

**INFLUENCIA DE LAS FRACCIONES DEL ÁRIDO, EN
EL GRADIENTE DE DETERIORO DE LA ADHESIÓN ASFALTO-
AGREGADO.
APLICACIÓN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS DENSAS BAJO LA
ACCIÓN DE LA HUMEDAD.**

**SANDRA PATRICIA ACUÑA CAMARGO
ALBA LUZ CASTELLANOS PEDRAZA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2004

**INFLUENCIA DE LAS FRACCIONES DEL ÁRIDO, EN
EL GRADIENTE DE DETERIORO DE LA ADHESIÓN ASFALTO-
AGREGADO.
APLICACIÓN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS DENSAS BAJO LA
ACCIÓN DE LA HUMEDAD.**

**SANDRA PATRICIA ACUÑA CAMARGO
ALBA LUZ CASTELLANOS PEDRAZA**

**Tesis para optar el título de
Ingeniero Civil**

Director

**EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

BUCARAMANGA

2004

A Dios por ayudarme a hacer realidad mis sueños,
A mi madre Graciela, por su amor, constancia y vocación,
A mi padre Ernesto, por enseñarme a vivir y por creer en mí siempre,
A mi hermano Lucho, por ser mí apoyo y ejemplo,
A mi tía Myriam, por su dedicación y esmero,
A Albita, por ser mí amiga del alma y apoyarme en todas,
A mis nonitos, Abilia y Saúl, por sus consejos y acogerme como en casa,
A mis amigos por hacer de mi carrera algo inolvidable.

SANDRA

A Dios, por permitirme llegar hasta donde hoy he llegado.

A mi madre Flor Elba, por su apoyo y dedicación a lo largo de mi vida.

A mi padre Luis Alberto, por sus valiosos consejos; por vivir y disfrutar mis triunfos como si fueran los suyos.

A mis hermanos Zulma y Oscar, por estar a mi lado y ver mis sueños convertidos en realidad.

A Sandrita, por su valiosa amistad, su cariño e incondicionalidad.

A Cristian, por su amor y comprensión.

A mis amigos, de quienes siempre tendré los mejores recuerdos

ALBA

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Ingeniero Eduardo Alberto Castañeda, Director del Proyecto, por compartirnos sus valiosos conocimientos, y orientarnos en el desarrollo de la investigación.

Ingeniero John Wilson Correa, Co-Director del Proyecto, por su colaboración y su constante interés en el proceso de realización del proyecto.

Toda la familia CORASFALTOS:

Ingeniero Luis Enrique Sanabria, Director de Corasfaltos, por facilitarnos las instalaciones y los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto.

Ingeniero Leonel Hernández Agudelo, Director del Laboratorio, por su inmensa e invaluable colaboración, y por acogernos siempre con amabilidad.

Ingeniero Andrés Pérez y Wilfred Carreño por su desinteresada y particular forma de colaboración, y por brindarnos siempre lo mejor para hacer de este proyecto una experiencia gratamente inolvidable.

Ingenieros Mauricio Reyes y Pedro Morales por su ayuda en las instalaciones CORASFALTOS – ICP.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1 GENERALIDADES	18
1.1 LA MEZCLA ASFÁLTICA	18
1.2 ADHESIVIDAD ÁRIDO-LIGANTE	21
1.3 COHESIÓN.....	22
1.4 EFECTOS DEL AGUA SOBRE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	23
2 METODOLOGÍA	29
2.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL	30
2.1.1 Selección de los materiales.....	30
2.1.2 Formulación de Mezclas Asfálticas	35
2.1.3 Especímenes del Estudio.	38
2.1.4 Acondicionamiento de probetas.....	45
3 RESULTADOS	52
3.1 CARACTERIZACIÓN ORIGINAL	52
3.2 EVOLUCIÓN DE MÓDULO RESILIENTE	53
3.2.1 Deterioro.....	53
3.2.2 Recuperación..	58

4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN	60
4.1	EL DETERIORO	63
4.1.1	Clasificación del Efecto sobre las probetas.	64
4.1.2	Tendencias en relación con la naturaleza del agregado. ...	70
4.2	LA RECUPERACIÓN.....	71
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Agregado Hidrófilo (Cuarcita)	31
Figura 2. Agregado Hidrófobo (Caliza).....	31
Figura 3. Mezcla con Cuarcita antes y después de la inmersión.	33
Figura 4. Mezcla con Caliza antes y después de la inmersión.	33
Figura 5. Curva Granulométrica MDC-2	36
Figura 6. Receptáculo	40
Figura 7. Mezclador Automático	40
Figura 8. Compactador Giratorio de Texas	43
Figura 9. Molde con mezcla para compactar.....	43
Figura 10. Extracción de la probeta compactada.....	44
Figura 11. Muestra compactada	44
Figura 12. Horno de Calentamiento	46
Figura 13. Cápsula de Saturación	47
Figura 14. Equipo NAT para ensayo de módulos resilientes	48
Figura 15. Conservación de la Rigidez probetas Tipo 1	66
Figura 16. Conservación de la Rigidez probetas Tipo 2	67
Figura 17. Conservación de la Rigidez probetas Tipo 3	68
Figura 18. Conservación de la Rigidez probetas Tipo 4	69

Figura 19. Probeta 2A10 destruida 75

Figura 20. Probeta 1A6 destruida 75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características físicas del Asfalto de Barrancabermeja	34
Tabla 2. Gradación MDC-2 Especificaciones INVIAS para Mezclas Asfálticas	35
Tabla 3. Tipos de Mezclas de Agregados	36
Tabla 4. Variación de Propiedades de la Mezcla con el con Contenido de Asfalto seleccionado.	37
Tabla 5. Criterio para Compactación del Instituto del Asfalto para Mezclas Marshall	38
Tabla 6. Tipos de Probetas a Ensayar	39
Tabla 7. Porcentaje de Vacíos de Probetas a Ensayar	45
Tabla 8. Valores del módulo resiliente antes de inmersión.....	52
Tabla 9. Valores del módulo resiliente después de inmersión	53
Tabla 10. Valores módulo resiliente después de inmersión (Continuación)	55
Tabla 11. Valores módulos de Recuperación.....	59
Tabla 12. Promedio Módulos Resilientes	61
Tabla 13. Evolución del módulo de Deterioro en porcentaje del original	62

Tabla 14. Evolución del módulo de Recuperación en porcentaje del original	63
Tabla 15. Evolución de Deterioro por Probeta	64
Tabla 16. Evolución de Deterioro por Tipo de probeta.....	65
Tabla 17. Evolución de recuperación por probeta	72
Tabla 18. Evolución de Recuperación por Tipo de Probeta	73

RESUMEN

TITULO

INFLUENCIA DE LAS FRACCIONES DEL ÁRIDO, EN EL GRADIENTE DE DETERIORO DE LA ADHESIÓN ASFALTO-AGREGADO. APLICACIÓN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS DENSAS BAJO LA ACCIÓN DE LA HUMEDAD.*

AUTORES

SANDRA PATRICIA ACUÑA CAMARGO
ALBA LUZ CASTELLANOS PEDRAZA**

PALABRAS CLAVES

GRADIENTE DE DETERIORO Y RECUPERACIÓN.

RESUMEN DEL PROYECTO

El comportamiento de un pavimento asfáltico depende en su mayoría de la selección apropiada del agregado, debido a que este proporciona la mayoría de las características de la capacidad portante, y garantiza un buen comportamiento adherente con el asfalto.

Cuando se quiere obtener un buen desempeño de la carpeta asfáltica, un punto muy importante a analizar, es la influencia de la mineralogía del agregado, ya que el conocimiento de ésta aporta información importante para identificar el potencial de desvestimiento que posee el material pétreo ante factores como la humedad.

Por lo tanto, mediante esta investigación se determinó, por medio de ensayos de laboratorio, la evolución del gradiente de deterioro y recuperación de la adhesión asfalto-agregado, cuando las mezclas asfálticas tienen agregados débiles y fuertes a la acción del agua, y están sometidas a un proceso de deterioro y recuperación, mediante ciclos de humedecimiento y secado respectivamente.

Ésta evolución de deterioro, se estableció, midiendo módulos resilientes mediante el equipo Nottingham Asphalt Tester, sobre probetas compuestas de agregados de diferente naturaleza mineralógico, específicamente rocas ácidas como la cuarcita y rocas básicas como la caliza, las cuales se mezclaron en proporciones diferentes para poder determinar que la fracción del árido mas influyente sobre el comportamiento asfalto-agregado es la fracción fina.

* Tesis

** Facultad de Ciencias Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniero Eduardo Alberto Castañeda Pinzón.

ABSTRACT

TITLE

INFLUENCE AGGREGATE FRACTIONS IN ASPHALT-AGGREGATE ADHESION DAMAGE SLOPE. APPLICATION DENSE ASPHALT MIXTURES UNDER WATER EFFECTS*

AUTHORS

SANDRA PATRICIA ACUÑA CAMARGO
ALBA LUZ CASTELLANOS PEDRAZA**

KEY WORDS

DAMAGE AND RECOVERY SLOPE.

ABSTRACT

The asphalt concrete behavior depends mostly the appropriate selection aggregate due it get mostly the mechanical resistance and guarantees a good adhesion with the asphalt.

In order to obtain an asphalt mixture with good performance, it must analyze the aggregate nature since it knowledge contributes to identify it strip potential by factors like water.

Therefore, by means of this investigation using laboratory tests it determined the damage and recovery slope evolution of asphalt-aggregate adherence when mixtures asphalts have strong and weak aggregates by water action and it put under damage and recovery process by means of humidification and drying cycles respectively.

So, the damage and recovery slope evolution it determined measuring resilient modules using the equipment Nottingham Asphalt Tester, about samples composed with several aggregate natures specifically acid rocks like the quartzite and basic rocks like limestone which were mixed in different proportions to determine that most influence fraction inside asphalt – aggregate adhesion is the fine fraction.

* Thesis

** Faculty of Physic-Mechanical Sciences. Department of Civil Engineering. Engineer Eduardo Alberto Castañeda Pinzón.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la red vial nacional a cargo del INVIAS cuenta con una longitud de aproximadamente 14.721,6 Km de los cuales se encuentran pavimentados 11.060 Km, correspondientes al 75% del total de las vías nacionales; de este porcentaje el 70% se encuentran pavimentadas con mezcla asfáltica, lo cual muestra claramente la preferencia de los pavimentos flexibles para carreteras, por razones de tipo económico. Dentro de esta longitud las condiciones de la red vial son en un 72% buenas, en un 20% regulares y en un 8% malas.

El estado de deterioro se presenta debido a varias condiciones entre las cuales se destaca, el exceso de tráfico pesado, los factores climáticos, mal proceso constructivo, y la incidencia del agua, entre otros. La infiltración, vapor de agua y capilaridad, son factores que propician una exposición directa de la capa asfáltica a la acción del agua, elevando así la presencia de humedad en su estructura. Dicha humedad se convierte entonces en un factor determinante en el comportamiento de la mezcla agregado-asfalto.

Debido a que existen diferentes reacciones químicas entre el agua y el material pétreo, se ocasiona una pérdida de adherencia o

denudamiento, fenómeno que involucra variables como: las características del ligante, el tipo de mezcla asfáltica, el clima, el tránsito, las técnicas de construcción y las características del agregado, siendo este último el tema de interés.

El proyecto pretende hacer un aporte al estudio del comportamiento del concreto asfáltico bajo la acción de la humedad, cuando el material pétreo presenta diferentes composiciones mineralógicas y posee características de alta o baja adherencia con el asfalto, clasificando la variación del gradiente de deterioro y de recuperación de la adhesión asfalto-agregado.

Ésta evolución de deterioro, se establecerá, midiendo módulos resilientes sobre probetas compuestas de agregados de diferente origen mineralógico, específicamente rocas ácidas o silíceas (cuarcita) y rocas básicas o calcáreas (caliza), las cuales se mezclarán en proporciones diferentes para poder determinar así cual es la fracción del árido que más influencia tiene sobre el comportamiento asfalto-agregado, cuando la mezcla se somete a la acción de la humedad.

1 GENERALIDADES

1.1 LA MEZCLA ASFÁLTICA

La mezcla asfáltica es un material empleado en la construcción de capas de pavimento, con propiedades resistentes al desgaste producido por los vehículos y que puede ofrecer una superficie de rodamiento cómoda y segura.

Tiene dos componentes principales, los agregados pétreos que aportan la rigidez y resistencia para soportar las cargas cíclicas provenientes del tránsito y el ligante asfáltico que aporta cohesión al agregado pétreo para que la mezcla se comporte como una capa uniforme.¹

El asfalto es un subproducto de la refinación del crudo de petróleo, de color oscuro, de consistencia susceptible a la temperatura, con cualidades aglutinantes. Es un material altamente impermeable,

¹ REYES, Fredy Alberto. Mejoramiento de mezclas asfálticas modificando la composición del llenante convencional por finos-cemento. Pontificia Universidad Javeriana. 2003. p. 1-7.

adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

En la construcción de pavimentos puede cumplir las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.

- Proporcionar una íntima unión y cohesión entre agregados, que permitan resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos.²

El agregado se define como aquel material mineral duro e inerte, tal como arena, cascajo, escoria, fragmentos rocosos o combinaciones de estos elementos; también se le conoce como roca, material granular, o agregado mineral, los cuales carecen de cohesión entre sí, pero al encajarse, forman un esqueleto mineral dentro de una mezcla compactada. Los tamaños se distribuyen de

² Asphalt Institute, 1992.

tal forma que las partículas más pequeñas ocupen el lugar vacío que dejan las mayores. Así el esqueleto mineral resultante, tendrá como característica principal, una gran resistencia mecánica, en la que actúan, tanto la resistencia propia de las partículas, como el rozamiento entre estas últimas. El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento, en peso, y entre el 75 y 85 por ciento, en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento.³

El aporte del material pétreo a la estabilidad, lo efectúa a través de su fricción interna y esta a su vez, es función del tamaño del árido y de la angularidad de sus caras.

El espesor de la película de asfalto alrededor del árido, tiene una influencia determinante en la estabilidad y durabilidad de la mezcla. Mientras más delgada es dicha película, menor será la estabilidad. A medida que esta película se engruesa el asfalto tiende a cohesionar el árido, pasando por un óptimo y luego hace un efecto

³ DUEÑAS LEON, Fernando y RIVERO MEDINA, Norberto. Control de calidad de mezclas con emulsiones asfálticas. Bucaramanga. 1999.

lubricador.⁴ La falta de estabilidad proporcionada por los áridos, puede ser suplida en parte, usando un asfalto de mayor consistencia.

1.2 ADHESIVIDAD ÁRIDO-LIGANTE

La adhesividad se define como la capacidad del asfalto para quedar fijo en el agregado, al que recubre sin peligro de desplazamiento, incluso en presencia del agua, tráfico y cambios bruscos de temperatura.⁵

La primera condición para que exista adherencia entre dos materiales es que estén en contacto, por lo que es importante que el asfalto quede distribuido en toda la superficie del agregado, es decir, que el asfalto moje el agregado. En segundo lugar, como la

⁴ REYES, Fredy Alberto. Mejoramiento de mezclas asfálticas modificando la composición del llenante convencional por finos-cemento. Pontificia Universidad Javeriana. 2003. p. 7-9.

⁵ CORASFALTOS; Un nuevo método para evaluar la adhesividad de las mezclas de agregados pétreos con emulsiones asfálticas. En: Asfaltos y Pavimentos. Bucaramanga. Edición No. 3 Año 2. Diciembre 1999. p. 1-3. (En línea)

adherencia es un fenómeno que se produce en la superficie en contacto, dependerá de las características de ambas superficies.

Diferentes factores pueden afectar la adhesión entre el agregado y el ligante asfáltico, y se clasifican en agentes externos como el agua y factores ambientales; e internos o propios de las características de la mezcla, como la tensión superficial entre el asfalto y el agregado, composición química del asfalto y el árido, porosidad, textura superficial del agregado, entre otros. La cohesión entre pétreos, varía con el tiempo al perder el asfalto su poder ligante y flexibilidad al oxidarse.

1.3 COHESIÓN

En el asfalto la cohesión es la propiedad que mantiene la integridad global del material cuando está sujeto a cargas o esfuerzos, y que le permite resistir las sollicitaciones del tránsito.

La cohesión es una característica físico-química de un material a nivel macromolecular, las fuerzas de cohesión son más fuertes que las de adhesión.

1.4 EFECTOS DEL AGUA SOBRE LA MEZCLA ASFÁLTICA

La interacción de la mezcla asfáltica con el agua producto generalmente de la precipitación, es un fenómeno inevitable y fundamental en el comportamiento del pavimento durante su vida útil. El agua puede incrementar la propensión de una mezcla a la deformación permanente y sus efectos pueden ser considerados, en la fase inicial de diseño de las mezclas o como una parte del proceso de evaluación de las mismas.

Se considera que agentes externos, como el agua y factores ambientales, pueden introducir cambios en el asfalto durante su vida útil. Cuando existe una modificación de la estructura de pavimento de estado seco a húmedo, se presenta una disminución de la resistencia de la mezcla cuando ésta es sensible al agua, puesto que la acción de la humedad genera reacciones en la interfaz asfalto-agregado, capaces de deteriorar la mezcla y ocasionar debilitamiento de la estructura.

Si el asfalto contiene pequeñas cantidades de componentes solubles en agua, en particular indicios de sales que es lo que sucede

normalmente, el agua se difunde al interior del asfalto y disuelve la sal, produciendo pequeños glóbulos de agua en él. Sin embargo esta absorción solo llega a constituir un factor importante en casos puntuales, por ejemplo, en conjunción con mezclas abiertas o permeables al agua que se encuentren en contacto continuo y muy prolongado con el agua pura a temperaturas elevadas, puesto que ésta solo produce cambios perceptibles en las propiedades mecánicas de los bitúmenes cuando éstos se hallan expuestos a altas temperaturas por largos períodos de tiempo⁶.

La sensibilidad de la mezcla a la acción del agua depende fundamentalmente de la afinidad del agregado con el asfalto. Cuando el agregado es de características hidrófilas, al entrar la mezcla en contacto con el agua, se genera un desprendimiento de la película asfáltica que lo recubre, produciendo pérdidas de adherencia y posteriormente pérdida de cohesión. Entonces los materiales de la mezcla se van debilitando por la acción de las cargas de tránsito y

⁶ AMAYA, Jorge y REY, Marco Antonio. Estudio para la elaboración de ensayos con carga dinámica que permitan determinar el efecto del agua sobre las mezclas de concreto asfáltico. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2001. p. 9-10.

los agentes ambientales, iniciando el proceso de desprendimiento de la matriz original acrecentando la denudación y el deterioro de la estructura.

Estudios realizados sobre el efecto del agua en los pavimentos han sido asociados comúnmente a la pérdida de adherencia y cohesión en la mezcla asfáltica, debido a que la presencia de la humedad en la mezcla, afecta de manera particular la integridad del sistema agregado-asfalto llevando a generar problemas de fisuramiento en la capa asfáltica producto de la presión intersticial ejercida por el agua. El agua afecta la cohesión de diversas maneras a través de la intrusión en la película de la carpeta asfáltica y a través de la saturación y esparcimiento en el sistema de vacíos⁷.

El agua puede acceder a la estructura de pavimento a través de la precipitación la cual cae directamente sobre la calzada, o la que se infiltra por las zonas aledañas a ella, ocasionadas por la acción de las mismas lluvias, el ascenso de los niveles freáticos o vapores

⁷ CIFUENTES, Sergio y RUEDA Sergio. Variación de las propiedades mecánicas del concreto asfáltico sometido a ciclos de humedecimiento y secado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2002. p .44 - 50.

cercanos. En nuestro medio aun en pavimentos recientemente contruidos bien sea flexibles o rígidos no se garantiza una superficie completamente impermeable, lo cual lleva a que la situación se vuelva más crítica a medida que transcurre el tiempo debido a la aparición de baches, fisuras, grietas aisladas, grietas intercomunicadas y huecos destruyendo lo que alguna vez fue la estructura de un pavimento⁸.

Teniendo en cuenta que el agua que se infiltra en las capas granulares de la estructura de pavimento, puede fluir hacia arriba por capilaridad, se puede considerar que un porcentaje bastante representable de este flujo puede quedar atrapado en la mezcla asfáltica, produciendo daños representativos como el desprendimiento de la lámina asfáltica que recubre el agregado, a su vez permitiendo la aparición de pequeños huecos o potholes de esta separación.

⁸ CIFUENTES, Sergio y RUEDA Sergio. Variación de las propiedades mecánicas del concreto asfáltico sometido a ciclos de humedecimiento y secado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2002. p .52.

Este desprendimiento se conoce como denudamiento y se define como el debilitamiento o pérdida eventual de la capacidad de adhesión entre la superficie del agregado y el cemento asfáltico; usualmente en presencia de humedad.

Además es un daño presente en los pavimentos flexibles caracterizado por la pérdida del lazo de unión entre los agregados y el ligante asfáltico, el cual comienza típicamente en la capa superior de la mezcla asfáltica descendiendo a medida que el daño progresa, dando como resultado una superficie de rodadura áspera⁹.

Estudios realizados por el SHR¹⁰ han arrojado resultados que demuestran que las propiedades fisicoquímicas de los agregados minerales influyen más en el fenómeno del denudamiento que las propiedades del ligante asfáltico.

⁹ CIFUENTES, Sergio y RUEDA Sergio. Variación de las propiedades mecánicas del concreto asfáltico sometido a ciclos de humedecimiento y secado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2002. p .53.

¹⁰ SHRP. Strategic Highway Research Program.

Una consecuencia de la disgregación y/o del fenómeno denominado denudamiento, son la alteración del pavimento que se manifiesta en forma de surcos "neumáticos", agrietamientos tipo lagarto, sangrado, agrietamientos longitudinales y transversales.

2 METODOLOGÍA

Estudios recientes han implementado ensayos de laboratorio que pretenden representar las condiciones reales a las cuales está expuesto un pavimento una vez en servicio, como los ciclos de inmersión-secado que simulan procesos de precipitación y evaporación, producto de los factores climáticos predominantes en las zonas tropicales.

Cada vez que el pavimento está sujeto a ciclos de humedecimiento y secado, sus propiedades pueden verse afectadas en mayor o menor proporción, dependiendo de diversos factores. Entre ellos se encuentran las características propias de los componentes de la mezcla asfáltica, por ejemplo el origen mineralógico de los agregados el cual influye directamente en el comportamiento de la interfaz asfalto-agregado, dependiendo de la afinidad de los áridos con el asfalto.

La metodología propuesta, plantea el estudio del comportamiento de la mezcla asfáltica ante la acción de la humedad, determinando la fracción del árido más influyente en dicho comportamiento.

2.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1.1 Selección de los materiales

➤ **Agregados.** Para determinar el cambio en el gradiente de deterioro y de recuperación de la adhesión asfalto-agregado, cuando se modifica la naturaleza de las fracciones del árido, se seleccionaron dos minerales de acuerdo con su comportamiento adherente con el asfalto. De las canteras naturales de PESCADERO (Santander), se extrajeron rocas de Cuarzita (alto contenido de sílice), (Figura 1) y que representan el agregado hidrófilo o de baja adherencia con el asfalto, y de la planta de CALIZAS DE COLOMBIA (Curití-Santander), rocas de Caliza (alto contenido de carbonato cálcico), (Figura 2) y que representa al agregado hidrófobo o de alta adherencia.

Figura 1. Agregado Hidrófilo (Cuarcita)



Figura 2. Agregado Hidrófobo (Caliza)



Para ratificar el comportamiento de los agregados pétreos escogidos (hidrófobos e hidrófilos), en la mezcla asfáltica, en presencia de humedad, se realizó un ensayo de inmersión en agua (Norma INVIAS E-736); elaborando dos mezclas diferentes, cada una con gravas de cada tipo de material y asfalto y se sumergieron en un baño a una temperatura de 60°C durante una hora.

En las Figuras 3 y 4 se observan las mezclas antes y después de la inmersión, y se aprecia claramente el desprendimiento del asfalto del agregado hidrófilo y la permanencia en el agregado hidrófobo.

Figura 3. Mezcla con Cuarcita antes y después de la inmersión.



Figura 4. Mezcla con Caliza antes y después de la inmersión.



➤ **Asfalto.** Se utilizó asfalto del Complejo Industrial de Barrancabermeja, el cual proviene de la mezcla de fondo de vacío de base nafténica y fondos de vacío de base intermedia. Sus propiedades establecidas por las pruebas de penetración (Norma INVIAS E-706), punto de inflamación (Norma INVIAS E-709) y punto de ablandamiento (Norma INVIAS E-712), se presentan en la Tabla 1¹¹.

Tabla 1. Características físicas del Asfalto de Barrancabermeja

CARACTERÍSTICAS	ASFALTO BARRANCABERMEJA
Penetración, 25 °C (0,1 m)	80
Punto de Ablandamiento Anillo y Bola (°C)	48.5
Ductilidad, 25°C (cm)	100
Índice de Penetración	0.19
Peso Específico	0.998
Temperatura de Mezcla (°C)	150
Temperatura de Compactación (°C)	135

¹¹ Cartilla práctica para el manejo de los Asfaltos Colombianos. Instituto Colombiano del Petróleo ICP - ECOPETROL Formulación de Mezclas Asfálticas

2.1.2 Formulación de Mezclas Asfálticas

► **Granulometría.** Se trabajó con la curva correspondiente a la tendencia central entre los límites superior e inferior de la curva de granulometría de Mezcla Densa en Caliente Dos (MDC-2), de las especificaciones INVIAS, con un ajuste de 7% de finos (Figura 5). La mezcla de los agregados grueso, fino y llenante mineral se ajustó a la gradación de la Tabla 2 y en cuanto a la naturaleza, se mezclaron agregados calcáreos retenidos en el Tamiz No 40 (0.425 mm), con silíceos que pasan el Tamiz No. 40 y viceversa (Tabla 3).

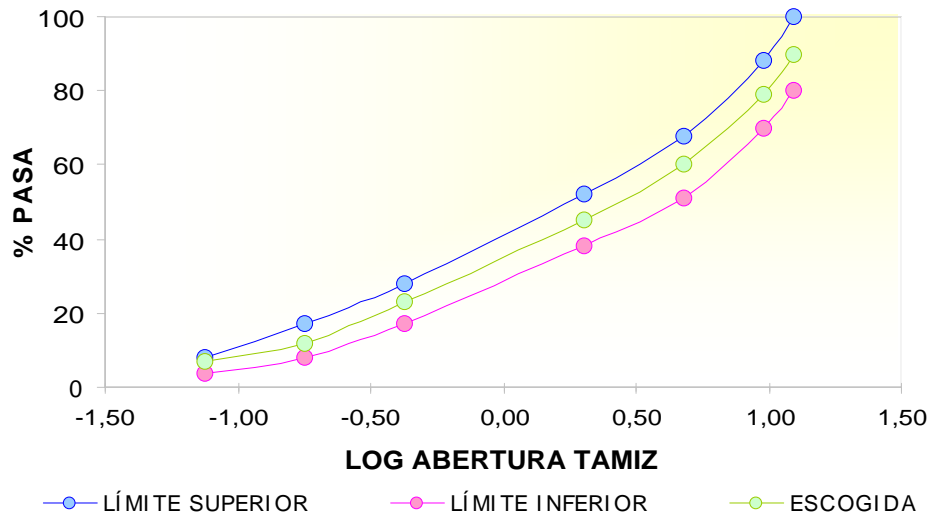
Tabla 2. Gradación MDC-2 Especificaciones INVIAS para Mezclas Asfálticas

TAMIZ	% PASA MDC-2	% PASA OBTENIDO
¾ " (19 mm)	100	100
½ " (12.5 mm)	80 - 100	90
3/8" (9.5 mm)	70 - 88	79
N°4 (4.75 mm)	51 - 68	60
N° 10 (2 mm)	38 - 52	45
N°40 (425 µm)	17 - 28	23
N°80 (180 µm)	8 - 17	12
N°200 (75 µm)	4 - 8	7

Tabla 3. Tipos de Mezclas de Agregados

TAMIZ	TIPO 1	TIPO 2
RETENIDO No. 40	CALIZA	CUARCITA
PASA No. 40	CUARCITA	CALIZA

Figura 5. Curva Granulométrica MDC-2



➤ **Contenido de ligante.** El objetivo del diseño de una mezcla asfáltica es determinar el porcentaje de asfalto de la mezcla para asegurar la suficiente estabilidad a las exigencias del servicio sin desplazamientos o distorsiones.

El contenido óptimo de asfalto se determinó usando la metodología Marshall, la cual sigue un procedimiento específico

y normalizado de calentamiento, mezclado y compactación, y mediante el cual se elaboraron y ensayaron las probetas. Se realizaron dos probetas para el Tipo 1 y tres probetas para las Tipo 2, con el fin de corroborar datos (Tabla 4).

Tabla 4. Variación de Propiedades de la Mezcla con el con Contenido de Asfalto seleccionado.

	TIPO 1		TIPO 2		
No. PROBETAS	1	2	1	2	3
% ASFALTO	5,5	5,5	4,5	4,5	4,5
ESTABILIDAD (Kg)	1510	1136	1625	1073	1216
FLUJO (mm)	4,29	4,15	6,54	3,75	4,89
BULK	2,37	2,38	2,38	2,37	2,37
GMM	2,46	2,46	2,47	2,46	2,46
% VACÍOS	3,66	3,25	3,64	3,66	3,66
H promedio (cm)	5,81	6,03	N.D.*	6,1	5,93

(*) Dato No Disponible.

Las mezclas se elaboraron y compactaron, bajo condiciones de temperatura dadas por las características del asfalto de Barrancabermeja (Tabla 1), cuidando siempre no sobrepasarla para evitar la oxidación del asfalto. El criterio de compactación usado fue para un nivel de tránsito Pesado (Tabla 5). Para determinar el contenido óptimo de asfalto, se escogió la probeta

que cumpliera con un porcentaje de vacíos de 4% y valores de estabilidad y flujo especificados en la Norma INVIAS E-765, . El primer parámetro se calculó con los valores obtenidos de los ensayos de Peso Específico máximo teórico (GMM) y Peso Específico Bulk, y el segundo se midió mediante la prensa Marshall, 24 horas después de compactadas las probetas.

Tabla 5. Criterio para Compactación del Instituto del Asfalto para Mezclas Marshall

TRÁNSITO	PESADO	MEDIO	LIVIANO
	DTN > 100	10 < DTN < 100	DTN < 10
N° de Golpes	75	50	35
Estabilidad mínima (Kg)	750	650	500
Flujo (mm)	2 - 3.5	2 - 4	2 - 4
% de Vacíos con aire en el concreto asfáltico para rodadura.	3 - 5	3 - 5	3 - 8
% de vacíos con aire en el concreto asfáltico para base.	3 - 8	3 - 8	3 - 8

Fuente: Art. 450 Especificaciones de construcción, Instituto Nacional de Vías, INVIAS 2000.

2.1.3 Especímenes del Estudio. Teniendo en cuenta que el objetivo principal de esta investigación, consiste en analizar la influencia de la fracción del árido en el deterioro de la mezcla ante

la acción de la humedad, se escogieron cuatro (4) tipos de combinaciones de agregado, las cuales se mezclaron con dos (2) contenidos de asfalto, para dar como resultado ocho (8) clases de probetas con diferentes características.

Para tener resultados más confiables, se ensayaron dos especímenes por cada mezcla, obteniendo 16 probetas (Tabla 6).

Tabla 6. Tipos de Probetas a Ensayar

TAMIZ	TIPO MATERIAL	TIPO PROBETA	PROBETAS A ENSAYAR		% ASFALTO
RET No. 40	CALIZA	TIPO 1	1A	1A4, 1A6	5,5
PASA No.40	CUARCITA		1B	1B2, 1B3	4,5
RET No. 40	CUARCITA	TIPO 2	2A	2A10, 2A12	5,5
PASA No.40	CALIZA		2B	2B1, 2B5	4,5
RET No.200	CALIZA	TIPO 3	3A	3A10, 3A12	5,5
FILLER	CUARCITA		3B	3B2, 3B3	4,5
RET No.200	CUARCITA	TIPO 4	4A	4A7, 4A9	5,5
FILLER	CALIZA		4B	4B1, 4B3	4,5

La mezcla se realizó, combinando los materiales en el receptáculo, agregando el asfalto correspondiente (Figura 6) y mezclando automáticamente hasta obtener el agregado bien recubierto (Figura 7). La temperatura de calentamiento para mezcla del asfalto se

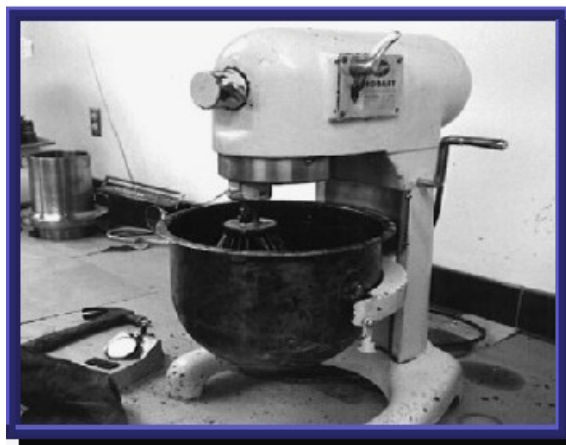
elevó hasta un rango entre 145 - 149 °C, evitando sobrecalentamientos que pudieran generar su oxidación.

Para los agregados la temperatura de calentamiento para mezcla se elevó a un rango entre 165 - 170 °C, para evitar el enfriamiento del árido durante la mezcla y de esta manera asegurar el correcto ligue del asfalto con el árido.

Figura 6. Receptáculo



Figura 7. Mezclador Automático



Las 16 probetas se realizaron de 1150 gramos, y dependiendo de la clase, con un porcentaje de asfalto de 5.5% ó 4.5%. Las características deseadas de las probetas clase A, fueron entonces, peso total de 1150 gramos, de los cuales 1086.75 gramos corresponden al agregado y 63.25 gramos al asfalto. Las características de las probetas clase B, fueron, peso total de 1150 gramos, de los cuales 1095.25 gramos corresponden al agregado y 51.75 gramos al asfalto.

Los contenidos de asfalto utilizados fueron los óptimos, determinados (2.1.2), mediante el método Marshall.

► **Compactación de las probetas.** De cada tipo de probeta, se fabricaron 3 especímenes buscando un porcentaje de vacíos aproximadamente 8%, considerando que este es un factor importante que en condiciones críticas contribuye al desvestimiento y al daño de la estructura por acción de la humedad. Probetas con alto contenido de vacíos sufren mayor deterioro por efecto del agua. Mezclas diseñadas con 4% de contenido de vacíos, tienen, después de su construcción, vacíos

cercanos al 8%, y solamente después de más o menos 3 años, el tránsito reduce dicho contenido a 4%.

Cada espécimen se compactó, después de realizar el método de cuarteo a la mezcla total hecha en el compactador automático, tratando de obtener probetas con la misma proporción de agregados.

Las probetas se compactaron en el Compactador Giratorio de Texas (Figuras 8, 9, 10 y 11), buscando obtener mezclas homogéneas sin fracturamiento del agregado y con densidades similares a las que se pueden obtener en campo. Se fijó el diámetro de cada probeta igual a 100 mm, el valor de Peso Específico Máximo Teórico (GMM) determinado con anterioridad y se varió la altura de la probeta hasta obtener el porcentaje de vacíos deseado.

Cada mezcla se llevó a una temperatura de compactación entre 135 – 140 °C, para garantizar la homogeneidad de la mezcla y se compactó con rapidez para evitar el enfriamiento de la misma.

Para escoger las dos probetas con el contenido de vacíos requerido, se determinó el Peso específico máximo teórico y el Peso Bulk, 24 horas después de la compactación, y se calculó dicho porcentaje. Para el tipo de probeta que no cumpliera con esta exigencia se repitió el proceso de elaboración y compactación de las mezclas.

Figura 8. Compactador Giratorio de Texas



Figura 9. Molde con mezcla para compactar



Figura 10. Extracción de la probeta compactada



Figura 11. Muestra compactada



Los resultados después de repetir el procedimiento varias veces se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Porcentaje de Vacíos de Probetas a Ensayar

PROBETA	% VACÍOS
1A4	7,98
1A6	7,79
1B2	8,14
1B3	8,34
2A10	7,80
2A12	7,98
2B1	7,58
2B5	8,13
3A10	8,29
3A12	8,23
3B2	7,89
3B3	7,63
4A7	7,54
4A9	7,87
4B1	7,94
4B3	7,67

2.1.4 Acondicionamiento de probetas. Después de tener las 16 probetas con las características deseadas, se acondicionaron para iniciar el proceso de deterioro y recuperación.

Inicialmente se realizó un proceso de curado, durante 72 horas a 60°C en el horno de calentamiento, con el propósito de reducir los efectos por endurecimiento del ligante (Figura 12). Si la consistencia del asfalto aumenta durante los procesos de inmersión

en agua, se produce variación en la rigidez de las probetas lo que dificulta la identificación del efecto producido por el agua.

Figura 12. Horno de Calentamiento



Luego, se midió el primer módulo resiliente o módulo original de cada probeta. Este valor es el parámetro de comparación de la resistencia mecánica de cada espécimen, durante la evolución del proceso de deterioro.

Conociendo el porcentaje de vacíos, el peso seco y el volumen de cada espécimen, se calculó la cantidad de agua necesaria para saturar las probetas hasta el 60% en peso. El proceso se realizó

mediante la utilización de una bomba de vacío y una cápsula donde se sumergieron las probetas hasta alcanzar el peso correspondiente a dicho nivel de saturación (Figura 13). Este porcentaje de saturación se consideró como crítico puesto que un valor mayor implicaría un posible rompimiento interno del espécimen debido a la presión de poros ejercida por el agua.¹²

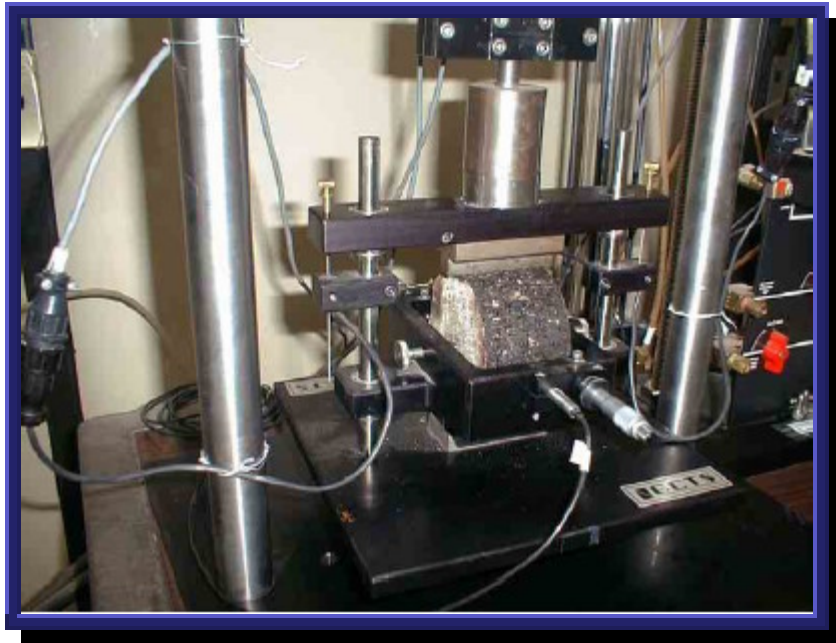
Figura 13. Cápsula de Saturación



¹² ANTECEDENTES DEL DISEÑO Y ANÁLISIS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE SUPERPAVE. Febrero 1995.

Con las probetas saturadas se inició la medición de los módulos de deterioro, en el equipo NAT¹³ a una frecuencia de 10 hz. ó tiempo de aplicación de 33 milisegundos, la cual simula el paso de un vehículo a una velocidad promedio de 60 Km/h (Figura 14).

Figura 14. Equipo NAT para ensayo de módulos resilientes



Este equipo permite medir la deformación aplicando carga diametralmente a una frecuencia de carga y temperatura determinada.

¹³ Nottingham Asphalt Tester.

Debido a que la mezcla asfáltica es un material viscoelástico en el cual una variación en su temperatura conlleva a diferentes respuestas frente a un mismo efectos de carga, se seleccionó para el estudio una temperatura de ensayo de 10 °C la cual minimiza los efectos de la componente viscosa de la mezcla, haciéndola más rígida y disminuyendo el flujo de la misma, teniendo especial cuidado en controlar dicha temperatura puesto que cambios en un grado centígrado (1° C) pueden generar variaciones de 10% en valores de los módulos.

La temperatura se controló sumergiendo las probetas en agua a 10°C durante 4 horas antes de iniciar la toma de datos, y poder garantizar esta temperatura en toda la probeta y no solo en su superficie.

➤ **Proceso de deterioro.** Se realizó sometiendo las probetas a ciclos de inmersión en agua por tiempo y temperatura controlados, hasta alcanzar un valor cercano al 60% del módulo original, obtenido después de 42 días de iniciado el proceso.

Luego de realizar el proceso de saturación y de medir el módulo correspondiente a esta condición, las probetas se sumergieron en agua a una temperatura entre 20 – 25 °C, durante 96 horas y se midieron módulos. Como no se presentó un descenso notable en los valores del módulo, los especímenes se sometieron a ciclos de inmersión en agua aumentando la temperatura a 60 °C durante 24 horas, para crear condiciones más desfavorables y observar el efecto por aumento de la temperatura, en los valores del módulo.

Al observar que los dos ciclos de inmersión a 60 °C fueron suficientes para ocasionar un descenso en el valor del módulo, los siguientes 3 ciclos de inmersión se realizaron nuevamente a una temperatura entre 20 – 25 °C para evitar el deterioro acelerado de las probetas.

➤ **Proceso de Recuperación.** Posterior al proceso de deterioro, se procedió a secar las probetas a temperatura ambiente durante un lapso de 8 días, iniciando de esta manera el proceso de recuperación.

Los módulos se midieron bajo las mismas condiciones que los de deterioro, es decir a 10° C y 10 hz. de frecuencia, cuidando siempre evitar cambios de temperatura muy significativos; hasta alcanzar valores superiores al 80% del módulo original.

3 RESULTADOS

3.1 CARACTERIZACIÓN ORIGINAL

Después de realizar el proceso de acondicionamiento original a las mezclas compactadas, se midió el primer módulo resiliente o módulo original cuyos valores se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores del módulo resiliente antes de inmersión

PROBETA	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4
1A4	13634	13856	14020	13783
1A6	13421	13641	13622	13742
1B2	17049	17441	17604	16490
1B3	18213	17619	17615	15745
2A10	16582	15135	16088	15492
2A12	13816	14275	14397	13098
2B1	14386	15524	17872	20040
2B5	13905	13856	13213	12989
3A10	13829	13785	13721	13739
3A12	13268	12255	13045	12963
3B2	17653	17095	17861	16837
3B3	16425	18026	15581	17847
4A7	14084	13439	13367	13009
4A9	12773	12645	12117	12100
4B1	23712	22512	21122	20952
4B3	13940	15984	15375	

3.2 EVOLUCIÓN DE MÓDULO RESILIENTE

3.2.1 Deterioro. Los valores consignados en la Tabla 9 se obtuvieron luego de saturar las probetas y sumergirlas durante 24 horas a temperatura ambiente.

Tabla 9. Valores del módulo resiliente después de inmersión

PROBETA	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4
1A4	13772	14114	14778	15167
1A6	14770	15002	14895	15003
1B2	18069	18379	16497	18486
1B3	16991	17243	17245	17197
2A10	15302	15524	16050	
2A12	14858	14659	14923	15086
2B1	23294	20547	19641	19336
2B5	14947	14472	14425	13594
3A10	15265	15463	15244	15467
3A12	14766	14576	14355	14274
3B2	18471	17856	18080	18354
3B3	15561	16717	16582	17127
4A7	13326	13836	14219	14471
4A9	13485	13659	13587	13931
4B1	23712	22512	21122	20952
4B3	19628	17946	17657	N.D *

* Dato No Disponible

Comparando estos valores con los medidos originalmente, se aprecia un aumento en el valor del módulo, producto quizás de la sensibilidad del equipo NAT a cambios ligeros de temperatura en el momento de realizar el ensayo, debido a que su descenso ocasiona mayor rigidez de la probeta y por lo tanto aumento en el valor del módulo. Por otra parte, este comportamiento registrado en casi la totalidad de las probetas, también puede ser atribuido a la presión de poros producida por el proceso de saturación. Sin embargo se tendría que desarrollar una investigación al respecto que permita confirmar esta suposición.

En la Tabla 10, se muestran los valores del módulo obtenidos después de realizar 2 ciclos a temperatura ambiente, 2 ciclos a 60° C y finalmente 3 ciclos nuevamente a temperatura ambiente.

Tabla 10. Valores módulo resiliente después de inmersión (Continuación)

	Inmersión 25 C (24 hr.)		Inmersión 60 C (24 hr.)		Inmersión 25 C (24 hr.)		
PROBETA	08/04/2003	11/04/2003	16/04/2003	22/04/2003	24/04/2003	30/04/2003	12/05/2003
1A4	12299	11942	11751	10891	11007	9521	9532
	12152	11818	12505	10912	11347	9445	8965
	12198	11760	12713	10924	11212	9260	9150
	12079	11656	12190	11059	*	*	*
1A6	13689	13752	14113	12072	12547	11020	10124
	13539	13965	14598	12607	12535	10550	9532
	13813	14012	13562	12419	12749	10313	9856
	13980	13482	13685	12808	12890	*	*
1B2	16785	15547	16445	13563	13177	11402	11258
	13063	15385	17579	13011	12803	11319	10748
	15936	16254	16991	13689	12633	10927	10697
	16703	16071	*	14162	*	*	*
1B3	15516	14519	14720	11796	12406	11270	10167
	15024	14511	14841	13156	12327	10983	10863
	14481	14524	14650	13994	11979	10757	10534
	15156	14266	14874	12819	*	*	*
2A10	15043	15902	15095	16951	13587	13707	13468
	13571	17139	15036	16280	14775	12867	12745
	12263	17589	15309	16331	14365	12734	12854
	*	18431	15174	15672	*	*	*
2A12	13332	14219	13746	13514	12656	12276	11486
	13362	13958	14041	12369	14000	12552	12578
	13348	13758	13982	12806	13488	11934	11932
	13419	13733	13760	13591	*	*	*

* Dato No disponible

	Inmersión 25 C (24 hr.)	Inmersión 60 C (24 hr.)	Inmersión 25 C (24 hr.)				
PROBETA	08/04/2003	11/04/2003	16/04/2003	22/04/2003	24/04/2003	30/04/2003	12/05/2003
2B1	18791	17185	19782	16024	17353	15225	115026
	18605	16513	19345	15153	17310	14578	14658
	18654	15458	18837	15903	17031	14756	14865
	18985		20150	15564			
	18970						
2B5	12084	10879	12029	11441	10255	9573	9648
	12022	11311	12237	11481	10226	9223	8879
	11850	11107	12049	11287	10220	9092	9154
	12031	11858	11773	11710			
3A10	12583	13413	13684	11828	12186	10090	9546
	12563	13345	13217	11567	12145	9716	9123
	12634	12912	13597	11790	11935	9638	9965
	12846		13444	11678			
3A12	11562	11081	12270	11648	11067	9978	9750
	11686	10968	12368	11661	10876	9705	9124
	11452	11028	12413	11593	10681	9657	10064
	11343		12255	11703	10872		
3B2	14987	14108	13846	12399	11650	11288	11125
	15283	14383	13916	12087	11723	11040	10469
	15172	14352	13815	12312	10220	11191	11698
	15675	14191	13933	12142			

Inmersión 25 C (24 hr.)	Inmersión 60 C (24 hr.)	Inmersión 25 C (24 hr.)
-------------------------	-------------------------	-------------------------

PROBETA	08/04/2003	11/04/2003	16/04/2003	22/04/2003	24/04/2003	30/04/2003	12/05/2003
3B3	17540	16231	16880	16162	16746	12689	12987
	17570	16178	17179	14812	16255	12630	12347
	17482	16449	17011	15484	16257	12509	12654
	17185		17305				
4A7	12966	12831	14185	12266	11771	11025	10569
	13139	12334	13780	12050	11897	10878	9987
	12912	11589	14611	12191	11760	10732	10265
	13321		14595	12135			
4A9	11305	12626	12957	11598	11356	9922	10254
	11678	12222	13337	11477	10958	9983	9874
	12022	12344	13209	11355	11108	10190	9962
	12075	11674	13211		11223		
4B1	19097	18904	19270	15710	16827	16593	15326
	19216	18612	19804	16951	16658	16498	15948
	19239	19034	20093	18126	16517	16693	15657
	19290	17843	20993				
4B3	19721	18702	20556	19618	20137	16588	15974
	19569	16714	20367	19786	18377	16457	15312
	19517	18753	20371	20399	17460	16309	15564
	20270	18948	20365	19936			

En los 2 ciclos a temperatura ambiente se aprecia un descenso en los valores de los módulos, y después del primer ciclo a 60°C no se presentó deterioro del módulo resiliente y se registró un ligero aumento en el valor, atribuible al envejecimiento del asfalto, a pesar de haber realizado el proceso de curado para minimizar los efectos producidos por este fenómeno. En el siguiente ciclo a 60°C, se observa nuevamente el fuerte descenso en los valores del módulo en algunos especímenes, por lo que se retoman los ciclos a 25°C para evitar alcanzar valores más bajos que el 60% del módulo original.

3.2.2 Recuperación. Los módulos medidos durante el proceso de recuperación se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Valores módulos de Recuperación

PROBETA	20/05/2003	04/07/2003	15/07/2003
1A4	8850	9630	12817
	8785	9563	12933
1A6	9134	13458	14685
	8623	13141	14461
1B2	10606	13194	13725
	10277	12934	13804
1B3	10613	10843	14217
	9208	11008	14307
2A10	12785	14680	14198
	12534	15293	14098
2A12	11694	15250	16494
	11572	15391	15907
2B1	15075	17304	19753
	14437	17326	19191
2B5	8946	10845	12823
	9047	10517	13103
3A10	9542	10440	14333
	9583	10340	13865
3A12	9889	11045	12258
	9656	10682	12352
	*	*	12243
3B2	10404	16049	16535
	10198	16033	15686
3B3	13090	18931	20096
	12706	18712	19723
4A7	9541	11720	13665
	9802	11483	13688
4A9	9957	13522	13048
	9648	13264	13180
4B1	15451	16851	20076
	14375	16912	19880
	14547	*	*
4B3	14500	16573	21072
	14948	16177	20471

* Dato No Disponible

4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

La interpretación de los datos se realizará analizando el comportamiento que presentaron las 16 probetas, durante el proceso de deterioro y recuperación al cual fueron sometidas durante un período de aproximadamente 106 días, haciendo énfasis en la influencia de las fracciones del árido.

Para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos, se calculó el promedio de los valores del módulo resiliente (Tabla 12), y se fijó el valor del módulo original como parámetro de comparación de los siguientes valores de módulo (Tablas 13 y 14).

Tabla 12. Promedio Módulos Resilientes

PROBETA	ORIGINAL		SATURADO							DETERIORO			RECUPERACIÓN		
	01/04/2003	04/04/2003	08/04/2003	11/04/2003	16/04/2003	22/04/2003	24/04/2003	30/04/2003	12/05/2003	20/05/2003	04/07/2003	15/07/2003	01/08/2003	08/08/2003	15/08/2003
1A4	13823	14458	12182	11794	12290	10947	11189	9409	9113	8818	9597	12875			
1A6	13607	14918	13755	13803	13990	12477	12680	10628	9753	8879	13300	14573			
1B2	17157	17858	15622	15814	17005	13606	12871	11216	10829	10442	13064	13765			
1B3	17298	17169	15044	14455	14771	12941	12237	11003	10457	9911	10926	14262			
2A10	15824	15625	13626	17265	15154	16309	14242	13103	12881	12660	14987	14148			
2A12	13897	14882	13365	13917	13882	13070	13381	12254	11944	11633	15321	16201			
2B1	16151	20705	18801	16385	19529	15661	17231	14853	14805	14756	17315	19472			
2B5	13454	14360	11997	11289	12022	11480	10234	9296	9146	8997	10681	12963			
3A10	13769	15360	12657	13223	13486	11716	12089	9815	9689	9563	10390	14099			
3A12	12883	14493	11511	11026	12327	11651	10835	9780	9776	9773	10864	12305			
3B2	17256	18190	15279	14259	13878	12235	11198	11173	10737	10301	16041	16111			
3B3	17148	16497	17444	16286	17094	15486	16419	12609	12754	12898	18822	19910			
4A7	13475	13963	13085	12251	14293	12161	11809	10878	10275	9672	11602	13677			
4A9	12409	13684	11770	12217	13179	11477	11161	10032	9917	9803	13393	13114			
4B1	0	22075	19211	18598	20040	16929	16667	16595	15693	14791	16882	19978			
4B3	15100	18410	19769	18279	20415	19935	18658	16451	15588	14724	16375	20772			

Tabla 13. Evolución del módulo de Deterioro en porcentaje del original

PROBETA	ORIGINAL		SATURADO							DETERIORO	
	01/04/2003	04/04/2003	08/04/2003	11/04/2003	16/04/2003	22/04/2003	24/04/2003	30/04/2003	12/05/2003		
1A4	100,00	104,59	88,13	85,32	88,91	79,19	80,94	68,06	65,93		
1A6	100,00	109,64	101,09	101,44	102,81	91,70	93,19	78,11	71,68		
1B2	100,00	104,09	91,05	92,18	99,12	79,31	75,02	65,37	63,12		
1B3	100,00	99,25	86,97	83,56	85,39	74,81	70,74	63,61	60,45		
2A10	100,00	98,74	86,11	109,11	95,76	103,06	90,00	82,80	81,40		
2A12	100,00	107,09	96,18	100,15	99,90	94,05	96,29	88,18	85,95		
2B1	100,00	128,20	116,41	101,45	120,92	96,97	106,69	91,97	91,67		
2B5	100,00	106,73	89,17	83,90	89,35	85,32	76,06	69,09	67,98		
3A10	100,00	111,56	91,92	96,04	97,94	85,09	87,80	71,28	70,37		
3A12	100,00	112,50	89,35	85,58	95,68	90,44	84,10	75,92	75,89		
3B2	100,00	105,41	88,54	82,63	80,42	70,90	64,89	64,75	62,22		
3B3	100,00	96,20	101,73	94,98	99,69	90,31	95,75	73,53	74,38		
4A7	100,00	103,62	97,10	90,92	106,07	90,25	87,64	80,73	76,25		
4A9	100,00	110,28	94,85	98,45	106,20	92,49	89,95	80,84	79,92		
4B1	0,00	100,00	87,03	84,25	90,78	76,69	75,50	75,18	71,09		
4B3	100,00	121,93	130,93	121,06	135,20	132,02	123,57	108,95	103,23		

Tabla 14. Evolución del módulo de Recuperación en porcentaje del original

% RECUPERACIÓN			
PROBETA	20/05/2003	04/07/2003	15/07/2003
1A4	63,79	69,42	93,14
1A6	65,25	97,74	107,10
1B2	60,86	76,15	80,23
1B3	57,29	63,16	82,45
2A10	80,00	94,71	89,41
2A12	83,71	110,25	116,58
2B1	91,37	107,21	120,57
2B5	66,87	79,39	96,35
3A10	69,45	75,46	102,40
3A12	75,86	84,33	95,52
3B2	59,69	92,96	93,36
3B3	75,22	109,76	116,11
4A7	71,77	86,10	101,50
4A9	79,00	107,93	105,68
4B1	67,00	76,48	90,50
4B3	97,51	108,45	137,56

4.1 EL DETERIORO

El análisis se hará estudiando inicialmente el comportamiento descrito por todos los especímenes en general y posteriormente se clasificarán según sus características para determinar tendencias similares que conlleven a identificar los factores que influyen en dichos comportamientos.

4.1.1 Clasificación del Efecto sobre las probetas. En las Tablas 15 y 16 se muestra la evolución del módulo de las probetas ordenadas ascendentemente según el porcentaje de deterioro total, apreciándose el efecto del agua y de las condiciones de tiempo y temperatura a las que fueron sometidos los especímenes durante todo el proceso de inmersión. En la Tabla 15 se muestra la evolución del deterioro total de las probetas, y en la Tabla 16 se ordenan por grupos. Individualmente la probeta de mayor deterioro fue la 1B3 y el grupo fue el Tipo 1 que contiene agregado silíceo que pasa el tamiz No. 40.

Tabla 15. Evolución de Deterioro por Probeta

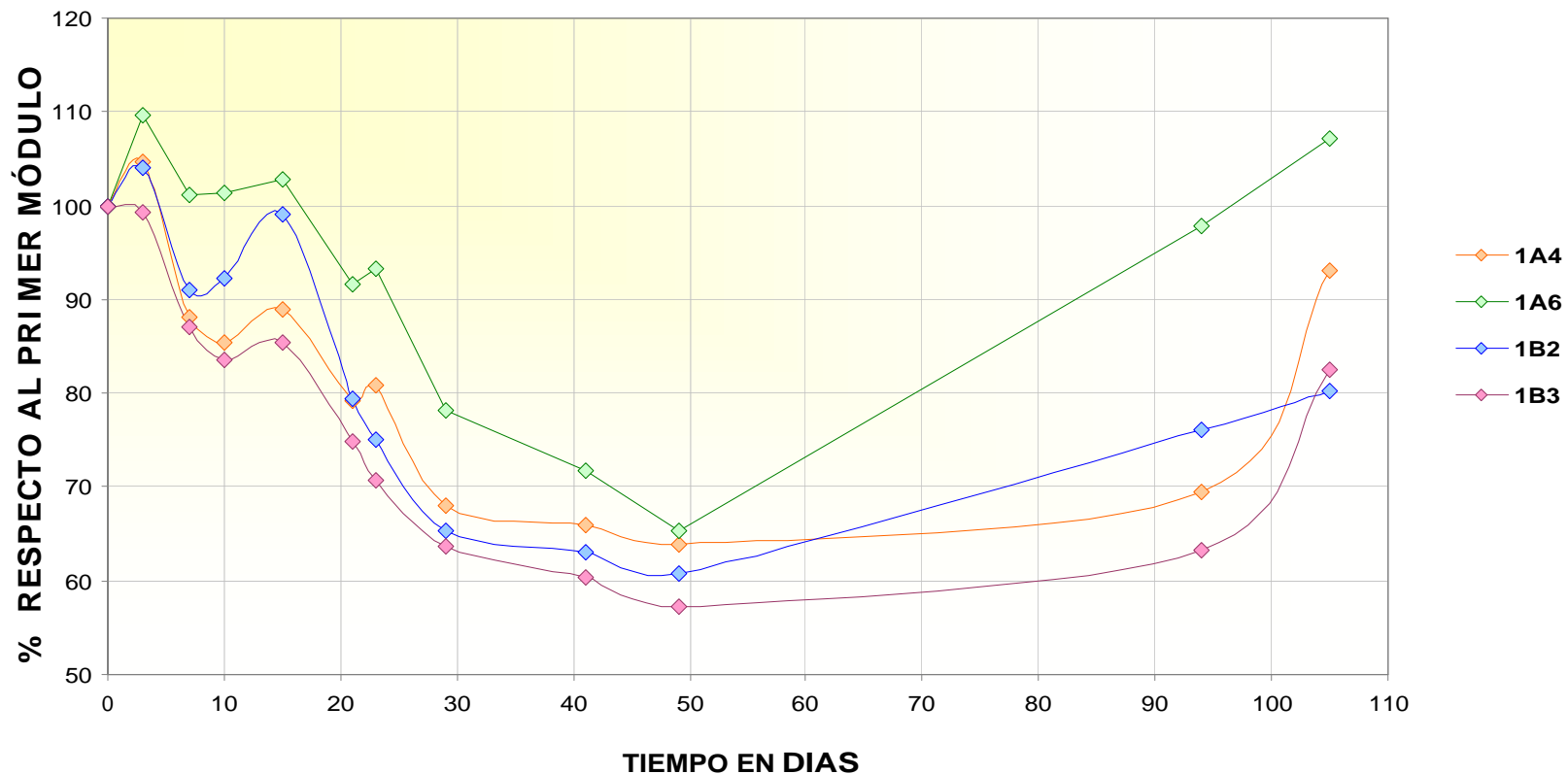
PROBETA	% DETERIORO
4B3	3,23
2B1	8,33
2A12	14,05
2A10	18,60
4A9	20,08
4A7	23,75
3A12	24,11
3B3	25,62
1A6	28,32
4B1	28,91
3A10	29,63
2B5	32,02
1A4	34,07
1B2	36,88
3B2	37,78
1B3	39,55

Tabla 16. Evolución de Deterioro por Tipo de probeta

		PROBETA	% DETERIORO
TIPO 2		2A10	18,60
		2A12	14,05
		2B1	8,33
		2B5	32,02
TIPO 4		4A7	23,75
		4A9	20,08
		4B1	28,91
		4B3	3,23
TIPO 3		3A10	29,63
		3A12	24,11
		3B2	37,78
		3B3	25,62
TIPO 1		1A4	34,07
		1A6	28,32
		1B2	36,88
		1B3	39,55

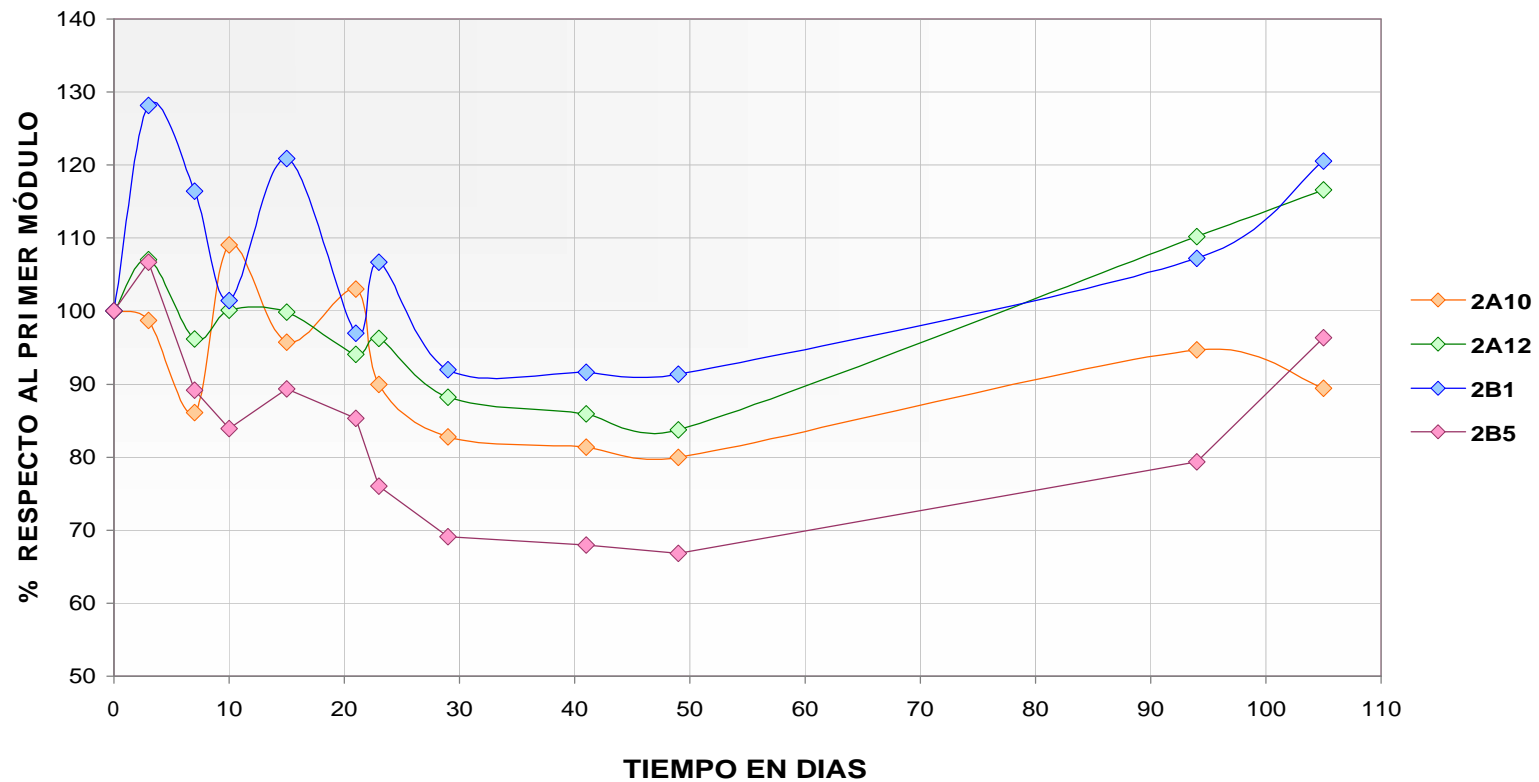
Las Figuras 15, 16, 17 y 18 elaboradas a partir de la relación del módulo medido con el original, muestran la evolución y respuesta de cada espécimen a la acción del agua sobre su resistencia mecánica.

Figura 15. Conservación de la Rigidez probetas Tipo 1



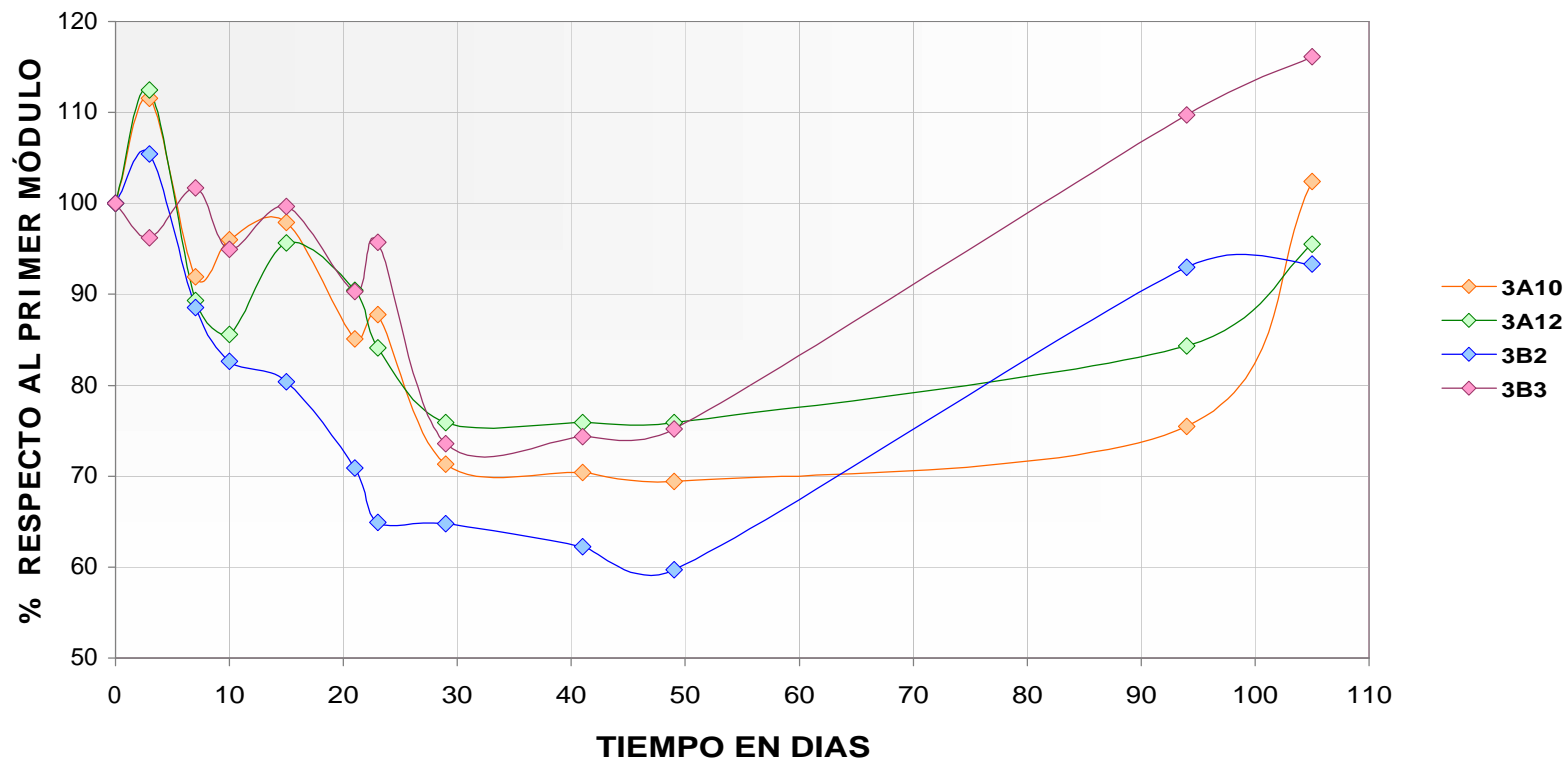
- 1A4** Probeta con Caliza retenida en el Tamiz No. 40 y Cuarcita que pasa el Tamiz No. 40 con 5.5% de Asfalto
- 1A6** Probeta con Caliza retenida en el Tamiz No. 40 y Cuarcita que pasa el Tamiz No. 40 con 5.5% de Asfalto
- 1B2** Probeta con Caliza retenida en el Tamiz No. 40 y Cuarcita que pasa el Tamiz No. 40 con 4.5% de Asfalto
- 1B3** Probeta con Caliza retenida en el Tamiz No. 40 y Cuarcita que pasa el Tamiz No. 40 con 4.5% de Asfalto

Figura 16. Conservación de la Rigidez probetas Tipo 2



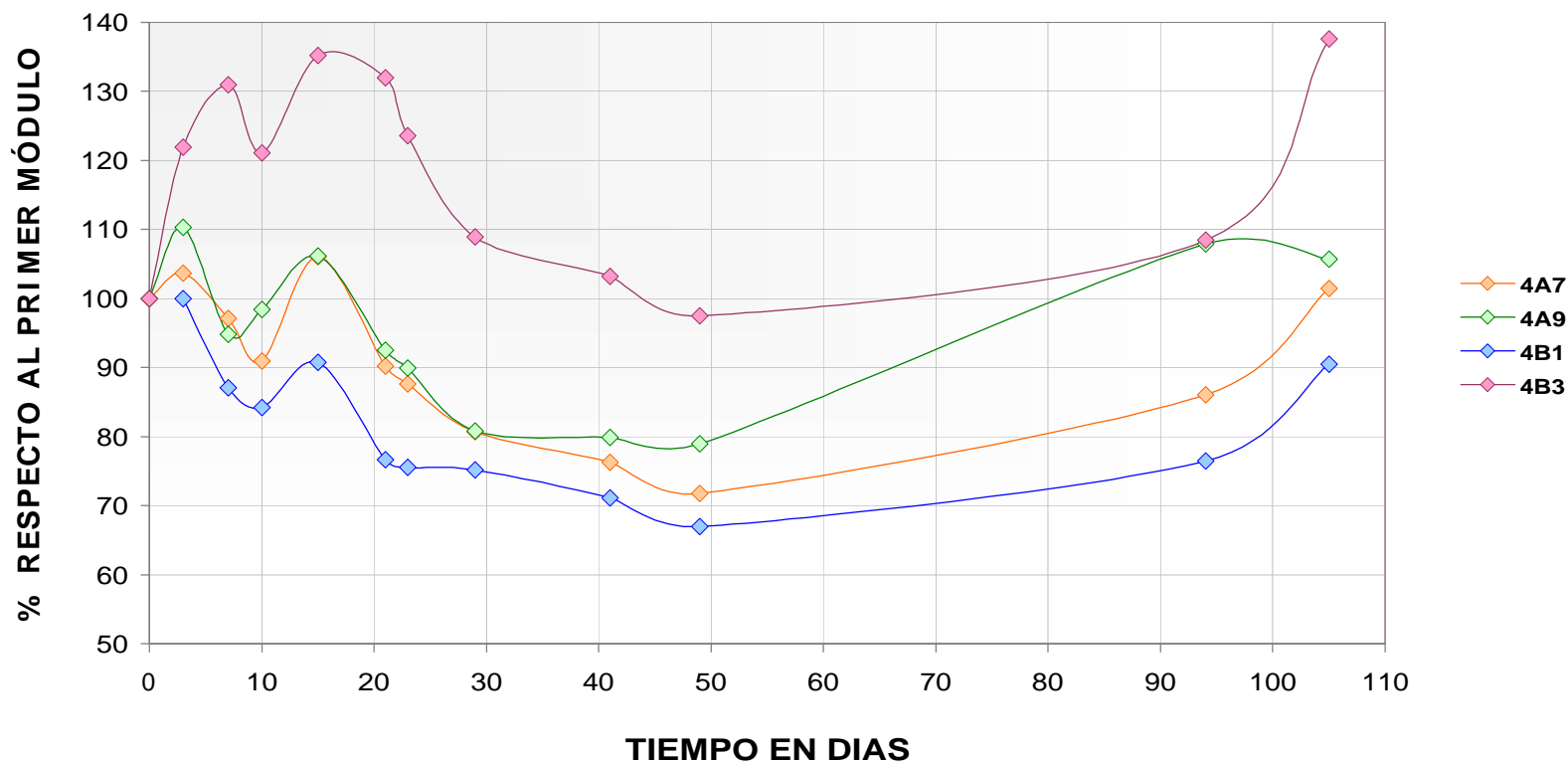
- 2A10** Probeta con Cuarzita retenida en el Tamiz No. 40 y Caliza que pasa el Tamiz No. 40 con 5.5% de Asfalto
- 2A12** Probeta con Cuarzita retenida en el Tamiz No. 40 y Caliza que pasa el Tamiz No. 40 con 5.5% de Asfalto
- 2B1** Probeta con Cuarzita retenida en el Tamiz No. 40 y Caliza que pasa el Tamiz No. 40 con 4.5% de Asfalto
- 2B5** Probeta con Cuarzita retenida en el Tamiz No. 40 y Caliza que pasa el Tamiz No. 40 con 4.5% de Asfalto

Figura 17. Conservación de la Rigidez probetas Tipo 3



- 3A10** Probeta con Caliza retenida en el Tamiz No. 200 y Cuarcita que pasa el Tamiz No. 200 con 5.5% de Asfalto
- 3A12** Probeta con Caliza retenida en el Tamiz No. 200 y Cuarcita que pasa el Tamiz No. 200 con 5.5% de Asfalto
- 3B2** Probeta con Caliza retenida en el Tamiz No. 200 y Cuarcita que pasa el Tamiz No. 200 con 4.5% de Asfalto
- 3B3** Probeta con Caliza retenida en el Tamiz No. 200 y Cuarcita que pasa el Tamiz No. 200 con 4.5% de Asfalto

Figura 18. Conservación de la Rigidez probetas Tipo 4



- 4A7** Probeta con Cuarcita retenida en el Tamiz No. 200 y Caliza que pasa el Tamiz No. 200 con 5.5% de Asfalto
- 4A9** Probeta con Cuarcita retenida en el Tamiz No. 200 y Caliza que pasa el Tamiz No. 200 con 5.5% de Asfalto
- 4B1** Probeta con Cuarcita retenida en el Tamiz No. 200 y Caliza que pasa el Tamiz No. 200 con 4.5% de Asfalto
- 4B3** Probeta con Cuarcita retenida en el Tamiz No. 200 y Caliza que pasa el Tamiz No. 200 con 4.5% de Asfalto

4.1.2 Tendencias en relación con la naturaleza del agregado.

En el comportamiento de las probetas durante el proceso de deterioro se aprecian dos tendencias relacionadas con el origen mineralógico del agregado que compone la fracción fina. Se observa una evolución del gradiente de deterioro similar en los especímenes con filler de idéntica naturaleza. Las probetas que contiene filler silíceo, alcanzaron los máximos porcentajes de deterioro total, mientras que las probetas compuestas con filler calcáreo sufrieron un deterioro menor.

Entonces analizando la clasificación presentada en la Tabla 16 se puede afirmar que el deterioro de las probetas, no está necesariamente ligado a la cantidad de agregado de baja adherencia, sino que hay gran influencia del tamaño de las partículas en las que el asfalto se desprendió del árido. Esto se confirma comparando algunos comportamientos. Por ejemplo, las probetas Tipo 3 que con tan solo un 7% de cuarcita contenida en el filler, presentan mayor deterioro que las probetas Tipo 4, elaboradas con agregado hidrófilo retenido en el Tamiz No. 200 que representa el 93% del volumen total.

De igual manera, comparando el comportamiento de las probetas Tipo 1 y Tipo 2, se confirma este fenómeno. A pesar de que los dos tipos de probeta contienen aproximadamente el mismo porcentaje en volumen de agregado de naturaleza silíceo, su respuesta a los efectos del agua es bastante diferente. Las probetas Tipo 1, compuestas por árido hidrófilo que pasa el tamiz N° 40, presentan un grado de deterioro fuerte y son los especímenes más afectados por la acción del agua, mientras que las probetas Tipo 2, compuestas por árido hidrófilo retenido en el tamiz N° 40, son las que registran el menor grado de deterioro.

4.2 LA RECUPERACIÓN

Culminado el proceso de inmersión, se presenta un comportamiento que vale la pena resaltar. Todas las probetas sin importar sus características luego de estar sometidas a un proceso de secado durante 192 horas a temperatura ambiente, continúan disminuyendo su rigidez. Se observa que terminado el proceso de inmersión, el efecto del agua sigue afectando notoriamente la mezcla y por supuesto sus propiedades, hecho que resulta importante si se considera las condiciones reales a las que están

sometidos los pavimentos y que son difícil de evaluar si no se realizan este tipo de ensayos.

Tabla 17. Evolución de recuperación por probeta

PROBETA	% RECUPERACIÓN
2A10	9,41
1B2	19,37
3A12	19,66
4B1	23,50
1B3	25,16
4A9	26,69
2B1	29,20
1A4	29,35
2B5	29,48
4A7	29,72
2A12	32,87
3A10	32,95
3B2	33,67
4B3	40,05
3B3	40,89
1A6	41,85

En la Tabla 17, se muestra la evolución del módulo de las probetas ordenadas ascendentemente según el porcentaje de recuperación total. En la Tabla 18, se ordenan por grupos, pero sin una clasificación por grado de recuperación, debido a que no hay homogeneidad en el proceso para los especímenes de un mismo tipo. En todos los tipos de mezclas ensayadas se pueden encontrar probetas con recuperaciones ubicadas en la parte superior e inferior de la tabla 17.

Tabla 18. Evolución de Recuperación por Tipo de Probeta

PROBETA	% RECUPERACION
1A4	29,35
1A6	41,85
1B2	19,37
1B3	25,16
2A10	9,41
2A12	32,87
2B1	29,20
2B5	29,48
3A10	32,95
3A12	19,66
3B2	33,67
3B3	40,89
4A7	29,72
4A9	26,69
4B1	23,50
4B3	40,05

Analizando la Tabla 18 y las Figuras 15, 16, 17 y 18 se aprecia la diferencia entre la evolución de los gradientes de deterioro y recuperación. Mientras que el deterioro presenta tendencias relacionadas con la naturaleza del árido que compone la fracción fina; la recuperación es similar para todas las probetas, incluso para las más afectadas por la acción del agua, sin llegar a presentarse comportamientos atribuibles al origen mineralógico del agregado.

Por ejemplo, las probetas que contienen agregado de naturaleza silíceo en la fracción fina, que durante el proceso de deterioro

fueron las más afectadas; durante la recuperación alcanzaron valores cercanos al 100% del módulo original, presentando un comportamiento similar al de las probetas con fracción fina compuesta de árido de naturaleza calcáreo.

A pesar de que la recuperación es evidente para todos los especímenes, analizando las probetas correspondientes a un mismo Tipo, se observa que la velocidad de recuperación no es homogénea. Mientras que uno de los dos especímenes con igual contenido de asfalto, presenta un gradiente de recuperación fuerte y constante, el otro presenta al inicio del proceso gradientes suaves, y al final se dispara hasta alcanzar valores de recuperación altos, como se observa en el comportamiento de las probetas Tipo 1 y Tipo 3.

El módulo resiliente no es quizás el mejor parámetro para medir la evolución del gradiente de recuperación, debido a que algunas probetas registran valores superiores al módulo original, alcanzando incluso valores cercanos al 130%, lo cual indicaría la recuperación de la adhesión asfalto – agregado; sin embargo al

destruir las probetas se observó desvestimiento de las gravas (Figura 19) y de los finos (Figura 20).

Figura 19. Probeta 2A10 destruida



Figura 20. Probeta 1A6 destruida



5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de analizar la evolución del gradiente de deterioro de las probetas ensayadas, se puede concluir que:

- La fracción del árido que más influye en el comportamiento mecánico de las probetas, cuando éstas son sometidas a ciclos de humedecimiento, son los finos, y no la fracción gruesa y arenas, como lo indica la evolución del gradiente de deterioro de las muestras ensayadas, presentándose un comportamiento similar en los especímenes con filler de idéntico origen mineralógico. Parece ser que la superficie específica débil en adhesión es más importante que el volumen de agregado que pierde adhesión.
- Se presenta más fuerte deterioro de la adhesión asfalto-agregado, cuando el filler es de origen silíceo que cuando es de origen calcáreo.
- Un ciclo de inmersión a 60 °C durante 24 horas no permite establecer diferencias en el deterioro por efecto del agua.

En ensayos como la Relación de Tracción Indirecta e Inmersión-Compresión convendría realizar ciclos por períodos más prolongados.

- Luego de ser sometidas a un ciclo de secado de 192 horas, las probetas continuaron disminuyendo su rigidez, es decir, la recuperación de las propiedades mecánicas no fue inmediata, lo cual demuestra claramente que hasta que el proceso de secado no haya reducido efectivamente el contenido de agua en la interfaz asfalto-agregado, ésta sigue afectando la adhesión y por lo tanto las propiedades del material.
- Terminado el ciclo de secado, las probetas alcanzaron un porcentaje de recuperación cercano, y en algunos casos superior, al 100% del módulo original, en principio atribuible al endurecimiento del ligante; sin embargo esta recuperación del módulo no es sinónimo de una recuperación total de la adhesividad árido ligante, porque luego de destruir las probetas se observó un desvestimiento de las gravas compuestas por cuarcita y un efecto destructivo del mastic compuesto por filler hidrófilo. Por tanto se concluye que la medida del módulo resiliente no es un parámetro que pueda identificar fielmente el

efecto del agua sobre la mezcla asfáltica; por tal motivo se recomienda realizar otro tipo de ensayos y/o desarrollar otra metodología de la cual se obtengan resultados con mayor grado de confiabilidad.

- La mayoría de las probetas registraron el máximo valor del módulo luego de ser saturadas. Debe estudiarse si la presión de poros afecta la medida del módulo resiliente ó es un valor normal dada la confiabilidad del equipo empleado.
- El estudio del efecto del agua en la mezcla asfáltica, mediante la medición de módulos resilientes, es un proceso que requiere especial cuidado y atención, puesto que mínimas variaciones por ejemplo en la temperatura, arroja alteraciones considerables en los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

AMAYA SUÁREZ, Jorge Enrique y REY MANOSALVA, Marco Antonio. Estudio para la elaboración de ensayos con carga dinámica que permitan determinar el efecto del agua sobre las mezclas de concreto asfáltico. Bucaramanga. 2001. 117p. Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas.

CIFUENTES MOSQUERA, Sergio Alfredo y RUEDA CORZO, Sergio Andrés. Variación de las propiedades mecánicas del concreto asfáltico sometido a ciclos de humedecimiento y secado. Bucaramanga. 2002. 320 p. Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas.

DUEÑAS LEON, Fernando y RIVERO MEDINA, Norberto. Control de calidad de mezclas con emulsiones asfálticas. Bucaramanga. 1999. 198 p. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas.

EMPRESA COLOMBIANA DE PETRÓLEOS. Cartilla práctica para el manejo de los asfaltos colombianos. Bucaramanga. Instituto Colombiano del Petróleo.

GARNICA ANGUAS, Paul; MANILLA ACEVES, Alfonso Alvarez y BÁEZ ANDRADE, Francisco Javier. Evaluación de la pérdida de resistencia en concretos asfálticos por contactos de sustancias agresivas. 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas de ensayo de materiales para carreteras. Bogotá INVIAS.

MONTES GORDILLO, Beatriz Liliana y PÁEZ PICO, Oscar Julián. Estudio Comparativo de ensayos para determinar la adherencia agregado asfalto. Bucaramanga. 2000. 132 p. Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas.

RODRÍGUEZ DERAS, Jorge. Incidencia de los agregados en el comportamiento de las mezclas asfálticas. 1999.

THE ASPHALT INSTITUTE. Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Manual de series No. 22. Quinta Edición. USA. 1982.

VÁSQUEZ, Marcos Vinicio. Diseño de mezclas asfálticas en caliente – Nuevas tendencias. Ministerio de Obras Públicas de el Salvador. 2002.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.