

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



**DISEÑO DE SLURRY SEAL EMPLEANDO EMULSIÓN  
ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS Y SU  
EVALUACIÓN VARIANDO EL CONTENIDO DE FILLER**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**JOSÉ ANTONIO HUANCA CUSI**

**Lima- Perú**

**2013**

**Digitalizado por:**

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

## **DEDICATORIA**

A Dios por todo lo que me ha dado en la vida.

A mi padre Patricio que desde el cielo bendice a toda mi familia.

A mi madre Senobia por todo su cariño, esfuerzo y apoyo, para desarrollarme  
como profesional.

A toda mi familia por confiar en mí y siempre alentarme a seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Para el desarrollo de la presente investigación fueron participes muchas personas, quienes dedicaron parte de su tiempo y su experiencia. Sin embargo, debo mencionar a aquellas que cuyo aporte ha sido valioso para la realización de la misma.

Agradezco a mi asesor de tesis, el Ingeniero Eddy Teófilo Scipión Piñella, por su 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 la ingeniera Lucia Saez, quienes confiaron en mí para el desarrollo de la presente investigación, me orientaron y me brindaron información valiosa.

Al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (IIFIC - UNI), de manera muy especial al Doctor Víctor Sanches Moya y al Doctor Teófilo Vargas, quienes me permitieron trabajar en forma conjunta, mostrando siempre interés y preocupación por el desarrollo de la investigación.

A mis familiares y amigos, por sus palabras de aliento y por sus muestras de afecto.

## ÍNDICE

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS</b>	<b>xiv</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO I: SLURRY SEAL</b>	<b>1</b>
1.1 GENERALIDADES	1
1.1.1 Reseña histórica del Slurry Seal	1
1.1.2 Definición de Slurry Seal	2
1.1.3 Tipos y aplicaciones de Slurry Seal	3
1.1.4 Diferencia entre Slurry Seal y Micropavimento	5
1.2 COMPONENTES DEL SLURRY SEAL	5
1.2.1 Agregado	5
1.2.2 Relleno mineral (Filler)	7
1.2.3 Emulsión Asfáltica	8
1.2.3.1 <i>Clasificación y nomenclatura de Emulsiones Asfálticas</i>	10
1.2.3.2 <i>Proceso de rotura y curado de Emulsiones Asfálticas</i>	11
1.2.3.3 <i>Emulsiones Asfálticas modificadas con polímeros</i>	12
1.2.3.4 <i>Elaboración de una emulsión asfáltica</i>	15
1.2.4 Agua	18
1.2.5 Aditivos	18
1.3 MÉTODO DE DISEÑO DEL SLURRY SEAL SEGÚN LA ISSA	20
1.3.1 Guía para el diseño de mezcla (ISSA TB - 111)	21
1.3.1.1 <i>Consideraciones preliminares para el diseño</i>	21
1.3.1.2 <i>Procedimiento de diseño</i>	22

<b>CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SLURRY SEAL</b>	<b>25</b>
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	25
2.1.1 Descripción de ensayos a realizar	25
2.1.2 Resultados de la cantera Arunta	29
2.1.3 Resumen comparativo de los ensayos	33
2.2 CARACTERIZACIÓN DEL RELLENO MINERAL (FILLER)	34
2.2.1 Descripción de ensayos a realizar	34
2.2.2 Resultados del cemento portland tipo I	35
2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA	36
2.3.1 Descripción de ensayos a realizar	36
2.3.2 Resultados de la emulsión asfáltica modificada con polímeros (CSS - 1hp)	40
2.4 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA	42
2.4.1 Descripción de ensayos a realizar	42
2.4.2 Resultados del agua de diseño	43
<b>CAPÍTULO III: DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL SLURRY SEAL</b>	<b>44</b>
3.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TEÓRICO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA	44
3.1.1 Método de cálculo Duriez	44
3.1.2 Cálculo del porcentaje teórico de emulsión asfáltica para el agregado de la cantera Arunta	46
3.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE AGUA	48
3.2.1 Ensayo de consistencia (ISSA TB - 106)	48
3.2.2 Cálculo del porcentaje óptimo de agua para el agregado de la cantera Arunta	49
3.3 COMPATIBILIDAD DE LOS COMPONENTES EN EL DISEÑO PRELIMINAR	50
3.3.1 Ensayos para determinar la compatibilidad de los componentes	51
3.3.2 Resultados de los ensayos	53
3.4 PRUEBAS DE DESEMPEÑO	56
3.4.1 Ensayo de abrasión en húmedo (ISSA TB – 100)	56
3.4.2 Ensayo de rueda cargada (ISSA TB – 109)	66

<b>CAPÍTULO IV: DISEÑO FINAL Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	<b>76</b>
4.1 DISEÑO FINAL DEL SLURRY SEAL	76
4.1.1 Contenido óptimo de emulsión asfáltica (ISSA TB - 111)	76
4.1.2 Ensayo de cohesión (ISSA TB - 139)	82
4.2 RESUMEN DE LOS DISEÑOS DE SLURRY SEAL	90
4.2.1 Diseño definitivo N°1	90
4.2.2 Diseño definitivo N°2	92
4.2.3 Diseño definitivo N°3	93
4.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONTENIDO DE FILLER EN EL SLURRY SEAL	95
4.3.1 Ensayo de tiempo de mezcla (ISSA TB – 113)	95
4.3.2 Ensayo de abrasión en húmedo (ISSA TB – 100)	96
4.3.3 Ensayo de rueda cargada (ISSA TB – 109)	97
4.3.4 Ensayo de cohesión (ISSA TB – 139)	98
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>100</b>
5.1 CONCLUSIONES	100
5.2 RECOMENDACIONES	102
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO A: FOTOGRAFÍAS DE LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA EL DISEÑO</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO B: FOTOGRAFÍAS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO C: CERTIFICADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES</b>	<b>118</b>

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en el laboratorio de suelos de la planta de emulsión asfáltica de CONCAR ubicada en la provincia de Nasca departamento de Ica, con el propósito de realizar tres diseños de slurry seal modificado con polímero variando el contenido de filler y analizar la influencia de este en el diseño. Para ello se utilizó el agregado extraído de la cantera Arunta que se encuentra ubicada en la zona sur - este de la provincia de Tacna en el centro poblado Nueva Tacna, emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta modificado con polímeros elaborado en la planta de emulsión asfáltica, agua potable y cemento Portland tipo I como filler. El estudio se sustenta en las recomendaciones establecidas por la ISSA específicamente por la ISSA A – 105 que establece los procedimientos para el diseño de un slurry seal. Se determinó el contenido teórico de emulsión (15%) con el método de Duriez y el contenido óptimo de agua (10%) con el ensayo de consistencia, las cantidades son con respecto al peso seco del agregado. Con los cuales se elaboraron mezclas preliminares con diferentes contenidos de emulsión basado en el contenido teórico (14%, 15% y 16%) y con diferentes contenidos de filler basado en la parte fina del agregado (0.5%, 1.0%, y 1.5%) para someterlo a ensayos de desempeño (abrasión en húmedo y rueda cargada) y determinar el contenido óptimo de emulsión (14%) para cada diseño (3 diseños con diferente contenido de filler), con la formula de trabajo final se evaluó la evolución de la consistencia mediante el ensayo de cohesión determinando el tiempo de apertura al tráfico para cada diseño (200 min., 150 min. y 120 min.). También se evaluó la influencia de los polímeros en la mezcla, mediante los ensayos de compatibilidad de los componentes (tiempo de mezcla y desnudamiento por humedad) obteniendo excelentes resultados. Lo que permitió llegar a las siguientes conclusiones: (a) Al incrementar la cantidad de filler en el diseño, se incrementa la resistencia en los ensayos de abrasión en húmedo y de rueda cargada, siendo de mayor consideración en el primer ensayo. (b) También, al incrementar la cantidad de filler en el diseño los valores de cohesión tienden a incrementarse, permitiendo reducir el tiempo de apertura al tráfico. (c) Las emulsiones asfálticas modificados con polímeros contienen agentes mejoradores de adherencia, que permite incrementar la resistencia al desprendimiento durante la puesta en servicio del mortero asfáltico.

## LISTA DE CUADROS.

	Pág.
Cuadro 1.1: Tipos de Slurry Seal y tasas de aplicación.	3
Cuadro 1.2: Especificaciones para el agregado.	6
Cuadro 1.3: Granulometría para mezclas de Slurry Seal.	7
Cuadro 1.4: Especificaciones para el relleno mineral.	8
Cuadro 1.5: Especificaciones para la Emulsión Asfáltica.	14
Cuadro 1.7: Tamaño promedio de partículas de asfalto en la emulsión.	17
Cuadro 1.8: Especificaciones para el agua de diseño.	18
Cuadro 1.9: Especificaciones para el diseño de Slurry Seal.	20
Cuadro 2.1: Granulometría cantera Arunta.	30
Cuadro 2.2: Equivalente de arena cantera Arunta.	31
Cuadro 2.3: Peso unitario y vacíos cantera Arunta.	31
Cuadro 2.4: Peso específico y absorción cantera Arunta.	32
Cuadro 2.5: Abrasión de los Ángeles cantera Arunta.	32
Cuadro 2.6: Durabilidad al sulfato de magnesio cantera Arunta.	33
Cuadro 2.7: Azul de metileno cantera Arunta.	33
Cuadro 2.8: Resumen de los resultados cantera Arunta.	33
Cuadro 2.9: Peso específico cemento Portland tipo I.	35
Cuadro 2.10: Granulometría cemento Portland tipo I.	35
Cuadro 2.11: Ensayos sobre la emulsión asfáltica modificada con polímeros.	41
Cuadro 2.12: Ensayos sobre el residuo asfáltico.	41
Cuadro 2.13: Ensayos sobre el agua de diseño.	43



Cuadro 3.1: Granulometría de la cantera Arunta.	46
Cuadro 3.2: Porcentaje de agregado retenido de acuerdo al tamiz.	46
Cuadro 3.3: Dosificación de mezclas.	50
Cuadro 3.4: Lecturas según ISSA TB - 106.	50
Cuadro 3.5: ISSA TB - 113.	52
Cuadro 3.6: ISSA TB - 114.	53
Cuadro 3.7: Dosificación con diferentes emulsiones.	54
Cuadro 3.8: Tiempo de mezclado y adherencia.	54
Cuadro 3.9: Tiempo de mezclado y área cubierta.	55
Cuadro 3.10: Dosificación ISSA TB – 100 (diseño N°1).	61
Cuadro 3.11: Peso de probetas ISSA TB – 100 (diseño N°1).	61
Cuadro 3.12: Corrección según ISSA TB – 100 (diseño N°1).	61
Cuadro 3.13: Resultado ISSA TB – 100 (diseño N°1).	61
Cuadro 3.14: Dosificación ISSA TB – 100 (diseño N°2).	62
Cuadro 3.15: Peso de probetas ISSA TB – 100 (diseño N°2).	63
Cuadro 3.16: Corrección según ISSA TB – 100 (diseño N°2).	63
Cuadro 3.17: Resultado ISSA TB – 100 (diseño N°2).	63
Cuadro 3.18: Dosificación ISSA TB – 100 (diseño N°3).	64
Cuadro 3.19: Peso de probetas ISSA TB – 100 (diseño N°3).	64
Cuadro 3.20: Corrección según ISSA TB – 100 (diseño N°3).	65
Cuadro 3.21: Resultado ISSA TB – 100 (diseño N°3).	65
Cuadro 3.22: Valores máximos de arena adherida.	66
Cuadro 3.23: Dosificación ISSA TB – 109 (diseño N°1).	70

Cuadro 3.24: Peso de probetas ISSA TB – 109 (diseño N°1).	71
Cuadro 3.25: Corrección según ISSA TB – 109 (diseño N°1).	71
Cuadro 3.26: Resultado ISSA TB – 109 (diseño N°1).	71
Cuadro 3.27: Dosificación ISSA TB – 109 (diseño N°2).	72
Cuadro 3.28: Peso de probetas ISSA TB – 109 (diseño N°2).	72
Cuadro 3.29: Corrección según ISSA TB – 109 (diseño N°2).	72
Cuadro 3.30: Resultado ISSA TB – 109 (diseño N°2).	73
Cuadro 3.31: Dosificación ISSA TB – 109 (diseño N°3).	74
Cuadro 3.32: Peso de probetas ISSA TB – 109 (diseño N°3).	74
Cuadro 3.33: Corrección según ISSA TB – 109 (diseño N°3).	74
Cuadro 3.34: Resultado ISSA TB – 109 (diseño N°3).	74
Cuadro 4.1: Resultados de ISSA TB – 100 e ISSA TB - 109 (diseño N°1).	78
Cuadro 4.2: Contenido óptimo de emulsión (diseño N°1).	79
Cuadro 4.3: Resultados de ISSA TB – 100 e ISSA TB - 109 (diseño N°2).	79
Cuadro 4.4: Contenido óptimo de emulsión (diseño N°2).	80
Cuadro 4.5: Resultados de ISSA TB – 100 e ISSA TB - 109 (diseño N°3).	80
Cuadro 4.6: Contenido óptimo de emulsión (diseño N°3).	81
Cuadro 4.7: Dosificación ISSA TB – 139 (diseño N°1).	86
Cuadro 4.8: Lecturas ISSA TB – 139 (diseño N°1).	86
Cuadro 4.9: Dosificación ISSA TB – 139 (diseño N°2).	87
Cuadro 4.10: Lecturas ISSA TB – 139 (diseño N°2).	87
Cuadro 4.11: Dosificación ISSA TB – 139 (diseño N°3).	88
Cuadro 4.12: Lecturas ISSA TB – 139 (diseño N°3).	89

Cuadro 4.13: Dosificación de los componentes de la emulsión.	90
Cuadro 4.14: Formulación de trabajo para el Slurry Seal (Diseño N°1).	90
Cuadro 4.15: Resultado de las pruebas de desempeño (Diseño N°1).	91
Cuadro 4.16: ISSA TB – 139 (diseño N°1).	91
Cuadro 4.17: Formulación de trabajo para el Slurry Seal (Diseño N°2).	92
Cuadro 4.18: Resultado de las pruebas de desempeño (Diseño N°2).	92
Cuadro 4.19: ISSA TB – 139 (diseño N°2).	92
Cuadro 4.20: Formulación de trabajo para el Slurry Seal (Diseño N°3).	93
Cuadro 4.21: Resultado de las pruebas de desempeño (Diseño N°3).	94
Cuadro 4.22: ISSA TB – 139 (diseño N°3).	94
Cuadro 4.23: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 113.	95
Cuadro 4.24: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 100.	96
Cuadro 4.25: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 109.	97
Cuadro 4.26: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 139.	98

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1: Componentes del Slurry Seal.	3
Figura 1.2: Diagrama esquemático de una Emulsión.	8
Figura 1.3: Representación de una Emulsión Aniónica y Catiónica.	10
Figura 1.4: Proceso de ruptura y curado de la emulsión asfáltica.	12
Figura 1.5: Proceso general de producción de emulsiones asfálticas.	17
Figura 3.1: Mezcla colocado en el cono de Kansas.	49
Figura 3.2: Mezclas ensayadas según ISSA TB - 106.	49
Figura 3.3: Preparación de mezclas.	51
Figura 3.4: Tiempo de mezclado.	51
Figura 3.5: Muestra a ensayar.	53
Figura 3.6: Apariencia del vaso antes y después del ensayo.	53
Figura 3.7: Mezclas con diferentes emulsiones.	54
Figura 3.8: Apariencia de las mezclas ensayadas.	55
Figura 3.9: Mezcla preliminar.	57
Figura 3.10: Colocación de la mezcla.	58
Figura 3.11: Moldeo de la mezcla.	58
Figura 3.12: Desmolde de la probeta.	58
Figura 3.13: Probetas en agua a 25°C por una hora.	59
Figura 3.14: Probeta en el equipo para ser ensayada.	59
Figura 3.15: Lavado de la probeta.	60
Figura 3.16: Probeta antes y después del ensayo.	60

Figura 3.17: Dimensiones de los moldes.	67
Figura 3.18: Colocación de la mezcla en molde.	68
Figura 3.19: Nivelación de la probeta.	68
Figura 3.20: Probetas enfriándose.	68
Figura 3.21: Colocación de la probeta.	69
Figura 3.22: Probeta después de los 1000 ciclos.	69
Figura 3.23: Colocación de arena caliente.	70
Figura 4.1: Anillos y cartón asfáltico.	84
Figura 4.2: Colocación de la probeta en el equipo.	84
Figura 4.3: Aplicando torque a la probeta.	85
Figura 4.4: Probetas antes y después del ensayo.	85
Figura A.1: Equipo para el ensayo ISSA TB - 100.	108
Figura A.2: Equipo para el ensayo ISSA TB - 109.	108
Figura A.3: Equipo para el ensayo ISSA TB - 139.	108
Figura B1.1: Cuarteo del agregado.	110
Figura B1.2: Tamices usados.	110
Figura B1.3: Vertido del agregado en la probeta con la solución stock ( $\text{CaCl}_2$ ).	111
Figura B1.4: Agitación de la muestra.	111
Figura B1.5: Lectura de arena.	111
Figura B1.6: Vertido del agregado en el molde	112
Figura B1.7: Enrasado del molde.	112
Figura B1.8: Pesado de la muestra.	112
Figura B1.9: Secado de la muestra.	113

Figura B1.10: Evaluación de la superficie seca.	113
Figura B1.11: Eliminación de las burbujas de aire en el picnómetro.	113
Figura B1.12: Adición de azul de metileno a la muestra.	114
Figura B1.13: Agitación magnética.	114
Figura B1.14: Muestra colocada en el papel filtro.	114
Figura B2.1: Viscosímetro calibrado a 25 °C.	1115
Figura B2.2: Flujo de la emulsión a través del viscosímetro al vaso receptor una vez retirado el corcho.	115
Figura B2.3: Colocado de las bolas.	116
Figura B2.4: Colocado de la muestra en agua.	116
Figura B2.5: Inicio y fin del ensayo.	116
Figura B2.6: Muestra a 25 °C durante un periodo de 2 horas.	117
Figura B2.7: Equipo para ensayo de penetración.	117
Figura B2.8: Penetración en el asfalto a 25°C.	117

## LISTA DE GRÁFICOS.

	<b>Pág.</b>
Gráfico 2.1: Curva granulométrica.	30
Gráfico 3.1: Curva para determinar el porcentaje teórico de asfalto residual.	44
Gráfico 3.2: Contenido teórico de Asfalto Residual.	47
Gráfico 3.3: Tendencia ISSA TB – 100 (diseño N°1).	62
Gráfico 3.4: Tendencia ISSA TB – 100 (diseño N°2).	63
Gráfico 3.5: Tendencia ISSA TB – 100 (diseño N°3).	65
Gráfico 3.6: Tendencia ISSA TB – 109 (diseño N°1).	71
Gráfico 3.7: Tendencia ISSA TB – 109 (diseño N°2).	73
Gráfico 3.8: Tendencia ISSA TB – 109 (diseño N°3).	75
Gráfico 3.9: Clasificación de las lechadas asfálticas.	80
Gráfico 3.10: Tendencia ISSA TB – 139 (diseño N°1).	81
Gráfico 3.11: Tendencia ISSA TB – 139 (diseño N°2).	82
Gráfico 3.12: Tendencia ISSA TB – 139 (diseño N°3).	83
Gráfico 4.1: Contenido Óptimo de Asfalto Mínimo ISSA TB - 100.	77
Gráfico 4.2: Contenido Óptimo de Asfalto Máximo ISSA TB - 109.	77
Gráfico 4.3: Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB - 111.	77
Gráfico 4.4: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 (diseño N°1).	78
Gráfico 4.5: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 (diseño N°2).	79
Gráfico 4.6: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 (diseño N°3).	81
Gráfico 4.7: Clasificación de los morteros asfálticos.	83
Gráfico 4.8: Tendencia ISSA TB – 139 (diseño N°1).	86

Gráfico 4.9: Tendencia ISSA TB – 139 (diseño N°2).	88
Gráfico 4.10: Tendencia ISSA TB – 139 (diseño N°3).	89
Gráfico 4.11: Cohesión ISSA TB – 139 (diseño N°1).	91
Gráfico 4.12: Cohesión ISSA TB – 139 (diseño N°2).	93
Gráfico 4.13: Cohesión ISSA TB – 139 (diseño N°3).	94
Gráfico 4.11: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 113.	95
Gráfico 4.12: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 100.	96
Gráfico 4.13: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 109.	97
Gráfico 4.14: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 139.	98



## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

### SÍMBOLOS

°C	:	Grados Centígrados
°F	:	grados Fahrenheit
N°	:	Número
%	:	Porcentaje
"	:	Pulgadas
cm.	:	Centímetro.
dmm.	:	Decimas de milímetro
etc.	:	Etcétera
gr.	:	Gramos
gr./cm <sup>3</sup> .	:	Gramos sobre centímetros cúbicos
Hrs.	:	Horas
Kg.	:	Kilogramos
Km.	:	Kilómetro
Lb	:	Libras
m <sup>2</sup> .	:	Metros cuadrados
m <sup>3</sup> .	:	Metros cúbicos
Max.	:	Máximo
Min.	:	Mínimo
min.	:	Minutos
mm.	:	Milímetros

m.s.n.m.	:	Metros sobre el nivel del mar
pH	:	Potencial de hidrogeno
ppm	:	Partes por millón
pulg.	:	Pulgadas
rpm	:	Revoluciones por minuto
seg.	:	Segundos
T°	:	Temperatura
TM.	:	Tamaño máximo.
TMN	:	Tamaño máximo nominal
µm	:	Micrómetro
VS.	:	Versus
γ	:	Peso específico

## SIGLAS

AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
BITUPER	:	Bitúmenes del Perú
BR	:	Betum Requeridement (Betún Requerido)
CIP	:	Colegio de Ingenieros del Perú
CILA	:	Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto
CONCAR	:	Concesiones de Carreteras.
CMS	:	Cationic Medium Setting (Emulsión catiónica de rotura media)
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)
EA	:	Equivalente de Arena
EVA	:	Copolímeros de Ethylene - Vinil - Acetate
Furol	:	Fuel and road oils (Combustibles y aceites para carreteras)
IIFIC	:	Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil
ISSA	:	International Slurry Surfacing Association
MB = MBV	:	Metil Blue Value (Valor de azul de metileno)
MS	:	Medium Setting (rotura media)
MTC	:	Ministerio de Transporte y Comunicaciones
NTP	:	Norma Técnica Peruana

OGFC	:	Open Graded Friction Courses
PAR	:	Pure Asphalt Requirement (Asfalto Puro Requerido)
QS	:	Quick Setting (rotura controlada)
RS	:	Rapid Setting (rotura rápida)
SBR	:	Elastómeros termoplásticos de Stireno-Butadieno
SBS	:	Elastómeros termoplásticos de Stireno-Butadieno-Stireno
SE	:	Superficie Específica
SS	:	Slow Setting (rotura lenta)
SSD	:	Saturada superficialmente seca
SUCS	:	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

## INTRODUCCIÓN

El rendimiento de un pavimento depende de su condición estructural y funcional, mientras la condición estructural depende de la capacidad de soporte del pavimento, la condición funcional describe cuan “buena” es una vía para permitir al usuario desplazarse desde un lugar a otro, bajo condiciones aceptables de confort, seguridad y velocidad que se traduce en una reducción del costo de transporte. He ahí la importancia de la condición funcional de un pavimento, el cual ha llevado a desarrollar tecnologías que permiten conservar en óptimas condiciones la superficie de un pavimento.

Una de estas tecnologías es el slurry seal empleando emulsiones asfálticas modificadas con polímeros o simplemente slurry seal modificado con polímeros, que es un tratamiento superficial que permite mejorar las características de fricción superficial, recuperar los ahuellamientos y las pequeñas irregularidades en la carpeta asfáltica. Además, al incluir polímeros en el diseño permite que la mezcla tenga un mejor comportamiento frente a exigencias más críticas como: el incremento continuo del tráfico, velocidades altas de tránsito, efectos del frenado de los vehículos en pendientes y curvas pronunciadas, así como también, a los efectos de las condiciones climáticas extremas. Logrando incrementar el tiempo de vida útil de la mezcla.

Esto motivó al desarrollo de la presente investigación “Diseño de Slurry Seal empleando emulsión asfáltica modificada con polímeros y su evaluación variando el contenido de filler” que tiene como finalidad brindar al lector una guía básica sobre los procedimientos a seguir para el diseño de un slurry seal, basado en la ISSA A – 105, y analizar la influencia del contenido de filler en el comportamiento de la mezcla. El cual, se deberá tomar de manera referencial como un material de ayuda para que el profesional o diseñador pueda establecer sus propios criterios de diseño.

En esta tesis se presenta el diseño de un slurry seal empleando agregado de la cantera Arunta (Tacna), emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta modificado con polímeros, agua potable y cemento Portland tipo I como filler. En el primer capítulo se presenta el marco teórico, en el cual se desarrolla una pequeña reseña histórica, se define y se muestra los requerimientos de cada componente

(agregado, emulsión asfáltica, agua y filler) de un slurry seal, así como también, se muestra el método de diseño ISSA TB - 111. En el segundo capítulo se desarrolla detalladamente la caracterización de cada componente de un slurry seal, haciendo el uso adecuado de la norma correspondiente para cada ensayo.

En el tercer capítulo se muestra la determinación de la dosificación de las mezclas preliminares mediante el método de Duriez y el ensayo de consistencia, que determinan la cantidad teórica de emulsión y la cantidad óptima de agua, respectivamente. Posteriormente se evaluó la influencia de los polímeros en la mezcla, mediante los ensayos de compatibilidad de los componentes (tiempo de mezcla y desnudamiento por humedad). Con la determinación de la dosificación y compatibilidad de los componentes en la mezcla preliminar, se evaluó su comportamiento mediante los ensayos de desempeño (abrasión en húmedo y rueda cargada) para determinar el contenido óptimo de emulsión y obtener el diseño final. Se varió el contenido de filler (0.5%, 1.0% y 1.5%) para analizar su influencia en el diseño.

En el cuarto capítulo se determina el contenido óptimo de emulsión asfáltica y se establece la fórmula de trabajo para cada diseño (3 diseños con diferente contenido de filler), con los cuales se evaluó la evolución de la consistencia y se determinó el tiempo de apertura al tráfico de cada diseño, mediante el ensayo de cohesión. También se muestra un análisis comparativo del comportamiento de cada mezcla, con los resultados en los ensayos de desempeño y de cohesión. Exponiendo en el capítulo final las conclusiones y recomendaciones, con los cuales se podrá aprovechar al máximo la información brindada.

## CAPÍTULO I: SLURRY SEAL

### 1.1 GENERALIDADES

#### 1.1.1 Reseña histórica del Slurry Seal

Los morteros asfálticos que actualmente se conoce tuvieron sus precursores a finales de los años veinte, en Francia con emulsiones superestables y en Alemania con un producto denominado "Schlame" que consistía en mezclar áridos y agua hasta conseguir una consistencia adecuada y posteriormente se mezclaba con un betún relativamente blando, del tipo 80/100, a una temperatura próxima a los 145°C. Se utilizaban unos áridos muy finos y la mezcla debía mantenerse en agitación hasta su extendido para evitar la sedimentación de las partículas de árido húmedas y envueltas por el betún asfáltico.

A comienzos de los años sesenta, en España, con la mecanización del procedimiento, se introdujo la técnica con la denominación americana de "Slurry Seal". Se trataba de unos morteros fabricados con áridos muy finos y con emulsiones aniónicas de rotura lenta, de manera que la rotura se producía por la evaporación del agua y su utilización estaba muy ligada a la temperatura del ambiente.

Hacia la mitad de los años sesenta se empezaron a utilizar emulsiones catiónicas, con un proceso de rotura de la emulsión por atracción electrostática, independizando en gran medida su utilización de la climatología. No era necesario tener un sol espléndido y temperaturas elevadas para evaporar el agua de la emulsión.

Una tercera generación de morteros asfálticos, posiblemente la que ha supuesto el mayor avance en su desarrollo tecnológico, se produce a principio de los años ochenta, con la aparición simultánea de las emulsiones de asfalto modificado con elastómeros (tipo de polímero), y el desarrollo de nuevas máquinas con mezcladores más potentes y rápidos, con un dispositivo de extendido que garantiza la homogeneidad de la mezcla a lo largo de todo el extendido de la misma.

Hoy en día, el avance de la tecnología asfáltica emulsionada, basada en el perfeccionamiento y la variedad de emulsiones asfálticas, ha hecho posible que

en la actualidad la ingeniería vial disponga de aditivos que mejoran la reología del asfalto. Permitiendo así, desarrollar mezclas asfálticas en frío con mayor durabilidad y resistencia ante las cargas de tránsito y a las condiciones climáticas, tales como el slurry seal con emulsiones asfálticas modificadas con polímeros.

El slurry seal modificado con polímeros, es una parte de la tecnología de las mezclas en frío que se desarrolla en todo el mundo, y que en los últimos años ha tenido gran auge en Latinoamérica, por lo versátil y económico. En el Perú, se ha elaborado numerosos trabajos para distintas zonas, tanto en costa, sierra y selva.

### **1.1.2 Definición de Slurry Seal**

El slurry seal es una mezcla asfáltica en frío; compuesto por la combinación bien proporcionada de emulsión asfáltica, agregado, filler (mineral de relleno), agua y aditivos según sea necesario (véase Figura 1.1), esparcidos sobre una superficie pavimentada de acuerdo a las especificaciones del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) y según las recomendaciones de la ISSA (International Slurry Surfacing Association).

Se aplica como alternativa de tratamiento superficial en capas delgadas que van desde los 3 mm. hasta los 15 mm. de espesor (1.15 veces el tamaño máximo del agregado), con la finalidad de impermeabilizar la carpeta de rodadura y restaurar la superficie de desgastada brindando una mejor resistencia al deslizamiento (alto coeficiente de fricción); así como también, corregir irregularidades en las carpetas asfálticas como alisamientos por exudación y desintegración. La mezcla es de apertura rápida al tráfico, lo que significa que es capaz de aceptar el tránsito vehicular después de un corto tiempo (1 a 3 horas) de haberse colocado sobre la superficie tratada; este lapso de tiempo generalmente varía según las condiciones climáticas existente en obra.

El uso de emulsión asfáltica modificada con polímeros en la elaboración del slurry seal, permite mejorar el desempeño de la mezcla (durabilidad y resistencia); obteniendo así, un mortero asfáltico con un mayor rendimiento. Es por ello que hoy en día, esa variante está siendo muy utilizada en el diseño, tomando la nueva denominación, en algunos casos, de slurry seal modificado con polímeros.



Esta investigación, se basa en los boletines técnicos emitidos por la ISSA, específicamente en la ISSA A - 105; la misma que brinda pautas y recomendaciones para el diseño, producción y colocación del slurry seal.

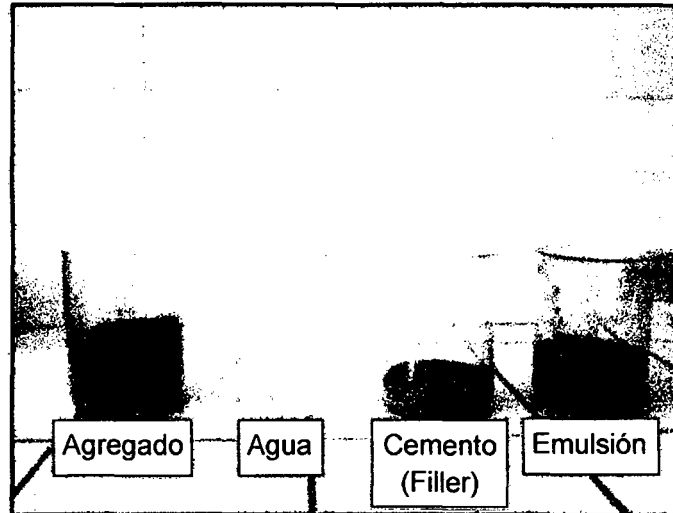


Figura 1.1: Componentes del Slurry Seal.

### 1.1.3 Tipos y aplicaciones de Slurry Seal

La ISSA A – 105 clasifica al slurry seal en tres tipos (véase el Cuadro 1.1), de acuerdo a la distribución granulométrica del agregado (véase el Cuadro 1.3). Recomendando el lugar de aplicación y la dotación, para cada tipo.

Cuadro 1.1: Tipos de Slurry Seal y tasas de aplicación.

Tipo	Ubicación	Rango de aplicación propuesto
I	Áreas de estacionamiento Calles urbanas y residenciales Pistas de Aeropuerto	(4.3 – 6.5 kg/m <sup>2</sup> )
II	Calles urbanas y residenciales Pistas de Aeropuerto	(5.4 – 9.8 kg/m <sup>2</sup> )
III	Vías Primarias e Interprovinciales	(8.1 – 12.0 kg/m <sup>2</sup> )

**Fuente:** ISSA - A 105 – 2010.

- **Tipo I (superficie fina):** Esta gradación fina dará una aplicación a razón de 4.3 a 6.5 Kg. por metro cuadrado, en un espesor de 1/8" o menos. El

contenido normal de residuo asfáltico estará entre 10 y 16% en peso con respecto al agregado seco.

La fineza de este tipo de slurry seal otorga una máxima capacidad de penetración en las grietas. Este diseño es usado como capa inicial sobre pavimentos agrietados, que por el alto contenido de asfalto permite una máxima adhesión en la expansión y contracción de las grietas. Este tipo de superficie se aplica en espesores muy delgados; en el caso que se requiera mejorar el desgaste superficial, servirá como primera capa en un tratamiento multicapa.

- **Tipo II (superficie general):** Esta gradación dará una aplicación a razón de 5.4 a 9.8 Kg. por metro cuadrado, en un espesor de 1/4" o menos. El contenido normal de residuo asfáltico estará entre 7.5 y 13.5% en peso con respecto al agregado seco.

Este tipo de slurry seal es el más usado por tener una granulometría intermedia, esto permite a la mezcla penetrar dentro de las grietas y también proveer una adecuada superficie de rodadura. Puede usarse cuando se requiere mejorar la resistencia al desgaste superficial.

- **Tipo III (superficie áspera):** Esta gradación dará una aplicación a razón de 8.1 a 12.0 Kg. por metro cuadrado, en espesores de 3/8" o menos. El contenido de residuo asfáltico normal estará en el rango de 6.5 a 12% en peso con respecto al agregado seco.

Este tipo de slurry seal es usado en pavimentos asfálticos que estén expuestos a cambios de temperatura y al tráfico altamente pesado.

Los tipos mencionados, pueden ser usados en combinaciones formando una multicapa. Dependiendo del espesor y ancho de las fisuras, se puede iniciar con la colocación de un tipo I o tipo II y continuar con un tipo más áspero.

Para el diseño de un tipo de slurry seal, se deben considerar los siguientes factores para optimizar su tiempo de vida útil:

- El tipo y condición del antiguo o nueva superficie donde será aplicada el slurry seal. Sobre base granular, pavimento asfáltico o concreto, textura superficial, cantidad y tamaño de grietas.
- Tipo y volumen de tráfico.
- Condiciones climatológicas.

### 1.1.4 Diferencia entre Slurry Seal y Micropavimento

El slurry seal y los micropavimentos, que si bien es cierto corresponden a la aplicación de mezclas asfálticas en frío utilizados para la conservación y mantenimiento de pavimentos asfálticos y pavimentos de concreto, se les debe diferenciar claramente para evitar cualquier tipo de confusión.

La ISSA define al slurry seal como un mortero asfáltico compuesto por la mezcla de agregados (incluyendo el filler), emulsión asfáltica de rotura lenta, agua y aditivos, el cual se coloca uniformemente en espesores que van desde los 5 a 15 mm. sobre la superficie de un pavimento existente. Por otra parte, la ISSA define a los micropavimentos como un tipo más avanzado o superior de mortero asfáltico, esto debido al uso de emulsiones asfálticas modificadas con polímeros de rotura rápida y de agregados con mejores propiedades físicas; que permite otorgar a la mezcla, mayor resistencia y estabilidad, capaces de alcanzar espesores de hasta 50 mm. distribuidos en capas.

## 1.2 COMPONENTES DEL SLURRY SEAL

### 1.2.1 Agregado

Los agregados (excluyendo los finos minerales) constituyen entre el 82 y el 90 % en peso del slurry seal, sus propiedades tienen gran influencia en la durabilidad y en la resistencia de la mezcla. Estos deben estar triturados, duros y libres de químicos, arcillas y otras materias que puedan afectar la adherencia, el mezclado y la colocación.

Como se mencionó, las propiedades de los agregados influirán en el producto final de la mezcla; es por eso que se debe considerar características fundamentales que garanticen el buen desempeño del slurry seal. Estas principales características a considerar son las siguientes:

- **Naturaleza e identificación:** Incluye la naturaleza petrográfica de los agregados, grado de alteración de los componentes minerales, porosidad y propiedades químicas.
- **Propiedades geométricas:** Incluye básicamente la forma y la angulosidad de las partículas.

- **Propiedades mecánicas:** Incluye a los parámetros de resistencia al desgaste y al pulimiento.
- **Ausencia de impurezas:** Es fundamental la ausencia de impurezas que puedan afectar al comportamiento de la mezcla y provocar su degradación rápida.
- **Adhesividad:** Considera la afinidad del agregado con la emulsión asfáltica. También se pueden utilizar aditivos para incrementar la adherencia.

Los requisitos mínimos según la ISSA, para que un agregado o mezcla de agregados sean considerados en el diseño del mortero asfáltico, se muestra en el Cuadro 1.2.

Cuadro 1.2: Especificaciones para el agregado.

ENSAYO	ASTM	AASHTO	ISSA	ESPECIFICACIÓN
Muestreo	D 75	T 2		
Gravedad Específica	C 128	T 84		
Granulometría	C 136	T 27		ISSA Tipo I, Tipo II y Tipo III
Equivalente de Arena	D 2419	T 176		45 % Mínimo
Abrasión de los Ángeles	C 131	T 96		35 % Máximo
Resistencia a Sulfatos	C 88	T 104		15 – 25 % Máxima pérdida
Peso Unitario	C 29	T 19		
Azul de Metileno			TB 145	

**Fuente:** ISSA - A 105 – 2010.

El Cuadro 1.3 muestra las recomendaciones establecidos por la ISSA, sobre la granulometría del agregado según el tipo de mortero asfáltico a diseñar. La granulometría debe ser bien graduada y uniforme, respetando los rangos de tolerancia de cada tamiz. De ser posible debe emplearse material 100% chancado.

Cuadro 1.3: Granulometría para mezclas de Slurry Seal.

TIPO DE GRADUACIÓN	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TOLERANCIA
TAMAÑO DE MALLA	% QUE PASA	% QUE PASA	% QUE PASA	RANGO
9.5 mm. (3/8")	100	100	100	-
4.75 mm. (N° 4)	100	90 – 100	70 – 90	+/- 5%
2.36 mm. (N° 8)	90 – 100	65 – 90	45 – 70	+/- 5%
1.18 mm. (N° 16)	65 – 90	45 – 70	28 – 50	+/- 5%
600 um. (N° 30)	40 – 65	30 – 50	19 – 34	+/- 5%
300 um. (N° 50)	25 – 42	18 – 30	12 – 25	+/- 4%
150 um. (N° 100)	15 – 30	10 – 21	7 – 18	+/- 3%
75 um. (N° 200)	10 – 20	5 – 15	5 – 15	+/- 2%

**Fuente:** ISSA - A 105 – 2010.

### 1.2.2 Relleno mineral (Filler)

En general, materiales denominados rellenos minerales pueden ser definidos como aquellos que presentan partículas finamente divididas; provenientes de la trituración de rocas minerales o de la molienda de materiales pequeños a través de procesos industrializados, que dan como resultado el desarrollo de productos sintéticos (cal o cemento). Se incorporan a los morteros y a las mezclas asfálticas a fin de mejorar su desempeño reológico, mecánico, térmico y de sensibilidad al agua.

Estos se incluyen en los morteros asfálticos, principalmente con la finalidad de generar mayor estabilidad y resistencia; así como también, reducir el tiempo de rotura y curado. Las teorías más extendidas con respecto a las causas que generan los efectos mencionados, citan la granulometría de las partículas como el factor principal, ya que permite mejorar la parte fina de la curva granulométrica del agregado.

De acuerdo a la norma ASTM D 242 y AASHTO M 17, se pueden utilizar indistintamente como relleno mineral: cemento Portland tipo I, cal hidratada, polvo de roca, polvo de escoria o ceniza fina.

La ISSA, recomienda el uso de filler en una cantidad máxima del 3 % en peso del agregado seco en el diseño del mortero asfáltico, como se muestra en el Cuadro 1.4.

Cuadro 1.4: Especificaciones para el relleno mineral.

ENSAYO	ASTM	AASHTO	ESPECIFICACIÓN
Mineral de relleno	D 242	M 17	0 – 3 %

**Fuente:** ISSA - A 105 – 2010.

### 1.2.3 Emulsión Asfáltica

Se define como la dispersión de glóbulos microscópicos de asfalto (fase dispersa o discreta) dentro de una solución de agua jabonosa (fase continua o dispersante), los cuales son no miscibles entre sí (véase Figura 1.2).

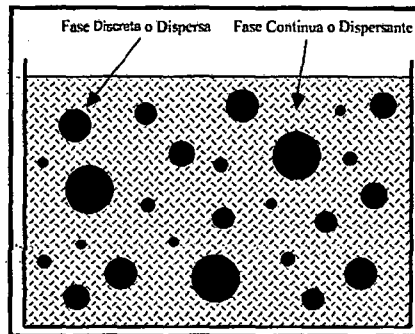


Figura 1.2: Diagrama esquemático de una Emulsión.

**Fuente:** Instituto Mexicano del Transporte.

El asfalto es por naturaleza hidrófobo (repulsión al agua); este fenómeno obliga a usar productos denominados emulsificantes en el proceso de fabricación de las emulsiones, formando junto con el agua y otros aditivos (cloruro de calcio y/o ácido clorhídrico) la solución jabonosa.

En resumen, la emulsión asfáltica está compuesta por cemento asfáltico, agua, emulsificante y otros aditivos que mejoren ciertas características de ésta.

- **Cemento asfáltico.**

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

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 emulsificante y el cemento asfáltico.

- **Agua.**

El agua es de mucha importancia y puede contener minerales u otros elementos que afecten la producción de emulsiones asfálticas estables. 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 originar un desequilibrio en los componentes de la emulsión, lo que puede afectar de forma adversa a la performance o causar la rotura prematura. Por ese motivo, se debe de hacer un control estricto de la calidad del agua para un determinado tipo de emulsión.

- **Emulsificante.**

También llamados emulgentes, son compuestos que cumplen la función de estabilizar a la emulsión, de esta manera se evita la formación de varias fases.

Se caracterizan por la presencia de radicales hidrofóbicos y de componentes hidrofílicos los cuales en el momento que entran en contacto con el agua, éstos se disocian, quedando cargas negativas, positivas o no-iónicas según sea el tipo de emulsificante.

Como el emulsificante usado para el uso vial es del tipo iónico (véase Figura 1.3), donde los glóbulos están cargados eléctricamente en su superficie con carga negativa o positiva; siendo esta carga del mismo signo para todos los glóbulos, que genera una repulsión electrostática y

contribuye a impedir que los glóbulos se unan entre sí, y se pueda mantener estable la emulsión asfáltica.

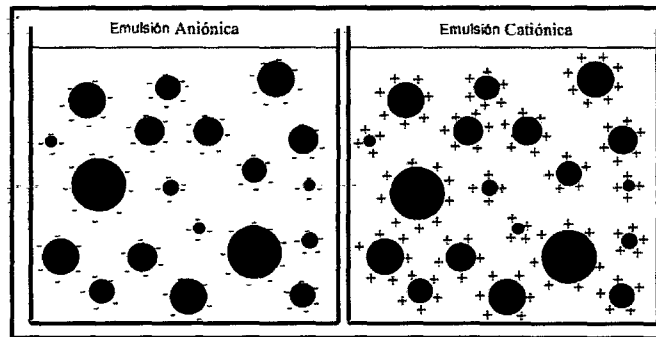


Figura 1.3: Representación de una Emulsión Aniónica y Catiónica.

**Fuente:** Instituto Mexicano del Transporte.

### 1.2.3.1 Clasificación y nomenclatura de Emulsiones Asfálticas

Para clasificar las emulsiones asfálticas, se puede tomar en cuenta las siguientes características:

#### Por su polaridad:

- **Aniónicas:** El agente emulsificante le confiere carga **negativa** a las partículas.
- **Catiónicas:** El agente emulsificante le confiere carga **positiva** a las partículas.

#### Por su Velocidad de Rotura:

- **RS:** De rotura rápida, usada para riegos de liga y carpetas por sistemas de riego.
- **MS:** De rotura media, usada generalmente para mezclas en frío elaboradas en planta destinadas a bacheo, nivelación, etc.
- **SS:** De rotura lenta, usada para mezclas en frío elaboradas en planta para estabilizaciones asfálticas.
- **QS:** De rotura rápida, usada para sistemas de rotura rápida (micropavimento).



De acuerdo a las normas AASHTO y ASTM, la nomenclatura usada para identificar a las emulsiones, ya sean de tipo aniónicas o de tipo catiónicas es la siguiente:

- La letra **C**: el uso de esta letra significa que es una emulsión catiónica. La ausencia de esta letra significa aniónica o no aniónica.
- Las cifras **1** y **2**: determina la viscosidad; 1=viscosidad baja, 2=viscosidad alta.
- La letra **h** (hard), significa que la base asfáltica es más consistente (dura); la letra **s** (soft), significa que la base asfáltica es más blanda; la letra **p**, significa que es una emulsión con polímeros. Esto quiere decir que en muchos casos en función del clima en obra, se necesitará que la emulsión tenga una base asfáltica de mayor dureza con o sin polímeros.
- Las letras **HF**: significa alta flotación (ASTM T 50 ó ASTM D - 139).

En general, se sabe que el tipo de emulsión usado en el diseño del slurry seal es la emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta **CSS**.

### 1.2.3.2 Proceso de rotura y curado de Emulsiones Asfálticas

En una emulsión asfáltica, el agua debe separarse de la fase asfáltica y evaporarse, para que actúe como ligante. Los procesos para tal fin son los siguientes:

- **Rotura de la emulsión.**  
Este es un proceso inminentemente necesario, debido a que se necesita que el agregado sea cubierto por el asfalto. Para que esto ocurra, se debe desestabilizar a la emulsión.  
El proceso de desestabilización de la emulsión se da debido a la carga que tiene el agregado, el cual neutraliza la carga del asfalto en la emulsión. De esta manera, la pequeña carga que tiene la emulsión se irá moviendo hacia el agregado que tiene carga opuesta y comenzará a formarse partículas de gran tamaño, el mismo que comenzará a recubrir el agregado.
- **Curado de la emulsión.**  
En este proceso es donde se desarrollan las propiedades mecánicas del asfalto, dando como resultado una película cohesiva continua capaz de

mantener a los agregados adheridos. Este proceso se alcanza cuando el agua llega a evaporarse completamente de la superficie. Si las condiciones climáticas son favorables, la evaporación del agua se realizará de manera rápida; sin embargo, la excesiva humedad, bajas temperaturas o lluvias inmediatamente después de la aplicación, pueden retardar dicho proceso.

Como se puede ver en la Figura 1.4; la primera imagen muestra como la emulsión reacciona con el agregado y se inicia la rotura; en la siguiente imagen continua la rotura e inicia el curado; y la última imagen muestra como el asfalto recubre el agregado culminando el proceso de curado.

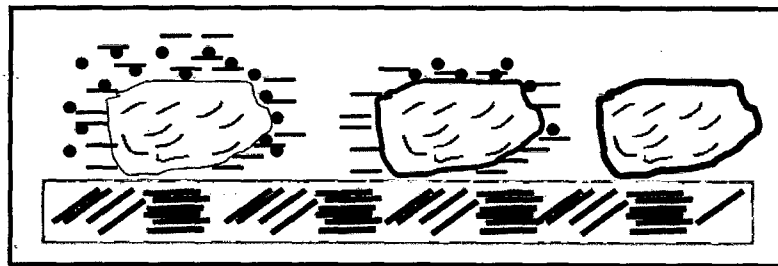


Figura 1.4: Proceso de ruptura y curado de la emulsión asfáltica.

**Fuente:** Instituto Mexicano del Transporte.

### 1.2.3.3 Emulsiones Asfálticas modificadas con polímeros

En la actualidad los pavimentos están sometidos a exigencias cada vez más críticas como: el incremento continuo del tráfico, cargas más pesadas y condiciones climáticas agresivas. Este aumento de solicitudes trae como consecuencia el ahuellamiento por deformación plástica del ligante, agrietamientos por diferencias térmicas y también por fatiga, así como el desprendimiento de agregados; que contribuyen al deterioro de la superficie de rodadura. Estos inconvenientes hoy en día se reducen considerablemente, mediante el empleo de emulsiones asfálticas modificadas con polímeros.

Se define a un **polímero** como un compuesto de alto peso molecular formado por la unión de moléculas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples como: estireno, butadieno, etileno, vinil, acetato, etc.), los cuales al unirse forman moléculas más grandes en distintos arreglos.

La modificación de las emulsiones asfálticas con polímeros busca mejorar sus propiedades viscoelásticas para cumplir con los requerimientos de un proyecto; de manera muy concisa se puede decir que mediante la modificación se desea mejorar la elasticidad y la flexibilidad, la consistencia y la durabilidad con el fin de extender la vida útil de las mezclas asfáltica.

Para modificar la emulsión asfáltica se puede hacer de dos maneras; la primera, si se emplea el polímero en forma de latex (líquido), mediante la adición directa a la emulsión terminada o 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 **SBS** (Stireno – Butadieno - Stireno) y **SBR** (Stireno - Butadieno - Rubber), y los plastómeros **EVA** (Etileno - Vinil - Acetato).

- **Polímero SBS**

Polímero en estado sólido compuesto por monómeros de stireno, butadieno y stireno.

Mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto en altas como en bajas temperaturas

Usado en tratamiento superficial y en carpetas estructurales de pavimentos con elevados índice de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

- **Polímero SBR**

Polímero en estado líquido compuesto por monómeros de stireno y butadieno, añadiendo ácido acrílico para mejorar la adhesividad.

Mejora el comportamiento de las mezclas asfálticas a bajas temperaturas.

Usado en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y

templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

- **EVA**

Polímero en estado sólido compuesto por monómeros de etileno, vinil y acetato.

Mejora la resistencia al ahuellamiento y disminuye la susceptibilidad de las mezclas asfálticas a altas temperaturas.

Usado en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

Según la ISSA, la emulsión asfáltica modificada con polímeros y su residuo asfáltico deben cumplir con las especificaciones establecidas por la AASHTO y ASTM (véase Cuadro 1.5 y 1.6), para que puedan ser considerados en el diseño del slurry seal.

Cuadro 1.5: Especificaciones para la Emulsión Asfáltica.

ENSAYO	AASHTO	ASTM
Muestreo de materiales bituminosos	T 40	D 140
Ensayos de Emulsión Asfáltica	T 59	D.244
Especificaciones para la Emulsión Catiónica	M 280	D 2397

**Fuente:** ISSA - A 105 – 2010.

Cuadro 1.6: Especificaciones para el Residuo Asfáltico.

ENSAYO	AASHTO	ASTM
Punto de ablandamiento	T 53	D 36
Penetración	T 49	D 5

**Fuente:** ISSA - A 143 – 2010.

### 1.2.3.4 Elaboración de una emulsión asfáltica.

#### Equipo de emulsificación.

Para preparar una emulsión asfáltica, se requiere básicamente de los siguientes equipos:

- Molino coloidal. El molino debe estar provisto de medidores de flujo, temperatura y presión.
- Tanque para la solución jabonosa.
- Tanque para el asfalto caliente.
- Bombas.
- 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 – 6000 RPM con aberturas de paso de 0.25 mm – 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 1  $\mu\text{m}$  – 10  $\mu\text{m}$ . También pueden ser utilizados molinos con velocidades de 7000 RPM – 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 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.

#### Proceso de emulsificación.

##### 1. 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.

## **2. 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. La temperatura de asfalto a la alimentación del molino, por lo general va de 120 °C a 150 °C y esto depende de las características del asfalto.

## **3. Emulsificación.**

Una vez que el asfalto y la solución jabonosa han alcanzado las condiciones de operación necesarias, son alimentados 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 de 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 asfáltica.

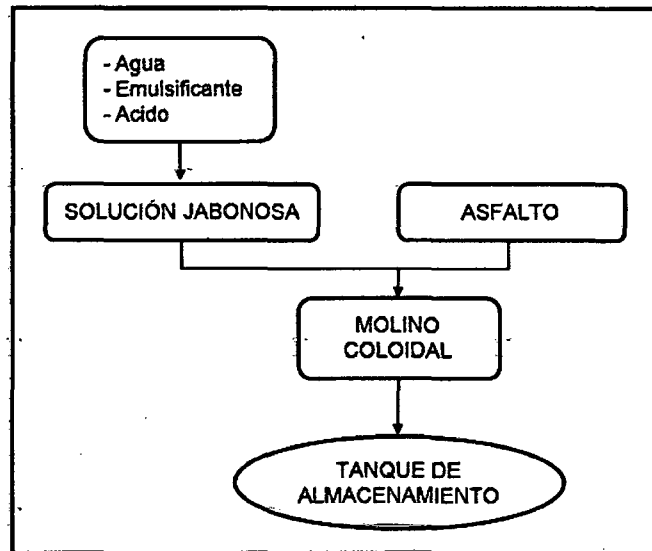


Figura 1.5: Proceso general de producción de emulsiones asfálticas.

El tamaño de las partículas de asfalto (Véase Cuadro 1.7), es un factor vital en la elaboración de una emulsión estable. Estas partículas se dispersan en el agua en presencia del emulsificante; esto produce un cambio en la tensión superficial en el área de contacto entre las gotitas de asfalto y el agua, de tal manera que el asfalto permanece en suspensión. Debido a que las partículas de asfalto tienen la misma carga eléctrica, se repelen entre sí y esto ayuda a mantenerlas suspendidas.

Cuadro 1.7: Tamaño promedio de partículas de asfalto en la 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 (MS - 19).

### 1.2.4 Agua

Es el insumo que controla la consistencia de la mezcla, en peso compone del 4 al 12% del agregado seco.

El agua cumple la función de humedecer previamente al agregado para funcionar como lubricante ante la emulsión, y pueda reducir la tensión superficial de las partículas del agregado facilitando el recubrimiento de la emulsión asfáltica.

Las empresas dedicadas a la fabricación de emulsiones asfálticas recomiendan realizar los ensayos de dureza total y la determinación del potencial de hidrogeno (pH), ya que tienen relación con la rotura prematura de la emulsión al realizar el mezclado, disminuyendo su trabajabilidad.

El agua debe ser potable para el diseño de un mortero asfáltico, libre de sales solubles, suciedad y sedimentos. Debe cumplir las especificaciones del control de calidad NTP 339.073, como se muestra en el Cuadro 1.8.

Generalmente la mayoría de los abastecedores locales de agua, suministran un producto adecuado para su uso en el diseño del mortero.

Cuadro 1.8: Especificaciones para el agua de diseño.

ENSAYO	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN	
		Min.	Max.
pH	ASTM D 1293	6.5	8
Dureza, ppm	ASTM D 1126	-	500

**Fuente:** NTP 339.073.

### 1.2.5 Aditivos

Generalmente se usa como aditivo, el emulsificante utilizado en la elaboración de la emulsión asfáltica, con la finalidad de evitar incompatibilidad con otros componentes de la mezcla. La cantidad de aditivo varía de 0 - 2 % del volumen de la emulsión.



Los aditivos pueden ser usados para acelerar o retardar el tiempo de rotura del slurry seal, según sean las condiciones climáticas existentes en su colocación. Se utiliza cuando la emulsión no cumple con el ensayo de tiempo de mezcla.

La práctica común es mantener baja la cantidad de aditivos, para reducir el tiempo de apertura al tráfico.

Variables que influyen en la dosificación del aditivo:

- Naturaleza del agregado.
- Temperatura del ambiente.
- Contenido de finos e influencia del cemento.

### 1.3. MÉTODO DE DISEÑO DEL SLURRY SEAL SEGÚN LA ISSA.

La ISSA (International Slurry Surfacing Association) es una asociación internacional sin fines de lucro formada por los contratistas, fabricantes de equipos, funcionarios públicos, investigadores, ingenieros consultores y otros profesionales de la industria, que trabajan en conjunto para promover métodos de conservación de pavimento como el slurry seal.

Para el diseño, producción y colocación del slurry seal, la ISSA elaboró una serie de procedimientos y ensayos, los cuales se muestran en el Cuadro 1.9, generalizando todos en la ISSA A – 105. Se debe tener en cuenta que los procedimientos y los ensayos, son solo recomendaciones por parte de la ISSA.

Cuadro 1.9: Especificaciones para el diseño de Slurry Seal.

ENSAYO	ISSA
Diseño, prueba y construcción de Slurry Seal	A 105
Pérdida por abrasión "pista húmeda"	TB 100
Guía para muestreo	TB 101
Consistencia	TB 106
Exceso de asfalto usando Load Wheel Tester	TB 109
Guía para el diseño de mezcla	TB 111
Estimación de tasas de esparcimiento y medición de la macrotextura	TB 112
Mezclas de prueba para establecer tiempos de rotura, curado y apariencia	TB 113
Desnudamiento por humedad	TB 114
Determinación de compatibilidad	TB 115
Cohesión	TB 139

**Fuente:** ISSA - A 105 – 2010.

### **1.3.1 Guía para el diseño de mezcla (ISSA TB - 111)**

Tiene como objetivo proveer una cantidad adecuada de asfalto residual o de emulsión asfáltica que económicamente estabilice el material granular con el fin de obtener un mortero asfáltico resistente a la abrasión en húmedo y a la exudación del asfalto. Esto mediante la superposición gráfica de los ensayos de desempeño.

La ISSA TB – 111 describe consideraciones preliminares y los procedimientos para el diseño del slurry seal, los cuales se detallarán posteriormente. Los mismos que se ha tomado en consideración para el desarrollo de la presente investigación.

#### **1.3.1.1 Consideraciones preliminares para el diseño**

Estas consideraciones son importantes, como paso previo al diseño de la mezcla. Porque, permite seguir una secuencia ordenada en cómo afrontar los problemas superficiales de los pavimentos y poder dar una solución oportuna.

Con la finalidad que el slurry seal, cumpla las funciones para el cual fue diseñado, se deben considerar los siguientes aspectos.

#### **1. Evaluar el pavimento a tratar**

La correcta evaluación del pavimento, permite conocer sus deficiencias y los factores que contribuyen a ello. Para lograr esto, se debe definir los siguientes aspectos en un pavimento:

- Estado superficial: textura, absorción, grietas estructurales, ahuellamientos, contaminación superficial, geometría longitudinal y transversal.
- Condiciones climáticas: clima, temperatura, precipitaciones, sombra y viento.
- Tráfico de la vía, límites de velocidad.

#### **2. Definir el objetivo del tratamiento**

Se debe definir los objetivos del tratamiento, para elegir y desarrollar un tipo adecuado de slurry seal; esto basado en las deficiencias existentes del

pavimento, que se obtiene en la evaluación del pavimento. Tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Función principal: sellado, relleno de grietas, corrección de deslizamiento, etc.
- Textura superficial.
- Número de capas.
- Tiempo de vida.

### **3. Evaluación y selección de materiales**

Consiste en evaluar y seleccionar las canteras de agregados existentes cerca al proyecto; así como también, los proveedores de la emulsión asfáltica, el filler y el agua, para poder iniciar con el diseño. De manera de reducir los costos de producción en el proyecto.

Se debe tomar como referencia los certificados de cada material, los mismos que serán constatados en el diseño, durante la caracterización de los componentes del slurry seal.

#### **1.3.1.2 Procedimiento de diseño**

Los pasos a seguir para realizar el diseño de un slurry seal, se muestran a continuación, detallando brevemente cada uno de ellos.

Estos procedimientos son recomendaciones establecidas por la ISSA. Depende de cada diseñador, tomarlo o no, en cuenta.

#### **1. Caracterización de los componentes**

Para caracterizar los componentes, se debe seguir las especificaciones establecidas para cada componente, como se indica en la sección 1.2. En el Capítulo II, se desarrollará con mayor detalle.

- Agregados.
- Relleno mineral (Filler).
- Emulsión asfáltica.
- Agua.
- Aditivos.

## **2. Contenido teórico de asfalto residual**

Este valor es necesario para iniciar el diseño con mezclas preliminares y evaluar el comportamiento del agregado con la emulsión asfáltica.

Se determina en base al análisis granulométrico del agregado y de su capacidad de absorción. Para esta investigación, se utilizó el Método de Duriez, que se desarrollará con mayor detalle en el Capítulo III, sección 3.1.

- Método de Duriez.

## **3. Contenido óptimo de agua**

La cantidad de agua necesaria en la mezcla se obtiene mediante el ensayo de consistencia en el cono de Kansas, cumpliendo los parámetros establecidos en la ISSA TB - 106. Tiene como finalidad garantizar la trabajabilidad de la mezcla durante su colocación. Se desarrollará con mayor detalle en el Capítulo III, sección 3.2.

- Ensayo de consistencia (ISSA TB - 106).

## **4. Compatibilidad de los componentes en la mezcla**

Estos ensayos permiten observar el comportamiento de los componentes en la mezcla, incidiendo en el agregado, la emulsión y el filler. Deben cumplir los parámetros establecidos para cada ensayo. Se desarrollará con mayor detalle en el Capítulo III, sección 3.3.

- Tiempo de mezcla (ISSA TB - 113).
- Desnudamiento por humedad (ISSA TB - 114).

## **5. Pruebas de desempeño**

Estos ensayos permiten predecir el comportamiento del slurry seal cuando esté puesto en servicio. Se desarrollará con mayor detalle en el Capítulo III, sección 3.4.

- Ensayo de abrasión en húmedo (ISSA TB - 100): simula una superficie saturado con agua, sometido a la abrasión mecánica por el

tránsito de los vehículos. Determina el contenido mínimo de residuo asfáltico.

- Ensayo de rueda cargada (ISSA TB - 109): simula un superficie sometido a cargas pesadas de tránsito. Determina el contenido máximo de residuo asfáltico.

## **6. Contenido óptimo de asfalto residual**

Este valor, indica la cantidad de residuo asfáltico en el diseño definitivo del slurry seal. Con el cual se realizará la producción en la micropavimentadora para su colocación en obra.

Para obtener dicho valor, se necesita superponer las gráficas de los ensayos mencionados anteriormente (abrasión en húmedo y rueda cargada) y establecer el límite máximo y mínimo del residuo asfáltico. El punto medio del límite será la cantidad óptima, variando en +/- 1.5% de su valor, según las condiciones climáticas en obra. Se desarrollará con mayor detalle en el Capítulo IV, sección 4.1.1.

- Determinación gráfica del contenido óptimo de asfalto (ISSA TB - 111).

## **7. Determinación del tiempo de apertura al tráfico**

Esta variable es muy importante en obra, porque indica cuanto tiempo se debe esperar después de colocar el slurry seal, para que transiten los vehículos sobre la vía.

Se determina mediante el ensayo de cohesión. Si bien es cierto que los resultados no son precisos por realizarse a condiciones de laboratorio, permite otorgar cierta referencia para evaluarlo en obra. Se desarrollará con mayor detalle en el Capítulo IV, sección 4.1.2.

- Ensayo de cohesión (ISSA TB - 139).

## **CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SLURRY SEAL**

### **2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS**

Los materiales granulares que se emplean en la elaboración de mezclas asfálticas, tienen gran importancia; ya que forma el esqueleto mineral el cual proporciona las propiedades físicas a la mezcla garantizando el buen desempeño de la misma. Esta importancia, ha originado a que se desarrollen estudios con el objeto de establecer procedimientos y parámetros, para clasificar a los materiales según sus propiedades físicas y químicas. Esto permite a los profesionales adoptar un criterio al momento de utilizar un material en el diseño de las mezclas asfálticas.

#### **2.1.1 Descripción de ensayos a realizar**

A continuación se presenta la lista de ensayos que se deben de realizar, para caracterizar a un determinado agregado y poder evaluar si es útil para el diseño de un slurry seal. Esto según las recomendaciones de la ISSA - A 105 (véase Cuadro 1.2 y 1.3), el cual establece valores a tomar en cuenta para determinar la aceptación del agregado en el diseño.

##### **a) Muestreo de los agregados (MTC E 201 – 2000 / ASTM D 75)**

El objetivo de este ensayo es obtener una muestra representativa del volumen de material pétreo en estudio (roca, grava, gravilla o arena). Esta muestra debe ser capaz de satisfacer los requerimientos de cada ensayo a realizarse. Para el ensayo de desgaste, no deberá ser sometida a aplastamiento o reducción manual del tamaño de las partículas.

El muestreo contempla los siguientes fines:

- Investigación preliminar de las fuentes de suministro de materiales.
- Aceptación o rechazo de las fuentes y control de producción en ellas.
- Inspección de los materiales en la obra y control de operación de los materiales durante el trabajo.

### **b) Análisis granulométrico (MTC E 204 – 2000 / ASTM C 136)**

El objetivo de este ensayo es determinar, cuantitativamente, los tamaños de las partículas de los agregados por medio de tamices normalizados. La gradación deberá estar dentro de los rangos establecidos por la ISSA de acuerdo al tipo de slurry seal deseado, respetando los rangos de tolerancia de cada tamiz.

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 uno de ellos; con el objeto de hallar el porcentaje acumulado que pasa y realizar la curva granulométrica.

Para que se entienda mejor este ensayo, se debe conocer los términos de tamaño máximo y 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 equivalente de arena (MTC E 114 – 2000 / ASTM D 2419)**

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

El ensayo consiste en tomar una muestra representativa y colocarla en probetas graduadas que contienen una solución stock ( $\text{CaCl}_2$ ), dejando 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 solución 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 solución 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 peso unitario y vacíos del agregado (MTC E 203 – 2000 / ASTM C 29)**

El objetivo de este ensayo es obtener el peso unitario suelto y compactado de los agregados, 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.

Peso unitario es la terminología tradicional usada para describir la propiedad determinada por este método de ensayo, el cual es peso por unidad de volumen (más correctamente masa por unidad de volumen o densidad).

**e) Ensayo de peso específico 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 del agregado y así poder hallar el contenido de vacíos en las mezclas asfálticas.

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, peso de la muestra saturada; para 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.

Para un mejor entendimiento se debe conocer los siguientes 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 de agua.

- El peso específico seco bulk (base seca), es la proporción entre el peso de un 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 un volumen saturado superficialmente seco y el peso de un volumen igual de agua, incluyendo los vacíos accesibles de agua.

**f) Ensayo de abrasión de los Ángeles (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 resistir la producción, colocación, compactación y sobre todo los esfuerzos ejercidos durante la vida de servicio.

El ensayo consiste en tomar una muestra de agregado 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.

**g) Ensayo de durabilidad a sulfatos (MTC E 209 – 2000 / ASTM C 88)**

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

El ensayo consiste, en exponer 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 debe de realizar cinco ciclos de durabilidad para este ensayo.

**h) Ensayo de azul de metileno (ISSA TB – 145)**

El objetivo de este ensayo es determinar, a través, de los valores de reactividad de los materiales finos pasantes del tamiz N°200, las características del emulsificante químico a utilizar en el diseño de la emulsión

asfáltica. La prueba consiste en añadir cantidades controladas de azul de metileno (0.5 ml.) al material fino, hasta que este ya no absorba más.

El valor de azul de metileno, también se puede emplear para estimar la cantidad de arcillas dañinas y la cantidad de materia orgánica presente en un agregado. Un valor significativo (13 – 19 mgr/gr) indicará una gran cantidad de estos materiales presentes en la muestra, que puede originar problemas en el uso del agregado.

### **2.1.2 Resultados de la cantera Arunta**

El agregado utilizado para el desarrollo de esta investigación, es una arena gruesa extraído de la cantera Arunta que se encuentra ubicada en el centro poblado Nueva Tacna, en la zona sur – este de la provincia de Tacna.

Este material fue proporcionado por la empresa CONCAR, con la finalidad de realizar tres diseños de slurry seal tipo II (diseños con diferentes contenidos de filler), para su posterior aplicación en el Proyecto de Conservación Vial Tacna que tiene en concesión.

#### **a) Muestreo de los agregados (MTC E 201 – 2000 / ASTM D 75)**

El muestreo del agregado se realizó cumpliendo la norma establecida. Tomando la cantidad necesaria, que permitió el desarrollo de los ensayos en el laboratorio para su caracterización respectiva.

#### **b) Análisis granulométrico (MTC E 204 – 2000 / ASTM C 136)**

Según el Cuadro 2.1 y el Gráfico 2.1. Se observa que el agregado de la cantera Arunta tiene un tamaño máximo de 3/8" y un máximo tamaño nominal de 2.36 mm; con el valor del tamaño máximo del agregado se puede estimar el espesor del slurry seal (1.15 TM = 1.1 cm aprox.).

Por otra parte, la distribución granulométrica de las partículas del agregado cumple con el huso granulométrico establecido por la ISSA, para el diseño de un slurry seal tipo II; con respecto a la cantidad de finos, se observa que está casi al límite con un 4.8%, el cual motivó a utilizar una cantidad de filler igual a 1% en la dosificación de las mezclas preliminares para mejorar la carencia de finos en el agregado.

Cuadro 2.1: Granulometría cantera Arunta.

Tamiz pulg.	mm.	Peso (g) Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% que Pasa	Esp. Tipo II
3/8"	9.500	0.0	0.00	0.00	100.0	100 - 100
N°04	4.750	118.80	7.40	7.40	92.60	90 - 100
N°08	2.360	247.14	15.40	22.80	77.20	65 - 90
N°16	1.180	187.14	11.66	34.46	65.54	45 - 70
N°30	0.600	267.55	16.67	51.13	48.87	30 - 50
N°50	0.300	334.32	20.83	71.96	28.04	18 - 30
N°100	0.150	217.32	13.54	85.50	14.50	10 - 21
N°200	0.075	155.69	9.70	95.20	4.80	5 - 15
< N°200	fondo	77.04	4.80	100.0	0.00	

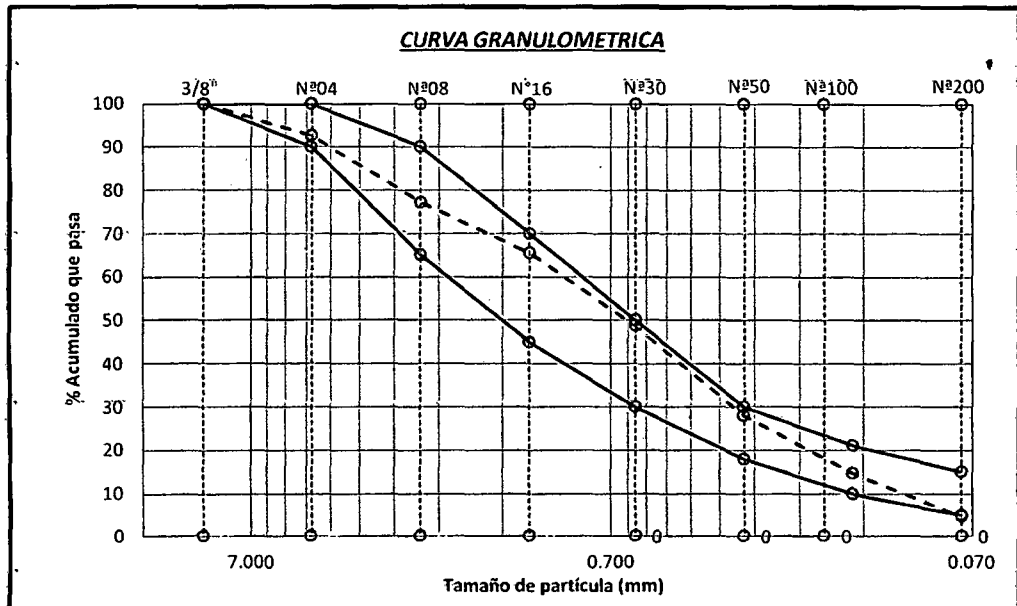


Gráfico 2.1: Curva granulométrica.

**c) Ensayo de equivalente de arena (MTC E 114 – 2000 / ASTM D 2419)**

En el Cuadro 2.2, se muestra tres resultados de equivalente de arena que se realizó al agregado, obteniéndose como resultado final el promedio de los tres. Este resultado, es un valor muy superior al mínimo especificado por la ISSA (45 %), indicando que el agregado es un material limpio y puede ser utilizado en el diseño del mortero asfáltico; por otro lado, al tener una menor

superficie específica, permitirá el ahorro de agua y de emulsión asfáltica en la mezcla.

Cuadro 2.2: Equivalente de arena cantera Arunta.

LECTURAS	M - 1	M - 2	M - 3	Prom..
A	150	149	155	
B	110	109	111	72.70%
% EA= (B/A)* 100	73.3	73.2	71.6	

**d) Ensayo de peso unitario y vacíos del agregado (MTC E 203 – 2000 / ASTM C 29)**

En el Cuadro 2.3, se muestra dos resultados de peso unitario que se realizó al agregado, obteniéndose como resultado final el promedio de los dos. Con este valor se puede cuantificar el volumen de material a utilizar en un proyecto. Mientras menor sea el peso unitario suelto de un agregado, se necesitará un mayor volumen de material que se traducirá en un incremento del costo de transporte.

También se muestra los valores del porcentaje de vacíos. Los mismos que se reducirán al máximo, durante el desarrollo de la mezcla con los componentes del slurry seal, con la finalidad de obtener un producto impermeable.

Cuadro 2.3: Peso unitario y vacíos cantera Arunta.

ENSAYO	M - 1	M - 2	Prom.
<b>Peso unitario suelto húmedo (kg/m3)</b>	1667	1667	1667
<b>Contenido de humedad (%)</b>	1.93	1.93	1.93
<b>Peso unitario suelto seco (kg/m3)</b>	1622	1622	1622
<b>Porcentaje de vacíos (%)</b>	39.93	39.93	39.93
<b>Peso unitario compactado húmedo (kg/m3)</b>	1977	1976	1977
<b>Contenido de humedad (%)</b>	1.93	1.93	1.93
<b>Peso unitario compactado seco (kg/m3)</b>	1939	1939	1939
<b>Porcentaje de vacíos (%)</b>	28.19	28.19	28.19

**e) Ensayo de peso específico y absorción de agregados finos (MTC E 205 – 2000 / ASTM C 128)**

En el Cuadro 2.4, se muestra dos resultados de peso específico que se realizó al agregado, obteniéndose como resultado final el promedio de los dos. Este valor junto con el peso unitario, permite el cálculo del porcentaje de vacíos del agregado.

Con respecto al resultado del porcentaje de absorción del agregado, indica que es un material muy absorbente, el cual implica que se utilizará una mayor cantidad de agua y de emulsión asfáltica en la mezcla.

Cuadro 2.4: Peso específico y absorción cantera Arunta.

ENSAYO	M - 1	M - 2	Prom.
Peso específico de masa (gr/cm <sup>3</sup> )	2.704	2.712	2.708
Peso específico de la masa saturada sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.803	2.803	2.809
Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	3.000	3.025	3.013
Porcentaje de absorción (%)	3.25	3.82	3.73

**f) Ensayo de abrasión de los Ángeles (MTC E 207 - 2000 / ASTM C 131)**

En el Cuadro 2.5, se muestra el resultado del ensayo de abrasión que se realizó al agregado. Este valor indica que el material es resistente al desgaste, el cual garantizará la vida útil del slurry seal.

Cuadro 2.5: Abrasión de los Ángeles cantera Arunta.

ENSAYO	Resultado
Abrasión (%)	20 %

**g) Ensayo de durabilidad a sulfatos (MTC E 209 – 2000 / ASTM C 88)**

En el Cuadro 2.6, se muestra el resultado del ensayo de durabilidad que se realizó al agregado. Este valor indica que el material es resistente a los cambios de temperatura (intemperismo) que se producen en el desarrollo de la vida útil del slurry seal.

Cuadro 2.6: Durabilidad al sulfato de magnesio cantera Arunta.

ENSAYO	Resultado
Durabilidad (%)	3.94 %

**h) Ensayo de azul de metileno (ISSA TB – 145)**

En el Cuadro 2.7, se muestra el valor de reactividad del agregado obtenido por el ensayo de azul de metileno. El cual indica que el material es relativamente reactivo; pero aceptable. Esto facilita a elegir un adecuado emulsificante en la elaboración de la emulsión asfáltica, con la finalidad que la emulsión no rompa rápidamente al contacto con el agregado.

Cuadro 2.7: Azul de metileno cantera Arunta.

MUESTRA	Azul de Metileno Cada	Reactividad Número
Agregado fino – pasa 200	0.5 ml	9.5

**2.1.3 Resumen comparativo de los ensayos**

En el Cuadro 2.8, se muestra el resumen de los resultados obtenidos en el laboratorio para el agregado de la cantera Arunta, comparados con los requerimientos establecidos por la ISSA A - 105.

Según los resultados, el agregado cumple con las especificaciones establecidas. Por lo tanto, el agregado puede ser utilizado en el diseño del slurry seal, considerando su valor de reactividad.

Cuadro 2.8: Resumen de los resultados cantera Arunta.

ENSAYO	CANTERA ARUNTA	ESPECIFICACIÓN ISSA A 105	CONDICIÓN
Granulometría	Tipo II	Tipo II	Cumple
Equivalente de arena (%)	72.70	45% Mínimo	Cumple
Abrasión de los Ángeles (%)	20	35% Máximo	Cumple
Durabilidad (Sulfato de Magnesio) (%)	3.94	25% Máximo	Cumple
Azul de metileno	9.5	-	Aceptable

## **2.2 CARACTERIZACIÓN DEL RELLENO MINERAL (FILLER)**

La importancia de un relleno mineral, radica principalmente en su granulometría fina. Esto permite llenar los vacíos existentes en una mezcla asfáltica, con la finalidad de hacerlo más consistente e impermeable.

La ISSA toma como referencia los métodos establecidos por la ASTM y AASHTO (véase Cuadro 1.4), para caracterizar al relleno mineral. Los mismos que en el Perú, se encuentran normadas en el Manual de Ensayo de Materiales (EM 2000).

### **2.2.1 Descripción de ensayos a realizar**

Los ensayos de peso específico y granulometría, son fundamentales para describir las principales propiedades del relleno mineral y poder caracterizarlo. A continuación se detallará de manera concisa cada uno de ellos.

#### **a) Ensayo de peso específico 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 (filler) y así poder hallar el contenido de vacíos en las mezclas asfálticas.

El procedimiento es similar al realizado para los agregados, solo que 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 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 pasar el material mediante el lavado con agua potable, hasta que el agua salga clara. Finalmente se debe secar el residuo de cada tamiz y determinar el peso retenido, así como el porcentaje de material pasante de cada tamiz.



### 2.2.2 Resultados del cemento Portland tipo I

Generalmente para el diseño de slurry seal, se utiliza como filler el cemento Portland tipo I, por las propiedades de resistencia que brinda a la mezcla y por su bajo costo en comparación a otros fillers comerciales (como la cal hidratada). Las propiedades del filler que aporta al slurry seal serán evaluadas en el Capítulo IV, en los ensayos de abrasión en húmedo, de rueda cargada y de cohesión.

En el Cuadro 2.9 y 2.10, se muestran los resultados de los ensayos de caracterización que se realizó al cemento Portland tipo I. En el cual se observa el peso específico y la finesa (99.5% que pasa la malla 200) del material a utilizarse en el diseño del slurry seal.

Cuadro 2.9: Peso específico cemento Portland tipo I.

ENSAYO	Resultado
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	3.15

Cuadro 2.10: Granulometría cemento Portland tipo I.

MALLA	% RETENIDO	% QUE PASA
N° 30	-	100
N° 50	-	100
N° 200	0.5	99.5
< N° 200	99.5	-

## 2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA

Las emulsiones asfálticas comenzaron a utilizarse para la construcción y mantenimiento de carreteras a principio de este siglo. Al inicio, su crecimiento fue lento debido a la falta de conocimientos sobre su aplicación; sin embargo, actualmente su uso comprende una gran variedad de aplicaciones como: tratamientos superficiales, mantenimiento de carreteras (bacheo), carpetas asfálticas nuevas, entre otros. Los buenos resultados en su aplicación, depende en seleccionar una emulsión adecuada para cada agregado y del equipo de aplicación apropiado.

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.

### 2.3.1 Descripción de ensayos a realizar

La ISSA toma como referencia los métodos establecidos por la ASTM y AASHTO (véase Cuadro 1.5 y 1.6), para caracterizar a la emulsión asfáltica modificada con polímeros. Los mismos que en el Perú, se encuentran normadas en el Manual de Ensayo de Materiales (EM 2000). Las principales propiedades de las emulsiones 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 obtener el asfalto 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 y agua.

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

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

El ensayo consiste 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 del ensayo es determinar la tendencia de los glóbulos de asfalto a sedimentar a lo largo de un periodo de tiempo (tiempo de almacenamiento).

El ensayo consiste en verter en una probeta una muestra de emulsión y dejar reposar durante 5 días, al final de este tiempo se toma 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 del ensayo es determinar la cantidad de producto asfáltico mal emulsionado que hay en la emulsión.

El ensayo consiste en verter la emulsión a través de un tamiz de 850 mm. (N° 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 demulsibilidad de las emulsiones asfálticas (MTC E 406 – 2000)**

El objetivo del ensayo es determinar la cantidad de material bituminoso que se separa de la emulsión, para 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 diotilsulfosuccinato de sodio (para emulsión catiónica), para verter a través del tamiz N°14 y después lavar con agua hasta que salga limpia. Luego se coloca en un horno para poder eliminar la cantidad de agua aun 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 del 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 (30 minutos), que electrodo muestra la capa de asfalto.

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

El objetivo del 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 finalizado 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 mezclar con la emulsión asfáltica; la mitad de la mezcla se coloca sobre un papel absorbente para analizar visualmente el cubrimiento y el resto de la mezcla es lavada con agua hasta que salga clara, para colocar sobre un papel absorbente y examinar 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 (MTC E 410 – 2000)**

El objetivo del ensayo es determinar el porcentaje de emulsión que rompe cuando se mezcla con cemento, es así como se determina la 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 y después lavar la mezcla sobre el tamiz

N° 14. El porcentaje retenida 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 del ensayo es determinar los constituyentes cementantes activos en el residuo asfáltico y los contaminantes orgánicos.

El ensayo consiste disolver el residuo 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 del 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 capsula, 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 5 segundos y se mide la penetración.

**k) Ensayo de ductilidad de materiales asfálticos (MTC E 306 – 2000)**

El objetivo del ensayo es determinar la ductilidad de los materiales asfálticos, de consistencia sólida o 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 muestra se rompa. La distancia a la cual se rompe la muestra se le llama ductilidad.

**l) Ensayo de punto de ablandamiento de materiales asfálticos (MTC E 307 – 2000).**

El objetivo del ensayo es determinar el punto de ablandamiento, para tener un valor 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 ellas dos bolas de acero. Cuando los discos se ablanden lo suficiente, dejarán caer las bolas de acero cubiertas con el material bituminoso. 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 del ensayo es determinar el grado de elasticidad que presentan los residuos de asfalto modificado.

El ensayo consiste en extraer en un cilindro de dimensiones específicas, el residuo asfáltico y se deja enfriar. Luego es torsionado un ángulo de 180 °C. y después de un tiempo determinado, se determina el ángulo recuperado, hallando el porcentaje de recuperación.

**2.3.2 Resultados de la emulsión asfáltica modificada con polímeros (CSS - 1hp)**

A continuación se muestran los Cuadros 2.11 y 2.12, donde se observa los principales ensayos que se realizaron a la emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta modificada con polímeros (CSS – 1hp) y los principales ensayos que se realizaron a su residuo asfáltico, respectivamente. También se muestran las especificaciones de cada ensayo establecidas por la ASTM D 2397 y la AASHTO T 316, para que la emulsión asfáltica modificada con polímero y su residuo asfáltico, sean caracterizados correctamente.

Según los resultados de los ensayos, la emulsión en estudio cumple con toda las especificaciones establecidas. Con esto se determina que la emulsión asfáltica de rotura lenta modificada con polímeros, puede ser utilizado en el diseño del slurry seal.

La emulsión utilizada en el diseño y los resultados de su caracterización, fueron brindados por la empresa CONCAR. Esta empresa produce emulsiones asfálticas para uso propio.

Cuadro 2.11: Ensayos sobre la emulsión asfáltica modificada con polímeros.

ENSAYO	METODO	UNID.	RESULTADO	ESPECIF.
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C	ASTM D 88	ssf.	24	20 – 100
Contenido de agua	ASTM D 95	%	38	Máx. 40
Sedimentación a los 7 días	ASTM D 244	%	2.3	Máx. 5
Contenido de asfalto residual	ASTM D 244	%	61.4	Mín. 60
Prueba del tamiz N° 20	ASTM D 244	%	0.07	Máx. 0.1
Carga de partícula	ASTM D 244	(+/-)	+	+

Cuadro 2.12: Ensayos sobre el residuo asfáltico.

ENSAYO	METODO	UNID.	RESULTADO	ESPECIF.
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 seg.	ASTM D 5	dmm.	58	50 – 90
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min.	ASTM D 113	cm.	> 100	Mín. 10
Punto de ablandamiento	ASTM D 36	°C	55.5	Mín. 55

## 2.4 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

La ISSA A – 105, establece que el agua debe ser potable y libre de sales solubles nocivas o de productos químicos reactivos y cualquier otro contaminante.

La importancia del agua, radica principalmente en la trabajabilidad que aporta a la mezcla. Dependiendo del clima presente en obra, se puede variar su cantidad en la mezcla; cantidades menores de agua en climas fríos (10 – 20°C) y mayores cantidades durante climas más calurosos (30 – 40°C). Es por ello, que es importante que el agua cumpla las especificaciones establecidas en las normas.

La ISSA toma como referencia los métodos establecidos por la ASTM y AASHTO (véase Cuadro 1.7), para caracterizar al relleno mineral. Los mismos que en el Perú, se encuentran normadas en la NTP 339.073.

### 2.4.1 Descripción de ensayos a realizar

Los ensayos de potencial de hidrogeno (pH) y dureza, son fundamentales para caracterizar al agua de diseño y poder determinar su aceptación en el diseño. A continuación se detallará de manera concisa cada uno de ellos.

#### a) Ensayo de potencial de hidrogeno (ASTM D 1293)

Es una medida de la acidez y alcalinidad de una solución. Su valor va de 0 a 14, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 y alcalinas las que tienen pH mayores a 7, mientras el pH igual a 7 indica la neutralidad de la disolución.

Se sabe que una emulsión catiónica es una disolución ácida, y si se dispone para la mezcla una agua muy alcalina o básica, podría haber problemas produciendo una rotura acelerada de la emulsión.

#### b) Ensayo de dureza (ASTM D 1126)

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.

#### 2.4.2 Resultados del agua de diseño

El agua utilizada para el diseño, fue proporcionado por un proveedor local de agua potable, que brinda sus servicios a la planta de emulsión asfáltica de la empresa CONCAR, ubicada en la provincia Nasca departamento de Ica.

En el Cuadro 2.13, se muestran los resultados de los ensayos que se realizó al agua para su caracterización respectiva. En el cual se observa que los valores cumple con las especificaciones establecidas.

Cuadro 2.13: Ensayos sobre el agua de diseño.

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADOS DEL ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN	
			Min.	Max.
pH	ASTM D 1293	7.39	6.5	8
Dureza, ppm	ASTM D 1126	27	-	500

### CAPÍTULO III: DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL SLURRY SEAL

#### 3.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TEÓRICO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

##### 3.1.1 Método de cálculo Duriez

El método Duriez realiza un cálculo del área superficial de los áridos, basado en su granulometría, y determina el porcentaje teórico de residuo asfáltico utilizando el Gráfico 3.1; el cual ha sido elaborado utilizando una constante denominada "Módulo de Riqueza".

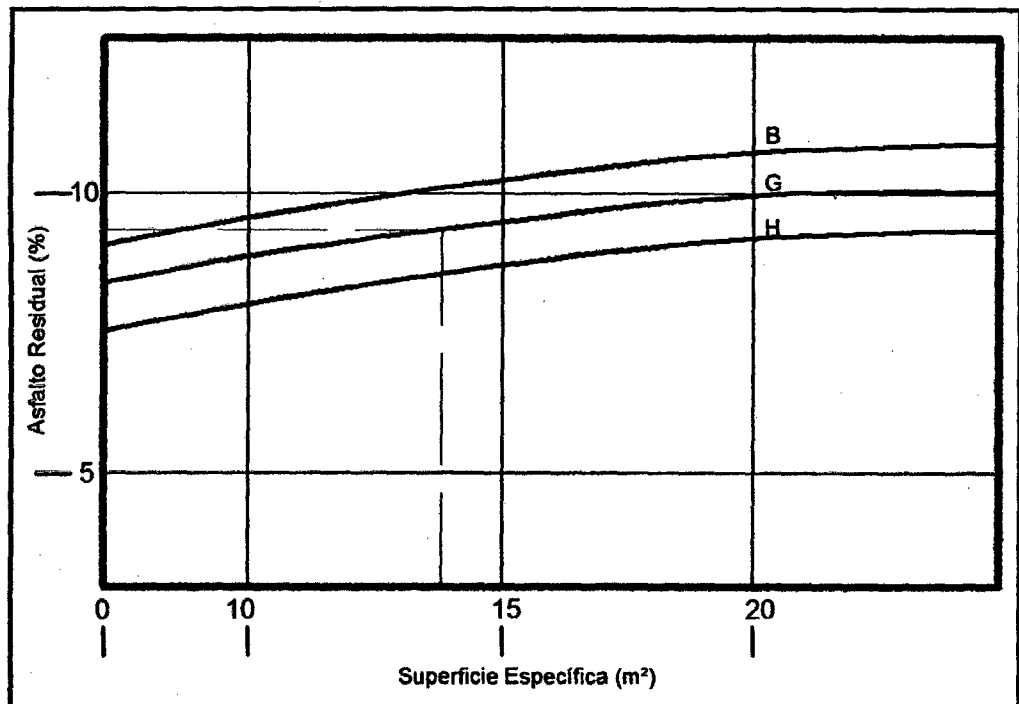


Gráfico 3.1: Curva para determinar el porcentaje teórico de asfalto residual.

**Fuente:** Estudio comparativo del slurry seal utilizando agregados de tipo calcáreo y silíceo, como tratamientos para el mantenimiento y rehabilitación de superficies asfálticas - 2005.

Donde:

B: Materiales con bajo EA y absorción alta.

G: Materiales con propiedades promedio.

H: Materiales con alto EA y absorción baja.

Para determinar la superficie específica de los agregados, Duriez calcula la contribución de cada fracción de agregado por medio de la siguiente ecuación aproximada:

$$SE = \frac{\sum FSE \times \% \text{ retenido}}{100}$$

$$FSE = \frac{2.5}{\sqrt{D \cdot d}}$$

Donde:

FSE: Factor de superficie específica.

D: Diámetro de tamiz superior en mm.

d: Diámetro de tamiz inferior en mm.

Obteniendo como ecuación final, la siguiente expresión:

$$SE = \frac{0.372 \times G + 2.0943 \times g + 16.6667 \times K + 117.8 \times F}{100}$$

Donde:

SE: Superficie Específica.

G: % retenido entre 3/8" y N°4.

g: % retenido entre N°4 y N°50.

K: % retenido entre N°50 y N°200.

F: % pasa del N°200.

Con el valor de la superficie específica de un determinado agregado, se ingresa en el Gráfico 3.1, el cual posee tres curvas, donde sus valores dependen del tipo de material y las propiedades de estas previamente determinadas. Generalmente el criterio que influye el tomar la curva H, es que hay una tendencia en muchos diseñadores en utilizar el mínimo de ligante asfáltico posible, para así desarrollar un mortero con bajo contenido de asfalto.

Para obtener el % teórico de emulsión asfáltica, se realiza el siguiente cálculo:

$$\% \text{ Teórico Emulsión} = \frac{\% \text{ Residuo Teórico} \times 100}{\% \text{ Residuo por Evap.}}$$

% Residuo Teórico: se obtiene por la curva descrita anteriormente.

% Residuo por Evap.: se obtiene en el ensayo residuo por evaporación.

### 3.1.2 Cálculo del porcentaje teórico de emulsión asfáltica para el agregado de la cantera Arunta

Con la distribución granulométrica de la cantera Arunta, como se muestra en el Cuadro 3.1, obtenida en la caracterización del agregado. Se procederá al cálculo de la superficie específica, haciendo uso del método de Duriez.

Cuadro 3.1: Granulometría de la cantera Arunta.

CANTERA ARUNTA		
TAMIZ	PESO EN CADA TAMIZ	PESO ACUMULADO
3/8"	0.0	0.0
N° 4	118.80	118.80
N° 8	247.14	365.94
N° 16	187.14	553.08
N° 30	267.55	820.63
N° 50	334.32	1154.95
N° 100	217.32	1372.27
N° 200	155.69	1527.96
< N° 200	77.04	1605.00

En el Cuadro 3.2, se muestra el peso y porcentaje retenido de cada fracción de agregado, según la formulación planteada por Duriez para el cálculo de la superficie específica.

Cuadro 3.2: Porcentaje de agregado retenido de acuerdo al tamiz.

VALORES	gr.	%
G (3/8" - N°4)	118.8	7.40
g (N°4 - N°50)	1036.15	64.56
K (N°50 - N°200)	373.01	23.24
F (< N°200)	77.04	4.80

$$SE = \frac{0.372 \times G + 2.0943 \times g + 16.6667 \times K + 117.8 \times F}{100}$$

$$SE = \frac{0.372 \times 7.40 + 2.0943 \times 64.56 + 16.6667 \times 23.24 + 117.8 \times 4.80}{100}$$

$$SE = 10.91\%$$

Con este valor (10.66%) se ingresa al Gráfico 3.1 para obtener el porcentaje teórico de asfalto residual, como se observa en el Gráfico 3.2. Se intercepta con la curva G, para obtener una cantidad promedio de asfalto en el diseño preliminar.

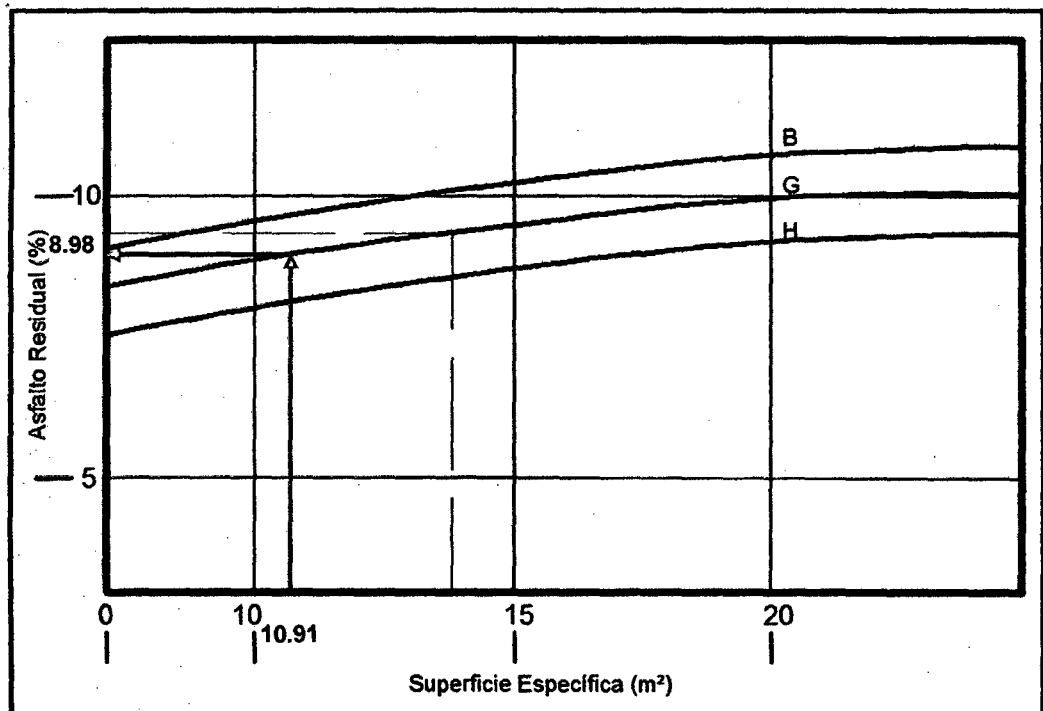


Gráfico 3.2: Contenido teórico de Asfalto Residual.

$$\% \text{ Teórico de asfalto residual} = 8.98\%$$

Entonces la cantidad teórica de emulsión asfáltica para la elaboración de las mezclas preliminares, es la siguiente.

$$\% \text{ Teórico Emulsión} = \frac{\% \text{ Residuo Teórico} \times 100}{\% \text{ Residuo por Evap.}}$$

$$\% \text{ Residuo por Evap.} = 61.40\%$$

$$\% \text{ Teórico Emulsión} = \frac{8.98\%}{61.40\%} \times 100$$

$$\% \text{ Teórico Emulsión} = 14.63\%$$

Con la finalidad de evitar problemas al momento de cuantificar los componentes de la mezcla durante el diseño, se tomó el valor redondeado de 15%.

$$\% \text{ Teórico de Emulsión Asfáltica} = 15\%$$

### 3.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE AGUA

Para determinar la cantidad óptima de agua que permita obtener una consistencia adecuada de la mezcla, existen varios métodos, entre los cuales están: la prueba de redireccionamiento de flujo, prueba del plano inclinado, ensayo del palillo, etc. Sin embargo, el Departamento de Transporte de Kansas, desarrolló un método de prueba llamado "El Cono de Prueba". Este método es reconocido internacionalmente como estándar en la industria de los morteros asfálticos, que se detallará a continuación.

#### 3.2.1 Ensayo de consistencia (ISSA TB - 106)

El ensayo de consistencia, se utiliza para determinar la cantidad de agua necesaria para formar una mezcla estable y trabajable. En este ensayo se emplea el cono de Kansas, que se describe en la norma ASTM C - 128 o la AASHTO T - 84, y una escala básica de flujo.

#### Procedimiento del ensayo:

- La muestra es la mezcla de 400 gramos de agregado, mezclados a temperatura ambiente, con el contenido teórico u óptimo de emulsión y con porcentaje variado de agua.
- Se realiza las mezclas necesarias, cada muestra debe ser mezclada durante 30 segundos.
- Se centra el cono en la escala de flujo y una vez mezclado bien durante los 30 segundos, se llena, sin apretar; sacuda e inmediatamente retire el cono con un movimiento suave y vertical.

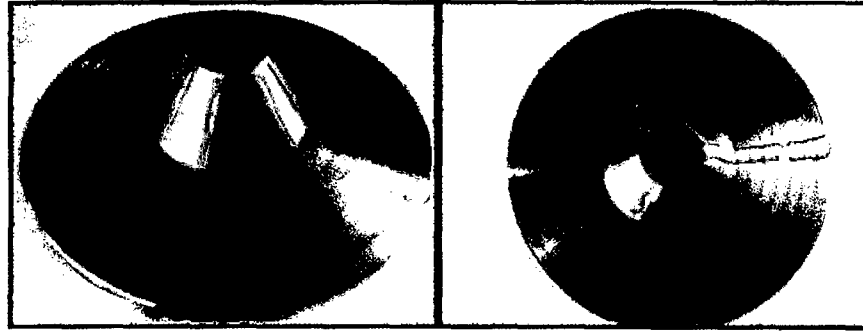


Figura 3.1: Mezcla colocado en el cono de Kansas.

- La salida de la mezcla se mide en 4 puntos de separación de 90°. Registre el promedio de las 4 lecturas en cm. y la cantidad de agua agregada en la mezcla.
- Se considera óptimo un flujo radial de 2.5 cm. con límites de 2.0 cm a 3.0 cm. de acuerdo a ISSA TB - 106.

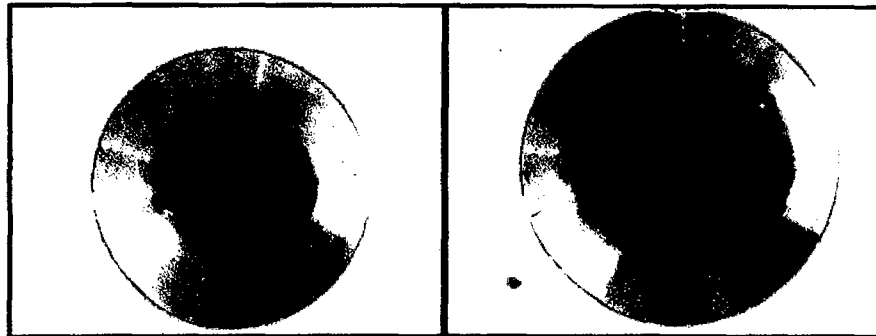


Figura 3.2: Mezclas ensayadas según ISSA TB - 106.

### 3.2.2 Cálculo del porcentaje óptimo de agua para el agregado de la cantera Arunta.

Se tomó el valor del porcentaje teórico de emulsión asfáltica calculado anteriormente, para elaborar las mezclas preliminares. Además se añadió el 1% de cemento Portland (filler) en la dosificación, generalmente esa es la cantidad que se añade a los morteros asfálticos, teniendo en cuenta la cantidad de finos en el agregado.

Con la dosificación planteada se elaboraron tres mezclas, variando el porcentaje de agua, como se muestra en el Cuadro 3.3. Con la finalidad de observar la consistencia de cada dosificación.

Cuadro 3.3: Dosificación de mezclas.

<b>CANTERA ARUNTA, T = 30°C</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>PORCENTAJE</b>	<b>CANTIDAD (gr.)</b>		
<b>Emulsión</b>	15%	60	60	60
<b>Agregado</b>	100%	400	400	400
<b>Filler</b>	1%	4	4	4
<b>Agua</b>	Variable	32	40	48
		8%	10%	12%

En el Cuadro 3.4, se muestra las lecturas obtenidas en el ensayo de consistencia para diferentes dosificaciones. Siendo el valor de 2.7 cm. el cual se acerca más al óptimo (2.5 cm.).

Cuadro 3.4: Lecturas según ISSA TB - 106.

<b>CONTENIDO DE AGUA (%)</b>	<b>LECTURA (cm.)</b>
<b>8</b>	<b>2.0</b>
<b>10</b>	<b>2.7</b>
<b>12</b>	<b>3.5</b>

Tomando como referencia los resultados obtenidos, se adoptó el valor de 10%, como cantidad de agua en el diseño. Esta cantidad se utilizó en la elaboración de las mezclas de diseño preliminar y en el diseño final.

$$\% \text{ de Agua} = 10\%$$

### **3.3 COMPATIBILIDAD DE LOS COMPONENTES EN EL DISEÑO PRELIMINAR**

Con las cantidades de emulsión asfáltica y agua calculada anteriormente para el agregado de la cantera Arunta. Se elaboraron mezclas, añadiendo cemento Portland considerando la granulometría del agregado (en general 1% del peso seco del agregado). Para someterlo a pruebas y observar la compatibilidad entre los componentes del slurry seal.



### 3.3.1 Ensayos para determinar la compatibilidad de los componentes

Para entender su importancia, se describirá de manera concisa cada una de ellas. Estas pruebas son las siguientes:

#### a) Tiempo de mezcla (ISSA TB - 113)

Esta prueba es el primer paso en el diseño de mezclas de slurry seal, se elaboran pequeñas mezclas de 100 a 200 gr. en taras que se tengan disponibles, la mezcla en la tara también es útil para entrenar a los operadores de la máquina en familiarizarse con la apariencia visual y las propiedades mecánicas de la mezcla (cohesión).

En la Figura 3.3 y 3.4, se muestra el procedimiento del ensayo. El mezclado debe realizarse exponiendo la muestra al sol, para simular condiciones de obra.



Figura 3.3: Preparación de mezclas.



Figura 3.4: Tiempo de mezclado.

El resultado del ensayo deberá cumplir con la exigencia de la norma ISSA TB - 113 según se muestra en el cuadro 3.5:

Cuadro 3.5: ISSA TB - 113.

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN
Tiempo de mezcla	Mínimo 180 seg.

Fuente: ISSA - A 105 – 2010.

El resultado se expresa en segundos (seg.), al ser un ensayo por observación no hay cálculos que realizar.

#### **b) Desnudamiento por humedad (ISSA TB - 114)**

El propósito de esta prueba es ayudar a los diseñadores en la selección de un sistema de slurry seal compatible con un agregado específico. La formulación de la emulsión, el filler y los aditivos pueden ser evaluados rápidamente en su habilidad de mantener el cubrimiento del árido bajo la condición de la prueba.

Consiste en tomar una muestra curada de 10 gr. de una mezcla representativa, esta puede ser obtenida del ensayo de consistencia ISSA TB - 106 o de ISSA TB - 113, esta se coloca en un vaso de 600 ml con 400 ml de agua destilada que se coloca sobre una hornilla caliente y se deja hervir durante 3 minutos, después se deja enfriar se escurre el agua y se retira la muestra y se deja caer agua hasta que salga agua clara, finalmente la muestra se coloca en un papel absorbente y se estima el área de agregado cubierto con asfalto haciendo un reporte del porcentaje de área cubierta en relación con la superficie del agregado:

- 90 % de cubrimiento retenido es satisfactorio.
- 75% a 90% es juzgado marginal.
- Menos de 75% no es satisfactorio (se tendrá que reformular la emulsión asfáltica).

En la Figura 3.5 y 3.6, se muestra el procedimiento del ensayo. La cantidad de asfalto que se impregna en el vaso, da una idea del porcentaje de desprendimiento.

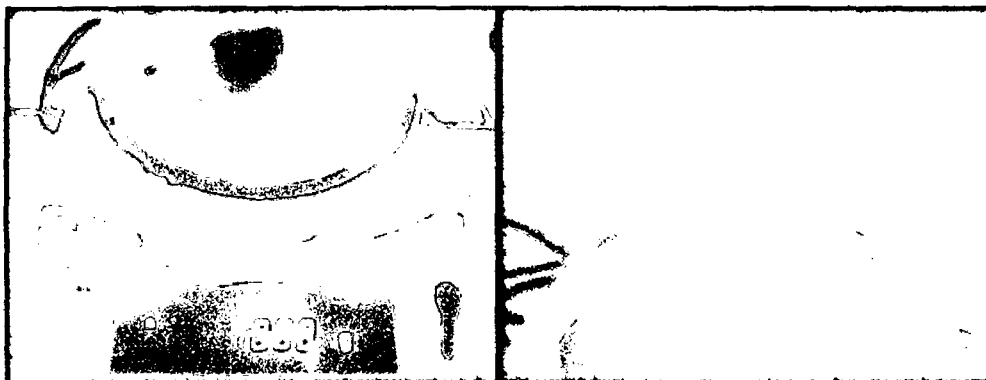


Figura 3.5: Muestra a ensayar.

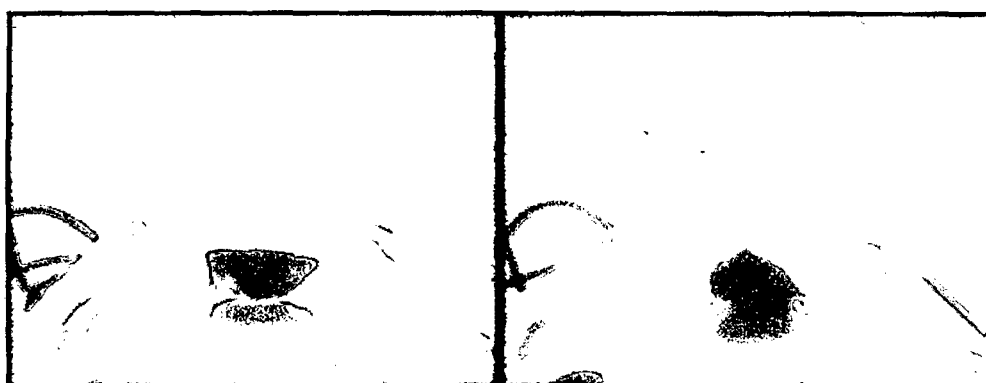


Figura 3.6: Apariencia del vaso antes y después del ensayo.

El resultado del ensayo deberá cumplir con las exigencias de la norma ISSA TB - 114 según se muestra en el cuadro 3.6:

Cuadro 3.6: ISSA TB - 114.

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN
Desnudamiento por humedad	Mínimo 90%

**Fuente:** ISSA - A 105 – 2010.

El resultado se expresa en porcentaje (%), al ser un ensayo por observación no hay cálculos que realizar.

### 3.3.2 Resultados de los ensayos

Para observar la influencia de los polímeros en el diseño, se elaboraron tres emulsiones asfálticas con diferentes cantidades de polímero (E-1: 0.5%, E-2:

1.0% y E-3: 1.3%), para realizar mezclas con cada uno de las emulsiones, según la dosificación mostrada en el Cuadro 3.7.

Cuadro 3.7: Dosificación con diferentes emulsiones.

MATERIAL	M - 1	M - 2	M - 3
Emulsión	E - 1 30 gr. (15%)	-	-
	E - 2 -	30 gr. (15%)	-
	E - 3 -	-	30 gr. (15%)
Agregado	200 gr. (100%)	200 gr. (100%)	200 gr. (100%)
Filler	2 gr. (1%)	2 gr. (1%)	2 gr. (1%)
Agua	20 gr. (10%)	20 gr. (10%)	20 gr. (10%)

a) Tiempo de mezcla (ISSA TB - 113).

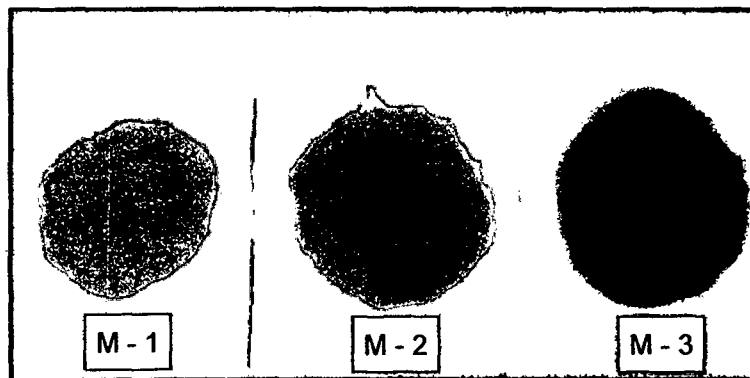


Figura 3.7: Mezclas con diferentes emulsiones.

En el Cuadro 3.8, se muestra el tiempo de mezcla y la adherencia para cada mezcla. Cumpliendo todos con el tiempo mínimo de mezclado (180 seg.). Para determinar el valor de adherencia, se realizó mediante la inspección visual de la Figura 3.5; observando la cantidad de puntos blancos en cada muestra.

Cuadro 3.8: Tiempo de mezclado y adherencia.

MEZCLAS	TIEMPO DE MEZCLADO	ADHERENCIA
M - 1	420 seg.	Baja
M - 2	310 seg.	Regular
M - 3	260 seg.	Buena

**b) Desnudamiento por humedad (ISSA TB - 114)**

En la Figura 3.8, se observa las muestras después del ensayo. Observando un menor grado de desprendimiento en la muestra 3 (M - 3).

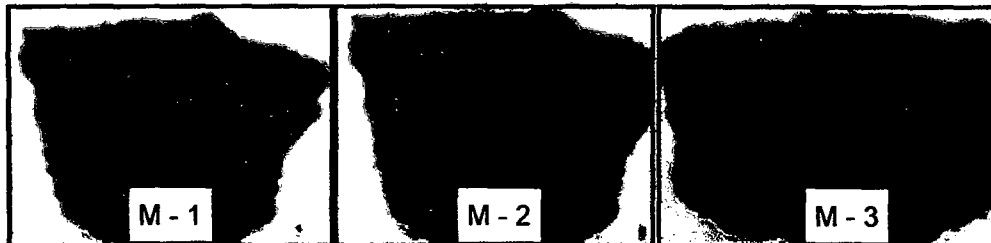


Figura 3.8: Apariencia de las mezclas ensayadas.

Con ayuda de la Figura 3.8, se elaboró el Cuadro 3.9, tomado en cuenta los puntos blancos de cada muestra para determinar el porcentaje de área cubierta después del ensayo. Cumpliendo la muestra 3 (M - 3) con la norma, que establece como mínimo 90% de área cubierta.

Cuadro 3.9: Tiempo de mezclado y área cubierta.

MEZCLAS	TIEMPO DE MEZCLADO	ÁREA CUBIERTA
M - 1	420 seg.	60%
M - 2	310 seg.	75%
M - 3	260 seg.	95%

En resumen los resultados obtenidos en los ensayos, muestra la compatibilidad de los componentes en la mezcla. Mostrando tiempos aceptables de mezcla y valores aceptables de desprendimiento por humedad. Con lo cual, se puede dar inicio a la evaluación del comportamiento de las mezclas preliminares, mediante los ensayos de abrasión en húmedo y de rueda cargada.

Estos resultados también muestra, las ventajas que ofrece la inclusión de los polímeros en la emulsión asfáltica para el diseño de un slurry seal. Tal como se observa en los resultados de adherencia y de resistencia al desprendimiento.

La cantidad de polímeros utilizado para la elaboración de la emulsión asfáltica es de 1.3%, según los resultados obtenidos.

### 3.4 PRUEBAS DE DESEMPEÑO

Con estos ensayos se evaluará el comportamiento del diseño preliminar, variando el contenido de emulsión asfáltica y de cemento Portland (filler).

Se elaboraron tres diseños con diferentes cantidades de cemento Portland tipo I (0.5%, 1.0% y 1.5%), con la finalidad de evaluar su influencia en el diseño. Teniendo en cuenta, que el porcentaje no exceda el límite establecido (3%) y no exceda la cantidad de finos, según la curva granulométrica.

Para cada diseño preliminar, se varió el porcentaje de emulsión asfáltica (14%, 15% y 16%), con el fin de determinar la cantidad óptima de cada diseño y obtener el diseño final del slurry seal.

A continuación se describirá el objetivo y el procedimiento de cada ensayo, para familiarizar al lector con los procesos y pueda tener un mejor entendimiento; así como también, se mostrarán los resultados de cada evaluación.

#### 3.4.1 Ensayo de abrasión en húmedo (ISSA TB – 100)

Este ensayo determina la resistencia al desgaste por abrasión, simulando una superficie de pavimento saturada por agua expuesta al tránsito vehicular. Mediante esta prueba se define el valor mínimo de emulsión asfáltica, necesario para obtener una mezcla con suficiente cohesión como para resistir la acción abrasiva del tráfico.

Consiste en someter una mezcla de mortero asfáltico sumergida en agua, a la acción abrasiva de un cilindro de goma, que gira con un movimiento planetario sobre su superficie durante 5 minutos. Pérdida máxima admisible es 807 gr./m<sup>2</sup>.

#### Valor de desgaste:

- Según la norma ISSA TB - 100, el valor de pérdida por abrasión de cada mezcla, se multiplicará por el factor 32.9, para determinar las pérdidas en gramos por m<sup>2</sup>. como se indica a continuación.

$$PA = (P1 - P2) \times 32.9$$

Donde:

PA: Pérdida por abrasión gr./m<sup>2</sup>.

P1: Peso de la probeta seca antes de someterla a la abrasión.

P2: Peso de la probeta seca después de someterla a la abrasión.

**Preparación de la probeta:**

- Las proporciones adecuadas de cemento Portland/cal hidratada, agua, emulsión y aditivos/u otros, para el peso seco de los agregados serán determinados en el laboratorio o bajo una fórmula de mezcla previamente aceptada por el ingeniero a cargo del proyecto.
- Dividir o cuartear la cantidad suficiente de agregado seco al aire y pasar por el tamiz N° 4, para obtener al menos 800 gramos en una cuarta parte.
- Pesar los 800 gramos de agregado en un tazón. Con una cuchara mezcle el cemento Portland seco (o cal hidratada) con el agregado durante un minuto o hasta que se distribuya uniformemente. Agregue la cantidad predeterminada de agua (para obtener una consistencia de 2 – 3 cm.) y mezclar durante un minuto o hasta que todas las partículas del agregado se mojen uniformemente. Por último, agregue la cantidad predeterminada de emulsión y mezcle al menos por un periodo de un minuto y no mayor de tres minutos.

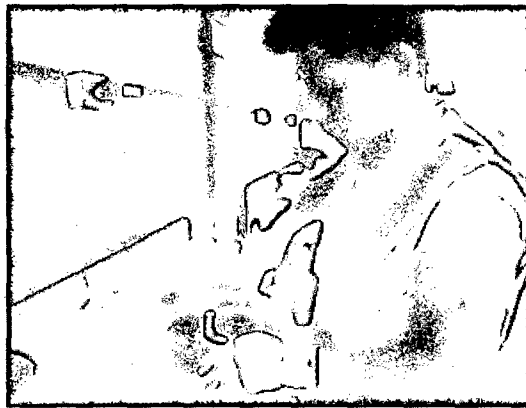


Figura 3.9: Mezcla preliminar.

- Centre la apertura del molde en el disco de 286 mm. de diámetro en el cartón asfáltico, inmediatamente vierta la mezcla en el molde.

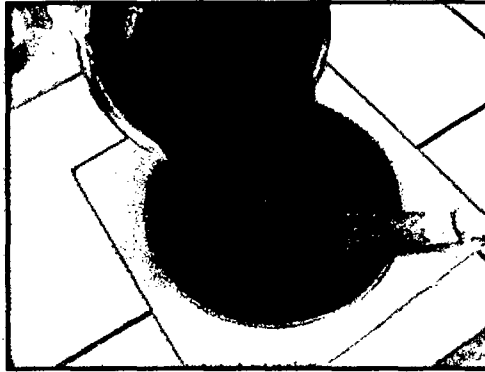


Figura 3.10: Colocación de la mezcla.

- Con la escobilla de goma o la regla, nivele la mezcla con el mínimo de manipulación (excesiva manipulación puede segregar el materia) y deseche el material sobrante.

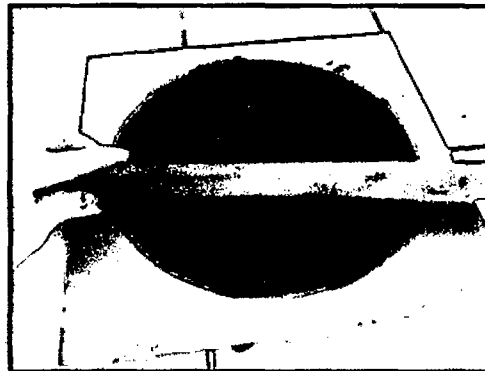


Figura 3.11: Moldeo de la mezcla.

- Retire el molde y coloque la probeta moldeada en el horno a una temperatura de 60 °C hasta peso constante (mínimo 15 horas).



Figura 3.12: Desmolde de la probeta.



### Procedimiento del ensayo:

- Sacar la muestra del horno, dejar enfriar a temperatura ambiente y posteriormente pesar la muestra.
- Después de pesar, coloque la muestra en agua a 25°C durante 60 ó 75 minutos.

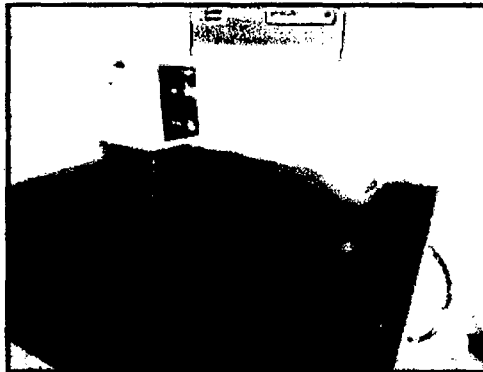


Figura 3.13: Probetas en agua a 25°C por una hora.

- Sacar la muestra del agua y colocar en la bandeja de 330 mm. de diámetro de fondo plano. Sujetar la muestra a la placa de montaje y apretar las abrazaderas.
- Cubra completamente la muestra con 6 mm. de agua a 25°C.
- Fijar la cabeza de tubo de caucho en el eje de la máquina. Eleve la plataforma hasta que el tubo se apoye en la superficie de la muestra.



Figura 3.14: Probeta en el equipo para ser ensayada.

- Encienda la máquina a velocidad baja durante 5 minutos.
- Una vez ensayada la probeta, retire de la bandeja y proceda a lavar los residuos. Coloque la probeta lavada en el horno a 60°C y secar a peso constante.

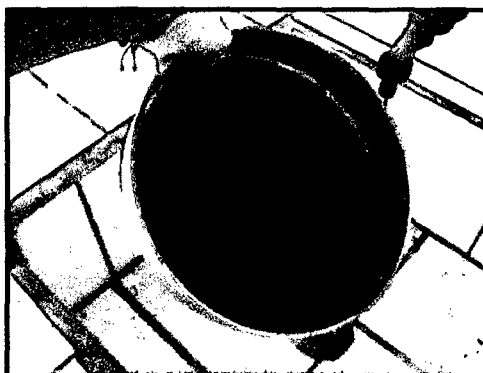


Figura 3.15: Lavado de la probeta.

- Retirar del horno, dejar enfriar y pesar la probeta. La diferencia entre los 2 pesos (antes de ensayar y después de ensayar) es la pérdida por desgaste.

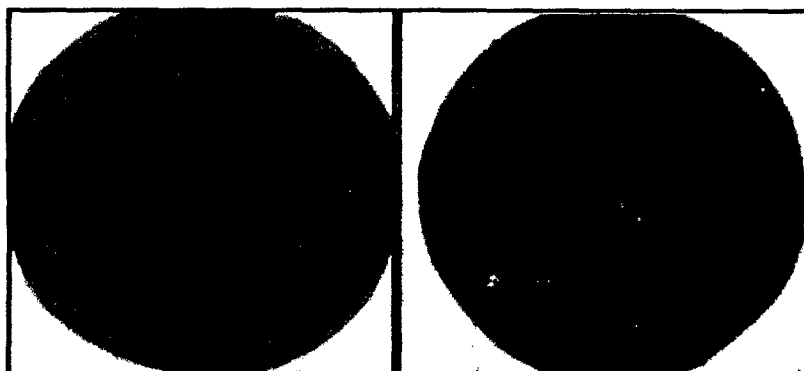


Figura 3.16: Probeta antes y después del ensayo.

### Resultado del diseño N° 1

En el Cuadro 3.10, se muestra la dosificación de los componentes para el diseño N° 1. Variando el porcentaje de emulsión asfáltica (14%, 15% y 16%) y con un contenido de filler igual a 0.5%.

Cuadro 3.10: Dosificación ISSA TB – 100 (diseño N°1).

<b>CANTERA ARUNTA</b>						
<b>MATERIAL</b>	<b>MEZCLA - 01</b>		<b>MEZCLA - 02</b>		<b>MEZCLA - 03</b>	
	(%)	(gr.)	(%)	(gr.)	(%)	(gr.)
<b>Emulsión</b>	14	112	15	120	16	128
<b>Agregado</b>	100	800	100	800	100	800
<b>Filler</b>	0.5	4	0.5	4	0.5	4
<b>Agua</b>	10	80	10	80	10	80

En los siguientes cuadros, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo para el diseño N° 1. Mostrando en el Cuadro 3.13, los valores finales de pérdida por abrasión para cada porcentaje de emulsión asfáltica. Con los cuales se elaboró el Gráfico 3.3, donde se muestra la tendencia del ensayo.

Cuadro 3.11: Peso de probetas ISSA TB – 100 (diseño N°1).

<b>PESO SECO (gr.)</b>	<b>MEZCLA - 01</b>	<b>MEZCLA - 02</b>	<b>MEZCLA - 03</b>
<b>Antes del ensayo</b>	561.99	565.10	576.67
<b>Después del ensayo</b>	543.81	550.75	565.99
<b>Diferencia</b>	18.18	14.35	10.68

Cuadro 3.12: Corrección según ISSA TB – 100 (diseño N°1).

<b>FACTOR DE CORRECCIÓN</b>	<b>MEZCLA - 01</b>	<b>MEZCLA - 02</b>	<b>MEZCLA - 03</b>
<b>32.9</b>	598.12 gr/m <sup>2</sup>	472.12 gr/m <sup>2</sup>	351.37 gr/m <sup>2</sup>

Cuadro 3.13: Resultado ISSA TB – 100 (diseño N°1).

<b>% EMULSIÓN</b>	<b>ABRASIÓN (gr/m<sup>2</sup>)</b>
<b>14</b>	598.12
<b>15</b>	472.12
<b>16</b>	351.37

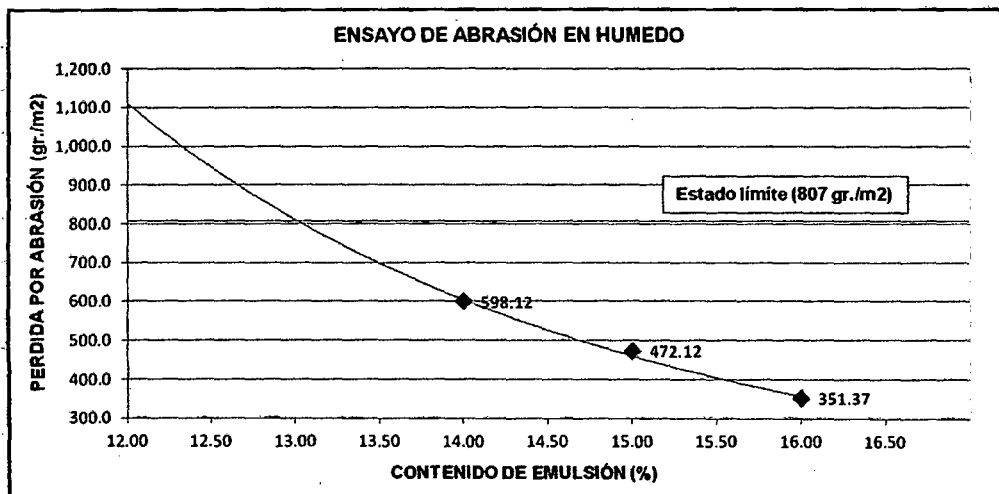


Gráfico 3.3: Tendencia ISSA TB – 100 (diseño N°1).

En el Gráfico 3.3, se observa que los valores de pérdida por abrasión están por debajo del límite máximo establecido por la ISSA TB – 100. El cual indica, que no se tendrá problemas de abrasión, si se utiliza en el diseño final cualquiera de los porcentajes de emulsión asfáltica (14%, 15% y 16%), hasta un 13% como mínimo.

### Resultado del diseño N° 2

En el Cuadro 3.14, se muestra la dosificación de los componentes para el diseño N° 2. Variando el porcentaje de emulsión asfáltica (14%, 15% y 16%), y con un contenido de filler igual a 1.0%.

Cuadro 3.14: Dosificación ISSA TB – 100 (diseño N°2).

CANTERA ARUNTA						
MATERIAL	MEZCLA - 01		MEZCLA - 02		MEZCLA - 03	
	(%)	(gr.)	(%)	(gr.)	(%)	(gr.)
Emulsión	14	112	15	120	16	128
Agregado	100	800	100	800	100	800
Filler	1	8	1	8	1	8
Agua	10	80	10	80	10	80

En los siguientes cuadros, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo para el diseño N° 2. Mostrando en el Cuadro 3.17, los valores finales de pérdida

por abrasión para cada porcentaje de emulsión asfáltica. Con los cuales se elaboró el Gráfico 3.4, donde se muestra la tendencia del ensayo.

Cuadro 3.15: Peso de probetas ISSA TB – 100 (diseño N°2).

PESO SECO (gr.)	MEZCLA - 01	MEZCLA - 02	MEZCLA - 03
Antes del ensayo	556.80	539.40	542.40
Después del ensayo	541.22	527.74	534.06
Diferencia	15.58	11.66	8.34

Cuadro 3.16: Corrección según ISSA TB – 100 (diseño N°2).

FACTOR DE CORRECCIÓN	MEZCLA - 03	MEZCLA - 02	MEZCLA - 03
32.9	512.58 gr/m <sup>2</sup>	383.61 gr/m <sup>2</sup>	274.39 gr/m <sup>2</sup>

Cuadro 3.17: Resultado ISSA TB – 100 (diseño N°2).

% EMULSIÓN	ABRASIÓN (gr/m <sup>2</sup> )
14	512.58
15	383.61
16	274.39

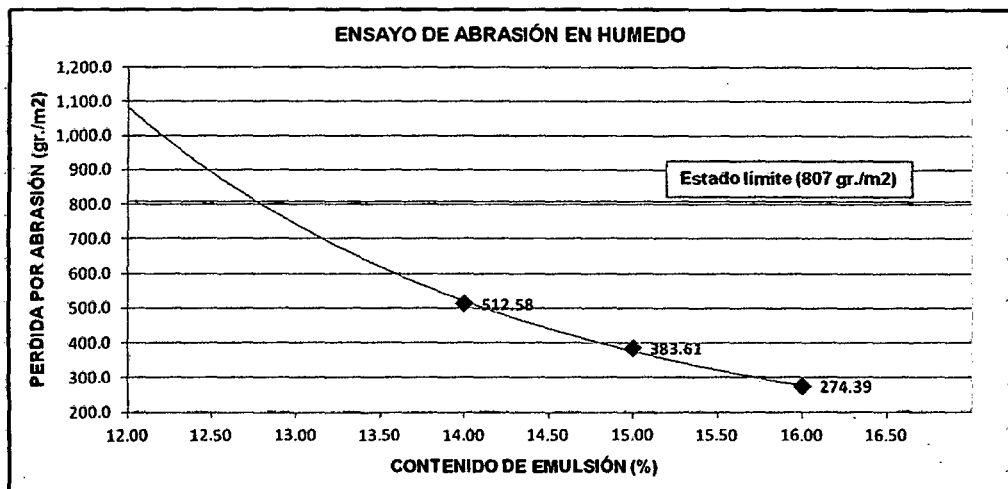


Gráfico 3.4: Tendencia ISSA TB – 100 (diseño N°2).

En el Gráfico 3.4, se observa que los valores de pérdida por abrasión están por debajo del límite máximo establecido por la ISSA TB – 100. El cual indica, que no se tendrá problemas de abrasión, si se utiliza en el diseño final cualquiera de los porcentajes de emulsión asfáltica (14%, 15% y 16%), hasta un 12.8% como mínimo.

### Resultado del diseño N° 3.

En el Cuadro 3.18, se muestra la dosificación de los componentes para el diseño N° 3. Variando el porcentaje de emulsión asfáltica (14%, 15% y 16%) y con un contenido de filler igual a 1.5%.

Cuadro 3.18: Dosificación ISSA TB – 100 (diseño N°3).

CANTERA ARUNTA						
MATERIAL	MEZCLA - 01		MEZCLA - 02		MEZCLA - 03	
	(%)	(gr.)	(%)	(gr.)	(%)	(gr.)
Emulsión	14	112	15	120	16	128
Agregado	100	800	100	800	100	800
Filler	1.5	12	1.5	12	1.5	12
Agua	10	80	10	80	10	80

En los siguientes cuadros, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo para el diseño N° 3. Mostrando en el Cuadro 3.21, los valores finales de pérdida por abrasión para cada porcentaje de emulsión asfáltica. Con los cuales se elaboró el Gráfico 3.5, donde se muestra la tendencia del ensayo.

Cuadro 3.19: Peso de probetas ISSA TB – 100 (diseño N°3).

PESO SECO (gr.)	MEZCLA - 01	MEZCLA - 02	MEZCLA - 03
Antes del ensayo	595.15	557.20	535.81
Después del ensayo	582.35	548.19	529.97
Diferencia	12.80	9.01	5.84

Cuadro 3.20: Corrección según ISSA TB – 100 (diseño N°3).

FACTOR DE CORRECCIÓN	MEZCLA - 03	MEZCLA - 02	MEZCLA - 03
32.9	421.12 gr/m <sup>2</sup>	296.43 gr/m <sup>2</sup>	192.14 gr/m <sup>2</sup>

Cuadro 3.21: Resultado ISSA TB – 100 (diseño N°3).

% EMULSIÓN	ABRASIÓN (gr/m <sup>2</sup> )
14	421.12
15	296.43
16	192.14

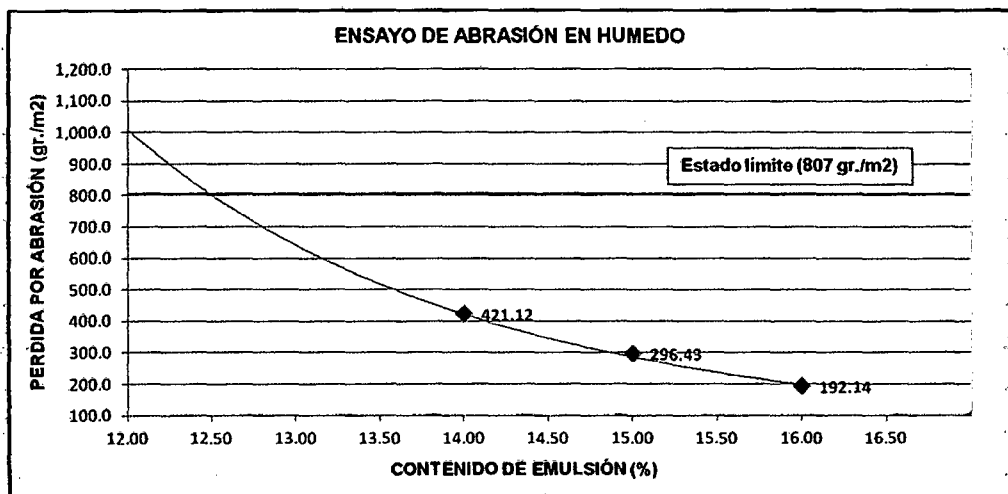


Gráfico 3.5: Tendencia ISSA TB – 100 (diseño N°3).

En el Gráfico 3.5, se observa que los valores de pérdida por abrasión están por debajo del límite máximo establecido por la ISSA TB – 100. El cual indica, que no se tendrá problemas de abrasión, si se utiliza en el diseño final cualquiera de los porcentajes de emulsión asfáltica (14%, 15% y 16%), hasta un 12.5% como mínimo.

### 3.4.2 Ensayo de rueda cargada (ISSA TB – 109)

Este ensayo determina la resistencia a la exudación de asfalto, simulando una superficie de pavimento expuesto al tránsito pesado vehicular. Mediante esta prueba se **define el valor máximo de emulsión asfáltica**, necesario para obtener una mezcla con suficiente cohesión, como para evitar exudación bajo cargas de tráfico pesado.

Consiste en someter una mezcla de mortero asfáltico, a una carga 125 libras mediante una rueda de caucho hasta cumplir 1000 ciclos, para luego colocar arena en la muestra y completar 100 ciclos adicionales. Para un tránsito muy pesado, la cantidad máxima admisible de arena adherida en la muestra es 538 gr./m<sup>2</sup> (véase Cuadro 3.22).

Cuadro 3.22: Valores máximos de arena adherida.

INTENSIDAD DEL TRÁNSITO	TRÁNSITO MEDIO DIARIO	% ARENA ADHERIDA (gr./m <sup>2</sup> )
Ligero	0 – 300	750
Medio	300 – 1500	640
Pesado	1500 – 3000	590
Muy Pesado	> 3000	538

**Fuente:** ISSA - TB 109 – 2010.

#### Valor de arena adherida:

- Según la norma ISSA TB - 109, para determinar el valor de arena adherida en la probeta en gramos por m<sup>2</sup>, se debe realizar los siguientes cálculos:

$$AA = (P1 - P2)/A$$

Donde:

AA: Arena adherida gr./m<sup>2</sup>.

P1: Peso de la probeta seca sin arena.



P2: Peso de la probeta seca con arena.

A: Área del molde.

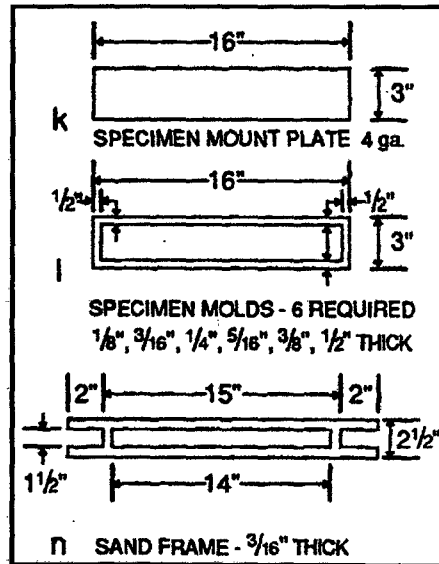


Figura 3.17: Dimensiones de los moldes.

Fuente: ISSA - TB 109 – 2010.

- Cálculo de área, del molde usado. Según la Figura 3.23.

$$A = 14" \times 1.5"$$

$$A = 0.01354836 \text{ m}^2$$

#### Preparación de la probeta:

- Las probetas serán elaboradas con la dosificación seleccionada y con los materiales que se van a usar en el proyecto.
- Se selecciona el espesor de la probeta, de acuerdo con la granulometría, por ejemplo 25% más grueso que el tamaño de la mayor partícula.
- Preparar un 25 – 30% más de mezcla necesaria para llenar el molde de la mezcla (Generalmente 300 gramos de mezcla son necesarios para llenar el molde de 1/4")
- Se realiza la mezcla pesando y añadiendo cuidadosamente los materiales del slurry seal, durante un periodo de 45 segundos.

- Se coloca la mezcla a lo largo del molde previamente centrado en la placa metálica. Usando un movimiento de vaivén horizontal se nivela con la barra. Cuando la muestra se ha fijado lo suficiente como para evitar desplazamiento, se desmolda. Se procede a secar la probeta durante un mínimo de 12 horas en el horno a 60°C.



Figura 3.18: Colocación de la mezcla en molde.

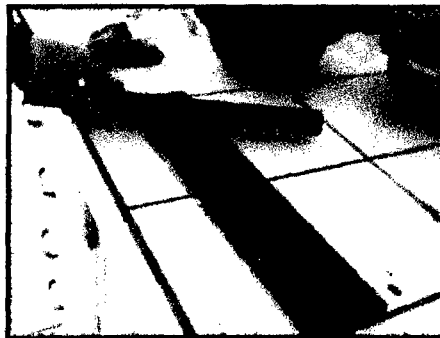


Figura 3.19: Nivelación de la probeta.

- Se extrae la probeta del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente.

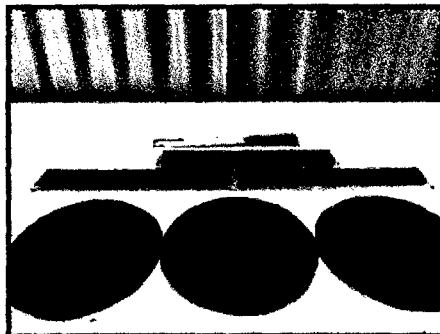


Figura 3.20: Probetas enfriándose.

### Procedimiento del ensayo:

- La probeta se monta con la placa de montaje firmemente ajustada contra los pines de fijación y se fija en posición con las arandelas de agarre y las tuercas de mariposa.

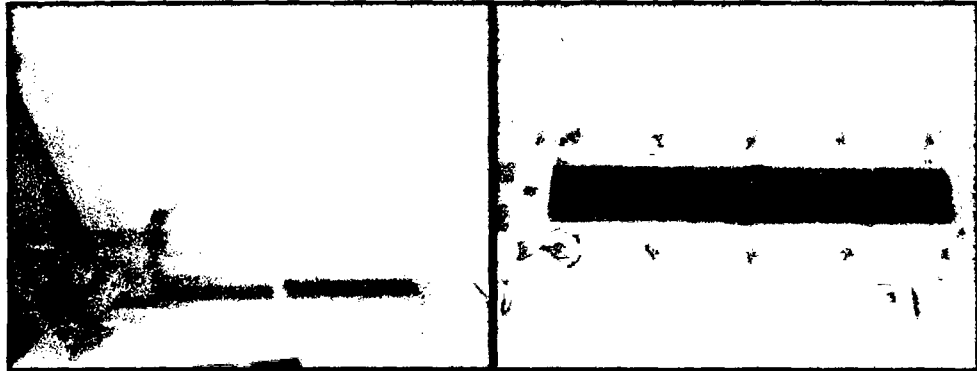


Figura 3.21: Colocación de la probeta.

- Se limpia la rueda con un solvente evaporable y agua. La rueda se coloca sobre la probeta y así mismo se carga con el peso de 125 libras.
- Se lleva a cero el contador de revoluciones y se enciende la máquina hasta que complete 1000 ciclos. (En muchos casos se verá o escuchara una pegajosidad o un brillo, en este punto agregue agua para evitar la adherencia de la probeta a la rueda).

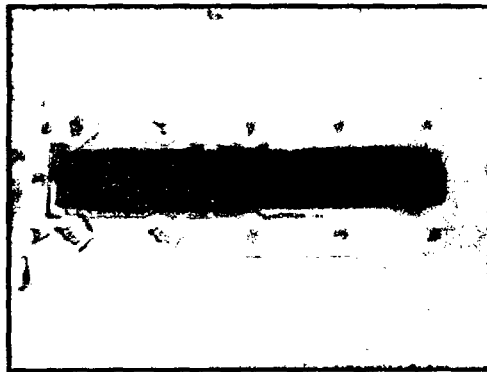


Figura 3.22: Probeta después de los 1000 ciclos.

- Se descarga la máquina, y se procede a lavar la muestra y secar a 60°C hasta peso constante. Se procede a pesar y nuevamente se lo coloca en

la máquina usando el marco superior con la parte de la goma hacia la probeta, en donde es llenado con 300 gramos de arena caliente a 82°C.



Figura 3.23: Colocación de arena caliente.

- Se carga nuevamente a la máquina y se completa con 100 ciclos más.
- Se limpia la arena suelta, se limpia y se pesa. Se observa el incremento de peso debido a la arena adherida.

**Resultado del diseño N° 1.**

En el Cuadro 3.23, se muestra la dosificación de los componentes para el diseño N° 1. Variando el porcentaje de emulsión asfáltica (14%, 15% y 16%) y con un contenido de filler igual a 0.5%.

Cuadro 3.23: Dosificación ISSA TB – 109 (diseño N°1).

CANTERA ARUNTA.						
MATERIAL	MEZCLA - 01		MEZCLA - 02		MEZCLA - 03	
	(%)	(gr.)	(%)	(gr.)	(%)	(gr.)
<b>Emulsión</b>	14	56	15	60	16	64
<b>Agregado</b>	100	400	100	400	100	400
<b>Filler</b>	0.5	2	0.5	2	0.5	2
<b>Agua</b>	10	40	10	40	10	40

En los siguientes cuadros, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo para el diseño N° 1. Mostrando en el Cuadro 3.26, los valores finales de arena adherida para cada porcentaje de emulsión asfáltica. Con los cuales se elaboró el Gráfico 3.6, donde se muestra la tendencia del ensayo.

Cuadro 3.24: Peso de probetas ISSA TB – 109 (diseño N°1).

PESO (gr.)	MEZCLA - 01	MEZCLA - 02	MEZCLA - 03
Muestra sin arena	371.05	364.85	371.88
Muestra con arena	376.07	371.65	380.83
Arena adherida	5.02	6.80	8.95

Cuadro 3.25: Corrección según ISSA TB – 109 (diseño N°1).

FACTOR DE CORRECCIÓN	MEZCLA - 03	MEZCLA - 02	MEZCLA - 03
1/0.01354836	370.52 gr/m <sup>2</sup>	501.91 gr/m <sup>2</sup>	660.60 gr/m <sup>2</sup>

Cuadro 3.26: Resultado ISSA TB – 109 (diseño N°1).

% EMULSIÓN	ARENA (gr/m <sup>2</sup> )
14	370.52
15	501.91
16	660.60

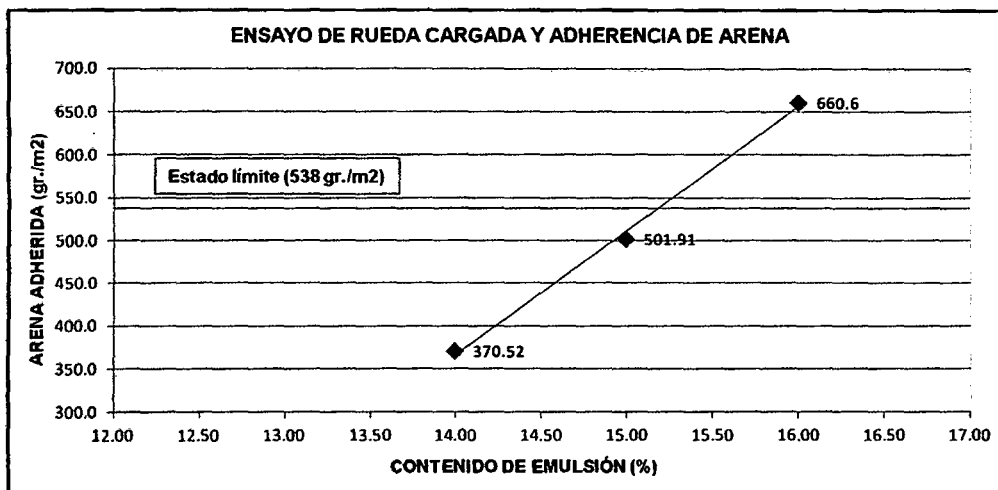


Gráfico 3.6: Tendencia ISSA TB – 109 (diseño N°1).

En el Gráfico 3.6, se observa una tendencia lineal de los valores de arena adherida, cumpliendo dos valores con el límite máximo establecido por la ISSA TB – 109. El cual indica, que no se tendrá problemas de exudación de asfalto, si

se utiliza en el diseño final cualquiera de los porcentajes de emulsión asfáltica (14% y 15%), hasta un 15.2% como máximo.

**Resultado del diseño N° 2.**

En el Cuadro 3.27, se muestra la dosificación de los componentes para el diseño N° 2. Variando el porcentaje de emulsión asfáltica (14%, 15% y 16%) y con un contenido de filler igual a 1.0%.

Cuadro 3.27: Dosificación ISSA TB – 109 (diseño N°2).

<b>CANTERA ARUNTA</b>						
<b>MATERIAL</b>	<b>MEZCLA - 01</b>		<b>MEZCLA - 02</b>		<b>MEZCLA - 03</b>	
	<b>(%)</b>	<b>(gr.)</b>	<b>(%)</b>	<b>(gr.)</b>	<b>(%)</b>	<b>(gr.)</b>
<b>Emulsión</b>	14	56	15	60	16	64
<b>Agregado</b>	100	400	100	400	100	400
<b>Filler</b>	1	4	1	4	1	4
<b>Agua</b>	10	40	10	40	10	40

En los siguientes cuadros, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo para el diseño N° 2. Mostrando en el Cuadro 3.30, los valores finales de arena adherida para cada porcentaje de emulsión asfáltica. Con los cuales se elaboró el Gráfico 3.7, donde se muestra la tendencia del ensayo.

Cuadro 3.28: Peso de probetas ISSA TB – 109 (diseño N°2).

<b>PESO (gr.)</b>	<b>MEZCLA - 01</b>	<b>MEZCLA - 02</b>	<b>MEZCLA - 03</b>
<b>Muestra sin arena</b>	362.64	353.79	357.67
<b>Muestra con arena</b>	367.33	360.21	366.22
<b>Arena adherida</b>	4.69	6.42	8.55

Cuadro 3.29: Corrección según ISSA TB – 109 (diseño N°2).

<b>FACTOR DE CORRECCIÓN</b>	<b>MEZCLA - 01</b>	<b>MEZCLA - 02</b>	<b>MEZCLA - 03</b>
<b>1/0.01354836</b>	346.17 gr/m <sup>2</sup>	473.86 gr/m <sup>2</sup>	631.07 gr/m <sup>2</sup>

Cuadro 3.30: Resultado ISSA TB – 109 (diseño N°2).

% EMULSIÓN	ARENA (gr/m <sup>2</sup> )
14	346.17
15	473.86
16	631.07

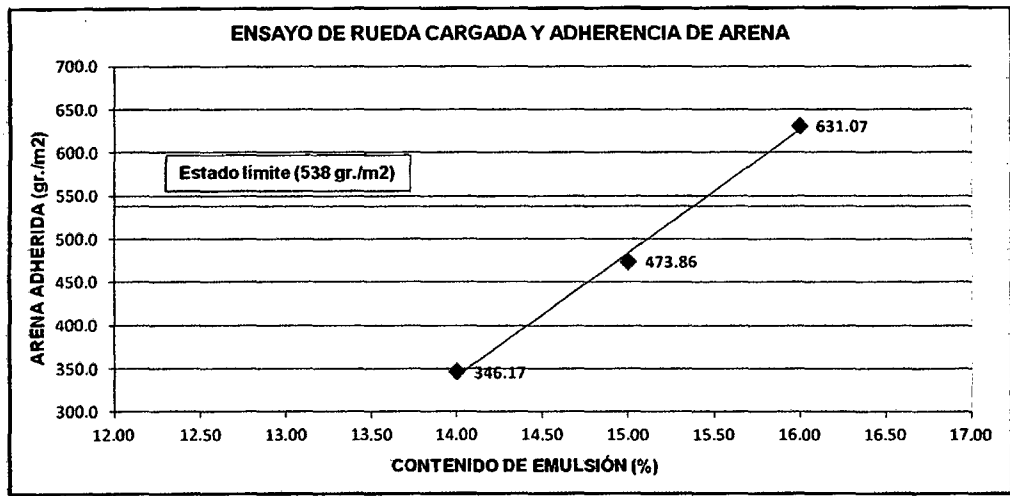


Gráfico 3.7: Tendencia ISSA TB – 109 (diseño N°2).

En el Gráfico 3.7, se observa una tendencia lineal de los valores de arena adherida, cumpliendo dos valores con el límite máximo establecido por la ISSA TB – 109. El cual indica, que no se tendrá problemas de exudación de asfalto, si se utiliza en el diseño final cualquiera de los porcentajes de emulsión asfáltica (14% y 15%), hasta un 15.4% como máximo.

### Resultado del diseño N° 3

En el Cuadro 3.31, se muestra la dosificación de los componentes para el diseño N° 3. Variando el porcentaje de emulsión asfáltica (14%, 15% y 16%), y con un contenido de filler igual a 1.5%.

Cuadro 3.31: Dosificación ISSA TB – 109 (diseño N°3).

<b>CANTERA ARUNTA.</b>						
<b>MATERIAL</b>	<b>MEZCLA - 01</b>		<b>MEZCLA - 02</b>		<b>MEZCLA - 03</b>	
	<b>(%)</b>	<b>(gr.)</b>	<b>(%)</b>	<b>(gr.)</b>	<b>(%)</b>	<b>(gr.)</b>
<b>Emulsión</b>	14	56	15	60	16	64
<b>Agregado</b>	100	400	100	400	100	400
<b>Filler</b>	1.5	6	1.5	6	1.5	6
<b>Agua</b>	10	40	10	40	10	40

En los siguientes cuadros, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo para el diseño N° 3. Mostrando en el Cuadro 3.34, los valores finales de arena adherida para cada porcentaje de emulsión asfáltica. Con los cuales se elaboró el Gráfico 3.8, donde se muestra la tendencia del ensayo.

Cuadro 3.32: Peso de probetas ISSA TB – 109 (diseño N°3).

<b>PESO (gr.)</b>	<b>MEZCLA - 01</b>	<b>MEZCLA - 02</b>	<b>MEZCLA - 03</b>
<b>Muestra sin arena</b>	365.70	362.54	364.61
<b>Muestra con arena</b>	369.90	368.62	372.70
<b>Arena adherida</b>	4.20	6.08	8.09

Cuadro 3.33: Corrección según ISSA TB – 109 (diseño N°3).

<b>FACTOR DE CORRECCIÓN</b>	<b>MEZCLA - 01</b>	<b>MEZCLA - 02</b>	<b>MEZCLA - 03</b>
<b>1/0.01354836</b>	310.00 gr/m <sup>2</sup>	448.76 gr/m <sup>2</sup>	597.12 gr/m <sup>2</sup>

Cuadro 3.34: Resultado ISSA TB – 109 (diseño N°3).

<b>% EMULSIÓN</b>	<b>ARENA (gr/m<sup>2</sup>)</b>
<b>14</b>	310.00
<b>15</b>	448.76
<b>16</b>	597.12



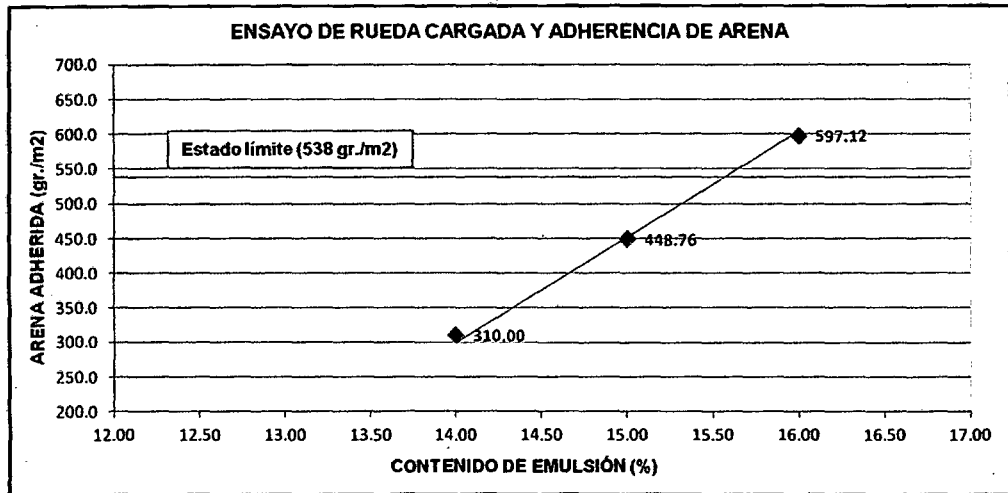


Gráfico 3.8: Tendencia ISSA TB – 109 (diseño N°3).

En el Gráfico 3.8, se observa una tendencia lineal de los valores de arena adherida, cumpliendo dos valores con el límite máximo establecido por la ISSA TB – 109. El cual indica, que no se tendrá problemas de exudación de asfalto, si se utiliza en el diseño final cualquiera de los porcentajes de emulsión asfáltica (14% y 15%), hasta un 15.6% como máximo.

## CAPÍTULO IV: DISEÑO FINAL Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 4.1 DISEÑO FINAL DEL SLURRY SEAL

El diseño final del slurry seal, consiste en determinar la cantidad óptima de emulsión asfáltica en la mezcla, haciendo uso del procedimiento establecido en la ISSA TB – 111, el cual utiliza los gráficos de los ensayos de abrasión en húmedo y de la rueda cargada. Esto con la finalidad de obtener una mezcla resistente a la abrasión y a la exudación.

Con la cantidad óptima de emulsión asfáltica, se elaboraron muestras de slurry seal. Para analizar la evolución de su consistencia en función del tiempo, mediante el ensayo de cohesión (ISSA TB - 139) y poder determinar el tiempo aproximado de apertura al tránsito vehicular.

#### 4.1.1 Contenido óptimo de emulsión asfáltica (ISSA TB - 111)

La ISSA TB – 111, recomienda seguir el lineamiento establecido a continuación para determinar el contenido óptimo de emulsión asfáltica, los mismos que se ha tomado en consideración para el desarrollo de esta investigación.

- Determinar el límite mínimo y máximo de emulsión asfáltica.
  - Contenido mínimo de emulsión asfáltica (ISSA TB - 100).
  - Contenido máximo de emulsión asfáltica (ISSA TB - 109).
- Graficar los resultados de cada ensayo mencionado y superponer los límites establecidos.
- Determinar el contenido óptimo de asfalto.

Los resultados de los ensayos de desempeño, permite establecer los límites de contenido de emulsión asfáltica. En el Gráfico 4.1, se obtiene el límite mínimo, por medio de la intercepción del valor admisible con la gráfica del ensayo ISSA TB – 100. En el Gráfico 4.2, se obtiene el límite máximo, por medio de la intercepción del valor admisible con la gráfica del ensayo ISSA TB – 109.

En el Gráfico 4.3, se observa los gráficos superpuestos mostrando los límites de contenido de emulsión asfáltica. Tomando como cantidad óptima el punto medio, variando en +/- 1.5% su valor, según las condiciones climáticas en obra; en zonas frías (10°C – 20°C) se puede reducir, mientras que en zonas calurosas (30°C – 40°C) incrementar.

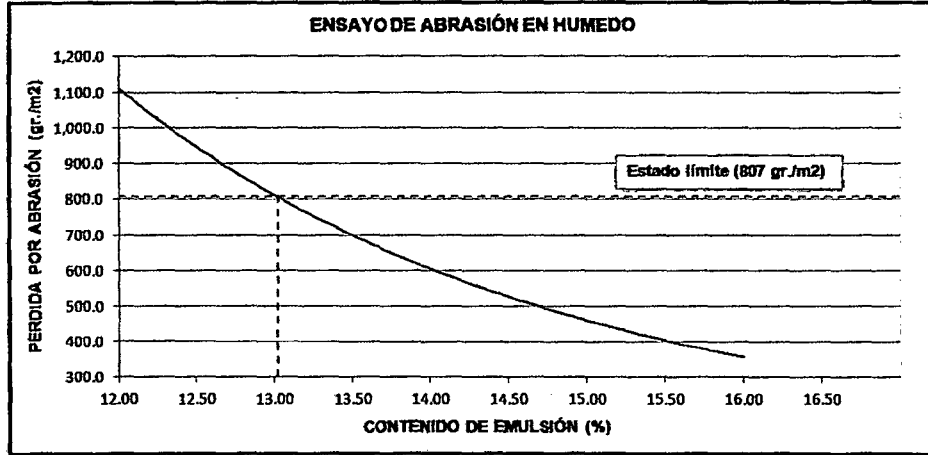


Gráfico 4.1: Contenido Óptimo de Asfalto Mínimo ISSA TB - 100.

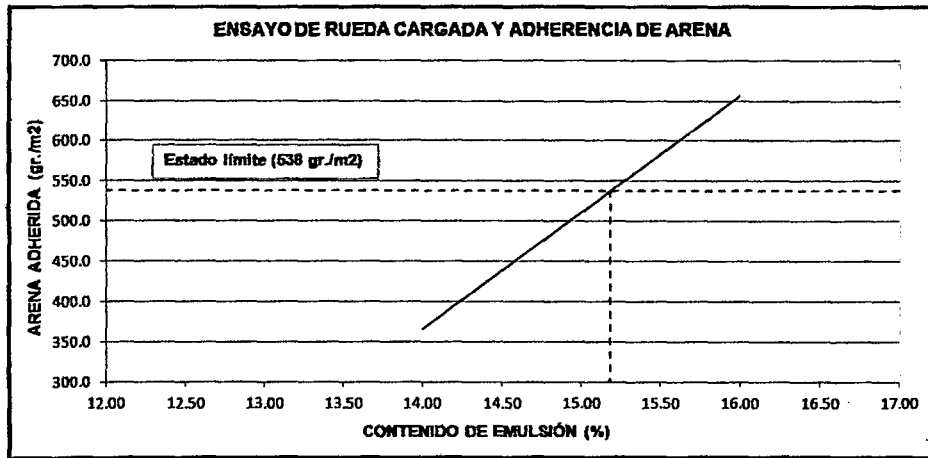


Gráfico 4.2: Contenido Óptimo de Asfalto Máximo ISSA TB - 109.

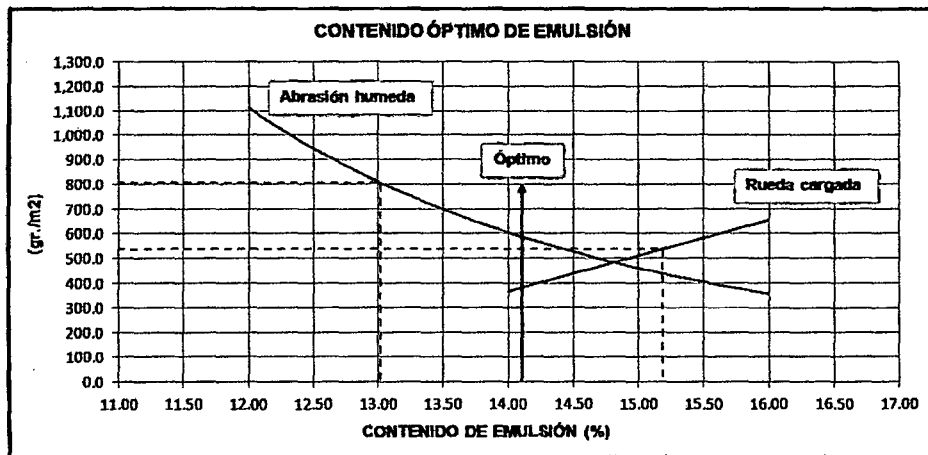


Gráfico 4.3: Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB - 111.

### Resultado del diseño N° 1

En el Cuadro 4.1, se muestra los resultados de los ensayos de desempeño, para cada mezcla con diferente contenido de emulsión asfáltica (14%, 15% y 16%) y con un contenido de filler igual a 0.5%. Con los cuales se elaboró el Gráfico 4.4, donde se observa los límites de contenido de emulsión asfáltica, para el diseño N° 1 de slurry seal.

Cuadro 4.1: Resultados de ISSA TB – 100 e ISSA TB - 109 (diseño N°1).

CANTERA ARUNTA				
Emulsión (%)	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada	Min	Max
14	598.12	370.52	538.00	807.00
15	472.12	501.91	538.00	807.00
16	351.37	660.60	538.00	807.00

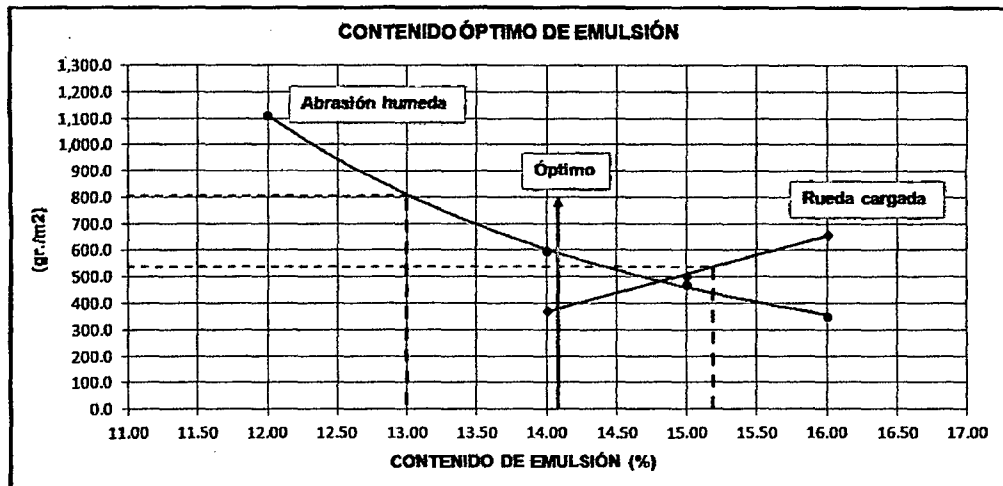


Gráfico 4.4: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 (diseño N°1).

Según el Gráfico 4.4, se observa el contenido mínimo igual a 13%, determinado por el ensayo de abrasión y el contenido máximo igual a 15.2%, determinado por el ensayo de rueda cargada. Con estos valores se determinó el contenido óptimo de emulsión asfáltica, de la siguiente manera:

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{15.2\% - 13\%}{2} + 13\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = 14.1\%$$

Se asume un 14%, para manipular mejor la cantidad. Con este valor se define el diseño final N°1, observando la variación de 1% con respecto al teórico.

Cuadro 4.2: Contenido óptimo de emulsión (diseño N°1).

% Teórico de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
15%	14%

**Resultado del diseño N°2.**

En el Cuadro 4.3, se muestra los resultados de los ensayos de desempeño, para cada mezcla con diferente contenido de emulsión asfáltica (14%, 15% y 16%) y con un contenido de filler igual a 1.0%. Con los cuales se elaboró el Gráfico 4.5, donde se observa los límites de contenido de emulsión asfáltica, para el diseño N° 2 de slurry seal.

Cuadro 4.3: Resultados de ISSA TB – 100 e ISSA TB - 109 (diseño N°2).

CANTERA ARUNTA				
Emulsión (%)	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada	Min	Max
14	512.58	346.17	538.00	807.00
15	383.61	473.86	538.00	807.00
16	274.39	631.07	538.00	807.00

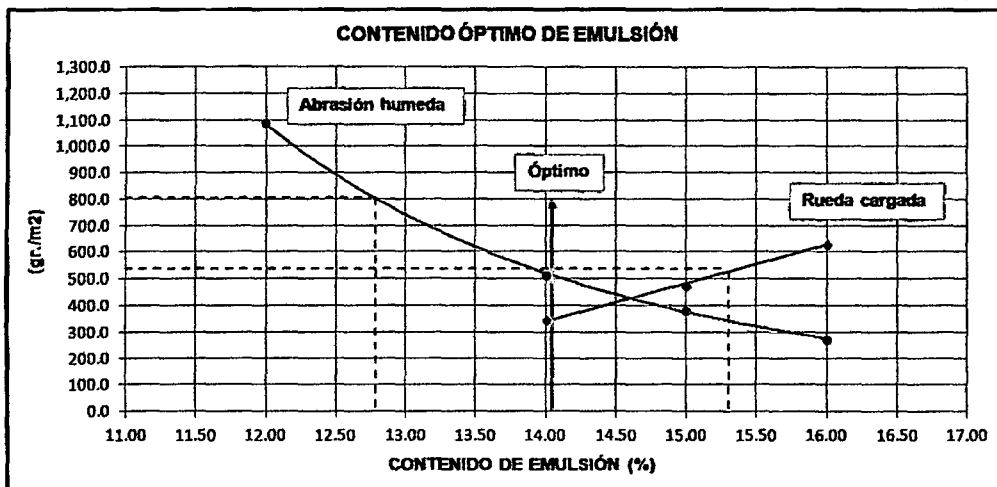


Gráfico 4.5: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 (diseño N°2).

Según el Gráfico 4.5, se observa el contenido mínimo igual a 12.8%, determinado por el ensayo de abrasión y el contenido máximo igual a 15.3%, determinado por el ensayo de rueda cargada. Con estos valores se determinó el contenido óptimo de emulsión asfáltica, de la siguiente manera:

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{15.3\% - 12.8\%}{2} + 12.8\%$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = 14.05\%$$

Se asume un 14%, para manipular mejor la cantidad. Con este valor se define el diseño final N°2, observando la variación de 1% con respecto al teórico.

Cuadro 4.4: Contenido óptimo de emulsión (diseño N°2).

% Teórico de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
15%	14%

### Resultado del diseño N°3

En el Cuadro 4.5, se muestra los resultados de los ensayos de desempeño, para cada mezcla con diferente contenido de emulsión asfáltica (14%, 15% y 16%) y con un contenido de filler igual a 1.5%. Con los cuales se elaboró el Gráfico 4.6, donde se observa los límites de contenido de emulsión asfáltica, para el diseño N° 3 de slurry seal.

Cuadro 4.5: Resultados de ISSA TB – 100 e ISSA TB - 109 (diseño N°3).

CANTERA ARUNTA				
Emulsión (%)	Abrasión en Húmedo	Rueda Cargada	Min	Max
14	421.12	310.00	538.00	807.00
15	296.43	448.76	538.00	807.00
16	192.14	597.12	538.00	807.00

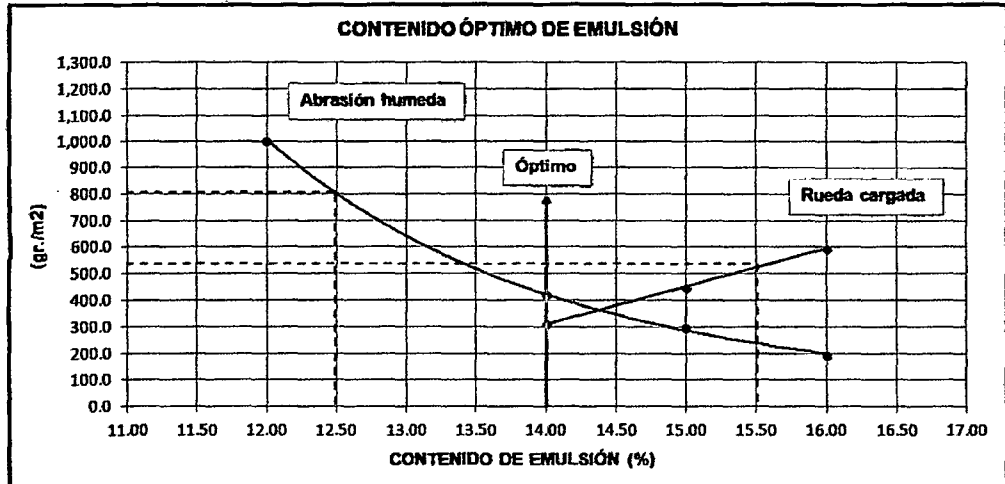


Gráfico 4.6: Contenido Óptimo de Asfalto ISSA TB – 111 (diseño N°3).

Según el Gráfico 4.6, se observa el contenido mínimo igual a 12.5%, determinado por el ensayo de abrasión y el contenido máximo igual a 15.5%, determinado por el ensayo de rueda cargada. Con estos valores se determinó el contenido óptimo de emulsión asfáltica, de la siguiente manera:

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = \frac{15.5 - 12.5}{2} + 12.5$$

$$\% \text{ óptimo de emulsión} = 14.00\%$$

Con este valor se define el diseño final N°3, observando la variación de 1% con respecto al teórico.

Cuadro 4.6: Contenido óptimo de emulsión (diseño N°3).

% Teórico de Emulsión	% Óptimo de Emulsión
15%	14%

#### 4.1.2 Ensayo de cohesión (ISSA TB - 139)

Este ensayo determina la cohesión, simulando una superficie de pavimento expuesto al tránsito vehicular. Mediante esta prueba se define el tiempo de rotura y el tiempo de apertura al tráfico, necesarios para evaluar en obra la apertura al tránsito vehicular. Para un mejor entendimiento de las variables mencionadas, se definirá a continuación cada una de ellas.

- Se define como **tiempo de rotura**, al tiempo transcurrido desde la fabricación de la mezcla hasta que esta no pueda ser remezclada homogéneamente; no se pueden producir desplazamientos laterales al presionar suavemente la mezcla con el dedo; no mancha un papel de filtro colocado y presionado ligeramente sobre la superficie de la mezcla, o cuando la emulsión rompe y esta no puede diluirse o arrastrarse al añadir agua. El tiempo queda definido, cuando se llega a un nivel de torque igual a 12 kg. – cm.
- Se define como **tiempo de apertura al tráfico**, al tiempo transcurrido desde que se extiende la mezcla hasta permitir el tránsito de los vehículos, sin causar desperfectos en la misma. El tiempo queda definido, cuando se llega a un nivel de torque igual a 20 Kg. – cm.

El ensayo consiste en someter una mezcla de mortero asfáltico, a una presión de 200 kPa mediante un cilindro de compresión neumático y aplicar un torque. Se registra el valor obtenido y el tiempo en evaluación. Con estos valores se elabora una curva, el cual proporcionará información relativa a la evolución de la cohesión. De esta forma, se puede establecer una clasificación del slurry seal, según el Gráfico 4.7.

#### Registro de valores:

- Los resultados de los valores de torsión, deben estar registrados en intervalos de tiempos adecuados (30, 60 minutos, etc.), hasta que se establezca una tendencia adecuada.



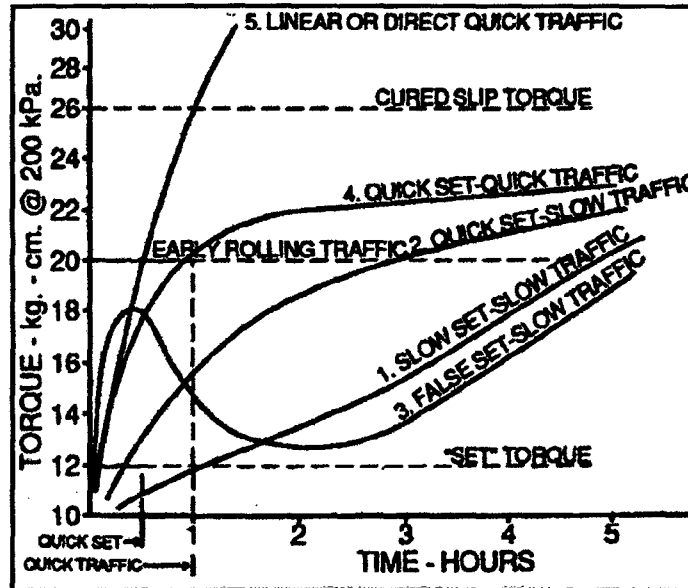


Gráfico 4.7: Clasificación de los morteros asfálticos.

Fuente: ISSA - TB 139 – 2010.

Donde:

- 1: Curado lento – Apertura diferida al tráfico.
- 2: Curado rápido – Apertura diferida al tráfico.
- 3: Falso curado – Apertura diferida al tráfico.
- 4: Curado rápido – Apertura rápida al tráfico.
- 5: Apertura directa al tráfico.

#### Procedimiento del ensayo:

- Para las gradaciones del Tipo II y Tipo III se tamiza a través del tamiz 4,75 mm u 8 mm respectivamente; mientras que la parte retenida se descarta.
- Un número adecuado de muestras idénticas son mezclados y fundidos moldes en los anillos de 6 mm (para el tipo II / 4.75 mm) y 10 mm (para el tipo III / 8 mm) y son centrados en el cartón asfaltado cuadrado. Hay que

tener cuidado para producir muestras uniformes cuyas superficies son paralelas horizontalmente.

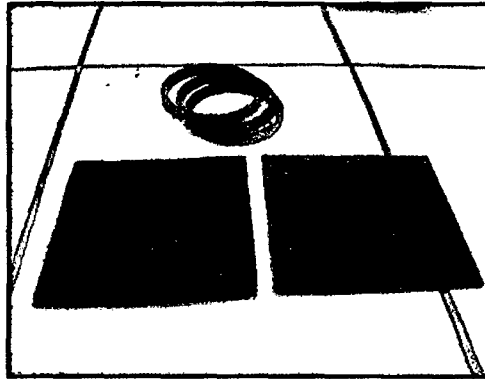


Figura 4.1: Anillos y cartón asfáltico.

- Las mediciones del “torque” se realiza en intervalos adecuados como a 30’, 60’, 90’, 150’, 210’ y 270’ minutos después de haber colocado la mezcla en el molde.
- La probeta se centra en el pie de neopreno, instrumento de presión de aire a 200 kPa; y el pie se baja contra la muestra a una velocidad de 8 a 10 cm por segundo.

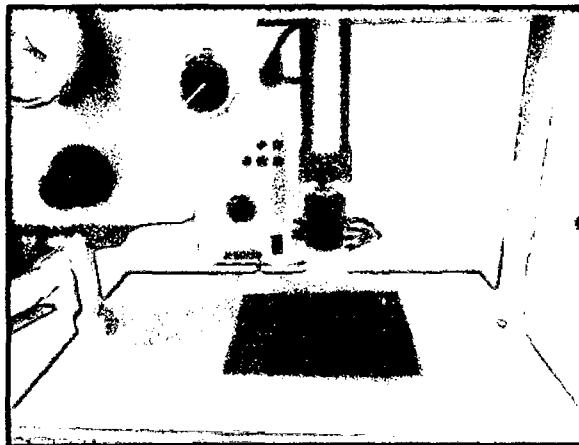


Figura 4.2: Colocación de la probeta en el equipo.

- Después de 5 a 6 segundos de la compactación, el medidor de torque se pone en cero y se coloca en la parte superior del cilindro de compresión neumático; se gira en un suave y firme movimiento horizontal de 90° a 120° dentro de 0.7 a 1.0 segundos.

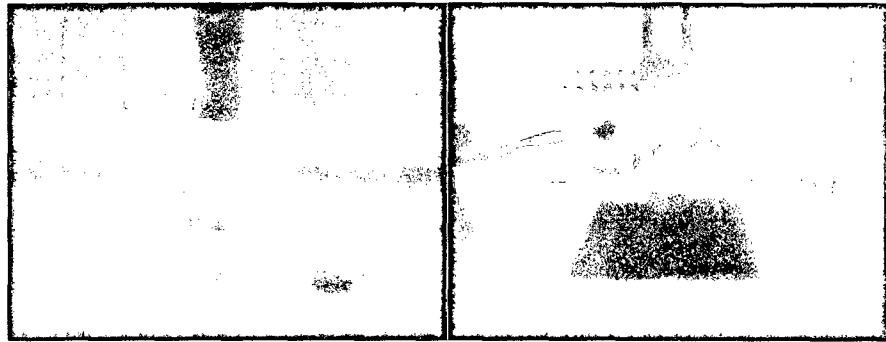


Figura 4.3: Aplicando torque a la probeta.

- La lectura del torque se registra junto con el tiempo.
- Levantar el cilindro de compresión neumático y limpiarlo raspando el pie de goma.

Se elaboró cinco probetas para cada diseño, como se observa en la Figura 4.4, donde se muestra el estado físico antes y después del ensayo. Estas probetas deben estar expuestas al medio ambiente, para simular las condiciones en obra; generalmente se elaboran en el día, expuestos al sol.

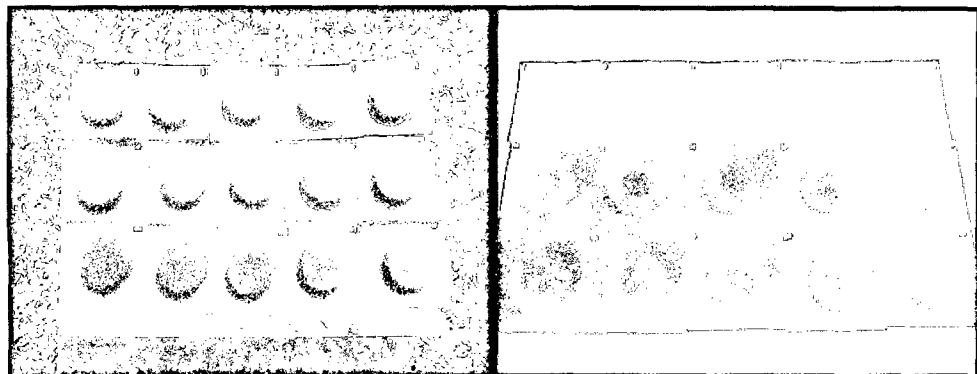


Figura 4.4: Probetas antes y después del ensayo.

### Resultado del diseño N°1

En el Cuadro 4.7, se muestra la dosificación de los componentes para el diseño N° 1. Con el contenido óptimo de emulsión asfáltica igual a 14% y con el contenido de filler igual a 0.5%.

Cuadro 4.7: Dosificación ISSA TB – 139 (diseño N°1).

CANTERA ARUNTA		
MATERIAL	CANTIDAD	
	(%)	(gr.)
Emulsión	14	28
Agregado	100	200
Filler	0.5	1
Agua	10	20

En el Cuadro 4.8, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo para el diseño N° 1, valores de torque con su respectivo tiempo de curado (tiempo transcurrido desde su colocación en el molde). Con los cuales se elaboró el Gráfico 4.8, donde se muestra la tendencia del ensayo.

Cuadro 4.8: Lecturas ISSA TB – 139 (diseño N°1).

CANTERA ARUNTA	
TIEMPO	CARGA kg - cm
30'	6
60'	11
120'	16
180'	19
270'	22

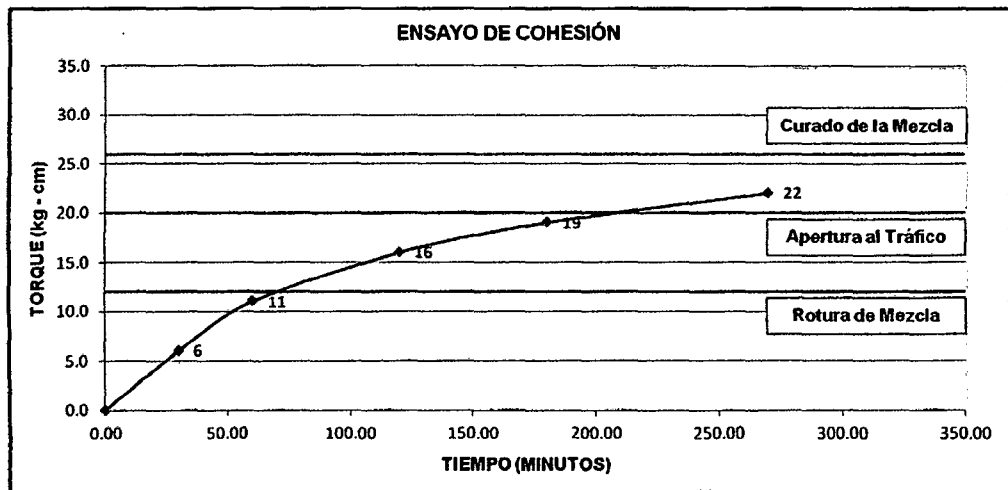


Gráfico 4.8: Tendencia ISSA TB – 139 (diseño N°1).

En el Gráfico 4.8, se observa la tendencia de los valores de torque con respecto al tiempo de curado. Mostrando así, la evolución de la consistencia del slurry seal. Con el cual, se puede clasificar como un mortero de curado rápido y de apertura diferida al tráfico, según el Gráfico 4.7 de la ISSA TB 139; obteniendo un tiempo de rotura igual a 70 minutos y un tiempo de apertura al tráfico igual a 200 minutos.

### Resultado del diseño N°2

En el Cuadro 4.9, se muestra la dosificación de los componentes para el diseño N° 2. Con el contenido óptimo de emulsión asfáltica igual a 14% y con el contenido de filler igual a 1.0%.

Cuadro 4.9: Dosificación ISSA TB – 139 (diseño N°2).

CANTERA ARUNTA.		
MATERIAL	CANTIDAD	
	(%)	(gr.)
Emulsión	14	28
Agregado	100	200
Filler	1	2
Agua	10	20

En el Cuadro 4.10, se muestran los resultados obtenidos del ensayo para el diseño N° 2, valores de torque con su respectivo tiempo de curado de la mezcla. Con los cuales se elaboró el Gráfico 4.9, donde se muestra la tendencia del ensayo.

Cuadro 4.10: Lecturas ISSA TB – 139 (diseño N°2).

CANTERA ARUNTA.	
TIEMPO	CARGA kg - cm
30'	8
60'	14
120'	19
180'	21
270'	23

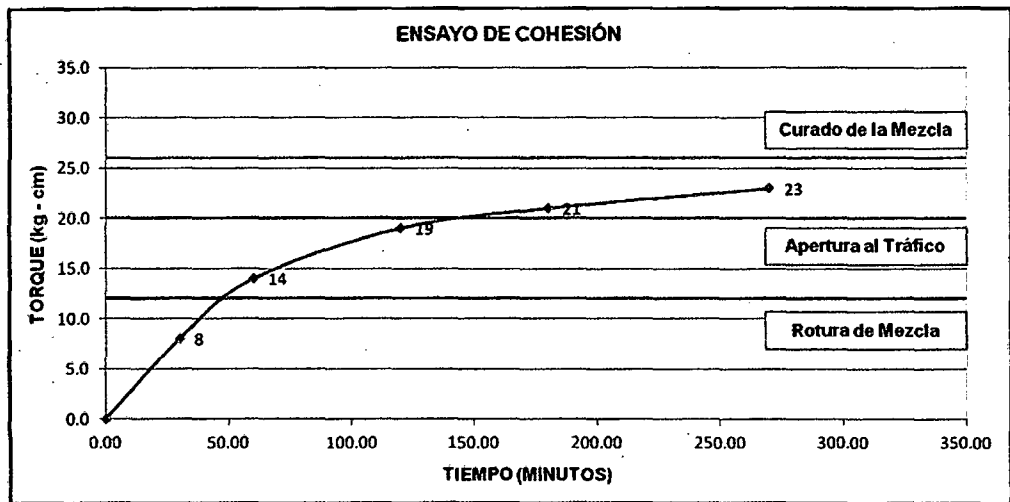


Gráfico 4.9: Tendencia ISSA TB – 139 (diseño N°2).

En el Gráfico 4.9, se observa la tendencia de los valores de torque con respecto al tiempo de curado. Mostrando así, la evolución de la consistencia del slurry seal. Con lo cual, se puede clasificar como un mortero de curado rápido y de apertura diferida al tráfico, según el Gráfico 4.7 de la ISSA TB 139; obteniendo un tiempo de rotura igual a 50 minutos y un tiempo de apertura al tráfico igual a 150 minutos.

### Resultado del diseño N°3

En el Cuadro 4.11, se muestra la dosificación de los componentes para el diseño N° 3. Con el contenido óptimo de emulsión asfáltica igual a 14% y con el contenido de filler igual a 1.5%.

Cuadro 4.11: Dosificación ISSA TB – 139 (diseño N°3).

CANTERA ARUNTA		
MATERIAL	CANTIDAD	
	(%)	(gr.)
Emulsión	14	28
Agregado	100	200
Filler	1.5	3
Agua	10	20

En el Cuadro 4.12, se muestran los resultados obtenidos del ensayo para el diseño N° 3, valores de torque con su respectivo tiempo de curado de la mezcla. Con los cuales se elaboró el Gráfico 4.9, donde se muestra la tendencia del ensayo.

Cuadro 4.12: Lecturas ISSA TB – 139 (diseño N°3).

CANTERA ARUNTA	
TIEMPO	CARGA kg - cm
30'	10
60'	16
120'	20
180'	22
270'	24

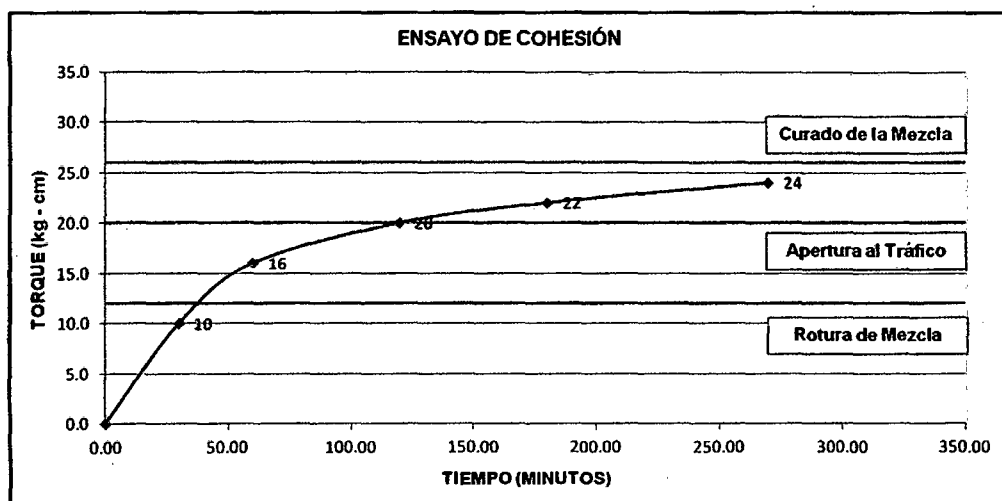


Gráfico 4.10: Tendencia ISSA TB – 139 (diseño N°3).

En el Gráfico 4.10, se observa la tendencia de los valores de torque con respecto al tiempo de curado. Mostrando así, la evolución de la consistencia del slurry seal. Con lo cual, se puede clasificar como un mortero de curado rápido y de apertura diferida al tráfico, según el Gráfico 4.7 de la ISSA TB 139; obteniendo un tiempo de rotura igual a 40 minutos y un tiempo de apertura al tráfico igual a 120 minutos.

## 4.2. RESUMEN DE LOS DISEÑOS DE SLURRY SEAL

Como se mencionó anteriormente, se realizaron tres diseños de slurry seal variando el contenido de filler (0.5%, 1.0% y 1.5%) en la mezcla. Con la finalidad de apreciar la mejora que ofrece al diseño, el incrementar el contenido de filler. Se utilizó emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta modificada con polímeros (CSS – 1hp), elaborada con la dosificación de los componentes mostrado en el Cuadro 4.13, desarrollado por el especialista en emulsiones asfálticas.

Cuadro 4.13: Dosificación de los componentes de la emulsión.

<b>DOSIFICACIÓN DE LA EMULSIÓN (CSS – 1hp)</b>	
<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Asfalto</b>	<b>61.00%</b>
<b>Acido Clorhídrico</b>	<b>0.12%</b>
<b>Cloruro de Calcio</b>	<b>0.10%</b>
<b>Emulsificante</b>	<b>3.00%</b>
<b>Polímero SBR</b>	<b>1.30%</b>
<b>Agua</b>	<b>34.48%</b>

A continuación se resumirá la fórmula de trabajo para cada diseño definitivo, con sus respectivos resultados en las pruebas de desempeño.

### 4.2.1 Diseño definitivo.N°1.

En el Cuadro 4.14, se muestra la dosificación final de los componentes del slurry seal para el diseño N°1. El cual indica el porcentaje del componente con respecto al peso seco del agregado. Estos valores pueden ser modificados según las condiciones climáticas en obra, con la respectiva aprobación del especialista.

Cuadro 4.14: Fórmula de trabajo para el Slurry Seal (Diseño N°1).

<b>FÓRMULA DE TRABAJO DISEÑO N°1</b>	
<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Agregado</b>	<b>100.00%</b>
<b>Cemento Portland</b>	<b>0.50%</b>
<b>Agua</b>	<b>10.00%</b>
<b>Emulsión CSS – 1hp</b>	<b>14.00%</b>



En el Cuadro 4.15, se muestra los resultados de las pruebas de desempeño para la fórmula de trabajo del diseño N°1. Donde se indica las principales características de la mezcla, importantes para la toma de decisiones durante su colocación. La evolución de la consistencia, se muestra en el Gráfico 4.11.

Cuadro 4.15: Resultado de las pruebas de desempeño (Diseño N°1).

PRUEBAS DE DESEMPEÑO	
Ensayo	Resultado
Tiempo de Mezcla @ T = 30°C (ISSA TB - 113)	290 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB - 100)	598.12 gr/m <sup>2</sup>
Rueda Cargada (ISSA TB - 109)	370.52 gr/m <sup>2</sup>
Cohesión (ISSA TB - 139)	Cuadro 4.16

Cuadro 4.16: ISSA TB – 139 (diseño N°1).

TIEMPO	CARGA kg - cm
30'	6
60'	11
120'	16
180'	19
270'	22

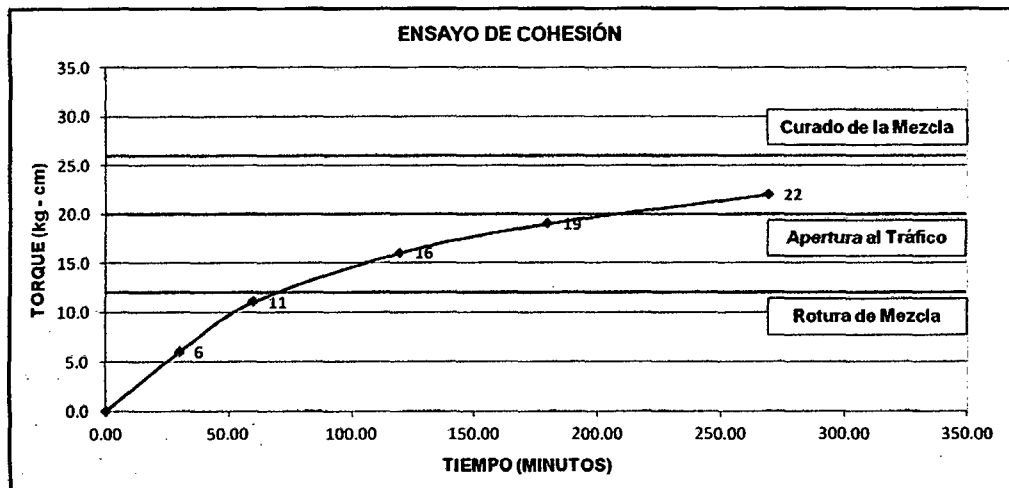


Gráfico 4.11: Cohesión ISSA TB – 139 (diseño N°1).

#### 4.2.2. Diseño definitivo N°2.

En el Cuadro 4.17, se muestra la dosificación final de los componentes del slurry seal para el diseño N°2. El cual indica el porcentaje con respecto al peso seco del agregado. Estos valores pueden ser modificados según las condiciones climáticas en obra, con la respectiva aprobación del especialista.

Cuadro 4.17: Fórmula de trabajo para el Slurry Seal (Diseño N°2).

<b>FÓRMULA DE TRABAJO DISEÑO N°2</b>	
<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Agregado</b>	100.00%
<b>Cemento Portland</b>	1.00%
<b>Agua</b>	10.00%
<b>Emulsión CSS – 1hp</b>	14.00%

En el Cuadro 4.18, se muestra los resultados de las pruebas de desempeño para la fórmula de trabajo del diseño N°2. Donde se indica las principales características de la mezcla, importantes para la toma de decisiones durante su colocación. La evolución de la consistencia, se muestra en el Gráfico 4.12.

Cuadro 4.18: Resultado de las pruebas de desempeño (Diseño N°2).

<b>PRUEBAS DE DESEMPEÑO</b>	
<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>
<b>Tiempo de Mezcla @ T = 30°C (ISSA TB - 113)</b>	240 segundos
<b>Abrasión en Húmedo (ISSA TB - 100)</b>	512.58 gr/m2
<b>Rueda Cargada (ISSA TB - 109)</b>	346.17 gr/m2
<b>Cohesión (ISSA TB - 139)</b>	Cuadro 4.19

Cuadro 4.19: ISSA TB – 139 (diseño N°2).

<b>TIEMPO</b>	<b>CARGA kg - cm</b>
<b>30'</b>	8
<b>60'</b>	14
<b>120'</b>	19
<b>180'</b>	21
<b>270'</b>	23

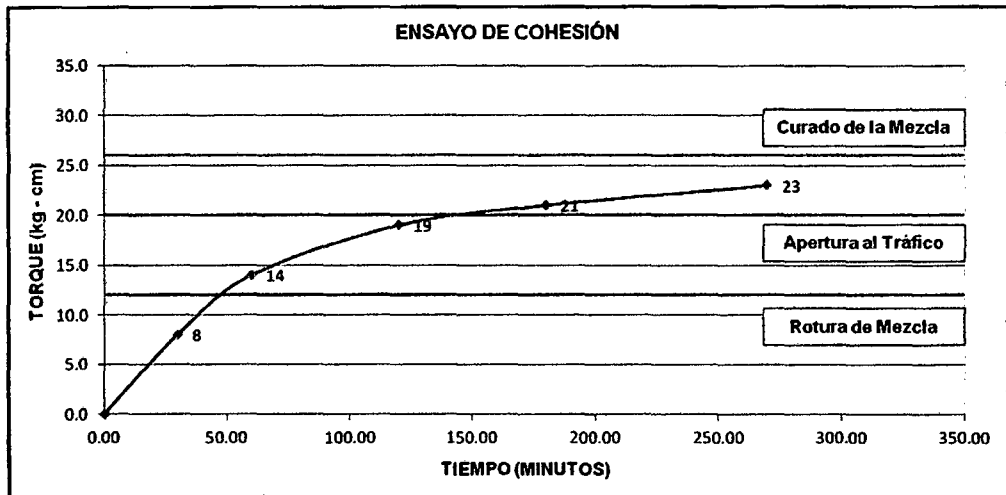


Gráfico 4.12: Cohesión ISSA TB – 139 (diseño N°2).

#### 4.2.3. Diseño definitivo N°3.

En el Cuadro 4.20, se muestra la dosificación final de los componentes del slurry seal para el diseño N°3. El cual indica el porcentaje del componente con respecto al peso seco del agregado. Estos valores pueden ser modificados según las condiciones climáticas en obra, con la respectiva aprobación del especialista.

Cuadro 4.20: Fórmula de trabajo para el Slurry Seal (Diseño N°3).

FÓRMULA DE TRABAJO DISEÑO N°3	
Componente	Cantidad
Agregado	100.00%
Cemento Portland	1.50%
Agua	10.00%
Emulsión CSS – 1hp	14.00%

En el Cuadro 4.21, se muestra los resultados de las pruebas de desempeño para la fórmula de trabajo del diseño N°3. Donde se indica las principales características de la mezcla, importantes para la toma de decisiones durante su colocación. La evolución de la consistencia, se muestra en el Gráfico 4.13.

Cuadro 4.21: Resultado de las pruebas de desempeño (Diseño N°3).

PRUEBAS DE DESEMPEÑO	
Ensayo	Resultado
Tiempo de Mezcla @ T = 30°C (ISSA TB - 113)	210 segundos
Abrasión en Húmedo (ISSA TB - 100)	421.06 gr/m <sup>2</sup>
Rueda Cargada (ISSA TB - 109)	309.89 gr/m <sup>2</sup>
Cohesión (ISSA TB - 139)	Cuadro 4.22

Cuadro 4.22: ISSA TB – 139 (diseño N°3).

TIEMPO	CARGA kg - cm
30'	10
60'	16
120'	20
180'	22
270'	24

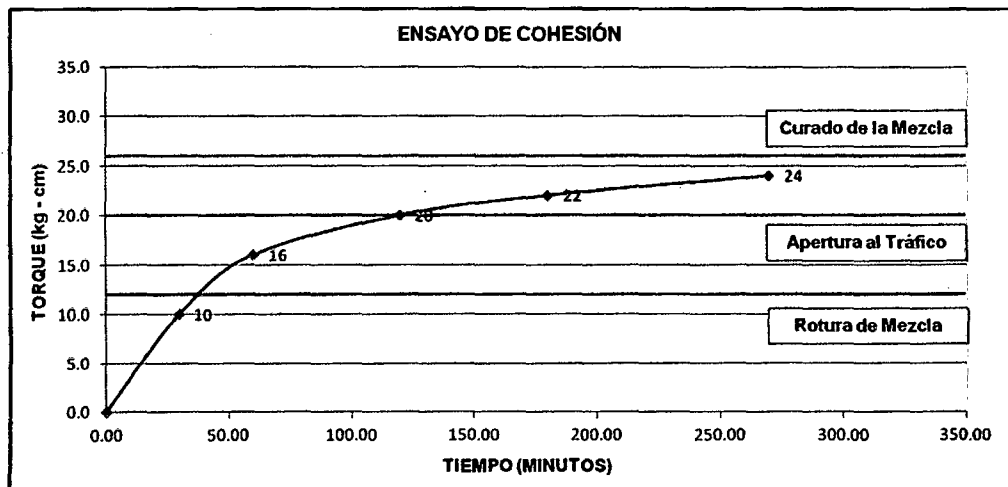


Gráfico 4.13: Cohesión ISSA TB – 139 (diseño N°3).

### 4.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONTENIDO DE FILLER EN EL SLURRY SEAL

En el presente ítem, se va a realizar un análisis comparativo del comportamiento del slurry seal modificada con polímeros, evaluando diferentes cantidades de filler (cemento Portland tipo I).

En base a los resultados obtenidos en los ensayos de desempeño para cada diseño, se elaboró cuadros y gráficos, con la finalidad de evidenciar la influencia del contenido de filler en el comportamiento del slurry seal. Y cumplir con uno de los objetivos de la presente investigación.

#### 4.3.1 Ensayo de tiempo de mezcla (ISSA TB – 113).

En el Cuadro 4.23, se muestra los valores de tiempo de mezcla y la cantidad de cemento para cada diseño (N°1, N°2 y N°3). Con los cuales se elaboró la Gráfica 4.24, para observar la tendencia del tiempo de mezcla a medida que se modifica el contenido de cemento en la mezcla.

Cuadro 4.23: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 113.

CANTERA ARUNTA	
Cemento	Tiempo de mezcla
0.50%	290 segundos
1.00%	240 segundos
1.50%	210 segundos

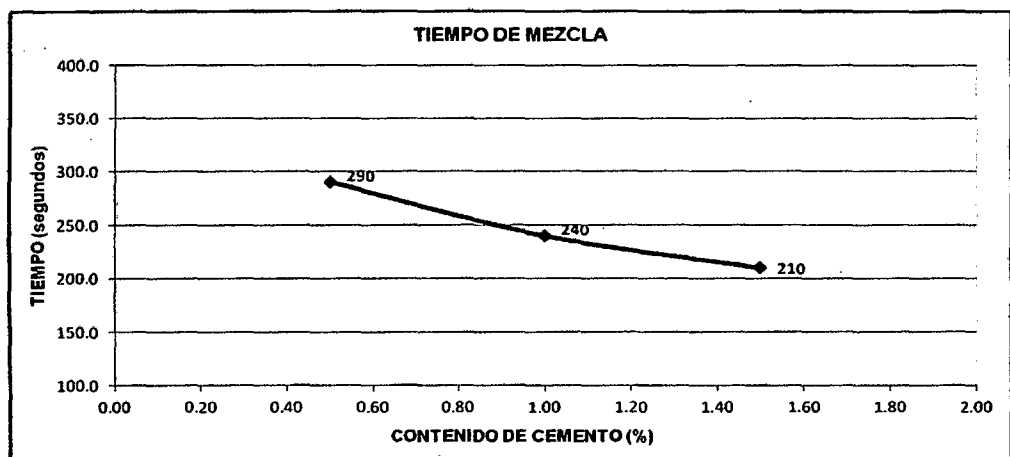


Gráfico 4.14: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 113.

En el Gráfico 4.14, se observa la tendencia del tiempo de mezcla con respecto a la cantidad de cemento. El cual indica, que a medida que se incrementa la cantidad de cemento se reduce el tiempo de mezclado, esto debido al incremento de la parte fina del agregado y por la propiedad del cemento de absorber agua. Esta variable es importante para garantizar la homogeneidad en el mezclado de los componentes, permitiendo que la emulsión asfáltica cubra la superficie del agregado.

**4.3.2 Ensayo de abrasión en húmedo (ISSA TB – 100)**

En el Cuadro 4.24, se muestra los valores de pérdida por abrasión en húmedo y la cantidad de cemento para cada diseño (N°1, N°2 y N°3). Con los cuales se elaboró la Gráfica 4.15, para observar la tendencia de la pérdida por abrasión en húmedo a medida que se modifica el contenido de cemento en la mezcla.

Cuadro 4.24: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 100.

CANTERA ARUNTA	
Cemento	Abrasión
0.50%	598.12 gr/m2
1.00%	512.58 gr/m2
1.50%	421.06 gr/m2

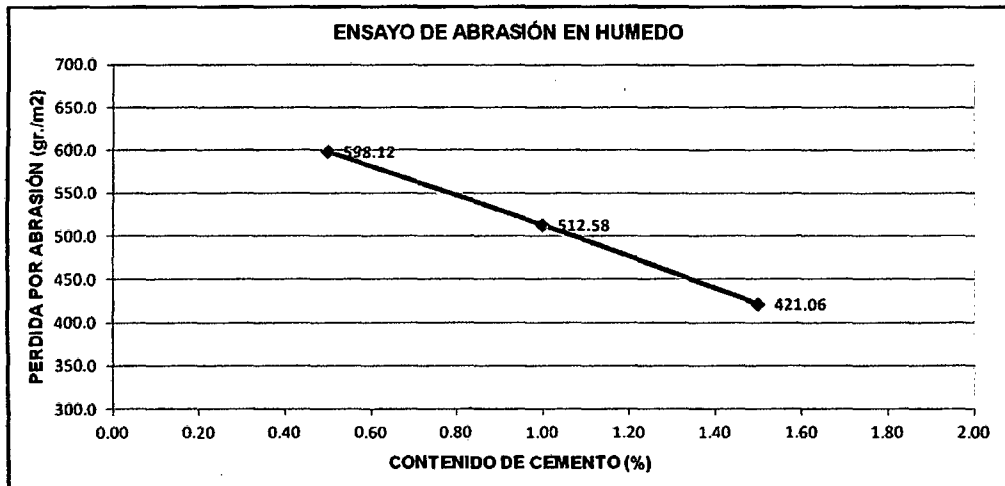


Gráfico 4.15: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 100.

En el Gráfico 4.15, se observa la tendencia de la pérdida por abrasión en húmedo con respecto a la cantidad de cemento. El cual indica, que a medida que se incrementa la cantidad de cemento se reduce la pérdida por abrasión de manera considerable, esto permite incrementar la resistencia al tránsito de vehículos en zonas lluviosas. Esto debido al incremento de la parte fina del agregado y de la resistencia, por parte del cemento. Esta variable es importante para garantizar la vida útil de la mezcla en zonas lluviosas, por lo que se debe evaluar adecuadamente.

#### 4.3.3 Ensayo de rueda cargada (ISSA TB – 109)

En el Cuadro 4.25, se muestra los valores de arena adherida y la cantidad de cemento para cada diseño (N°1, N°2 y N°3). Con los cuales se elaboró la Gráfica 4.16, para observar la tendencia de arena adherida a medida que se modifica el contenido de cemento en la mezcla.

Cuadro 4.25: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 109.

CANTERA ARUNTA	
Cemento	Arena adherida
0.50%	370.52 gr/m <sup>2</sup>
1.00%	346.17 gr/m <sup>2</sup>
1.50%	309.89 gr/m <sup>2</sup>

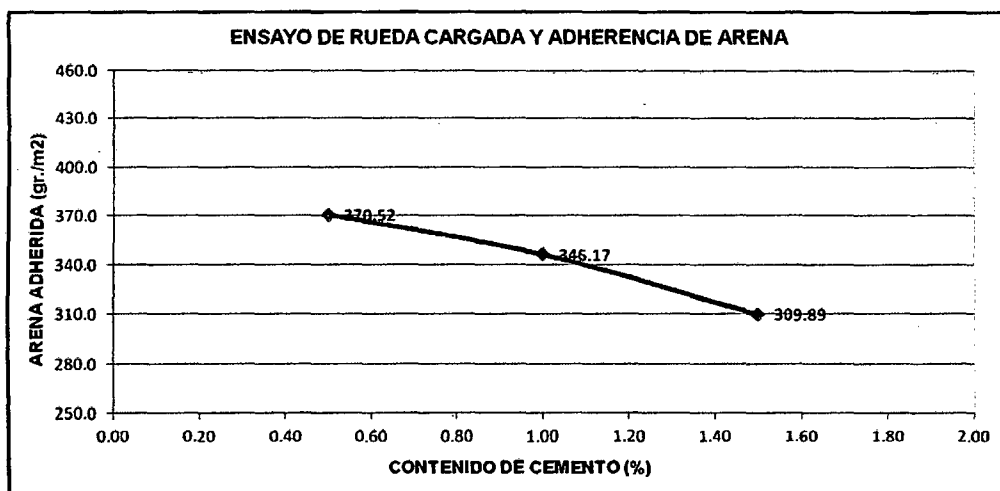


Gráfico 4.16: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 109.

En el Gráfico 4.16, se observa la tendencia de arena adherida con respecto a la cantidad de cemento. El cual indica, que a medida que se incrementa la cantidad de cemento se reduce la cantidad de arena adherida en la probeta, esto permite incrementar la resistencia al tránsito de vehículos pesados. Esto debido al incremento de la parte fina del agregado y de la resistencia, por parte del cemento.

#### 4.3.4 Ensayo de cohesión (ISSA TB – 139)

En el Cuadro 4.26, se muestra los valores de torque para un tiempo de curado y la cantidad de cemento para cada diseño (N°1, N°2 y N°3). Con los cuales se elaboró la Gráfica 4.17, para observar la tendencia de la cohesión a medida que se modifica el contenido de cemento en la mezcla.

Cuadro 4.26: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 139.

TIEMPO	CANTERA ARUNTA CEMENTO		
	0.5%	1.0%	1.5%
30'	6	8	10
60'	11	14	16
120'	16	19	20
180'	19	21	22
270'	22	23	24

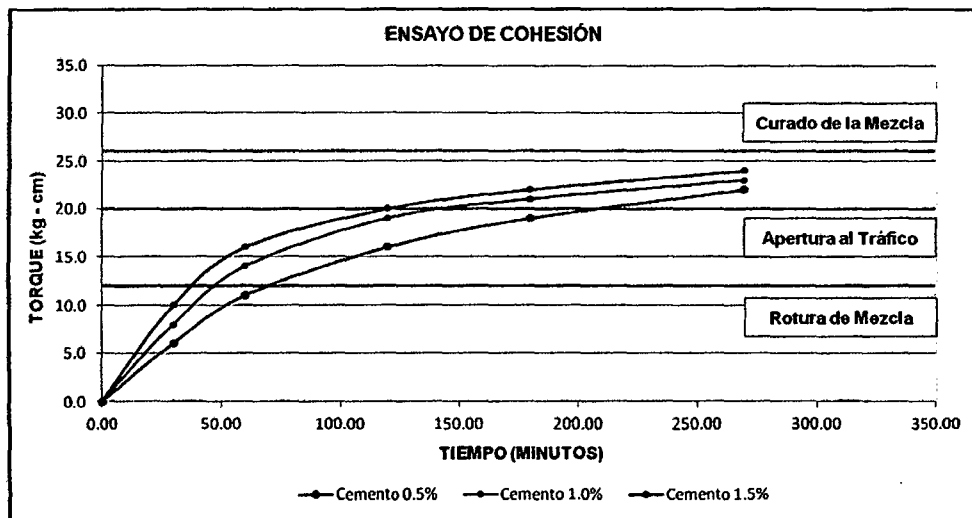


Gráfico 4.17: Diferentes porcentajes de cemento ISSA TB – 139.



En el Gráfico 4.17, se observa la evolución de la consistencia de los tres diseños con diferentes cantidades de filler. El cual indica, que a medida que se incrementa la cantidad de cemento se incrementa la cohesión, esto permite reducir el tiempo de rotura y el tiempo de apertura al tráfico, variables que son de mucha importancia durante la colocación de la mezcla. Esto se debe a la propiedad del cemento de aportar resistencia.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

1. Al realizar la caracterización del agregado de la cantera Arunta. Se obtuvieron resultados satisfactorios en los respectivos ensayos, cumpliendo con las especificaciones establecidas por la ISSA. Con lo cual se concluye, que el material puede ser utilizado para el diseño de un slurry seal.
2. La cantidad óptima de emulsión asfáltica para el agregado de la cantera Arunta es 14% del peso seco del agregado, establecida en la fórmula de trabajo para cada diseño de slurry seal. Esta cantidad garantiza la resistencia de la mezcla a la abrasión en húmedo y a la exudación del asfalto.
3. La cantidad de agua (10%) establecida en la fórmula de trabajo para cada diseño de slurry seal, garantiza la trabajabilidad de la mezcla a condiciones de laboratorio. Por el cual, según las condiciones climáticas existente en obra se puede modificar el contenido, con la finalidad de obtener una mezcla manejable durante su colocación.
4. A medida que se incrementa la cantidad de filler (cemento portland tipo I) en la fórmula de trabajo del slurry seal los valores de pérdida por abrasión en húmedo y los valores de arena adherida tienden a reducir, siendo de mayor consideración en la primera variable. Esto permite adoptar un criterio con respecto a la cantidad de cemento en el diseño de un slurry seal, si se pretende incrementar, la resistencia a la abrasión en zonas expuestas a las lluvias y la resistencia a la exudación del asfalto en zonas expuestas al tránsito vehicular pesado.
5. También, a medida que se incrementa la cantidad de cemento en la fórmula de trabajo del slurry seal los valores de cohesión tienden a incrementarse, mientras que los valores del tiempo de mezclado tiende a reducir. Esto permite reducir el tiempo de apertura al tráfico y poder minimizar costos en seguridad vial durante su colocación, teniendo en consideración el tiempo de mezclado.

6. Las emulsiones asfálticas modificados con polímeros contienen agentes mejoradores de adherencia, esto permite un enlace químico entre el asfalto y la superficie del agregado obteniendo un cubrimiento del agregado con adhesión resistente al agua, es decir una adhesión activa que se traduce en mayor resistencia al desprendimiento durante la puesta en servicio del mortero asfáltico. Esto se evidenció en el ensayo ISSA TB – 114, donde se muestra que a mayor contenido de polímero en la emulsión asfáltica se reduce el desprendimiento.
7. La utilización de polímeros en morteros asfálticos permite reducir la susceptibilidad del ligante a los cambios térmicos y mejorar las propiedades antiderrapantes en la vía (en zona de curvas y pendientes pronunciadas), otorgando mayor durabilidad que un mortero sin la adición de polímero. Razón por el cual se utiliza en recuperación de ahuellamientos y en la rehabilitación de vías principales.
8. Para la producción de la mezcla no se requiere calentar al agregado ni a la emulsión asfáltica y las instalaciones para su producción son fácilmente transportables a la zona de colocación. Esto permite reducir la probabilidad de accidentes por manipulación y reducir el consumo de energía, incidiendo significativamente en la reducción de los costos de producción y colocación del slurry seal.

## 5.2 RECOMENDACIONES

1. Realizar una correcta caracterización del agregado a utilizarse en el diseño de un slurry seal utilizando la normatividad especificada para dicho fin, ya que constituye entre el 82% y 90% de la mezcla. Esto permitirá desarrollar una emulsión asfáltica compatible con el agregado y se pueda elaborar un mortero asfáltico que cumpla con las exigencias de diseño establecido en la ISSA A - 105.
2. Con respecto al agregado de la cantera Arunta es recomendable su uso en la aplicación de un slurry seal, debido a sus buenas propiedades mecánicas y a los excelentes resultados que se obtuvieron en las pruebas de desempeño. Así como también, se recomienda el incremento de los finos en el agregado mediante el uso de filler (cemento portland tipo I), ya que afecta a la resistencia y al tiempo de apertura al tráfico de un slurry seal.
3. Se recomienda colocar un porcentaje de filler (cemento portland tipo I) igual a 1.0% en la fórmula de trabajo para el diseño del slurry seal, desarrollado para el agregado de la cantera Arunta. Esto en base a los resultados obtenidos en los ensayos de desempeño y en la cantidad de finos del agregado. Considerando también que al incrementar el porcentaje de filler, se reduce el tiempo de mezcla y se incrementa el costo de la mezcla.
4. Se debe tomar en cuenta las variaciones de temperatura y de humedad en el ambiente durante el desarrollo del diseño del slurry seal, para que sea considerado durante la producción y colocación, y poder realizar las modificaciones correspondientes. Ya que esto influye directamente en el contenido de agua de la mezcla.
5. Se debe añadir polímero a las emulsiones asfálticas para mejorar la reología del asfalto y pueda desarrollar una mejor adherencia con los agregados, permitiendo elaborar morteros asfálticos más resistentes a los agentes externos. Esto con la finalidad de obtener un tratamiento superficial más durable y económicamente factible.

6. Se recomienda el uso de slurry seal modificado con polímeros como tratamiento superficial de pavimentos por su buen desempeño frente a exigencias de diseño. Y debido a que dentro de sus componentes no contiene ningún contaminante, y durante la producción y colocación no emiten gases ni dejan residuos tóxicos que puedan contaminar el medio ambiente, obteniendo una técnica compatible con su conservación.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA QUINECHE, Miguel Angel. "Aplicaciones de las Emulsiones Asfálticas". Universidad Nacional de Ingeniería. Lima - Perú, 2001.
2. CHAVEZ ROLDAN, Iván A. "Tecnología del Asfalto". BITUPER S.A.C. Lima – Perú, 2004.
3. COSTA HERNÁNDEZ, Andrés. "Lechadas bituminosas en capas superficiales". Asfaltos y construcciones ELSAN S. A. Santo Domingo, 2009.
4. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. "State of the Practice Design, Construction, and Performance of micro-surfacing". US. Department of Transportation. USA, 1994.
5. GARCIA ROJAS, Edinson Orlando. PRADO ESCOBAR, Luís Alberto. "Estudio comparativo del slurry seal utilizando agregados de tipo calcáreo y silíceo, como tratamientos para el mantenimiento y rehabilitación de superficies asfálticas". Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo - Venezuela, 2005.
6. INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION. "Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal Surfaces". Leaflet A 105. USA, 2010.
7. INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION. "Recommended Performance Guidelines for Polymer Modified Microsurfacing". Leaflet A 143. USA, 2010.
8. RIVERA E., Gustavo. "Emulsiones Asfálticas". Editorial Alfa & Omega. México, 1998.

9. RIVERA E., Gustavo. "Mortero Asfáltico: Slurry Seal". Editorial Alfa & Omega. México, 1992.
10. RODRÍGUEZ MOGOLLÓN, Wilder. "Pavimentos económicos sobre vías afirmadas experiencia peruana". Congreso CIC. Costa Rica, 2010.
11. SAUCEDO, Ray. "Diferentes usos y aplicaciones en vías de comunicación de las emulsiones asfálticas". Curso sobre emulsiones Asfálticas. Lima – Perú, 2002.
12. RODRÍGUEZ TALAVERA, Rogelio. CASTAÑO MENESES, Víctor Manuel. MARTÍNEZ MADRID, Miguel. "Emulsiones Asfálticas". Instituto Mexicano del Transporte. México, 2001.
13. THENOUX, Guillermo. CARRILLO, Héctor. "Lechadas Asfálticas y Micropavimentos". Instituto Chileno del Asfalto. Chile, 2000.
14. VENTURA DÁVILA, Fermín Salvador. "Polímeros para modificar mezclas asfálticas". Universidad Nacional de Ingeniería. Lima - Perú, 2009.
15. YAMUNAQUÉ MIRANDA, Jorge. "Soluciones reales, rápidas y económicas para pavimentación asfáltica". XII Congreso nacional de ingeniería civil. Huánuco – Perú, 1999.

## PAGINAS DE INTERNET

BITUPER S.A.C. "Emulsiones Asfálticas". <http://www.bituper.com/emul.htm>. Lima - Perú.

CARLOS AMOROS HECK S.A. "Slurry Seal o Micropavimentos". <http://www.camohesa.com/slurry-seal-o-micropavimentos.html>. Lima - Perú.

NESTOR HUAMAN Y ASOCIADOS. "Trabajos de Investigación - Varios". <http://www.nestorhuaman.pe/principal.html>. Lima - Perú.

OBRAS Y SERVICIOS DE URUGUAY S.A. "Slurry Seal". <http://osusa.com.uy/slurry-seal.php>. Montevideo - Uruguay.

TECNOLOGIAS VIALES. "Soluciones integrales para la infraestructura vial". <http://www.tecnologiasviales.com.pe/brochure.pdf>. Lima - Perú.



**ANEXO A:**  
**FOTOGRAFÍAS DE LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA EL**  
**DISEÑO**

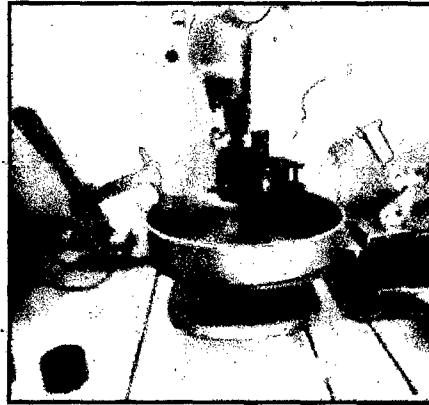


Figura A.1: Equipo para el ensayo ISSA TB - 100.

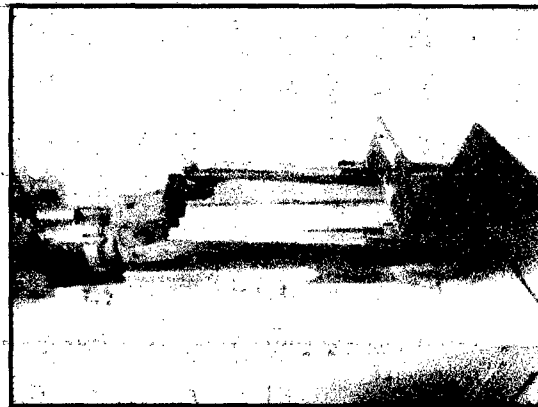


Figura A.2: Equipo para el ensayo ISSA TB - 109.

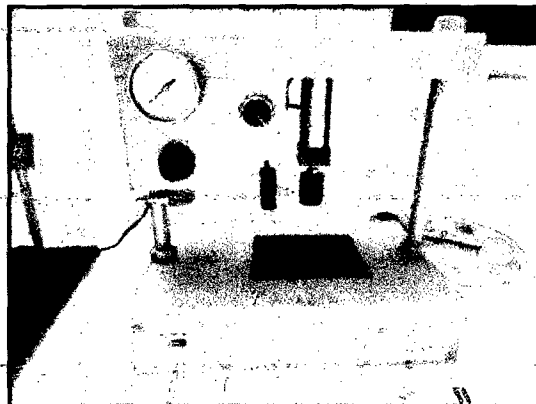


Figura A.3: Equipo para el ensayo ISSA TB - 139.

**ANEXO B:**  
**FOTOGRAFÍAS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS  
COMPONENTES**

## ANEXO B1: CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

### a. Análisis granulométrico (MTC E 204 – 2000 / ASTM C 136)



Figura B1.1: Cuarteo del agregado.



Figura B1.2: Tamices usados.

**b. Ensayo de equivalente de arena. (MTC E 114 – 2000 / ASTM D 2419)**



Figura B1.3: Vertido del agregado en la probeta con la solución stock ( $\text{CaCl}_2$ ).



Figura B1.4: Agitación de la muestra.



Figura B1.5: Lectura de arena.

**c. Ensayo de peso unitario y vacíos del agregado (MTC E 203 – 2000 /  
ASTM C 29)**



Figura B1.6: Vertido del agregado en el molde

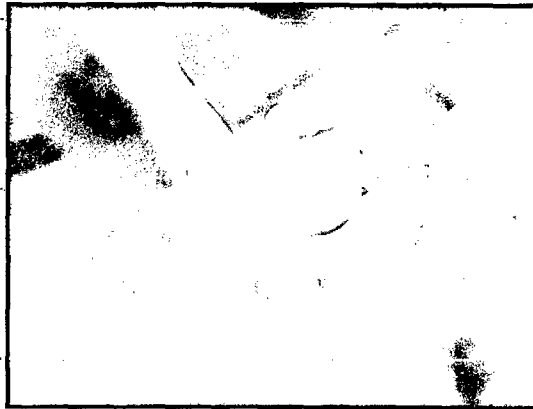


Figura B1.7: Enrasado del molde.



Figura B1.8: Pesado de la muestra.

**d. Ensayo de peso específico y absorción de agregados finos (MTC E 205  
– 2000 / ASTM C 128)**

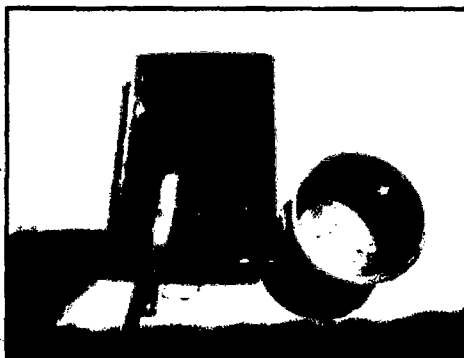


Figura B1.9: Secado de la muestra.

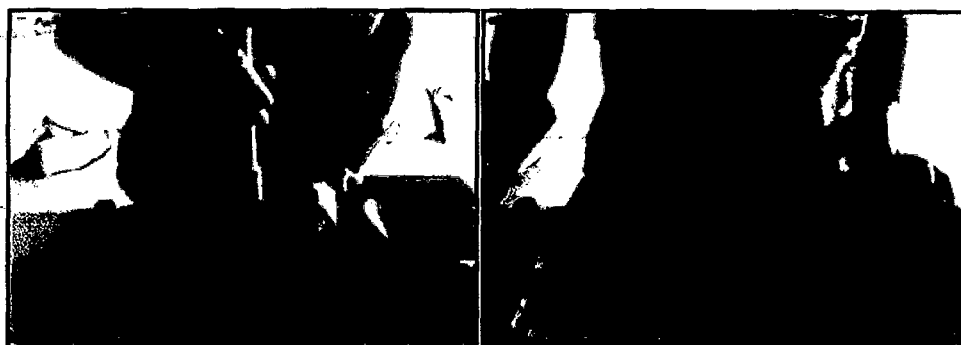


Figura B1.10: Evaluación de la superficie seca.



Figura B1.11: Eliminación de las burbujas de aire en el picnómetro.

**e. Ensayo de azul de metileno (ISSA TB – 145)**



Figura B1.12: Adición de azul de metileno a la muestra.



Figura B1.13: Agitación magnética.

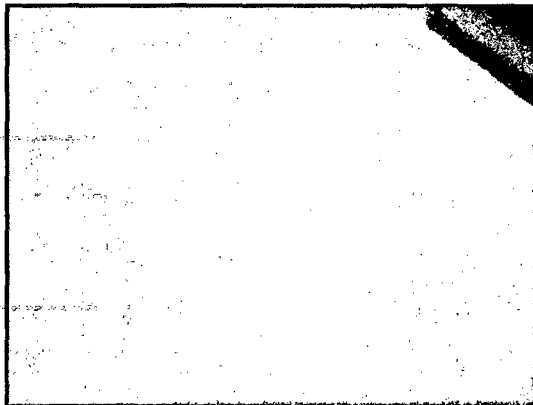


Figura B1.14: Muestra colocada en el papel filtro.



## ANEXO B2: CARACTERIZACIÓN DE LA EMULSION ASFÁLTICA

### a. Ensayo de viscosidad Saybolt de emulsiones asfálticas (MTC E 403 – 2000)



Figura B2.1: Viscosímetro calibrado a 25 °C.

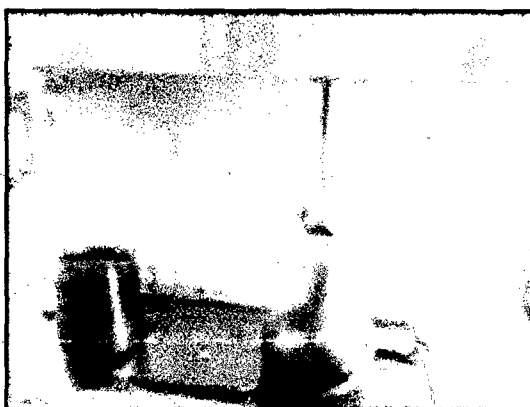


Figura B2.2: Flujo de la emulsión a través del viscosímetro al vaso receptor una vez retirado el corcho.

**b. Ensayo de punto de ablandamiento de materiales asfálticos (MTC E 307  
– 2000)**

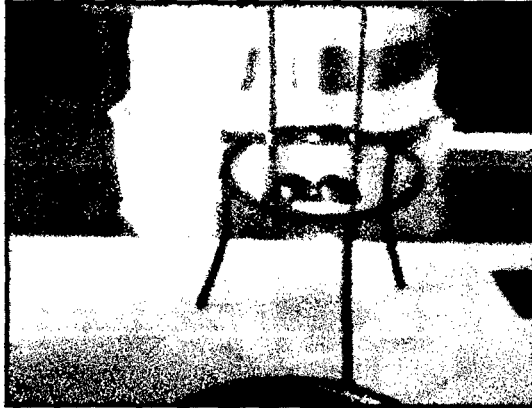


Figura B2.3: Colocado de las bolas.

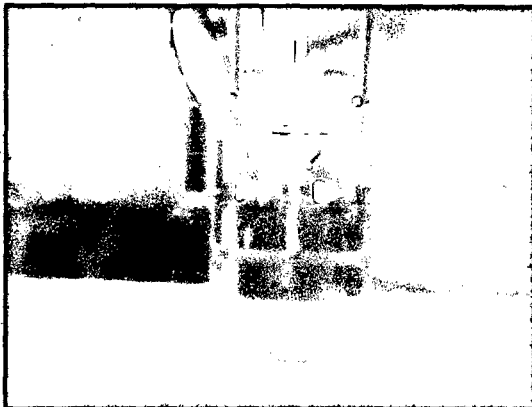


Figura B2.4: Colocado de la muestra en agua.

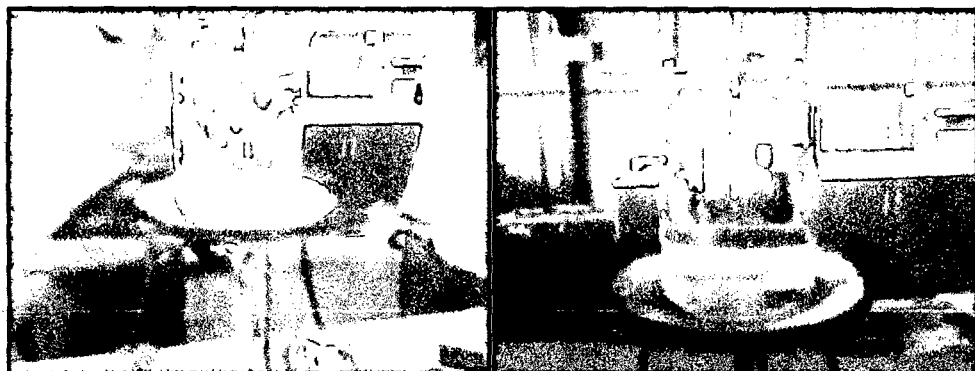


Figura B2.5: Inicio y fin del ensayo.

**c. Ensayo de penetración de materiales asfálticos (MTC E 304 – 2000)**

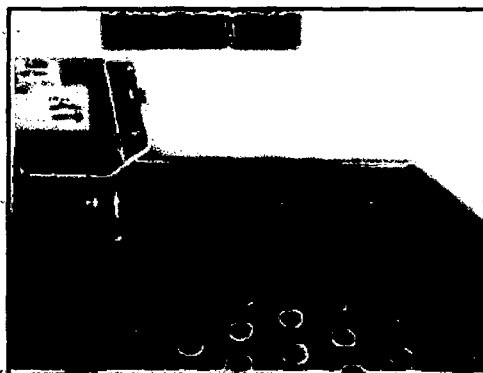


Figura B2.6: Muestra a 25 °C durante un periodo de 2 horas.

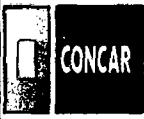


Figura B2.7: Equipo para ensayo de penetración.



Figura B2.8: Penetración en el asfalto a 25°C.

**ANEXO C:**  
**CERTIFICADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS**  
**COMPONENTES**

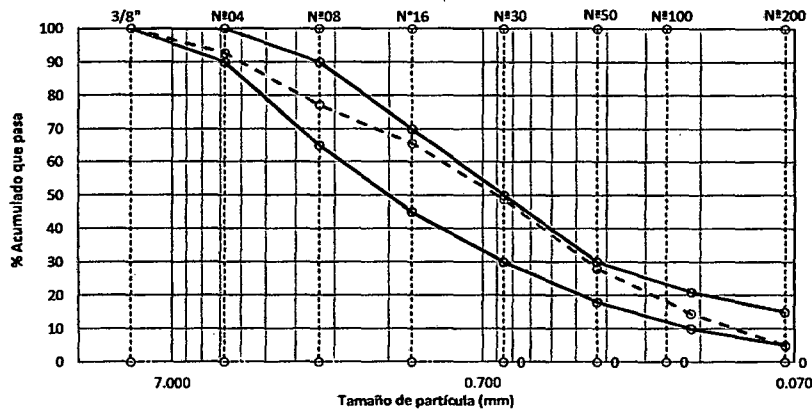
	<b>ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS ( Slurry Seal-Tipo II)</b> <b>NORMA: ASTM C 136 / MTC E 204 / ISSA A 105</b>				GO-CC-SyP-FOR-033 Revisión 01
	Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha	Página
	NMA	LSA	WOB	26/10/2012	1 de 1

**PROYECTO** : CVT  
**UBICACIÓN** : I  
**LUGAR DE MUESTREO** : 1305 + 000

**TIPO/COD. MUESTRA**: Arena Gruesa  
**USO**: Slurry Seal  
**FECHA**: 05/12/2012

Tamiz		Peso Retenido	Porcentaje Retenido	% Ret. Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones Tipo II
pulg.	mm.					
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100
Nº 04	4.750	118.80	7.40	7.40	92.60	90 - 100
Nº 08	2.360	247.14	15.40	22.80	77.20	65 - 90
Nº 16	1.180	187.14	11.66	34.46	65.54	45 - 70
Nº 30	0.600	267.55	16.67	51.13	48.87	30 - 50
Nº 50	0.300	334.32	20.83	71.96	28.04	18 - 30
Nº 100	0.150	217.32	13.54	85.50	14.50	10 - 21
Nº 200	0.075	155.69	9.70	95.20	4.80	5 - 15
< Nº 200	FONDO	77.04	4.80	100.00	0.00	
Peso Muestra Seca		1605.0	g.			
Tamaño máximo del agregado				pulg.	3/8"	
Tamaño máximo nominal del agregado				pulg.	Nº 04	
Módulo de finiza del agregado				Adimensional	2.597	

**CURVA GRANULOMETRICA**



**OBSERVACIONES**


- 1.- Agregado grueso proveniente de la Cantera: Arunta
- 2.- Agregado muestreado por el Personal de Laboratorio
- 3.- Especificación obtenida de la ISSA.
- 4.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)
- 5.- Ensayo realizado con fines de investigación

  
 Alfredo Saavedra Ramos  
 T.C. LABORATORIO



Realizado por: Alfredo Saavedra Ramos  
 Técnico de Suelos y Pavimento

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

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

**TRAMO** : CVT **TIPO/COD. MUESTRA:** Arena Gruesa  
**UBICACIÓN:** : I **USO:** Slurry Seal  
**LUGAR DE:** : 1305 + 000 **FECHA:** 05/12/2012  
**MUESTREO**

Nº DE ENSAYOS	1	2	3	PROMEDIO
Hora de entrada a saturación	0:00:00	0:03:00	0:06:00	72.7
Hora de salida de saturación	0:10:00	0:13:00	0:16:00	
Hora de entrada a decantación	0:11:40	0:14:40	0:17:40	
Hora de salida de decantación	0:31:40	0:34:40	0:37:40	
Lectura de arcilla	150	149	155	
Lectura de arena	110	109	111	
Porcentaje de equivalente de arena	73.3	73.2	71.6	

Resultado final considerado por norma EG 2000 (%)	73 %
---	------

ESPECIFICACION : 50,0 % Mín.

**OBSERVACION :**


- 1.- Agregado grueso proveniente de la Cantera: Arunta
- 2.- Agregado muestreado por el Personal de Laboratorio
- 3.- Especificación obtenida de la ISSA.
- 4.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)
- 5.- Ensayo realizado con fines de investigación

  
 W. Alfredo Saavedra Ramos  
 TEC. LABORATORIO



Realizado por: Alfredo Saavedra Ramos  
 Técnico de Suelos y Pavimento

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

	ENSAYO: PESO UNITARIO Y VACÍOS DE LOS AGREGADOS			GO-CC-SyP-FOR-012
	NORMA: ASTM C 29 / MTC E 203 / EG 2000			Revisión 01
	Elaborado Por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha
NMA	LSA	WOB	26/10/2012	Página 1 de 1

**TRAMO** : CVT **TIPO/COD. MUESTRA:** Arena Gruesa  
**UBICACIÓN:** : I **USO:** Slurry Seal  
**LUGAR DE:** : 1305 + 000 **FECHA:** 05/12/2012  
**MUESTREO**

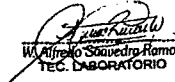
<b>A.- PESO UNITARIO SUELTO.</b>			
1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	g.	12272	12271
2.- Peso del recipiente	g.	7504.0	7504.0
3.- Peso del agregado	g.	4768.0	4767.0
4.- Constante ó Volumen	m3	0.00286	0.00286
5.- Peso unitario suelto húmedo	kg/m3	1667	1667
6.- Peso unitario suelto seco (promedio)	kg/m3	<b>1635</b>	

<b>B.- PESO UNITARIO COMPACTADO.</b>			
1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	g.	13158	13156
2.- Peso del recipiente	g.	7504.0	7504.0
3.- Peso del agregado	g.	5654.0	5652.0
4.- Constante ó Volumen	m3	0.00286	0.00286
5.- Peso unitario suelto húmedo	kg/m3	1977	1976
6.- Peso unitario suelto seco (promedio)	kg/m3	<b>1939</b>	

<b>C.- CONTENIDO DE HUMEDAD</b>			
A.- Peso de la muestra húmeda.	g.	978.0	978.0
B.- Peso de muestra seca	g.	960.0	959.0
C.- Peso del recipiente	g.	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	%	1.88	1.98
E.- Contenido de humedad (promedio)	%	<b>1.93</b>	

**OBSERVACIONES :**


- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de Laboratorio.
- 2.- Agregado grueso proveniente de la Cantera: Arunta
- 3.- Especificación obtenida de la EG 2000
- 4.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)
- 5.- Ensayo realizado con fines de investigación

  
 W. Alfredo Saavedra Ramos  
 TEC. LABORATORIO



Realizado por: Alfredo Saavedra Ramos  
 Técnico de Suelos y Pavimento

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

	<b>ENSAYO: PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS</b>				GO-CC-SyP-FOR-051
	<b>NORMA: MTC E 205</b>				Revisión 01
	Elaborado Por: NMA	Revisado por: LSA	Aprobado por: WOB	Fecha 26/10/2012	Página 1 de 1

**TRAMO** : CVT **TIPO/COD. MUESTRA:** Arena Gruesa  
**UBICACIÓN:** : I **USO:** Slurry Seal  
**LUGAR DE:** : 1305 + 000 **FECHA:** 05/12/2012  
**MUESTREO**

<b>I.- DATOS.</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1.- Peso de la arena superficial mente seca + peso del frasco + peso del agua.	986.7	986.4
2.- Peso de la arena superficial seca + peso del frasco.	665.1	664.0
3.- Peso del agua	321.6	322.4
4.- Peso de la arena seca al horno + peso del frasco	647.5	645.6
5.- Peso del frasco.	165.1	164.0
6.- Peso de la arena secada al horno	482.4	481.6
7.- Volumen del frasco.	500.0	500.0

<b>II.- RESULTADOS.</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>PROMEDIO</b>
A.- PESO ESPECIFICO DE MASA <span style="float: right;">g/cm3</span>	2.704	2.712	<b>2.708</b>
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA SATURADA SUP. SECA <span style="float: right;">g/cm3</span>	2.803	2.815	<b>2.809</b>
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE <span style="float: right;">g/cm3</span>	3.000	3.025	<b>3.013</b>
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN <span style="float: right;">%</span>	3.65	3.82	<b>3.73</b>

**OBSERVACIONES :**

- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de Laboratorio.
- 2.- Agregado proveniente de la Cantera: Arunta
- 3.- Especificación obtenida de la EG 2000
- 4.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)
- 5.- Ensayo realizado con fines de investigación


  
 W. Alfredo Saavedra Ramos  
 TEC. LABORATORIO



Realizado por: Alfredo Saavedra Ramos  
 Técnico de Suelos y Pavimento

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



	<b>ENSAYO: AZUL DE METILENO</b>				GO-CC-SyP-FOR-026
					Revisión 01
	Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha:	Página
	WSR	LSA	WOB	26/10/2012	1 de 1

**PROYECTO** : CVT  
**UBICACIÓN:** : I  
**LUGAR DE:** : 1305+000  
**MUESTREO**

**TIPO/COD. MUESTRA:** Arena Gruesa  
**USO:** Slurry Seal  
**FECHA:** 05/12/2012

MUESTRA	Azul de Metileno	Reactividad
	Cada	NÚMERO
AGREGADO FINO - pasa 200	Cada 0.5 ml	9.5

**OBSERVACIONES :**


- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de Laboratorio.
- 2.- Agregado proveniente de la Cantera: Arunta
- 3.-Especificaciones optenidas por C 837-99 ASTM,
- 5.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)
- 5.- Ensayo realizado con fines de investigación (Tesis)

  
 W. Alfredo Saavedra Ramos  
 TEC. LABORATORIO



Realizado por: Alfredo Saavedra Ramos  
 Técnico de Suelos y Pavimento

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

	<b>INFORME DE ENSAYO EMULSIÓN DE ROTURA LENTA (CCS-1hP)</b>				GO-CC-EMU-INF-009
					Revisión 00
	Elaborado por:	Revisado por :	Aprobado por:	Fecha:	Página
DEJ	LSA	LSA	30/01/2012	1 de 1	

**INFORME DE ENSAYO**


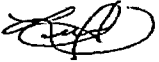
<b>Nº DE ORDEN DE PRODUCCIÓN</b>	<b>FECHA DE MUESTREO Y EVALUACIÓN</b>	<b>FECHA DE REPORTE:</b>
-	12.11.2012	05.12.2012
<b>PRODUCTO</b>	<b>TANQUE</b>	<b>Nº LOTE</b>
<b>EMULSIÓN DE RUPTURA LENTA CSS-1h-P</b>	<i>Miniplanta</i>	-

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADOS DEL ANALISIS	ESPECIFICACIÓN	
			Mín.	Máx.
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL A 25°C (SFS)	ASTM D 244	24	20	100
CONTENIDO DE AGUA,% VOLÚMEN DESTILADO	ASTM D 244	38.0		40
MEZCLA CON CEMENTO, %	ASTM D 244			2
SEDIMENTACIÓN A LOS 7 DIAS, %	ASTM D 244	2.3		5
DESTILACIÓN CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL,%	ASTM D 244	61.4	60	
PRUEBA DEL TAMIZ N°20, %	ASTM D 244	0.07		0.1
CARGA DE PARTICULA	ASTM D 244	POSITIVO	POSITIVO	
<b>ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO ASFALTICO</b>				
PENETRACIÓN, a 25°C,100g,0.1 mm	ASTM D5-06E1	58	50	90
DUCTILIDAD, a 25°C,5 Cm/min, Cm	ASTM D 113-99	> 100	10	
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °C	ASTM D 36	55.5	55	
RECUPERACIÓN ELASTICA TORSIONAL	NLT 329		12	

**OBSERVACIONES :**

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

**COD. MUESTRA:**

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

<b>Concar</b>	<b>INFORME DE ENSAYO PARA AGUA</b>				GO-CC-EMU-INF-006
					Rev.00
	Elaborado por:	Revisado por :	Aprobado por:	Fecha:	Pagina
	DEJ	LSA	LSA	31/01/2012	1-1

**INFORME DE ENSAYO**


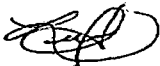
**N° 062-12**

FECHA DE RECEPCION:	FECHA DE MUESTREO Y ANALISIS:	FECHA DE INFORME:
24.11.2012	24.11.2012	24.11.2012
IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO	N° DE ORDEN DE COMPRA	PROCEDENCIA:
Agua de Pozo		Proveedor Nazca
LOTE	CANTIDAD MUESTRA	COD. MUESTRA:
	2 Litros	AG-062

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADOS DEL ANALISIS	ESPECIFICACIÓN	
			Min.	Máx.
pH	ASTM D 1293	7.62	6.5	8
DUREZA, ppm	ASTM D-1126	27		500
SOLIDOS DISUELTOS, ppm	NM-2540C	510	-	628

**OBSERVACIONES :**

1. Los resultados Corresponden a la muestra analizada
2. Agua dentro de las especificaciones establecidas
3. Agua Usada para Miniplanta por un tema de investigacion (Tesis)
- 4.

ORIGINAL : CLIENTE COPIA 1 : LABORATORIO COPIA 2 : ARCHIVO	ELABORADO POR  Victor Hugo Zuñiga Anaya	APROBADO POR  Lucia Saez Alvan
--	--	---