

Mejoramiento de granulares de desecho de la cantera Vista Hermosa con emulsiones asfálticas modificadas

Ana Sofía Figueroa Infante* / Lucy Sulay González García** / Carolina Osorio Torres** / Gloria Alexandra Ramos Niño** / Jorge Alberto Sánchez***

RESUMEN

La explotación de agregados pétreos genera algunos excesos que no satisfacen los parámetros de calidad exigidos para una base granular. Por tal razón, se han empleado bases estabilizadas con emulsiones asfálticas modificadas, las cuales mejoran las características del agregado pétreo y en consecuencia, permiten su utilización en pavimentos sometidos a altas sollicitaciones. Esta investigación tiene por objetivo el diseño de una base estabilizada con emulsión asfáltica modificada utilizando los materiales de desecho de la cantera Vista Hermosa, ubicada en los cerros de Mondoñedo, Bogotá; los cuales no cumplen con todos los parámetros de calidad exigidos por las normas del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), para pavimentos sometidos a altas sollicitaciones.

Palabras clave: mezclas asfálticas modificadas, bases estabilizadas, agregados pétreos, emulsiones asfálticas, bases granulares.

IMPROVEMENT OF GRANULATE WASTE IN THE VISTA HERMOSA QUARRY WITH MODIFIED ASPHALT EMULSIONS

ABSTRACT

The exploitation of stony aggregates generates some excesses that do not satisfy the quality regulations demanded for a granulate base. For this reason, bases stabilized with modified asphalt emulsions have been used, which improve the characteristics of the stony aggregate and consequently they allow its use in pavements bearing high stress. The purpose of this research is to design a base stabilized with modified asphalt emulsion using the waste material of the *Vista Hermosa* quarry, located in Mondoñedo, Bogotá, Colombia. Such material does not fulfill all the quality parameters demanded by the National Institute of Roads (Spanish acronym INVIAS) regulations, for pavements under high stress.

Key Words: modified asphalt mixtures, stabilized bases, stony aggregates, asphalt emulsions, granulate bases.

* Ingeniera Civil, Universidad Santo Tomas, Postgrados en Geotecnia Vial y Pavimentos y Gerencia de Construcciones. Directora del Grupo de investigación, INDETEC, Universidad de La Salle.

Correo electrónico: afigueroa@lasalle.edu.co

** Ingeniera civil, Integrante del Grupo de investigación, INDETEC, Universidad de La Salle.

*** Ingeniero Civil, Gerente técnico Shell Colombia.

Fecha de recepción: febrero 1 de 2006.

Fecha de aprobación: marzo 1 de 2006.

INTRODUCCIÓN

La base, por ser una disipadora de esfuerzos, cumple con una función estructural importante para el buen desempeño del pavimento, por lo cual se debe evaluar la calidad y composición de los agregados que hacen parte de ella e identificar sus deficiencias, para controlarlas de manera apropiada. Las características de los materiales se pueden mejorar química, física o mecánicamente. Existe una gran variedad de agentes estabilizantes, tales como la emulsión asfáltica, asfalto espumoso, cemento, cal y cenizas, entre otros.

Esta investigación se concentra en el mejoramiento químico de material de base granular con la aplicación de emulsiones asfálticas modificadas.

EMULSIONES ASFÁLTICAS

Se define como la suspensión de pequeñas partículas de un producto asfáltico en una solución acuosa, con un agente emulsificante de carácter aniónico o catiónico.

Las emulsiones están compuestas por dos fases: una fase dispersa o discontinua constituida por el asfalto y una fase acuosa o continua conformada por el agua y un emulgente responsable del tiempo de rotura y de la carga de la emulsión (catiónica, iónica o aniónica). Se recomienda que el contenido de asfalto en una emulsión sea mínimo el 57%, de tal manera que no se alcancen grandes viscosidades pero sí, un adecuado recubrimiento fino y de llenante mineral.

La composición del betún influye decisivamente sobre todas las propiedades de la emulsión y en particular sobre la velocidad de rotura, la granulometría, almacenabilidad y la cohesión adquirida después de la rotura.

El contenido de agua en la emulsión es del 40% al 43% de la emulsión asfáltica y sus funciones son el humedecimiento, la disolución y adherencia; las cuales moderan las reacciones químicas. La cantidad de agua en la emulsión depende de la granulometría, la naturaleza del árido, la absorción del mismo y las condiciones climáticas. El agua optimiza la humectación de las superficies minerales, activando el agregado para ser posteriormente emulsionado (Shell, 1992). Asimismo, la escasez de agua en la mezcla, provoca una rotura prematura de la emulsión.

Es importante mencionar que el agua puede contener minerales u otras sustancias que afectan la estabilidad de las emulsiones, por lo tanto debe ser tratada. El agua puede traer consigo impurezas en suspensión, en solución o tener iones de calcio y de magnesio que afectan sus propiedades formando sales que pueden generar su rotura anticipadamente. El agua que se utiliza debe ser pura y libre de materias extrañas.

El componente fundamental de una emulsión asfáltica es el emulgente, aunque su proporción en la mezcla es inferior al 2%, este permite el equilibrio de la mezcla y estabiliza la dispersión del asfalto en el agua, recubriendo las partículas de ligante y evitando que estas se vuelvan a unir.

Una vez disgregado el ligante en la fase acuosa, los glóbulos de asfalto se recubren con moléculas de emulgente y se unen a la parte apolar del emulgente debido a la gran afinidad creando en las partículas de asfalto, cargas eléctricas que al ser del mismo signo obligan a las partículas de betún a rechazarse por repulsión hidrostática impidiendo así la aglomeración; entonces en el exterior quedan los extremos hidrófilos o parte polar del emulgente que se une al agua, evitando así la aproximación o coalescencia de los glóbulos de asfalto y estabilizando la emulsión (Rivera, 1998).

El emulgente cumple una triple función, la primera es disminuir o minimizar la tensión intersticial entre el agua y el asfalto, la segunda es crear una película protectora sobre el glóbulo de asfalto mejorando la adhesividad de éste, y la tercera, estabilizar la dispersión de la emulsión manteniendo el equilibrio entre ambas fases y controlando su rotura en el momento de encontrarse con el árido (Shell, 1992).

TIPOS DE EMULSIONES MODIFICADAS

- ◆ *Emulsiones especiales:* de rotura controlada, se diseña la medida del tiempo de rotura en función de los materiales y condiciones de obra o la modificación externa en la velocidad de rotura utilizando aditivos retardadores o acelerantes; con aditivos de diferentes tipos, rejuvenecedores en el caso de emulsiones para reciclados en frío; diferentes contenidos de hidrocarburos destilados en el caso de emulsiones de imprimación; químicos especiales y solventes utilizados en emulsiones destinadas a premezclado para bacheos.
- ◆ *Emulsiones modificadas con polímeros:* con elastómeros, látex, natural, SBR, neopreno, SBS, o plastómeros, EVA, EMA, EGA. Sus ventajas son: aumento de la cohesión interna, en la viscosidad y en el punto de ablandamiento, disminución de la susceptibilidad térmica, mejora en la adherencia activa y pasiva, mejora la elasticidad

y la flexibilidad y aumenta la resistencia al envejecimiento.

- ◆ *Emulsiones modificadas bifásicas:* El modificador más utilizado es el látex de SBR, es una mezcla de dos emulsiones, la de asfalto propiamente dicha y la de látex. Existen diferentes métodos de producción: premezclado del látex en la solución jabonosa, la incorporación del látex previa al molino coloidal y la adición posterior del látex al molino coloidal. El látex deberá ser compatible con la polaridad y pH de la emulsión a modificar y la modificación de la reología se manifiesta en el ligante residual luego de producida la rotura.
- ◆ *Emulsiones modificadas monofásicas:* se obtienen al emulsionar un asfalto previamente modificado. Su fabricación es idéntica a la de cualquier emulsión, pero se debe contar con un asfalto modificado estable y de buenas características, un buen procedimiento mecánico, como molinos coloidales de potencia adecuada para emulsionar el AMP y una buena eficiencia energética como ligantes de alta viscosidad, altas temperaturas e intercambiadores de calor. En estas emulsiones el cambio en la reología del ligante viene dado por las propiedades de los AMP que componen el residuo de las mismas.
- ◆ *Emulsiones especiales modificadas:* de rotura controlada modificada con polímeros y con aditivos

TABLA 1. MODIFICADORES DE USO FRECUENTE.

TIPO		EJEMPLO	
POLÍMEROS	CAUCHOS	Látex natural Látex sintético Copolímeros en Block Caucho regenerado	Caucho natural Estireno-Butadieno (SBR) Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) Peladura de neumáticos
	PLÁSTICOS		Polietileno Polipropileno Etil-Vinil-Acetato (EVA) Cloruro de Polivinilo (PVC)

Fuente: tomado y modificado de Agnus (1997).

de diferentes tipos: solventes, rejuvenecedores, etc; modificadas con polímeros. Sus aplicaciones son en riegos negros, de sellado, de liga, de curado, de imprimación, anti-polvo, entre otros.

Al comparar los ligantes residuales de las emulsiones modificadas con polímeros, con las emulsiones sin modificar, se obtienen las siguientes ventajas: aumento significativo de la cohesión, mejora de la susceptibilidad térmica, mejora de la elasticidad, disminución de la temperatura de fragilidad Frass y mejora la adherencia con los agregados.

La base estabilizada en frío es la combinación de un ligante bituminoso con suelos naturales, agregados pétreos de carácter natural como arenas, gravas o una mezcla de agregados naturales y materiales procesados; los cuales deberán estar exentos de materia orgánica o cualquier sustancia perjudicial. La adición de la emulsión mejora las características resistentes y disminuye la capacidad de absorción.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cantera Vista Hermosa explota material pétreo (arenisca) desde el año 1997, empleando explosivos y maquinaria pesada, en proporciones mensuales de 2.000 m³ hasta 11.000 m³, el agregado extraído es utilizado principalmente en recebos y todo tipo de mezclas asfálticas, cuyas especificaciones son reglamentadas por la norma INVIAS de los años 1996 y 2002, sin embargo, existe un porcentaje significativo de material de «desecho», es decir aquel que no cumple con los parámetros de calidad y que se destina para usos menores. Esta investigación presenta una forma de aprovechamiento de este material, que por no cumplir con los requerimientos completos que exige la norma, genera pérdidas en las canteras y aumenta los gastos de transporte de material para las obras de infraestructura vial.

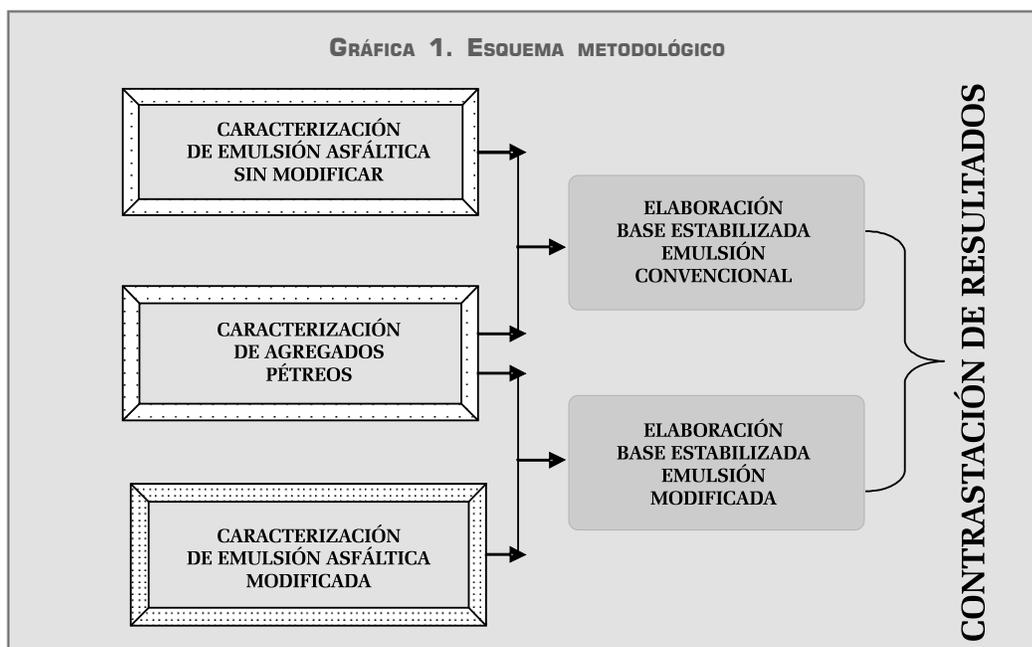


FIGURA 1. CANTERA VISTA HERMOSA, MONDOÑEDO, BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA.



TABLA 2. ENSAYOS REALIZADOS A LOS MATERIALES.

Agregado de desecho	Emulsión Asfáltica Spramul CRL-1 sin modificar	Residuo de destilación	Emulsión Asfáltica Spramul CRL-1 modificada con polímeros tipo SBR (Estireno-Butadieno)	Mezcla con emulsión asfáltica (CRL-1) y emulsión asfáltica modificada (CRL-PM)
1. Límite plástico e índice de plasticidad.	1. Agua en emulsiones asfálticas.	1. Ductilidad de los materiales asfálticos a 25°C.	1. Agua en emulsiones asfálticas.	1. Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua (<i>stripping</i>).
2. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.	2. Destilación de emulsiones asfálticas.	2. Penetración de los materiales asfálticos.	2. Destilación de emulsiones asfálticas.	2. Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca.
3. Peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados.	3. Sedimentación de las emulsiones asfálticas.	3. Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno. (CRL-1)	3. Sedimentación de las emulsiones asfálticas.	3. Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas asfáltica compactadas (Ensayo de Inmersión-Compresión).
4. Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1½") por medio de la máquina de los ángeles.	4. Viscosidad Saybolt-Furol de asfaltos a 25°C.		4. Viscosidad Saybolt de asfaltos.	
5. Peso específico y absorción de agregados gruesos.	5. Tamizado de las emulsiones asfálticas.		5. Tamizado de las emulsiones asfálticas.	
6. Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos. Equipo modificado.	6. pH de las emulsiones asfálticas.		6. pH de las emulsiones asfálticas.	

RESULTADOS

Los materiales que no cumplían con las condiciones de calidad se estabilizaron con emulsión asfáltica

para obtener una base de óptimas condiciones para las solicitaciones esperadas. Se trabajó con dos tipos de emulsión: CRL-1 y CRL-PM, cuyas características son las siguientes:

TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS UTILIZADAS.²

SPRAMUL CRL-1	SPRAMUL CRL-PM
Emulsión asfáltica tipo catiónica de rompimiento lento, elaborada a partir de asfaltos refinados.	Emulsión asfáltica tipo catiónica de rompimiento controlado modificada con polímeros tipo SBR, elaborada a partir de asfaltos refinados.
Es utilizada principalmente en riegos de imprimación y mezclas densas en frío.	Es utilizada principalmente en tratamientos superficiales y sellos asfálticos.
Por ser una emulsión de rompimiento lento se deposita sobre los materiales pétreos en períodos de tiempo relativamente largos.	Es una emulsión de rompimiento controlado con respecto a otras emulsiones.
Presenta condiciones ideales de adhesión, resistencia a la oxidación y cubrimiento sobre los agregados pétreos.	Mejora las propiedades visco-elásticas aumentado la resistencia a la fatiga y al ahuellamiento, reduce la susceptibilidad térmica así como la presencia de grietas, mejora la adhesión y la resistencia a la oxidación.
Es incompatible con emulsiones de tipo aniónico u otro tipo de emulsiones que alteren su desempeño.	Es incompatible con emulsiones de tipo aniónico u otro tipo de emulsiones que alteren su desempeño.
Cumple con las especificaciones requeridas por la norma INVIAS artículo 400-02 tabla 400.5 y las ASTM D-2397.	Cumple con las especificaciones requeridas por la norma INVIAS artículo 400-02 tabla 400.6 y las ASTM D-2397.

Una vez identificados los materiales se realizaron los ensayos necesarios para caracterizarlos y de acuerdo con los resultados se procedió al mejoramiento y adaptación de los mismos para emplearlos como material de base estabilizada con emulsión asfáltica modificada.

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO PÉTREO

Se realizó la caracterización del agregado pétreo, extraído de la cantera Vista Hermosa, grava y arena de peña para mejorar sus características y convertirla en una base estabilizada.

TABLA 4. GRANULOMETRÍA ARENA DE PEÑA.

TAMIZ NORMAL	Porcentaje retenido %	Porcentaje que pasa
3/4	1,3	99
1/2	0,9	98
3/8	0,4	97
#4	0,4	97
#8	2,0	95
#10	0,3	95
#30	1,6	93
#40	5,1	88
#60	9,6	78
#80	8,1	70
#100	6,4	64
#200	31,2	33
Vasija	32,7	0,00

TABLA 5. GRANULOMETRÍA GRAVA.

TAMIZ NORMAL	Porcentaje retenido %	Porcentaje que pasa
1 1/2	0	100
1	0.85	99.15
3/4	24.65	74.5
1/2	61.65	12.85
3/8	11.8	1.05
#4	1.05	0

FIGURA 2. ANÁLISIS DE GRADACIÓN DEL AGREGADO PÉTRICO.



GRÁFICA 1. GRÁFICA DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA SEPARADA BEE-1.

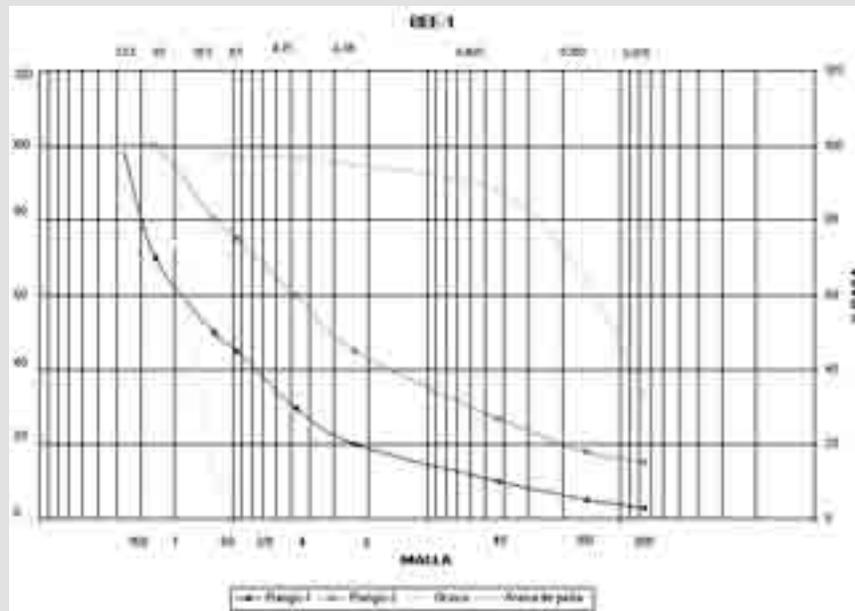


TABLA 6. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS.

PESO UNITARIO gr/cm ³		DESGASTE MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (%)		PESO ESPECÍFICO APARENTE gr/cm ³		ABSORCIÓN EN %	
GRAVA	ARENA	GRAVA		GRAVA	ARENA	GRAVA	ARENA
1,13	1,45	31,4		2,4	3,02	2,15	9,48

FIGURA 4. PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA DE PEÑA Y DEL AGREGADO PÉTREO GRUESO.



FIGURA 5. PESO UNITARIO DEL AGREGADO Y DESGASTE EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.



TABLA 7. PARÁMETROS DE GRADACIÓN Y AJUSTE GRANULOMÉTRICO (INVIAS, 1998).

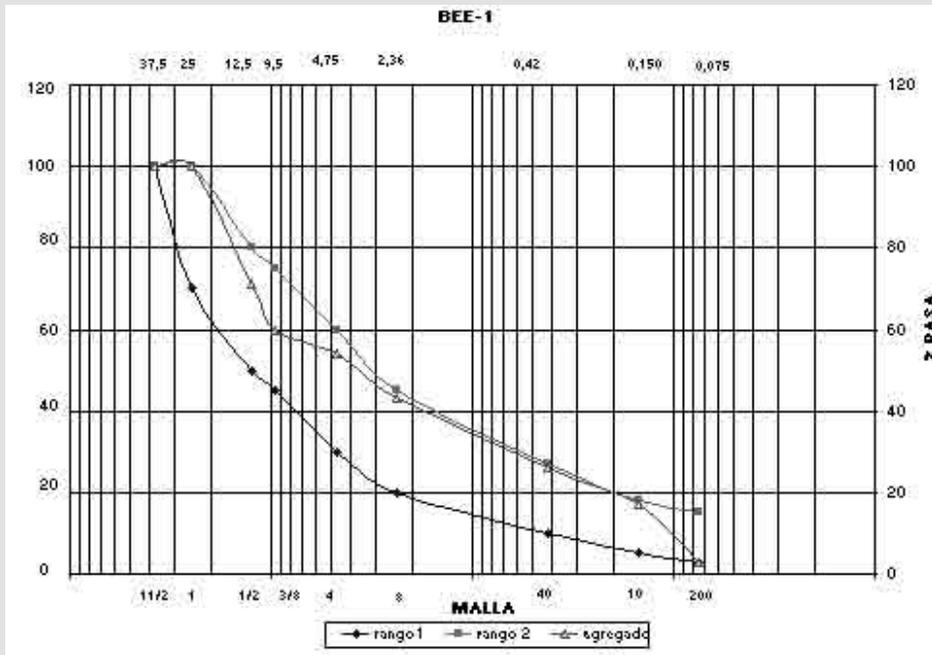
TAMIZ		BEE-1		BEE-2		AJUSTE GRANULOMÉTRICO	
NORMAL (mm)	ALTERNO					Porcentaje retenido %	Porcentaje que pasa %
37,5	1 ½"	100	100	-	-	0	100
25	1"	70	100	100	100	0	100
12,5	½"	50	80	60	90	29	71
9,5	3/8"	45	75	50	80	11	60
4,75	Nº 4	30	60	30	60	6	54
2,36	Nº 8	20	45	20	45	11	43
0,425	Nº 40	10	27	10	27	17	26
0,15	Nº 100	5	18	5	18	9	16
0,075	Nº 200	3	15	3	15	14	2

AJUSTE GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

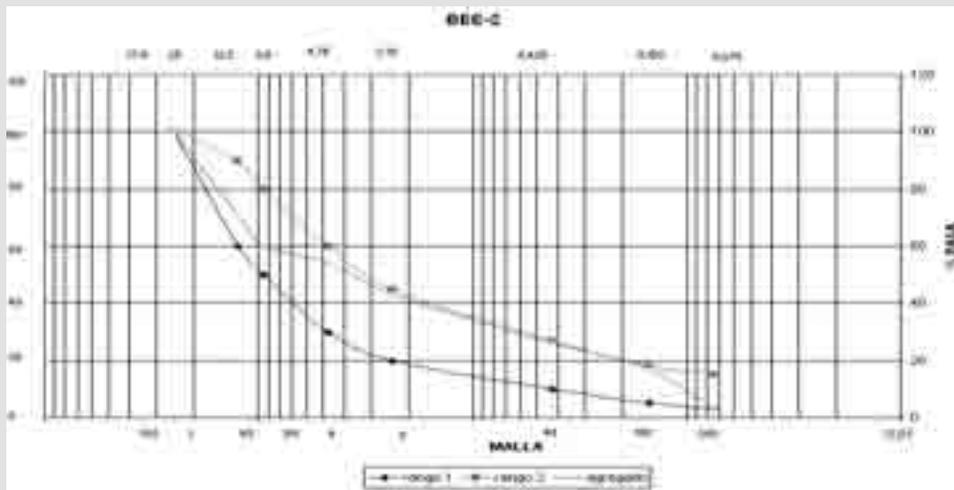
Una vez realizada la caracterización de los agregados se encontró que éstos no cumplían con los ran-

gos establecidos en el artículo 340 de la norma INVIAS: «Base estabilizada con emulsión asfáltica», por lo cual se procedió a realizar un ajuste granulométrico haciendo una combinación entre la arena de peña y la grava.

GRÁFICA 2. GRÁFICA DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA. BEE-1.



GRÁFICA 3. GRÁFICA DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA. BEE-2.

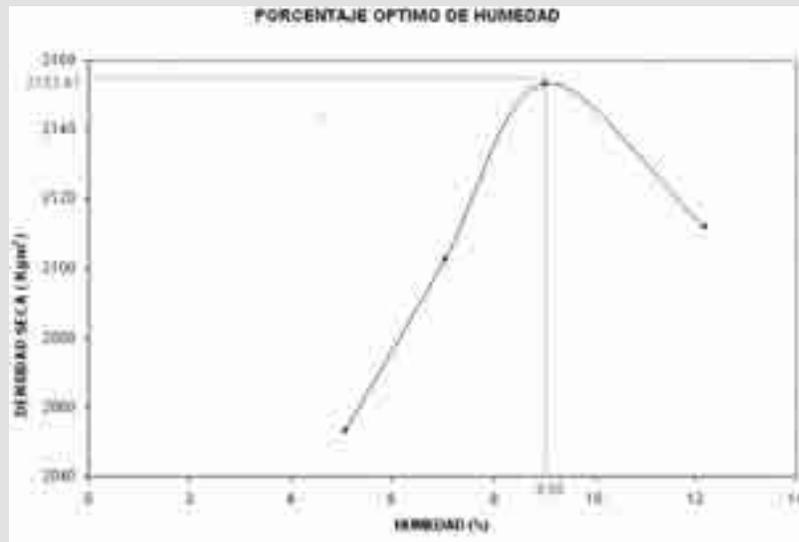


PROCTOR MODIFICADO

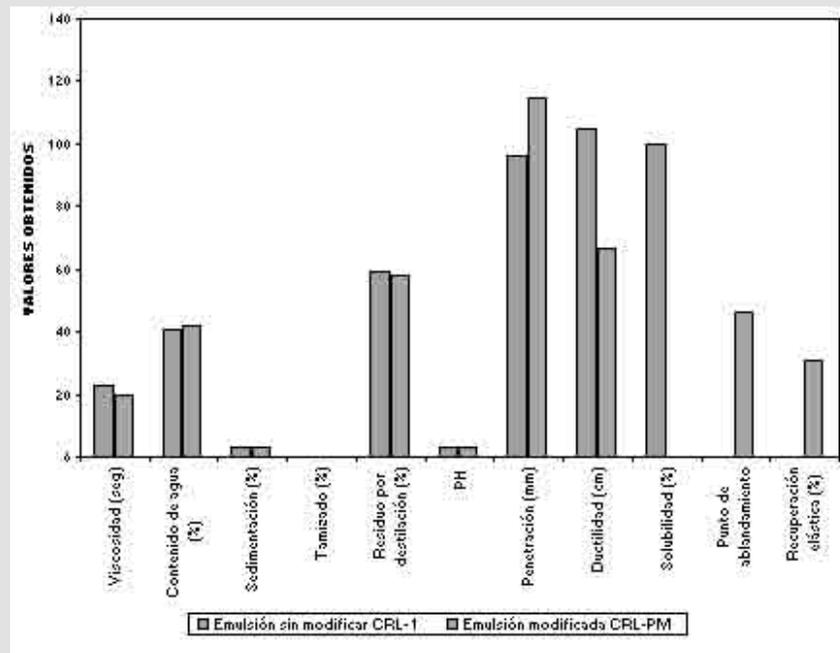
La densidad seca máxima del laboratorio fue 2153 kg/m³ para una humedad óptima de 9%.

El ensayo se realizó de acuerdo con la norma INVIAS 142 para 6%, 8%, 10% y 15%; de agua adicionada.

GRÁFICA 4. GRÁFICA DE HUMEDAD ÓPTIMA.



GRÁFICA 5. GRÁFICA COMPARATIVA DE LA EMULSIÓN MODIFICADA (CRL-PM) Y LA EMULSIÓN SIN MODIFICAR (CRL-1).



ENSAYOS REALIZADOS A LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Se caracterizaron las emulsiones asfálticas sin modificar y modificadas en los laboratorios de Shell Colombia (Planta Mosquera).

Se trabajó con dos emulsiones asfálticas de rompimiento lento, debido a que este tipo de emulsión tiene gran afinidad con los agregados finos; los cuales predominan en las canteras del centro del país. Las emulsiones de diseño fueron: una catiónica de rotura lenta *CRL-1* y la otra catiónica de rotura lenta modificada con polímero *SBR CRL-PM*.

TABLA 8. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS EMULSIONES ENSAYADAS EN LABORATORIO.

ENSAYOS		UNIDAD	<i>Spramul</i> CRL-1	<i>Spramul</i> CRL-PM
ENSAYOS SOBRE EL ASFALTO ORIGINAL	Viscosidad Saybolt-Furol (25°C)	seg	22,55	19,98
	Agua en los materiales asfálticos	%	40,6	42,2
	Sedimentación en las emulsiones asfálticas.	%	2,8	2,95
	Tamizado de las emulsiones asfálticas	%	0,0909	0,01656
	Residuo por destilación Contenido de asfalto residual	%	59,4	57,7
	PH de las emulsiones asfálticas	-	2,89	2,79
ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE DESTILACIÓN	Penetración de los materiales asfálticos	0,1mm	96	115
	Ductilidad de los materiales asfálticos.	cm	a 25°C > 105	a 5°C 66,5
	Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno	%	99,7	
	Punto de ablandamiento de materiales bituminosos	°C		46
	Recuperación elástica por torsión de asfaltos modificados.	%		31

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El agregado extraído de la cantera Vista Hermosa en su estado natural presentó un alto contenido de finos y plasticidades irregulares, en desacuerdo con las gradaciones propuestas en la norma INVIAS para bases estabilizadas, por lo cual fue necesario realizar pruebas con el material total y parcialmente lavado.

La grava presentó algunas deficiencias en cuanto gradación estipulada en el Artículo 340; por lo cual fue combinada con la arena de peña para obtener la gradación necesaria para estabilizar dichos agregados con emulsión asfáltica. Por otra parte, el desgaste equivalente al 31% de la grava estima que su comportamiento a la abrasión es apropiado para ser utilizada en una base de pavimento.

Las características obtenidas en la emulsión asfáltica sin modificar CRL-1 muestran un excelente comportamiento de ésta según lo estipulado en la norma INVIAS, al igual que una buena adherencia a los agregados pétreos por lo cual la mezcla se hace homogénea.

La emulsión asfáltica modificada CRL-PM presentó rangos menores en algunas características respecto a la emulsión sin modificar CRL-1, igualmente generó otros como la recuperación elástica del 31%; esto debido a que la incorporación del polímero SBR disminuye la cantidad de asfalto presente en la emulsión con lo cual reducen las características que éste aporta a la misma.

La sedimentación obtenida para ambas emulsiones fue inferior al 5% rango establecido en la norma INVIAS E-764, es importante resaltar que la emulsión modificada CRL-PM presenta un mayor grado de sedimentación por su composición.

El contenido óptimo de emulsión en las mezclas elaboradas fue similar, incrementándose solo en un 0,02% para la emulsión modificada CRL-PM lo cual se esperaba ya que los resultados de residuo por destilación corresponden al 58 y 59% para CRL-PM y CRL-1 respectivamente.

El comportamiento de la mezcla agregado-emulsión fue semejante para los dos casos, tanto para las muestras realizadas con CRL-1, como para CRL-PM cumpliendo con todos los parámetros para base estabilizada con emulsión asfáltica del Artículo 340 de la norma INVIAS.

La mezcla con CRL-1 presentó un 1% menos de pérdida por estabilidad con respecto a la CRL-PM

por lo cual se espera que el comportamiento de estas sea mejor en zonas con cambio climático moderado.

La estabilidad de las probetas en inmersión de la mezcla con emulsión asfáltica modificada CRL-PM fue mayor en un 13% respecto a la mezcla sin modificar con CRL-1.

Para el diseño de la base estabilizada con emulsión asfáltica se eligieron los agregados extraídos de la cantera Vista Hermosa, cuyo ajuste granulométrico se encontraba en los rangos BBE-1, eligiendo para ella la emulsión modificada CRL-PM en un porcentaje óptimo del 9% debido a que ésta presenta mayores características de resistencia y mayor conservación de la estabilidad sumergida.

RECOMENDACIONES

Identificar otras alternativas para el aprovechamiento de los agregados de la cantera de Vista Hermosa que no cumplen la norma INVIAS para ser utilizados en una base de pavimento empleando emulsiones asfálticas modificadas con diversos aditivos o polímeros hasta encontrar la mezcla ideal.

Realizar todos los estudios expuestos en este trabajo en otros laboratorios para encontrar una correspondencia de datos que puedan establecer unos rangos más precisos.

Realizar un análisis de costos comparando la mezcla con emulsión sin modificar y la emulsión modificada con polímeros.

Emplear otros métodos para el diseño de la mezcla como Marshall y Hveem.

BIBLIOGRAFÍA

- Acebedo, C. *Emulsiones asfálticas aplicadas al mantenimiento vial*. Medellín: Universidad de Medellín, 1987.
- Agnusdei, J. *Asfaltos modificados y sus aplicaciones*. Colombia: Ingeniería de pavimentos, 1997.
- Asociación de Piedra Nacional. *El Manual De los Agregados*. Washington, 1991.
- Asphalt Institute. Available from Internet: <http://www.asphaltinstitute.org/>. USA.2005.
- Available from Internet: <http://www.bituper.com>. BITUPER S.A.C. Bitúmenes del Perú, 2000. Available from Internet: <http://www.roadsaver.com>. California Pavement Maintenance Co, 2000.
- Escuela Colombiana de Ingeniería. *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1997.
- Figuroa, A.; Reyes, F. *Asfaltos modificados con poliestireno*. Bogotá: Universidad de La Salle, 2005.
- Herrera, L.; Limón, R. *Modificadores de Asfalto*. México: 1999.
- Hinostroza, M. *Tratamientos superficiales dobles sobre diferentes estructuras de soporte*. Medellín: Universidad de Medellín, 1990.
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). *Normas INVIAS (Tomo I, II y III)*. Bogotá, Colombia: INVIAS, 1998.
- Jang, B. *Composición Avanzada de Polímeros*. 1º Ed. USA, 1994.
- Jiménez, C. Evaluación de pavimentos mejorados. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2001.
- Manufacturas y Procesos Industriales. *Mezclas asfálticas en frío*. Colombia: 2000.
- Merritt, F. *Manual del Ingeniero Civil*. México: Mc Graw Hill, 1996.
- Montejo, A. *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. (2 ed.) Bogotá: Universidad Católica, 1998.
- Ospina, Z. *Empleo de mezclas en frío, del tipo almacenable utilizando emulsiones asfálticas*. Medellín: Universidad de Medellín, 1989.
- Restrepo, L. *Los tratamientos superficiales para pavimentos en el departamento de Antioquia*. Medellín: Universidad de Medellín, 1987.
- Rincón, J. *X Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto*. España, 1999.
- Rivera, G. *Emulsiones Asfálticas*. 4 ed. México: Alfaomega, 1998.
- Rogers M. *Pavimentos Asfálticos*. (2 ed.) Madrid: Aguilar, 1963.
- Sampieri, R. *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill, 2003.
- Seret, G. «Emulsiones asfálticas convencionales y especiales». *Boletín cp96*. México: jornadas de asfaltos, (2002) 1.
- Shell Colombia. *Manual de emulsiones asfálticas en carreteras*. Colombia: 1992.