCLA DE AGREGADOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)					
MALLAS					
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	GRADACIÓN "4"
1"	25.400				
3/4"	19.050			100.0	100
1/2"	12.700	2.0	2.0	98.0	90 100
3/8"	9.525	16.8	18.8	81.2	
# 4	4.760	20.2	39.0	61.0	45 70
# 8	2.380	12.0	51.0	49.0	25 55
# 16	1.190	11.2	62.2	37.8	
# 30	0.590	10.2	72.4	27.6	
# 50	0.297	10.8	83.2	16.8	5 20
# 100	0.149	8.4	91.6	8.4	
# 200	0.074	3.6	95.2	4.8	2 9
< # 200	(ASTM C-117)	4.8	100.0	0.0	

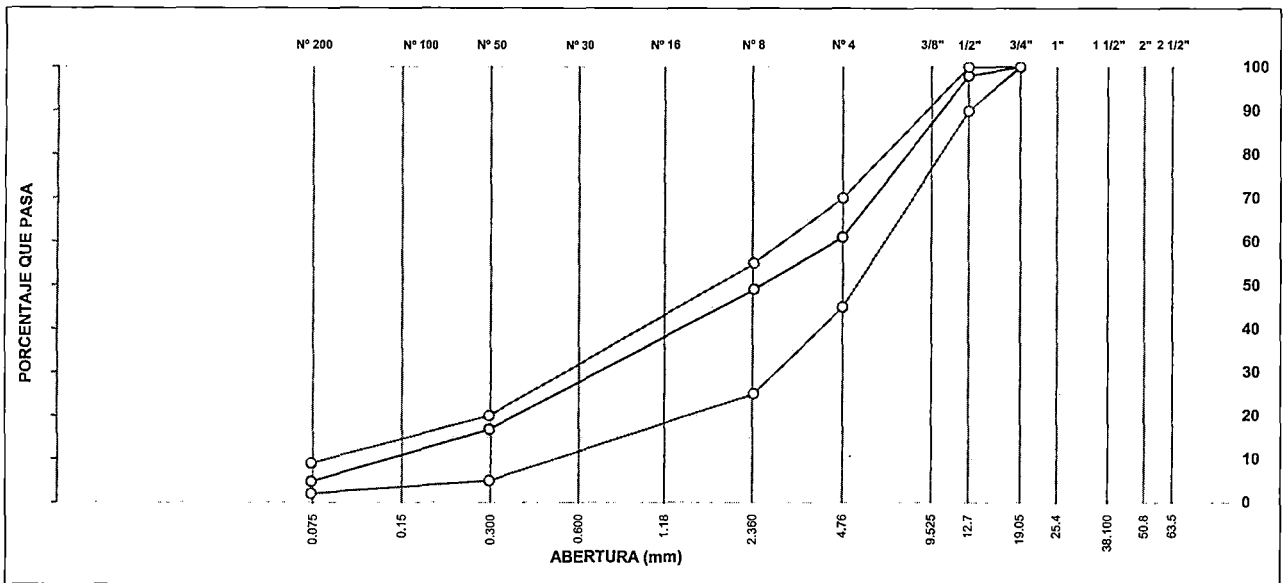
OBSERVACION

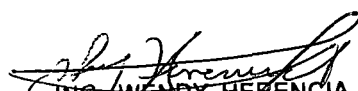
PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS

PIEDRA CHANC. : CANT. SANTA ROSA 40 %
 ARENA : CANT. SANTA ROSA 60 %

ESPECIFICACIONES
 MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (MS - 19)
 (GRADACIÓN TIPO 4).

CURVA GRANULOMÉTRICA




 ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TÉCNICO
 TDM ASFALTOS SAC



INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN :
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 23.07.10

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N)
 DESCRIPCIÓN : MEZCLA DE AGREGADOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)					
MALLAS					
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	GRADACIÓN "3"
1"	25,400			100,0	100
3/4"	19,050	4,5	4,5	95,5	90 100
1/2"	12,700	18,6	23,1	76,9	
3/8"	9,525	6,3	29,4	70,6	60 80
# 4	4,760	14,3	43,7	56,3	35 65
# 8	2,380	14,7	58,4	41,6	20 50
# 16	1,190	14,0	72,4	27,6	
# 30	0,590	9,4	81,8	18,2	
# 50	0,297	6,3	88,1	11,9	3 20
# 100	0,149	4,2	92,3	7,7	
# 200	0,074	2,1	94,4	5,6	2 8
< # 200	(ASTM C-117)	5,6	100,0	0,0	

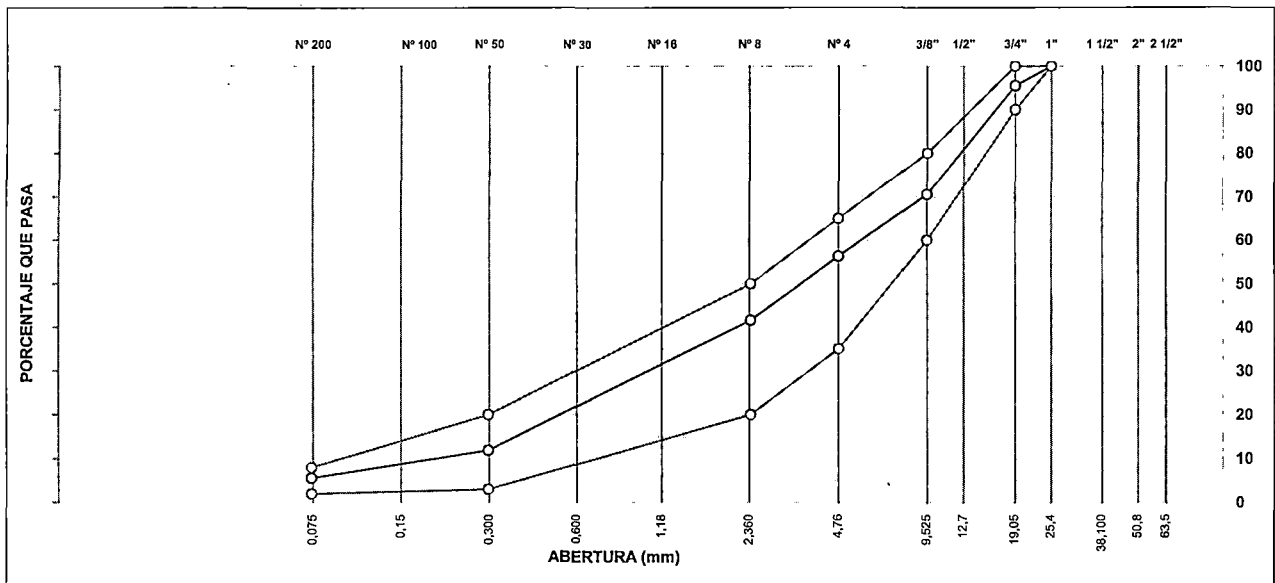
OBSERVACION

PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS

PIEDRA CHANC. : CANT. KM. 770+100 30 %
 ARENA : CANT. KM. 770+100 70 %

ESPECIFICACIONES
 MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (MS - 19)
 (GRADACIÓN TIPO 3).

CURVA GRANULOMÉTRICA



ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TÉCNICO
 TDM ASFALTOS SAC



EXPEDIENTE A.G.
003(T)-2010-LAB TDM

**ENSAYO DE ADHERENCIA EN AGREGADO FINO RIEDEL WEBER
MTC E 220**

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
DIRECCIÓN :
PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU
EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
FECHA : 23.07.10

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA
DESCRIPCIÓN : AGREGADO FINO

MUESTRA	DESPRENDIMIENTO PARCIAL		DESPRENDIMIENTO TOTAL	
	NUMERO	LETRA	NUMERO	LETRA
AGREGADO FINO + CSS-1H	2	DOS	4	CUATRO

OBSERVACIÓN:

1. Muestras de agregados provistas e identificadas por el peticionario
2. El ensayo se realizo sobre agregado fino entre los tamices N°30 y N°70
3. Emulsion utilizada CSS-1H


ING. WENDY HERENCIA
JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
TDM ASFALTOS SAC



EXPEDIENTE A.G.
004(T)-2010-LAB TDM

ENSAYO DE ADHERENCIA EN AGREGADO FINO RIEDEL WEBER
MTC E 220

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
DIRECCIÓN :
PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
FECHA : 23.07.10

REFERENCIA DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N)
DESCRIPCIÓN : AGREGADO FINO

MUESTRA	DESPRENDIMIENTO PARCIAL		DESPRENDIMIENTO TOTAL	
	NUMERO	LETRA	NUMERO	LETRA
AGREGADO FINO + CSS-1H	0	CERO	1	UNO

OBSERVACIÓN:

1. Muestras de agregados provistas e identificadas por el peticionario
2. El ensayo se realizo sobre agregado fino entre los tamices N°30 y N°70
3. Emulsion utilizada CSS-1H


ING. WENDY HERENCIA
JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.

Mza. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín. Teléfono (511) 6169300 Fax: 6169313



INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
DIRECCIÓN :
PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
FECHA : 23.07.10

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

AGREGADO

IDENTIFICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA
DESCRIPCIÓN : AGREGADO GRUESO

TIPO DE EMULSIÓN : CSS- 1H

Ensayo	Resultado	Especificación
Adherencia, MTC E517	+95	+95

OBSERVACIÓN:

1. Muestras de agregados provistas e identificadas por el peticionario
2. El ensayo se realizo sobre agregado fino entre los tamices 3/8" y 1/4"


ING. WENDY HERENCIA
JEFE DE DEPARTAMENTO TÉCNICO
TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
DIRECCIÓN :
PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SÚ
EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
FECHA : 23.07.10

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

AGREGADO

IDENTIFICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N)


TIPO DE EMULSIÓN : CSS- 1H

DESCRIPCIÓN : AGREGADO GRUESO

Ensayo	Resultado	Especificación
Adherencia, MTC E517	+95	+95

OBSERVACIÓN:

1. Muestras de agregados provistas e identificadas por el peticionario
2. El ensayo se realizo sobre agregado fino entre los tamices 3/8" y 1/4"


ING. WENDY HERENCIA
JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
TDM ASFALTOS SAC



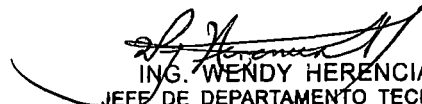
EXPEDIENTE A.A.
001(T)-2010-LAB TDM

ANÁLISIS DE AGUA

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
DIRECCIÓN :
PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU
EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
UBICACIÓN : AGUA POTABLE
REFERENCIA :
FECHA : 22.07.10

REFERENCIA DE LA MUESTRA
IDENTIFICACIÓN : AGUA POTABLE
DESCRIPCIÓN :

PARÁMETRO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
Potencial de hidrógeno (Ph)	7.12	6 -- 8
Dureza (ppm CaCO ₃)	210	Máx. 380 ppm CaCO ₃


ING. WENDY HERENCIA
JEFE DE DEPARTAMENTO TÉCNICO
TDM ASFALTOS SAC

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : -
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 03.08.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS (RESUMEN)

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJE EN PESO)

Agregado Grueso : 40%
 Agregado Fino : 60%
 Gradación : MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (MS-19)
 GRADACIÓN TIPO 4

2.- LIGANTE BITUMINOSO

Tipo de emulsión asfáltica : EMULTEC CSS-1h
 % óptimo de asfalto residual : 5.4
 % óptimo de emulsión asfáltica : 8.8

3.- AGUA

% de agua a ser añadida : 2.0
 % de agua total en la mezcla : 5.6
 % de agua de compactación : 4.2

4.- CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO ILLINOIS

	75			ESPECIF.
Nº DE GOLPES POR CARA	75			75
RESIDUO ASFÁLTICO ÓPTIMO (%)	5.1	5.4	5.7	
EMULSIÓN ASFÁLTICA (%)	8.3	8.8	9.3	
DENSIDAD SECA BULK (gr./cm ³ .)	2.111	2.112	2.112	
ESTABILIDAD SECA (kgf.)	906.2	869.0	831.7	Mín. 500
ESTABILIDAD SATURADO (kgf.)	678.9	682.0	677.9	
HUMEDAD ABSORBIDA (%)	1.60	1.53	1.48	Máx. 4
CAMBIO DE ESTABILIDAD (kgf.)	25.9	23.0	20.1	Máx. 50
VACÍOS TOTALES (%)	14.7	14.3	14.0	2 --18
FLUJO (pulg./100)	13.2	13.9	14.5	
CUBRIMIENTO (%)	100	100	100	Mín. 50

5.- TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)

Temperatura de agregados : 22.2 °C
 Temperatura de emulsión asfáltica : 22.2 °C

OBSERVACIONES

- (1) Estabilidad Marshall ensayadas a una temperatura de 22.2 °C (Ref: Metodología Illinois).
- (2) Agregados muestreados por los interesados.
- (3) Porcentajes de materiales expresado en peso de los agregados.


 ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
001(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 03.08.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS

(PORCENTAJE ÓPTIMO DE HUMEDAD DE COMPACTACIÓN)

BRIQUETA Nº	ESPESOR cm.	FACTOR CORRECCIÓN	% W ANTES DE COMPACTAR	ESTABILIDAD			
				MEDIDA (0.0001")	MEDIDA kgf.	CORREGIDA kgf.	PROMEDIO kgf.
1A	6.55	0.93	5	184	801	745	748.8
1B	6.49	0.93		175	762	709	
1C	6.50	0.93		196	853	793	
2A	6.56	0.89	4	198	861	766	756.2
2B	6.63	0.89		193	840	747	
2C	6.60	0.89		195	848	755	
3A	6.67	0.89	3	189	822	732	743.4
3B	6.65	0.89		208	904	805	
3C	6.67	0.89		179	779	694	
4A	6.93	0.86	2	164	714	614	646.6
4B	6.84	0.86		178	775	666	
4C	6.90	0.86		176	766	659	
5A	7.38	0.78	1	165	719	561	542.6
5B	7.40	0.78		153	667	520	
5C	7.40	0.78		161	701	547	

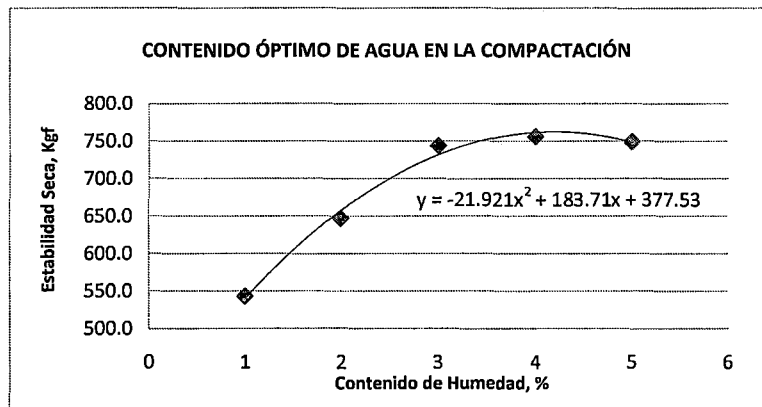
ASFALTO RESIDUAL, %
5.5

EMULSIÓN, %
9.0

ESTABILIDAD MÁXIMA, Kgf.
762

Wop DE COMPACTACIÓN, %
4.2

PESO DEL AGREGADO SECO, gr.
1093.2



Wendy Herencia
 ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF

001(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 03.08.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Santa Rosa - Ayacucho
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	40%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino	60%
Asfalto residual en la mezcla (A)	4.5	Gravedad Específica Aparente (C)	2.683
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	5.6	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	28.4	Fecha rotación muestra inmersa	
Agua de compactación, %	4.2	Fecha ensayo muestra húmeda	
Fecha compactación			

DATOS DE LA MUESTRA COMPACTADA	SECA			SATURADA		
	1	2	3	4	5	6
Densidad de la briqueta (Bulk)						
1	Peso en aire, gr. (D)	1139.9	1147.0	1151.6		
2	Peso en agua, gr. (E)	608.5	609.7	613.2		
3	Peso SSS, gr. (F)	1141.8	1149.1	1153.7		
4	Volumen por desplazamiento	533.3	539.4	540.5		
5	Densidad Bulk, gr/cm ³ (G)	2.137	2.126	2.131		
6	Densidad Seca Bulk, gr/cm ³	2.113	2.105	2.108		
7	Espesor					

Estabilidad Marshall (22.2 °C)							
1	Lectura	226	246	281	158	167	160
2	Estabilidad, kgf.	982	1068	1218	689	727	697
3	Factor de Corrección	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
4	Estabilidad Corregida, kgf.	913	993	1133	640	676	648
5	% Pérdida de Estabilidad	35.3					
6	Flujo, 1/100"	11	10	14	13	11	13

Contenido de Humedad							
1	Peso de la muestra fallada, gr. (H)	1141.6	1148.9	1153.5	1157.0	1168.9	1171.4
2	Peso de la muestra seca, gr. (I)	1126.2	1134.9	1138.4	1127.4	1134.1	1139.1
3	Tara, gr. (J)	0	0	0	0	0	0
4	Contenido de Humedad, %. (K)	1.15	1.00	1.09	2.63	3.07	2.84
5	Humedad Absorbida, %	1.76					
6	Vacios totales máximos, %	15.5	15.8	15.7			

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
001(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 03.08.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Santa Rosa - Ayacucho
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	40%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino	60%
Asfalto residual en la mezcla (A)	5.0	Gravedad Específica Aparente (C)	2.683
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	5.6	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	25.1	Fecha rotación muestra inmersa	
Agua de compactación, %	4.2	Fecha ensayo muestra húmeda	
Fecha compactación			

DATOS DE LA MUESTRA COMPACTADA	SECA			SATURADA		
	1	2	3	4	5	6
Densidad de la briqueta (Bulk)						
1	Peso en aire, gr. (D)	1157.7	1156.8	1154.8		
2	Peso en agua, gr. (E)	617.6	615.3	617.5		
3	Peso SSS, gr. (F)	1159.3	1158.9	1157.6		
4	Volumen por desplazamiento	541.7	543.6	540.1		
5	Densidad Bulk, gr/cm ³ (G)	2.137	2.128	2.138		
6	Densidad Seca Bulk, gr/cm ³	2.113	2.106	2.115		
7	Espesor					

Estabilidad Marshall (22.2 °C)								
1	Lectura	207	246	198	161	162	167	
2	Estabilidad, kgf.	900	1068	861	701	706	727	
3	Factor de Corrección	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	
4	Estabilidad Corregida, kgf.	837	993	801	652	656	676	
5	% Pérdida de Estabilidad	24.5						
6	Flujo, 1/100"	12	16	11	11	15	11	

Contenido de Humedad								
1	Peso de la muestra fallada, gr. (H)	1159.1	1158.7	1157.4	1173.7	1174.8	1174.6	
2	Peso de la muestra seca, gr. (I)	1143.9	1143.8	1141.7	1144.0	1142.5	1143.4	
3	Tara, gr. (J)	0	0	0	0	0	0	
4	Contenido de Humedad, %. (K)	1.13	1.07	1.08	2.60	2.83	2.73	
5	Humedad Absorbida, %	1.63						
6	Vacios totales máximos, %	14.9	15.2	14.8				

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
001(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 03.08.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Santa Rosa - Ayacucho
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	40%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino	60%
Asfalto residual en la mezcla (A)	5.5	Gravedad Específica Aparente (C)	2.683
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	5.6	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	21.9	Fecha rotación muestra inmersa	
Agua de compactación, %	4.2	Fecha ensayo muestra húmeda	
Fecha compactación			

DATOS DE LA MUESTRA COMPACTADA	SECA			SATURADA		
	1	2	3	4	5	6
Densidad de la briqueta (Bulk)						
1	Peso en aire, gr. (D)	1160.0	1164.4	1159.8		
2	Peso en agua, gr. (E)	619.8	621.4	619.7		
3	Peso SSS, gr. (F)	1162.6	1166.2	1161.5		
4	Volumen por desplazamiento	542.8	544.8	541.8		
5	Densidad Bulk, gr/cm ³ (G)	2.137	2.137	2.141		
6	Densidad Seca Bulk, gr/cm ³	2.114	2.113	2.116		
7	Espesor					

Estabilidad Marshall (22.2 °C)							
1	Lectura	200	220	214	178	187	152
2	Estabilidad, kgf.	870	956	930	775	814	663
3	Factor de Corrección	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
4	Estabilidad Corregida, kgf.	809	889	865	721	757	616
5	% Pérdida de Estabilidad	18.3					
6	Flujo, 1/100"	13	16	15	12	13	16

Contenido de Humedad							
1	Peso de la muestra fallada, gr. (H)	1162.4	1166.0	1161.3	1176.5	1174.7	1176.1
2	Peso de la muestra seca, gr. (I)	1146.6	1150.1	1145.5	1144.0	1145.8	1146.1
3	Tara, gr. (J)	0	0	0	0	0	0
4	Contenido de Humedad, %. (K)	1.09	1.16	1.17	2.84	2.52	2.62
5	Humedad Absorbida, %	1.52					
6	Vacios totales máximos, %	14.2	14.3	14.1			

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF

001(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 03.08.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Santa Rosa - Ayacucho
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	40%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino	60%
Asfalto residual en la mezcla (A)	6.0	Gravedad Específica Aparente (C)	2.683
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	5.6	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	18.6	Fecha rotación muestra inmersa	
Agua de compactación, %	4.2	Fecha ensayo muestra húmeda	
Fecha compactación			

DATOS DE LA MUESTRA COMPACTADA	SECA			SATURADA		
	1	2	3	4	5	6
Densidad de la briqueta (Bulk)						
1	Peso en aire, gr. (D)	1166.8	1169.4	1169.3		
2	Peso en agua, gr. (E)	624.5	626.8	622.4		
3	Peso SSS, gr. (F)	1169.1	1171.8	1171.3		
4	Volumen por desplazamiento	544.6	545.0	548.9		
5	Densidad Bulk, gr/cm ³ (G)	2.142	2.146	2.130		
6	Densidad Seca Bulk, gr/cm ³	2.119	2.120	2.104		
7	Espesor					

Estabilidad Marshall (22.2 °C)							
1	Lectura	207	199	209	160	165	185
2	Estabilidad, kgf.	900	866	909	697	719	805
3	Factor de Corrección	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
4	Estabilidad Corregida, kgf.	801	770	809	620	640	717
5	% Pérdida de Estabilidad	16.9					
6	Flujo, 1/100"	14	16	16	12	14	14

Contenido de Humedad							
1	Peso de la muestra fallada, gr. (H)	1168.9	1171.6	1171.1	1184.9	1178.0	1174.4
2	Peso de la muestra seca, gr. (I)	1153.3	1154.5	1153.8	1149.3	1150.3	1147.8
3	Tara, gr. (J)	0	0	0	0	0	0
4	Contenido de Humedad, %. (K)	1.09	1.20	1.25	3.10	2.41	2.32
5	Humedad Absorbida, %	1.43					
6	Vacios totales máximos, %	13.4	13.4	14.0			

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
001(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 03.08.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Santa Rosa - Ayacucho
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	40%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino	60%
Asfalto residual en la mezcla (A)	6.5	Gravedad Específica Aparente (C)	2.683
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	5.6	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	15.3	Fecha rotación muestra inmersa	
Agua de compactación, %	4.2	Fecha ensayo muestra húmeda	
Fecha compactación			

DATOS DE LA MUESTRA COMPACTADA	SECA			SATURADA		
	1	2	3	4	5	6
Densidad de la briqueta (Bulk)						
1	Peso en aire, gr. (D)	1174.3	1173.1	1174.1		
2	Peso en agua, gr. (E)	628.0	629.2	622.9		
3	Peso SSS, gr. (F)	1176.7	1175.5	1176.8		
4	Volumen por desplazamiento	548.7	546.3	553.9		
5	Densidad Bulk, gr/cm3 (G)	2.140	2.147	2.120		
6	Densidad Seca Bulk, gr/cm3	2.117	2.121	2.094		
7	Espesor					

Estabilidad Marshall (22.2 °C)							
1	Lectura	170	210	197	155	166	168
2	Estabilidad, kgf.	740	913	857	676	723	732
3	Factor de Corrección	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
4	Estabilidad Corregida, kgf.	659	813	763	601	644	651
5	% Pérdida de Estabilidad	15.1					
6	Flujo, 1/100"	14	16	17	12	15	11

Contenido de Humedad							
1	Peso de la muestra fallada, gr. (H)	1176.5	1175.3	1176.6	1186.9	1185.2	1179.2
2	Peso de la muestra seca, gr. (I)	1160.6	1157.7	1158.8	1154.9	1155.4	1151.7
3	Tara, gr. (J)	0	0	0	0	0	0
4	Contenido de Humedad, %. (K)	1.09	1.23	1.22	2.77	2.58	2.39
5	Humedad Absorbida, %	1.40					
6	Vacios totales máximos, %	12.9	12.7	13.8			


ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
TDM ASFALTOS SAC



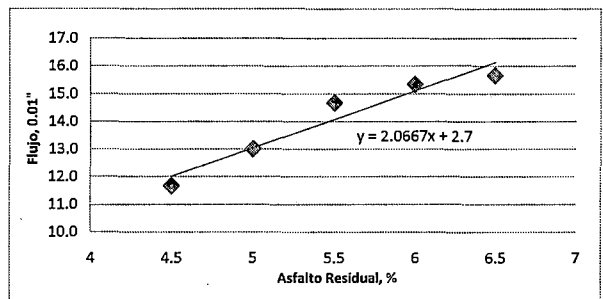
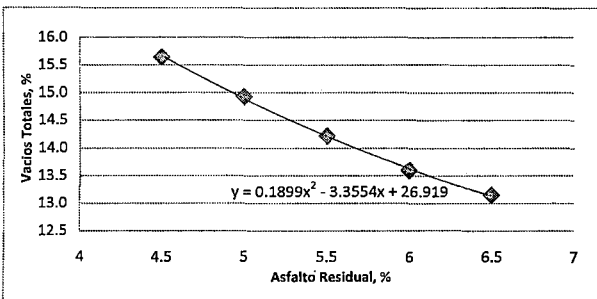
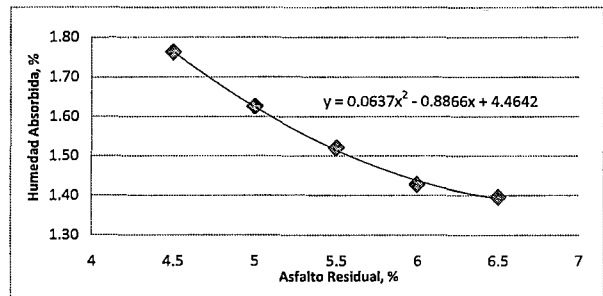
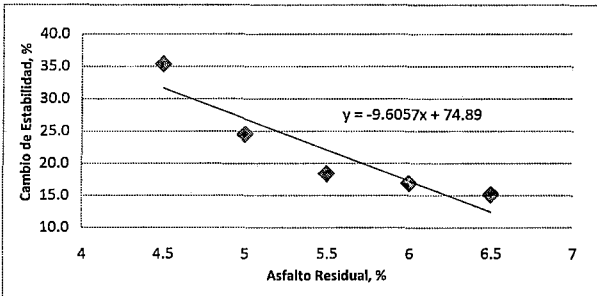
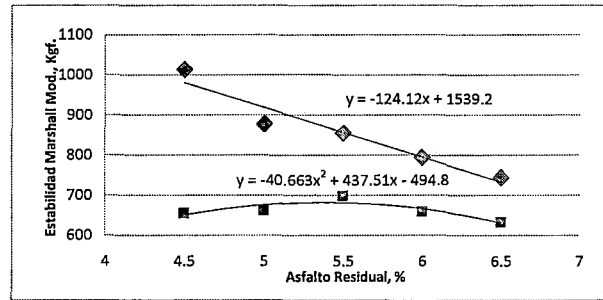
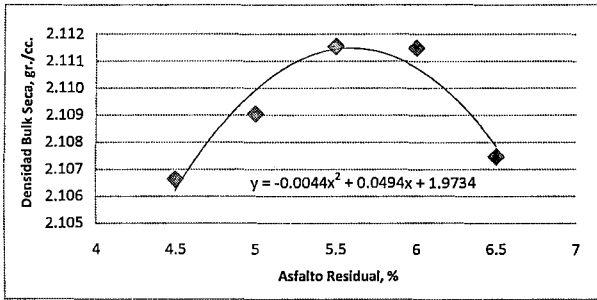
ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 03.08.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS (GRÁFICOS)

% ASFALTO RESIDUAL	DENSIDAD SECA BULK gr./cm3.	ESTABILIDAD PROMEDIO Kgf.	ESTABILIDAD CONSERVADA Kgf.	HUMEDAD ABSORBIDA %	CAMBIO ESTABILIDAD %	VACIOS TOTALES %	FLUJO 0.01"
4.5	2.107	1013	655	1.76	35.3	15.6	11.7
5.0	2.109	877	662	1.63	24.5	14.9	13.0
5.5	2.112	854	698	1.52	18.3	14.2	14.7
6.0	2.111	793	659	1.43	16.9	13.6	15.3
6.5	2.107	745	632	1.40	15.1	13.2	15.7



Wendy Herencia
 ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 10.09.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS (RESUMEN)

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJE EN PESO)

Agregado Grueso : 30%
 Agregado Fino : 70%
 Gradación : MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (MS-19)
 GRADACIÓN TIPO 3

2.- LIGANTE BITUMINOSO

Tipo de emulsión asfáltica : EMULTEC CSS-1h
 % óptimo de asfalto residual : 4.7
 % óptimo de emulsión asfáltica : 7.7

3.- AGUA

% de agua a ser añadida : 1.3
 % de agua total en la mezcla : 4.3
 % de agua de compactación : 3.4

4.- CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO ILLINOIS

Nº DE GOLPES POR CARA	75			ESPECIF.
	75	75	75	75
RESIDUO ASFÁLTICO ÓPTIMO (%)	4.4	4.7	5.0	
EMULSIÓN ASFÁLTICA (%)	7.2	7.7	8.2	
DENSIDAD SECA BULK (gr./cm ³ .)	2.236	2.242	2.243	
ESTABILIDAD SECA (kgf.)	1284.6	1193.6	1102.6	Mín. 500
ESTABILIDAD SATURADO (kgf.)	837.2	845.2	839.7	
HUMEDAD ABSORBIDA (%)	2.01	1.99	1.96	Máx. 4
CAMBIO DE ESTABILIDAD (kgf.)	32.2	28.2	24.1	Máx. 50
VACÍOS TOTALES (%)	11.3	10.7	10.3	2 --18
FLUJO (pulg./100)	8.0	8.7	9.3	
CUBRIMIENTO (%)	100	100	100	Mín. 50

5.- TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)

Temperatura de agregados : 22.2 °C
 Temperatura de emulsión asfáltica : 22.2 °C

OBSERVACIONES

- (1) Estabilidad Marshall ensayadas a una temperatura de 22.2 °C (Ref: Metodología Illinois).
- (2) Agregados muestreados por los interesados.
- (3) Porcentajes de materiales expresado en peso de los agregados.

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF

002(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 10.09.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS

(PORCENTAJE ÓPTIMO DE HUMEDAD DE COMPACTACIÓN)

BRIQUETA Nº	ESPESOR cm.	FACTOR CORRECCIÓN	% W ANTES DE COMPACTAR	ESTABILIDAD			
				MEDIDA (0.0001")	MEDIDA kgf.	CORREGIDA kgf.	PROMEDIO kgf.
2A	6.60	0.93	2	147	641	596	640.3
2B	6.50	0.93		167	727	676	
2C	6.50	0.93		160	697	648	
3A	6.34	1.00	3	205	891	891	890.0
3B	6.31	1.00		200	870	870	
3C	6.30	1.00		209	909	909	
4A	6.15	1.04	4	205	891	927	959.9
4B	6.08	1.04		242	1051	1093	
4C	6.07	1.04		190	827	860	
5A	6.10	1.04	4.6	152	663	689	684.6
5B	6.12	1.04		149	650	676	
5C	6.15	1.04		152	663	689	

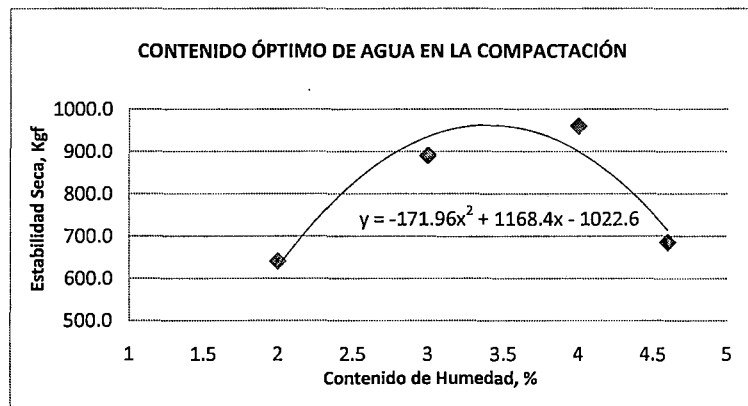
ASFALTO RESIDUAL, %
5.5

EMULSIÓN, %
9.0

ESTABILIDAD MÁXIMA, Kgf.
962

Wop DE COMPACTACIÓN, %
3.4

PESO DEL AGREGADO SECO, gr.
1098.4



ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF

002(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : -
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 10.09.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Km 770+100 - Apurimac
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	30%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino	70%
Asfalto residual en la mezcla (A)	4.5	Gravedad Específica Aparente (C)	2.706
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	4.4	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	15.4	Fecha rotación muestra inmersa	
Agua de compactación, %	3.4	Fecha ensayo muestra húmeda	
Fecha compactación			

DATOS DE LA MUESTRA COMPACTADA	SECA			SATURADA		
	1	2	3	4	5	6
Densidad de la briqueta (Bulk)						
1	Peso en aire, gr. (D)	1146.6	1148.5	1153.0		
2	Peso en agua, gr. (E)	644.5	643.8	647.0		
3	Peso SSS, gr. (F)	1150.5	1151.8	1157.4		
4	Volumen por desplazamiento	506.0	508.0	510.4		
5	Densidad Bulk, gr/cm ³ (G)	2.266	2.261	2.259		
6	Densidad Seca Bulk, gr/cm ³	2.244	2.240	2.236		
7	Espesor					

Estabilidad Marshall (22.2 °C)							
1	Lectura	273	315	270	176	188	182
2	Estabilidad, kgf.	1184	1364	1171	766	818	792
3	Factor de Corrección	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
4	Estabilidad Corregida, kgf.	1231	1419	1218	797	851	824
5	% Pérdida de Estabilidad	36.1					
6	Flujo, 1/100"	7	9	8	12	15	13

Contenido de Humedad							
1	Peso de la muestra fallada, gr. (H)	1151.9	1150.8	1158.1	1174.6	1172.3	1171.7
2	Peso de la muestra seca, gr. (I)	1136.4	1136.4	1141.5	1140.7	1137.4	1139.1
3	Tara, gr. (J)	0	0	0	0	0	0
4	Contenido de Humedad, %. (K)	0.98	0.93	1.02	2.97	3.07	2.86
5	Humedad Absorbida, %	1.99					
6	Vacios totales máximos, %	10.9	11.1	11.2			

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
DIRECCIÓN : -
PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
FECHA : 10.09.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS


(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Km 770+100 - Apurímac
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	30%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino	70%
Asfalto residual en la mezcla (A)	5.0	Gravedad Específica Aparente (C)	2.706
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	4.5	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	13.2	Fecha rotación muestra inmersa	
Agua de compactación, %	3.4	Fecha ensayo muestra húmeda	
Fecha compactación			

DATOS DE LA MUESTRA COMPACTADA	SECA			SATURADA		
	1	2	3	4	5	6
Densidad de la briqueta (Bulk)						
1	Peso en aire, gr. (D)	1152.9	1153.9	1157.5		
2	Peso en agua, gr. (E)	650.2	651.3	652.3		
3	Peso SSS, gr. (F)	1158.8	1159.0	1163.3		
4	Volumen por desplazamiento	508.6	507.7	511.0		
5	Densidad Bulk, gr/cm ³ (G)	2.267	2.273	2.265		
6	Densidad Seca Bulk, gr/cm ³	2.240	2.250	2.239		
7	Espesor					

Estabilidad Marshall (22.2 °C)								
1	Lectura	230	260	226	202	186	195	
2	Estabilidad, kgf.	999	1128	982	878	809	848	
3	Factor de Corrección	1.00	1.04	1.00	1.04	1.04	1.04	
4	Estabilidad Corregida, kgf.	999	1173	982	914	842	882	
5	% Pérdida de Estabilidad	16.4						
6	Flujo, 1/100"	9	11	8	9	13	14	

Contenido de Humedad								
1	Peso de la muestra fallada, gr. (H)	1161.7	1160.0	1165.3	1179.9	1180.5	1180.1	
2	Peso de la muestra seca, gr. (I)	1141.6	1142.6	1145.4	1145.0	1142.4	1146.3	
3	Tara, gr. (J)	0	0	0	0	0	0	
4	Contenido de Humedad, %. (K)	1.18	1.03	1.17	3.05	3.34	2.95	
5	Humedad Absorbida, %	1.98						
6	Vacios totales máximos, %	10.4	10.0	10.5				


ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF

002(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : -
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 10.09.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS

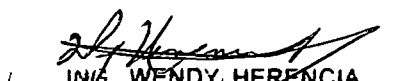
(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Km 770+100 - Apurímac
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	30%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino	70%
Asfalto residual en la mezcla (A)	5.5	Gravedad Específica Aparente (C)	2.706
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	4.6	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	11.0	Fecha rotación muestra inmersa	
Agua de compactación, %	3.4	Fecha ensayo muestra húmeda	
Fecha compactación			

DATOS DE LA MUESTRA COMPACTADA		SECA			SATURADA		
		1	2	3	4	5	6
Densidad de la briqueta (Bulk)							
1	Peso en aire, gr. (D)	1161.0	1160.1	1163.5			
2	Peso en agua, gr. (E)	651.2	650.2	655.5			
3	Peso SSS, gr. (F)	1166.3	1164.8	1166.5			
4	Volumen por desplazamiento	515.1	514.6	511.0			
5	Densidad Bulk, gr/cm ³ (G)	2.254	2.254	2.277			
6	Densidad Seca Bulk, gr/cm ³	2.229	2.229	2.253			
7	Espesor						

Estabilidad Marshall (22.2 °C)							
1	Lectura	206	201	250	186	176	181
2	Estabilidad, kgf.	896	874	1085	809	766	788
3	Factor de Corrección	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	Estabilidad Corregida, kgf.	896	874	1085	809	766	788
5	% Pérdida de Estabilidad	17.2					
6	Flujo, 1/100"	13	10	10	13	12	15

Contenido de Humedad							
1	Peso de la muestra fallada, gr. (H)	1167.7	1165.9	1166.1	1182.5	1186.7	1185.0
2	Peso de la muestra seca, gr. (I)	1148.9	1147.3	1150.4	1149.4	1149.5	1151.1
3	Tara, gr. (J)	0	0	0	0	0	0
4	Contenido de Humedad, %. (K)	1.11	1.15	1.05	2.88	3.24	2.95
5	Humedad Absorbida, %	1.92					
6	Vacios totales máximos, %	10.2	10.2	9.2			


 ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TÉCNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
002(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 10.09.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Km 770+100 - Apurímac
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso.	30%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino	70%
Asfalto residual en la mezcla (A)	6.0	Gravedad Específica Aparente (C)	2.706
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	4.7	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	8.8	Fecha rotación muestra inmersa	
Agua de compactación, %	3.4	Fecha ensayo muestra húmeda	
Fecha compactación			

DATOS DE LA MUESTRA COMPACTADA	SECA			SATURADA		
	1	2	3	4	5	6
Densidad de la briqueta (Bulk)						
1	Peso en aire, gr. (D)	1166.8	1167.0	1168.5		
2	Peso en agua, gr. (E)	651.3	653.8	653.3		
3	Peso SSS, gr. (F)	1172.1	1175.6	1172.1		
4	Volumen por desplazamiento	520.8	521.8	518.8		
5	Densidad Bulk, gr/cm ³ (G)	2.240	2.236	2.252		
6	Densidad Seca Bulk, gr/cm ³	2.218	2.215	2.223		
7	Espesor					

Estabilidad Marshall (22.2 °C)							
1	Lectura	186	183	190	143	167	174
2	Estabilidad, kgf.	809	796	827	624	727	758
3	Factor de Corrección	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	Estabilidad Corregida, kgf.	809	796	827	624	727	758
5	% Pérdida de Estabilidad	13.3					
6	Flujo, 1/100"	10	10	14	12	14	14

Contenido de Humedad							
1	Peso de la muestra fallada, gr. (H)	1172.4	1177.2	1174.4	1188.6	1190.2	1188.2
2	Peso de la muestra seca, gr. (I)	1154.5	1156.9	1154.6	1154.2	1155.3	1154.6
3	Tara, gr. (J)	0	0	0	0	0	0
4	Contenido de Humedad, %. (K)	1.03	0.95	1.32	2.98	3.02	2.91
5	Humedad Absorbida, %	1.87					
6	Vacios totales máximos, %	10.0	10.1	9.8			

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF

002(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 10.09.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Km 770+100 - Apurimac
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	30%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino	70%
Asfalto residual en la mezcla (A)	6.5	Gravedad Específica Aparente (C)	2.706
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	4.8	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	6.6	Fecha rotación muestra inmersa	
Agua de compactación, %	3.4	Fecha ensayo muestra húmeda	
Fecha compactación			

DATOS DE LA MUESTRA COMPACTADA	SECA			SATURADA		
	1	2	3	4	5	6
Densidad de la briqueta (Bulk)						
1	Peso en aire, gr. (D)	1174.7	1172.1	1176.7		
2	Peso en agua, gr. (E)	651.0	652.7	650.4		
3	Peso SSS, gr. (F)	1184.0	1176.0	1185.2		
4	Volumen por desplazamiento	533.0	523.3	534.8		
5	Densidad Bulk, gr/cm ³ (G)	2.204	2.240	2.200		
6	Densidad Seca Bulk, gr/cm ³	2.179	2.212	2.174		
7	Espesor					

Estabilidad Marshall (22.2 °C)							
1	Lectura	152	177	138	122	148	178
2	Estabilidad, kgf.	663	771	602	533	645	775
3	Factor de Corrección	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
4	Estabilidad Corregida, kgf.	636	740	578	511	619	744
5	% Pérdida de Estabilidad	4.0					
6	Flujo, 1/100"	12	12	14	12	17	19

Contenido de Humedad							
1	Peso de la muestra fallada, gr. (H)	1184.5	1178.2	1186.6	1198.4	1195.7	1195.3
2	Peso de la muestra seca, gr. (I)	1161.3	1158.6	1163.1	1162.8	1160.3	1160.0
3	Tara, gr. (J)	0	0	0	0	0	0
4	Contenido de Humedad, %. (K)	1.12	1.27	1.21	3.06	3.05	3.04
5	Humedad Absorbida, %	1.85					
6	Vacios totales máximos, %	11.0	9.6	11.2			

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



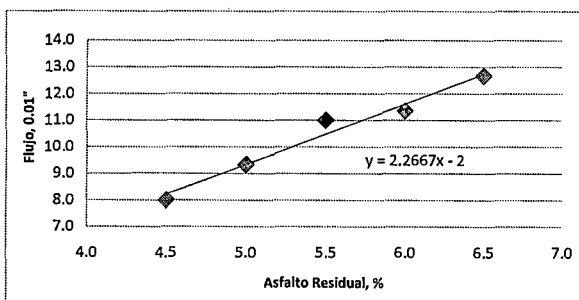
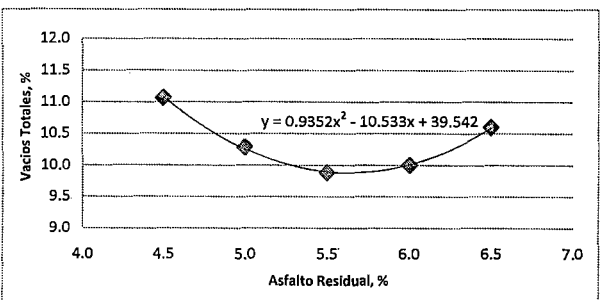
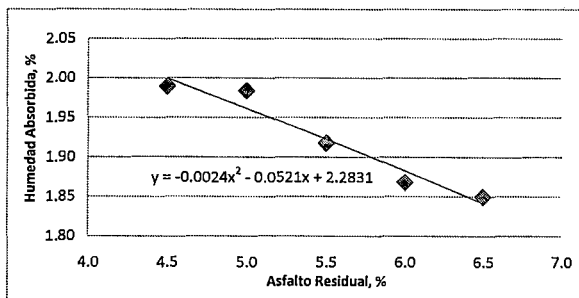
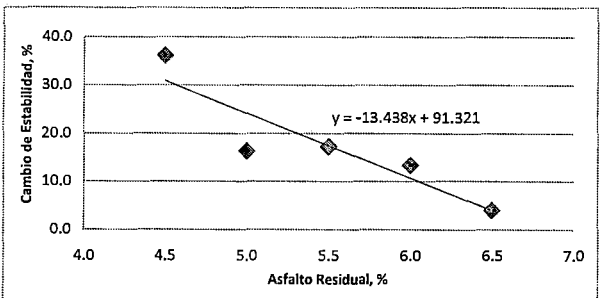
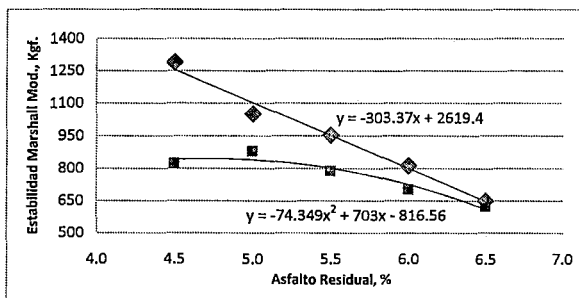
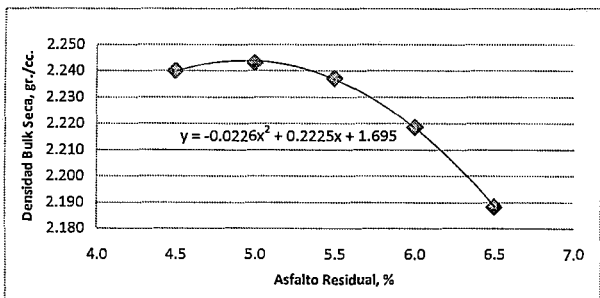
ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : -
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 10.09.2010

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO - MÉTODO ILLINOIS (GRÁFICOS)

% ASFALTO RESIDUAL	DENSIDAD SECA BULK gr./cm3.	ESTABILIDAD PROMEDIO Kgf.	ESTABILIDAD CONSERVADA Kgf.	HUMEDAD ABSORBIDA %	CAMBIO ESTABILIDAD %	VACIOS TOTALES %	FLUJO 0.01"
4.5	2.240	1289	824	1.99	36.1	11.1	8.0
5.0	2.243	1051	879	1.98	16.4	10.3	9.3
5.5	2.237	952	788	1.92	17.2	9.9	11.0
6.0	2.219	811	703	1.87	13.3	10.0	11.3
6.5	2.188	651	625	1.85	4.0	10.6	12.7



ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : -.-
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 19.11.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO (RESUMEN)

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJE EN PESO)

Agregado Grueso : 40%
 Agregado Fino : 60%
 Filler : CEMENTO PORTLAND TIPO I
 Gradación : MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (MS-19)
 GRADACIÓN TIPO 4

2.- LIGANTE BITUMINOSO

Tipo de emulsión asfáltica : EMULTEC CSS-1h
 % óptimo de asfalto residual : 5.4
 % óptimo de emulsión asfáltica : 8.8

3.- CARACTERÍSTICAS DEL MEZCLADO

	SIN FILLER	0.5% C.P.	1.0% C.P.	2.0% C.P.	3.0% C.P.
% DE AGUA A SER AÑADIDA	2.0	2.4	2.7	3.0	3.2
% DE AGUA TOTAL EN LA MEZCLA	5.6	6.0	6.3	6.6	6.8
% DE AGUA DE COMPACTACIÓN	4.2				

4.- CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO DE TRACCIÓN INDIRECTA

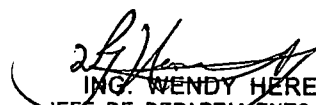
	SIN FILLER	0.5% C.P.	1.0% C.P.	2.0% C.P.	3.0% C.P.
Nº DE GOLPES POR CARA	75				
DENSIDAD SECA BULK (gr./cm3.)	2.106	2.122	2.125	2.114	2.127
VACÍOS TOTALES (%)	14.7	14.1	14.1	14.6	14.3
HUMEDAD ABSORBIDA (%)	2.80	2.89	2.81	2.72	2.49
RT SECA (kg./cm2.)	5.46	4.67	5.21	5.29	5.81
RT SATURADA (kg./cm2.)	2.65	4.19	4.77	4.95	5.38
RRT (%)	48.5	89.8	91.5	93.7	92.6

5.- TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)

Temperatura de agregados : 25 °C
 Temperatura de emulsión asfáltica : 25 °C

OBSERVACIONES

- (1) Tracción indirecta ensayada a una temperatura de 25 °C.
- (2) Agregados muestreados por los interesados.
- (3) Porcentajes de materiales expresado en peso de los agregados.


ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF

003(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : -
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 19.11.2010

**ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO
(RESUMEN)**

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJE EN PESO)

Agregado Grueso : 40%
 Agregado Fino : 60%
 Filler : CAL HIDRATADA
 Gradación : MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (MS-19)
 GRADACIÓN TIPO 4

2.- LIGANTE BITUMINOSO

Tipo de emulsión asfáltica : EMULTEC CSS-1h
 % óptimo de asfalto residual : 5.4
 % óptimo de emulsión asfáltica : 8.8

3.- CARACTERÍSTICAS DEL MEZCLADO

	SIN FILLER	0.5% CAL	1.0% CAL	1.5% CAL	2.0% CAL
% DE AGUA A SER AÑADIDA	2.0	2.7	3.2	3.6	3.9
% DE AGUA TOTAL EN LA MEZCLA	5.6	6.3	6.8	7.2	7.4
% DE AGUA DE COMPACTACIÓN	4.2				

4.- CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO DE TRACCIÓN INDIRECTA

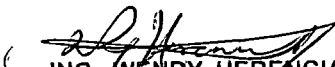
	SIN FILLER	0.5% CAL	1.0% CAL	1.5% CAL	2.0% CAL
Nº DE GOLPES POR CARA	75				
DENSIDAD SECA BULK (gr./cm3.)	2.106	2.106	2.088	2.122	2.106
VACÍOS TOTALES (%)	14.7	14.6	15.3	13.9	14.5
HUMEDAD ABSORBIDA (%)	2.80	3.43	3.51	3.15	3.54
RT SECA (kg./cm2.)	5.46	4.39	4.51	4.93	4.49
RT SATURADA (kg./cm2.)	2.65	3.80	3.98	4.58	3.95
RRT (%)	48.5	86.5	88.2	92.9	88.0

5.- TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)

Temperatura de agregados : 25 °C
 Temperatura de emulsión asfáltica : 25 °C

OBSERVACIONES

- (1) Tracción indirecta ensayada a una temperatura de 25 °C.
- (2) Agregados muestreados por los interesados.
- (3) Porcentajes de materiales expresado en peso de los agregados.


ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
003(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 19.11.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Santa Rosa - Ayacucho
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	40%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino	60%
Asfalto residual en la mezcla (A)	5.4	Gravedad Específica Aparente (C)	2.683
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	5.6	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	21.9	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	4.2		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.60	6.55	6.60			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1136.9	1137.0	1138.8	1141.5	1140.6	1141.1
4 Peso en agua, gr. (E)	600.1	600.4	598.8	600.1	599.7	600.8
5 Peso SSS, gr. (F)	1138.0	1139.4	1140.4	1142.9	1142.3	1142.9
6 Volumen por desplazamiento, cm3.	537.9	539.0	541.6	542.8	542.6	542.1
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm3 (G)	2.114	2.109	2.103	2.103	2.102	2.105
8 Vacíos totales máximos, %	14.4	14.6	14.8	14.8	14.9	14.8
9 Volumen de vacíos, cm3.	77.5	78.5	80.4	80.5	80.7	80.0

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1 Espesor, cm.				6.50	6.50	6.55
2 Diámetro, cm.				9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.				1172.5	1173.2	1173.5
4 Volumen del agua absorbida, cm3.				31.0	32.6	32.4
5 Humedad absorbida, %				2.72	2.86	2.84

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1 Lectura	130	125	129	64	61	58
2 Carga, Kgf.	567	546	563	281	268	255
3 Resistencia a la Tracción Seca	5.53	5.36	5.49			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				2.78	2.65	2.50
5 TSR			48.5			
6 Daños en la mezcla - adherencia	90	95	95	80	75	70
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	NO	NO	NO

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF

003(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 19.11.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Santa Rosa - Ayacucho
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	40%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cemento Portland	59.5%, 0.5%
Asfalto residual en la mezcla (A)	5.4	Gravedad Específica Aparente (C)	2.686
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	6.0	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	26.2	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	4.2		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.60	6.52	6.52			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1143.8	1142.7	1141.5	1142.1	1127.0	1145.3
4 Peso en agua, gr. (E)	605.1	606.8	604.4	606.6	598.9	607.2
5 Peso SSS, gr. (F)	1145.3	1144.8	1143.0	1144.0	1129.1	1146.9
6 Volumen por desplazamiento, cm3.	540.2	538.0	538.6	537.4	530.2	539.7
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm3 (G)	2.117	2.124	2.119	2.125	2.126	2.122
8 Vacíos totales máximos, %	14.3	14.0	14.2	14.0	14.0	14.1
9 Volumen de vacíos, cm3.	77.3	75.6	76.7	75.2	74.1	76.2

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1 Espesor, cm.				6.55	6.55	6.52
2 Diámetro, cm.				9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.				1175.9	1160.4	1176.9
4 Volumen del agua absorbida, cm3.				33.8	33.4	31.6
5 Humedad absorbida, %				2.96	2.96	2.76

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1 Lectura	112	109	105	97	99	96
2 Carga, Kgf.	489	476	459	424	433	420
3 Resistencia a la Tracción Seca	4.77	4.70	4.53			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				4.17	4.25	4.14
5 TSR				89.8		
6 Daños en la mezcla - adherencia	90	95	90	80	75	75
7 Rotura de agregados	SI	NO	SI	SI	SI	SI

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF

003(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 19.11.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Santa Rosa - Ayacucho
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	40%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cemento Portland	59%, 1%
Asfalto residual en la mezcla (A)	5.4	Gravedad Específica Aparente (C)	2.688
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	6.3	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	29.5	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	4.2		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.50	6.50	6.50			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1143.5	1142.1	1144.0	1143.8	1143.8	1143.1
4 Peso en agua, gr. (E)	606.2	606.5	606.2	606.5	607.6	608.0
5 Peso SSS, gr. (F)	1145.0	1143.6	1145.2	1145.0	1145.4	1144.6
6 Volumen por desplazamiento, cm ³ .	538.8	537.1	539.0	538.5	537.8	536.6
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm ³ (G)	2.122	2.126	2.122	2.124	2.127	2.130
8 Vacíos totales máximos, %	14.2	14.0	14.2	14.1	14.0	13.9
9 Volumen de vacíos, cm ³ .	76.4	75.3	76.4	76.0	75.3	74.4

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1 Espesor, cm.				6.50	6.50	6.50
2 Diámetro, cm.				9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.				1175.9	1173.3	1178.0
4 Volumen del agua absorbida, cm ³ .				32.1	29.5	34.9
5 Humedad absorbida, %				2.81	2.58	3.05

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1 Lectura	118	126	118	115	106	110
2 Carga, Kgf.	515	550	515	502	463	481
3 Resistencia a la Tracción Seca	5.10	5.44	5.10			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				4.97	4.58	4.76
5 TSR				91.5		
6 Daños en la mezcla - adherencia	90	90	90	80	85	85
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	SI	SI

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TÉCNICO
 TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF

003(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 19.11.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Santa Rosa - Ayacucho
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	40%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cemento Portland	58%, 2%
Asfalto residual en la mezcla (A)	5.4	Gravedad Específica Aparente (C)	2.692
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	6.6	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	32.8	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	4.2		
Fecha compactación			

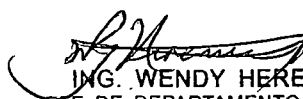
Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.55	6.50	6.60			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1146.3	1145.0	1145.8	1143.5	1142.5	1145.1
4 Peso en agua, gr. (E)	604.8	607.1	602.1	608.5	603.7	600.6
5 Peso SSS, gr. (F)	1147.1	1145.8	1146.7	1144.9	1144.2	1147.3
6 Volumen por desplazamiento, cm3.	542.3	538.7	544.6	536.4	540.5	546.7
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm3 (G)	2.114	2.125	2.104	2.132	2.114	2.095
8 Vacíos totales máximos, %	14.7	14.2	15.0	13.9	14.7	15.4
9 Volumen de vacíos, cm3.	79.5	76.4	82.0	74.7	79.2	84.3

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS

1 Espesor, cm.		6.50	6.58	6.65
2 Diámetro, cm.		9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.		1170.4	1177.2	1176.8
4 Volumen del agua absorbida, cm3.		26.9	34.7	31.7
5 Humedad absorbida, %		2.35	3.04	2.77

ROTURA Y EVALUACIÓN

1 Lectura	121	121	128	122	101	125
2 Carga, Kgf.	528	528	559	533	442	546
3 Resistencia a la Tracción Seca	5.19	5.23	5.44			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				5.27	4.32	5.28
5 TSR			93.7			
6 Daños en la mezcla - adherencia	95	95	90	85	85	80
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	SI	SI


 ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
003(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 19.11.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Santa Rosa - Ayacucho
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	40%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cemento Portland	57%, 3%
Asfalto residual en la mezcla (A)	5.4	Gravedad Específica Aparente (C)	2.697
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	6.8	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	35.0	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	4.2		
Fecha compactación			

N° DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.50	6.55	6.50			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1142.5	1146.2	1147.2	1145.4	1147.9	1145.6
4 Peso en agua, gr. (E)	605.5	606.4	608.9	610.3	610.5	609.4
5 Peso SSS, gr. (F)	1143.8	1147.2	1148.1	1147.0	1149.9	1147.9
6 Volumen por desplazamiento, cm3.	538.3	540.8	539.2	536.7	539.4	538.5
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm3 (G)	2.122	2.119	2.128	2.134	2.128	2.127
8 Vacíos totales máximos, %	14.4	14.6	14.2	14.0	14.2	14.2
9 Volumen de vacíos, cm3.	77.7	78.7	76.7	74.9	76.6	76.6

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS

1 Espesor, cm.		6.50	6.50	6.50
2 Diámetro, cm.		9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.		1170.4	1177.2	1176.8
4 Volumen del agua absorbida, cm3.		25.0	29.3	31.2
5 Humedad absorbida, %		2.18	2.55	2.72

ROTURA Y EVALUACIÓN

1 Lectura	129	134	142	128	122	124
2 Carga, Kg.	563	585	619	559	533	541
3 Resistencia a la Tracción Seca	5.57	5.74	6.13			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				5.53	5.27	5.36
5 TSR			92.6			
6 Daños en la mezcla - adherencia	85	90	85	75	85	85
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	SI	SI


 ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
003(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 19.11.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Santa Rosa - Ayacucho
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	40%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cal Hidratada	59.5%, 0.5%
Asfalto residual en la mezcla (A)	5.4	Gravedad Específica Aparente (C)	2.681
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	6.3	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	29.5	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	4.2		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.52	6.60	6.55			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1139.9	1142.9	1142.9	1141.2	1136.7	1141.5
4 Peso en agua, gr. (E)	603.0	600.1	601.2	599.4	599.2	599.8
5 Peso SSS, gr. (F)	1141.0	1144.3	1144.0	1142.2	1138.0	1142.9
6 Volumen por desplazamiento, cm3.	538.0	544.2	542.8	542.8	538.8	543.1
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm3 (G)	2.119	2.100	2.106	2.102	2.110	2.102
8 Vacíos totales máximos, %	14.1	14.9	14.7	14.8	14.5	14.8
9 Volumen de vacíos, cm3.	76.1	81.1	79.7	80.3	78.2	80.5

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1 Espesor, cm.				6.58	6.51	6.57
2 Diámetro, cm.				9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.				1182.7	1174.5	1179.4
4 Volumen del agua absorbida, cm3.				41.5	37.8	37.9
5 Humedad absorbida, %				3.64	3.33	3.32

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1 Lectura	106	98	103	89	94	82
2 Carga, Kgf.	463	429	450	390	411	359
3 Resistencia a la Tracción Seca	4.57	4.18	4.42			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				3.81	4.06	3.52
5 TSR				86.5		
6 Daños en la mezcla - adherencia	90	80	85	80	75	75
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	NO	SI


 ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TÉCNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
003(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 19.11.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Santa Rosa - Ayacucho
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	40%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cal Hidratada	58.5%, 1.5%
Asfalto residual en la mezcla (A)	5.4	Gravedad Específica Aparente (C)	2.677
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	7.2	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	39.4	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	4.2		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.54	6.50	6.55			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1142.5	1144.3	1142.8	1141.9	1143.0	1142.7
4 Peso en agua, gr. (E)	605.4	609.0	603.8	605.1	606.9	603.6
5 Peso SSS, gr. (F)	1143.7	1145.7	1144.5	1142.8	1144.3	1144.2
6 Volumen por desplazamiento, cm ³ .	538.3	536.7	540.7	537.7	537.4	540.6
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm ³ (G)	2.122	2.132	2.114	2.124	2.127	2.114
8 Vacíos totales máximos, %	13.9	13.5	14.2	13.8	13.7	14.2
9 Volumen de vacíos, cm ³ .	74.7	72.4	77.0	74.4	73.6	76.9

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1 Espesor, cm.				6.49	6.50	6.52
2 Diámetro, cm.				9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.				1176.2	1177.9	1181.3
4 Volumen del agua absorbida, cm ³ .				34.3	34.9	38.6
5 Humedad absorbida, %				3.00	3.05	3.38

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1 Lectura	119	110	115	113	105	100
2 Carga, Kg.	520	481	502	494	459	437
3 Resistencia a la Tracción Seca	5.11	4.76	4.93			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				4.89	4.54	4.31
5 TSR				92.9		
6 Daños en la mezcla - adherencia	90	90	75	80	80	90
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	SI	SI

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
003(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 19.11.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Santa Rosa - Ayacucho
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	40%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cal Hidratada	58%, 2%
Asfalto residual en la mezcla (A)	5.4	Gravedad Específica Aparente (C)	2.675
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	7.4	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	42.6	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	4.2		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.60	6.57	6.55			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1144.1	1140.6	1142.0	1143.5	1141.5	1144.6
4 Peso en agua, gr. (E)	601.6	598.6	599.9	605.1	602.5	599.3
5 Peso SSS, gr. (F)	1145.1	1141.6	1143.1	1144.6	1142.9	1146.1
6 Volumen por desplazamiento, cm3.	543.5	543.0	543.2	539.5	540.4	546.8
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm3 (G)	2.105	2.101	2.102	2.120	2.112	2.093
8 Vacíos totales máximos, %	14.5	14.7	14.6	13.9	14.2	15.0
9 Volumen de vacíos, cm3.	79.0	79.9	79.5	75.2	76.9	82.1

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1 Espesor, cm.				6.52	6.55	6.60
2 Diámetro, cm.				9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.				1181.1	1184.0	1185.9
4 Volumen del agua absorbida, cm3.				37.6	42.5	41.3
5 Humedad absorbida, %				3.29	3.72	3.61

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1 Lectura	103	108	104	96	96	84
2 Carga, Kgf.	450	472	455	420	420	368
3 Resistencia a la Tracción Seca	4.39	4.62	4.46			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				4.14	4.12	3.59
5 TSR			88.0			
6 Daños en la mezcla - adherencia	80	80	85	85	80	80
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	NO	SI

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
004(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 07.12.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO (RESUMEN)

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJE EN PESO)

Agregado Grueso : 30%
 Agregado Fino : 70%
 Filler : CEMENTO PORTLAND TIPO I
 Gradación : MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (MS-19)
 GRADACIÓN TIPO 3

2.- LIGANTE BITUMINOSO

Tipo de emulsión asfáltica : EMULTEC CSS-1h
 % óptimo de asfalto residual : 4.7
 % óptimo de emulsión asfáltica : 7.7

3.- CARACTERÍSTICAS DEL MEZCLADO

	SIN FILLER	0.5% C.P.	1.0% C.P.	2.0% C.P.	3.0% C.P.
% DE AGUA A SER AÑADIDA	1.3	1.7	2.1	2.4	2.7
% DE AGUA TOTAL EN LA MEZCLA	4.3	4.7	5.0	5.3	5.6
% DE AGUA DE COMPACTACIÓN	3.4				

4.- CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO DE TRACCIÓN INDIRECTA

	SIN FILLER	0.5% C.P.	1.0% C.P.	2.0% C.P.	3.0% C.P.
Nº DE GOLPES POR CARA	75				
DENSIDAD SECA BULK (gr./cm3.)	2.268	2.212	2.207	2.195	2.191
VACÍOS TOTALES (%)	9.7	12.0	12.3	12.9	13.2
HUMEDAD ABSORBIDA (%)	2.88	2.91	2.91	3.23	3.20
RT SECA (kg./cm2.)	5.9	4.2	5.2	5.9	7.1
RT SATURADA (kg./cm2.)	3.3	3.8	4.5	5.7	6.9
RRT (%)	56.1	90.5	86.1	96.0	98.5

5.- TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)

Temperatura de agregados : 25 °C
 Temperatura de emulsión asfáltica : 25 °C

OBSERVACIONES

- (1) Tracción indirecta ensayada a una temperatura de 25 °C.
- (2) Agregados muestreados por los interesados.
- (3) Porcentajes de materiales expresado en peso de los agregados.


 ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
004(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : -
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 07.12.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO (RESUMEN)

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJE EN PESO)

Agregado Grueso : 30%
 Agregado Fino : 70%
 Filler : CAL HIDRATADA
 Gradación : MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS (MS-19)
 GRADACIÓN TIPO 3

2.- LIGANTE BITUMINOSO

Tipo de emulsión asfáltica : EMULTEC CSS-1h
 % óptimo de asfalto residual : 4.7
 % óptimo de emulsión asfáltica : 7.7

3.- CARACTERÍSTICAS DEL MEZCLADO

	SIN FILLER	0.5% CAL	1.0% CAL	1.5% CAL	2.0% CAL
% DE AGUA A SER AÑADIDA	1.3	2.4	2.9	3.3	3.6
% DE AGUA TOTAL EN LA MEZCLA	4.3	5.3	5.8	6.2	6.5
% DE AGUA DE COMPACTACIÓN	3.4				

4.- CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO DE TRACCIÓN INDIRECTA

	SIN FILLER	0.5% CAL	1.0% CAL	1.5% CAL	2.0% CAL
Nº DE GOLPES POR CARA	75				
DENSIDAD SECA BULK (gr./cm3.)	2.268	2.171	2.164	2.159	2.190
VACÍOS TOTALES (%)	9.7	13.5	13.8	13.9	12.6
HUMEDAD ABSORBIDA (%)	2.88	3.59	3.62	3.95	4.14
RT SECA (kg./cm2.)	5.9	4.50	4.75	4.96	4.68
RT SATURADA (kg./cm2.)	3.3	4.08	4.52	4.74	4.16
RRT (%)	56.1	90.8	95.0	95.7	88.8

5.- TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)

Temperatura de agregados : 25 °C
 Temperatura de emulsión asfáltica : 25 °C

OBSERVACIONES

- (1) Tracción indirecta ensayada a una temperatura de 25 °C.
- (2) Agregados muestreados por los interesados.
- (3) Porcentajes de materiales expresado en peso de los agregados.


 (ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
004(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 07.12.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Km 770+100 - Apurímac
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	30%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino	70%
Asfalto residual en la mezcla (A)	4.7	Gravedad Específica Aparente (C)	2.706
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	4.3	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	14.3	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	3.4		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1	Espeor, cm.	6.20	6.15	6.17		
2	Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90		
3	Peso en aire, gr. (D)	1137.6	1135.6	1135.4	1135.8	1137.1
4	Peso en agua, gr. (E)	634.7	638.2	636.9	631.3	640.5
5	Peso SSS, gr. (F)	1139.6	1137.1	1136.5	1137.5	1138.2
6	Volumen por desplazamiento, cm ³ .	504.9	498.9	499.6	506.2	497.7
7	Densidad Seca Bulk, gr/cm ³ (G)	2.253	2.276	2.273	2.244	2.285
8	Vacios totales máximos, %	10.3	9.4	9.5	10.7	9.1
9	Volumen de vacíos, cm ³ .	52.1	46.9	47.7	54.1	45.1

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1	Espeor, cm.				6.10	6.10
2	Diámetro, cm.				9.90	9.90
3	Peso SSS, gr.				1167.2	1169.7
4	Volumen del agua absorbida, cm ³ .				31.4	32.6
5	Humedad absorbida, %				2.76	2.87

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1	Lectura	130	137	123	74	65
2	Carga, Kg.	567	598	537	325	285
3	Resistencia a la Tracción Seca	5.88	6.25	5.60		
4	Resistencia a la Tracción Saturada				3.42	3.01
5	TSR			56.1		
6	Daños en la mezcla - adherencia	85	90	80	50	60
7	Rotura de agregados	SI	SI	SI	NO	NO

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TÉCNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
004(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : -
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 07.12.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Km 770+100 - Apurímac
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	30%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cemento Portland	69.5%, 0.5%
Asfalto residual en la mezcla (A)	4.7	Gravedad Específica Aparente (C)	2.708
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	4.7	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	18.7	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	3.4		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.25	6.30	6.25			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1142.8	1142.8	1145.9	1147.5	1146.0	1146
4 Peso en agua, gr. (E)	629.8	630.6	630.3	632.8	629.2	630.0
5 Peso SSS, gr. (F)	1145.8	1146.5	1148.2	1150.3	1149.2	1148.9
6 Volumen por desplazamiento, cm3.	516.0	515.9	517.9	517.5	520.0	518.9
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm3 (G)	2.215	2.215	2.213	2.217	2.204	2.209
8 Vacíos totales máximos, %	11.9	11.9	12.0	11.8	12.4	12.2
9 Volumen de vacíos, cm3.	61.5	61.4	62.2	61.2	64.3	63.2

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1 Espesor, cm.				6.28	6.30	6.20
2 Diámetro, cm.				9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.				1180.0	1180.4	1179.1
4 Volumen del agua absorbida, cm3.				32.5	34.4	33.1
5 Humedad absorbida, %				2.83	3.00	2.89

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1 Lectura	93	96	90	85	82	85
2 Carga, Kg.	407	420	394	372	359	372
3 Resistencia a la Tracción Seca	4.19	4.29	4.05			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				3.81	3.67	3.86
5 TSR			90.5			
6 Daños en la mezcla - adherencia	80	85	80	80	80	70
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	SI	SI

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
004(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : -.-
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 07.12.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Km 770+100 - Apurímac
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	30%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cemento Portland	69%, 1%
Asfalto residual en la mezcla (A)	4.7	Gravedad Específica Aparente (C)	2.710
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	5.0	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	23.1	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	3.4		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.20	6.30	6.30			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1148.3	1147.8	1146.6	1147.9	1146.5	1148.4
4 Peso en agua, gr. (E)	631.5	630.3	629.8	629.5	630.1	631.4
5 Peso SSS, gr. (F)	1151.5	1151.1	1149.5	1149.7	1149.6	1150.4
6 Volumen por desplazamiento, cm3.	520.0	520.8	519.7	520.2	519.5	519.0
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm3 (G)	2.208	2.204	2.206	2.207	2.207	2.213
8 Vacíos totales máximos, %	12.2	12.4	12.3	12.3	12.3	12.1
9 Volumen de vacíos, cm3.	63.7	64.7	64.0	64.0	63.9	62.6

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1 Espesor, cm.				6.22	6.25	6.25
2 Diámetro, cm.				9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.				1177.4	1181.7	1183.9
4 Volumen del agua absorbida, cm3.				29.5	35.2	35.5
5 Humedad absorbida, %				2.57	3.07	3.09

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1 Lectura	116	110	122	101	105	92
2 Carga, Kg.	507	481	533	442	459	403
3 Resistencia a la Tracción Seca	5.26	4.91	5.44			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				4.57	4.72	4.14
5 TSR			86.1			
6 Daños en la mezcla - adherencia	80	90	80	80	70	80
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	SI	SI

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
004(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 07.12.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Km 770+100 - Apurímac
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	30%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cemento Portland	68%, 2%
Asfalto residual en la mezcla (A)	4.7	Gravedad Específica Aparente (C)	2.715
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	5.3	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	26.4	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	3.4		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.28	6.30	6.30			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1149.1	1148.3	1151.1	1151.2	1148.7	1147.4
4 Peso en agua, gr. (E)	627.4	626.7	628.3	628.8	628.4	629.4
5 Peso SSS, gr. (F)	1150.7	1150.9	1153.9	1152.7	1152.7	1150.2
6 Volumen por desplazamiento, cm3.	523.3	524.2	525.6	523.9	524.3	520.8
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm3 (G)	2.196	2.191	2.190	2.197	2.191	2.203
8 Vacíos totales máximos, %	12.9	13.1	13.1	12.8	13.1	12.6
9 Volumen de vacíos, cm3.	67.3	68.5	68.8	67.0	68.4	65.4

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1 Espesor, cm.				6.24	6.25	6.30
2 Diámetro, cm.				9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.				1188.0	1186.8	1184.0
4 Volumen del agua absorbida, cm3.				36.8	38.1	36.6
5 Humedad absorbida, %				3.20	3.32	3.19

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1 Lectura	132	139	128	126	133	122
2 Carga, Kgf.	576	606	559	550	580	533
3 Resistencia a la Tracción Seca	5.90	6.19	5.70			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				5.67	5.97	5.44
5 TSR				96.0		
6 Daños en la mezcla - adherencia	80	80	70	80	70	70
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	SI	SI

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
004(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 07.12.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Km 770+100 - Apurímac
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	30%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cemento Portland	67%, 3%
Asfalto residual en la mezcla (A)	4.7	Gravedad Específica Aparente (C)	2.719
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	5.6	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	29.7	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	3.4		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.20	6.25	6.22			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1151.6	1149.4	1152.7	1149.8	1151.7	1150.7
4 Peso en agua, gr. (E)	626.7	623.9	628.8	628.6	630.9	627.5
5 Peso SSS, gr. (F)	1155.0	1151.1	1154.1	1152.5	1153.2	1152.1
6 Volumen por desplazamiento, cm ³ .	528.3	527.2	525.3	523.9	522.3	524.6
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm ³ (G)	2.180	2.180	2.194	2.195	2.205	2.193
8 Vacíos totales máximos, %	13.6	13.6	13.0	13.0	12.6	13.1
9 Volumen de vacíos, cm ³ .	71.9	71.7	68.5	68.2	65.9	68.6

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS

1 Espesor, cm.		6.21	6.30	6.25
2 Diámetro, cm.		9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.		1187.4	1188.5	1186.9
4 Volumen del agua absorbida, cm ³ .		37.6	36.8	36.2
5 Humedad absorbida, %		3.27	3.20	3.15

ROTURA Y EVALUACIÓN

1 Lectura	156	166	148	152	155	158
2 Carga, Kgf.	680	723	645	663	676	689
3 Resistencia a la Tracción Seca	7.05	7.44	6.67			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				6.86	6.90	7.08
5 TSR				98.5		
6 Daños en la mezcla - adherencia	80	80	90	85	80	80
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	SI	SI


 ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TÉCNICO
 TDM ASFALTOS SAC



INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
DIRECCIÓN : --
PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
FECHA : 07.12.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Km 770+100 - Apurímac
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	30%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cal Hidratada	69.5%, 0.5%
Asfalto residual en la mezcla (A)	4.7	Gravedad Específica Aparente (C)	2.704
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	5.3	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	26.4	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	3.4		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.32	6.35	6.35			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1139.2	1135.4	1136.4	1135.9	1136.8	1140.6
4 Peso en agua, gr. (E)	629.8	622.2	619.6	625.0	617.1	626.9
5 Peso SSS, gr. (F)	1149.2	1148.4	1142.3	1149.0	1143.6	1151.2
6 Volumen por desplazamiento, cm3.	519.4	526.2	522.7	524.0	526.5	524.3
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm3 (G)	2.193	2.158	2.174	2.168	2.159	2.175
8 Vacíos totales máximos, %	12.7	14.1	13.4	13.7	14.0	13.4
9 Volumen de vacíos, cm3.	65.7	74.0	70.1	71.6	73.8	70.1

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1 Espesor, cm.				6.32	6.35	6.30
2 Diámetro, cm.				9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.				1179.9	1173.5	1182.3
4 Volumen del agua absorbida, cm3.				44.0	36.7	41.7
5 Humedad absorbida, %				3.87	3.23	3.66

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1 Lectura	100	105	99	91	96	88
2 Carga, Kgf.	437	459	433	398	420	385
3 Resistencia a la Tracción Seca	4.45	4.65	4.39			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				4.05	4.25	3.93
5 TSR	90.8					
6 Daños en la mezcla - adherencia	70	80	85	65	70	70
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	SI	SI

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF

004(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 07.12.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

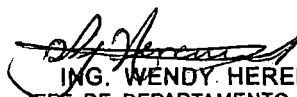
(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Km 770+100 - Apurímac
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	30%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cal Hidratada	69%, 1%
Asfalto residual en la mezcla (A)	4.7	Gravedad Específica Aparente (C)	2.702
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	5.8	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	31.9	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	3.4		
Fecha compactación			

N° DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.35	6.40	6.35			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1139.0	1139.7	1142.0	1139.5	1139.1	1139.4
4 Peso en agua, gr. (E)	627.3	621.6	625.6	621.1	616.0	621.9
5 Peso SSS, gr. (F)	1148.4	1149.9	1151.7	1151.8	1144.3	1147.9
6 Volumen por desplazamiento, cm3.	521.1	528.3	526.1	530.7	528.3	526.0
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm3 (G)	2.186	2.157	2.171	2.147	2.156	2.166
8 Vacíos totales máximos, %	12.9	14.0	13.5	14.4	14.1	13.7
9 Volumen de vacíos, cm3.	67.2	74.1	71.0	76.6	74.3	71.9

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1 Espesor, cm.				6.32	6.32	6.35
2 Diámetro, cm.				9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.				1184.7	1177.3	1179.6
4 Volumen del agua absorbida, cm3.				45.2	38.2	40.2
5 Humedad absorbida, %				3.97	3.35	3.53

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1 Lectura	107	105	111	101	99	105
2 Carga, Kgf.	468	459	485	442	433	459
3 Resistencia a la Tracción Seca	4.74	4.61	4.91			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				4.49	4.41	4.65
5 TSR				95.0		
6 Daños en la mezcla - adherencia	75	85	85	70	70	80
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	SI	SI


 ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF

004(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 07.12.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Km 770+100 - Apurímac
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	30%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cal Hidratada	68.5%, 1.5%
Asfalto residual en la mezcla (A)	4.7	Gravedad Específica Aparente (C)	2.700
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	6.2	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	36.2	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	3.4		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.30	6.35	6.40			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1140.1	1140.3	1140.3	1137.7	1138.4	1137.6
4 Peso en agua, gr. (E)	618.4	617.9	620.7	624.2	616.6	618.9
5 Peso SSS, gr. (F)	1146.8	1147.8	1147.3	1148.4	1146.5	1146.2
6 Volumen por desplazamiento, cm ³ .	528.4	529.9	526.6	524.2	529.9	527.3
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm ³ (G)	2.158	2.152	2.165	2.170	2.148	2.157
8 Vacíos totales máximos, %	14.0	14.2	13.6	13.4	14.3	14.0
9 Volumen de vacíos, cm ³ .	73.7	75.1	71.8	70.5	75.9	73.6

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1 Espesor, cm.				6.38	6.35	6.35
2 Diámetro, cm.				9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.				1184.9	1182.2	1181.5
4 Volumen del agua absorbida, cm ³ .				47.2	43.8	43.9
5 Humedad absorbida, %				4.15	3.85	3.86

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1 Lectura	113	118	105	109	106	107
2 Carga, Kgf.	494	515	459	476	463	468
3 Resistencia a la Tracción Seca	5.04	5.22	4.61			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				4.80	4.69	4.74
5 TSR			95.7			
6 Daños en la mezcla - adherencia	80	80	85	80	75	85
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	SI	SI

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
004(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA KM. 770+100 (S/N) - APURÍMAC
 REFERENCIA : KM. 770+100 / SECTOR EMP. RUTA 03S - ABANCAY / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 07.12.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Km 770+100 - Apurímac
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	30%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cal Hidratada	68%, 2%
Asfalto residual en la mezcla (A)	4.7	Gravedad Específica Aparente (C)	2.698
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	6.5	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	39.5	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	3.4		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.38	6.40	6.45			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1140.7	1139.9	1139.3	1140.7	1137.4	1140.1
4 Peso en agua, gr. (E)	629.4	629.8	627.1	626.2	622.0	625.4
5 Peso SSS, gr. (F)	1150.2	1149.2	1147.9	1147.2	1141.6	1145.6
6 Volumen por desplazamiento, cm ³ .	520.8	519.4	520.8	521.0	519.6	520.2
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm ³ (G)	2.190	2.195	2.188	2.189	2.189	2.192
8 Vacíos totales máximos, %	12.6	12.4	12.7	12.6	12.6	12.5
9 Volumen de vacíos, cm ³ .	65.6	64.5	66.1	65.8	65.7	65.2

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1 Espesor, cm.				6.40	6.35	6.35
2 Diámetro, cm.				9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.				1188.8	1184.1	1186.7
4 Volumen del agua absorbida, cm ³ .				48.1	46.7	46.6
5 Humedad absorbida, %				4.22	4.11	4.09

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1 Lectura	105	100	115	92	98	92
2 Carga, Kgf.	459	437	502	403	429	403
3 Resistencia a la Tracción Seca	4.63	4.39	5.01			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				4.05	4.34	4.08
5 TSR				88.8		
6 Daños en la mezcla - adherencia	85	80	80	75	80	75
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	SI	SI

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del usuario.



ASFALTOS

EXPEDIENTE MAF
003(T)-2010-LAB TDM ASFALTOS

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : BACHILLER DIEGO CÉSAR VALLEJO RAMÍREZ
 DIRECCIÓN : --
 PROYECTO : TESIS - DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO EMPLEANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA Y SU EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD UTILIZANDO FILLERS COMERCIALES
 UBICACIÓN : CANTERA SANTA ROSA - AYACUCHO
 REFERENCIA : KM. 389+500 / SECTOR CHALHUANCA - EMP. RUTA 03S / CARRETERA INTEROCEÁNICA SUR - TRAMO I
 FECHA : 19.11.2010

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

(HOJA DE CÁLCULO)

ASFALTO		AGREGADO	
Tipo y Grado	85/100	Identificación de la Fuente	Santa Rosa - Ayacucho
Asfalto en la Emulsión	61.2%	Agregado Grueso	40%
Gravedad específica del asfalto (B)	0.997	Agregado Fino, Cal Hidratada	59%, 1%
Asfalto residual en la mezcla (A)	5.4	Gravedad Específica Aparente (C)	2.679
MEZCLA Y COMPACTACIÓN		PRUEBA	
Agua total en la mezcla, %	6.8	Fecha ensayo muestra seca	
Agua añadida a la mezcla, gr.	35.0	Fecha ensayo muestra húmeda	
Agua de compactación, %	4.2		
Fecha compactación			

Nº DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
1 Espesor, cm.	6.68	6.62	6.65			
2 Diámetro, cm.	9.90	9.90	9.90			
3 Peso en aire, gr. (D)	1141.9	1136.8	1141.2	1142.5	1140.5	1140.8
4 Peso en agua, gr. (E)	594.4	591.9	593.1	599.9	597.7	597.5
5 Peso SSS, gr. (F)	1143.3	1138.1	1142.3	1143.8	1141.9	1142.1
6 Volumen por desplazamiento, cm3.	548.9	546.2	549.2	543.9	544.2	544.6
7 Densidad Seca Bulk, gr/cm3 (G)	2.080	2.081	2.078	2.101	2.096	2.095
8 Vacíos totales máximos, %	15.6	15.6	15.7	14.8	15.0	15.1
9 Volumen de vacíos, cm3.	85.9	85.2	86.4	80.6	81.7	82.0

SATURACIÓN A 60 °C DURANTE 24 HORAS						
1 Espesor, cm.				6.57	6.60	6.58
2 Diámetro, cm.				9.90	9.90	9.90
3 Peso SSS, gr.				1180.6	1183.0	1180.5
4 Volumen del agua absorbida, cm3.				38.1	42.5	39.7
5 Humedad absorbida, %				3.33	3.73	3.48

ROTURA Y EVALUACIÓN						
1 Lectura	110	102	108	95	95	89
2 Carga, Kgf.	481	446	472	416	416	390
3 Resistencia a la Tracción Seca	4.63	4.33	4.57			
4 Resistencia a la Tracción Saturada				4.07	4.05	3.81
5 TSR				88.2		
6 Daños en la mezcla - adherencia	80	80	80	75	80	80
7 Rotura de agregados	SI	SI	SI	SI	SI	SI

ING. WENDY HERENCIA
 JEFE DE DEPARTAMENTO TECNICO
 TDM ASFALTOS SAC