

Agregados volcánicos para la producción de mezcla asfáltica.

Ing. Mario Arce Jiménez
Laboratorio Nacional
de Materiales y Modelos
Estructurales (LANAMME)

INTRODUCCIÓN

El desempeño a largo plazo de las mezclas asfálticas depende en gran medida de la calidad de los agregados y de la forma como éstos se manejan durante el proceso de producción y colocación de la mezcla. En términos generales, del orden de 94% a 95% del peso de la mezcla corresponde a los materiales pétreos (cuando éstos presentan absorciones entre 2.0% y 1.0%). Un proceso de producción de concreto asfáltico tiene que regirse por un sistema de calidad riguroso para poder mantener bajo control cada etapa del proceso de producción, requisito éste indispensable para lograr un producto de alta calidad que cumpla permanentemente con el pliego de especificaciones. De conformidad con lo señalado anteriormente, la calidad de las fuentes de agregados, así como la metodología de explotación y manejo de éstos, como MATERIA PRIMA predominante, son condicionantes directos de la calidad del producto terminado.

Uno de los aspectos fundamentales en la explotación de las fuentes es el conocimiento geológico-geotécnico de los agregados, normalmente las fuentes de explotación son ríos, tajos o aluviones. El tamaño, la forma (estratigrafía) y la variabilidad de la fuente se debe conocer de previo, y se debe monitorear permanentemente durante el proceso de explotación. Especial dificultad presentan los lechos de los ríos y las fuentes provenientes de sucesivas coladas de lava o de depósitos sedimentarios, el primero porque arrastra materiales sin que se pueda establecer ningún tipo de control selectivo y el segundo porque presenta estratigrafías y buzamientos que dan origen a variabilidad en las propiedades de los agregados. Además, en el caso de los lechos de los ríos, la contaminación por lodos y la materia orgánica son aspectos a tener en cuenta para producir agregados limpios de tales contaminantes.

Si esta primera etapa del proceso de producción de la mezcla no cumple con las exigencias de calidad y uniformidad que se le exigen al producto terminado, todo esfuerzo que se haga en las fases posteriores por cumplir con las especificaciones contractuales será infructuosa, esto debido a que no hay forma de corregir las deficiencias de calidad o de dispersión de esta materia prima durante el proceso de producción, salvo que se mezcle con otros agregados para influir (tratar de corregir) sobre algunas propiedades.

Particularmente los agregados volcánicos en comparación con fuentes sedimentarias que se explotan en otros países suelen presentar las siguientes características:

- Porosidad (absorción) más alta
- Menor resistencia ante impacto y abrasión
- Mayor afinidad con las emulsiones catiónicas (en términos generales)
- Mayor cantidad de polvo adherido a la superficie del árido
- Mayor susceptibilidad ante la presencia de agua
- Mayor consumo de asfalto

En general, las normas de ensayo y las especificaciones técnicas no han sido desarrolladas para agregados de origen volcánico de alta porosidad, por tanto, el desempeño de las mezclas en el largo plazo podría ser deficiente si no se toma en cuenta las particularidades de este tipo de agregados, especialmente cuando se adoptan (no se adaptan) directamente algunas especificaciones internacionales.

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS PARA PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA

Una de las propiedades deseables de la mezcla asfáltica es lograr que se desarrolle una alta adhesividad agregado-ligante, y que ésta se conserve en el largo plazo ante las acciones del clima y del tráfico vehicular.

En esta interacción, el asfalto, principalmente por medio de sus componentes polar-aromáticos, aporta la carga iónica de adhesividad; por su parte, esta característica está determinada por la naturaleza del crudo. Se dice que los crudos nafténicos son los más aptos para utilizar en carreteras (ref. 1).

La superficie del agregado presenta una carga negativa que atrae a las moléculas del asfalto.

Algunos investigadores han estudiado este potencial de carga, utilizando el concepto de "potencial electrocinético" (ref. 2) y "potencial Z" (ref. 3).

La adhesión agregado-ligante se origina por alguno de los siguientes fenómenos (ref. 6), o combinación de ellos:

- Por reacción química
- Por adhesión mecánica
- Por orientación molecular
- Por la energía superficial (tensión superficial)

En general estas teorías coinciden en señalar que la adhesión es causada por la energía libre en la superficie del agregado (fuerza electrostática) que atrae la energía libre en la superficie del asfalto, lo que implica la existencia de un potencial de atracción, en virtud de las diferencias de signo de las cargas electrostáticas.

Como una simplificación se correlaciona el contenido de sílice con la afinidad agregado-ligante, especialmente aplicable cuando se usa emulsión asfáltica.

El contenido de sílice (dióxido de silicio), se asocia directamente con la acidez del agregado, áridos con más de 66% de sílice se consideran ácidos, intermedios entre 55% y 66% de sílice y básicos si dicho componente es menor a 55%. Algunos autores establecen este límite en 52%.

Adicionalmente en Holanda han estudiado modelos de cuantificación de los fenómenos de adhesividad-tensión superficial que se desarrollan en la interfase agregado-ligante, complementados con investigaciones realizadas en Francia (ref. 7), relacionadas con la influencia de los componentes polares en los fenómenos interfaciales.

Algunos autores presentan clasificaciones típicas de las rocas en función del contenido de sílice de los agregados, como se muestra en la Tabla 1 y en la Figura 1.

Aunque se considera que las rocas más básicas presentan mejor adhesión con el asfalto, esto no se puede generalizar; por ejemplo, se ha encontrado muy buena adhesividad en cuarcitas puras (ref. 5), con alto nivel de acidez. En rocas ácidas, también intervienen los hidróxidos de sodio, potasio y aluminio. Adicionalmente, la micro-textura

superficial (pulimento superficial), también interviene en este fenómeno de adherencia.

Algunos autores señalan que asfaltos ligeramente cargados negativamente, se adhieren mejor con rocas básicas cargadas positivamente como calizas, dolomitas y bauxitas (ref. 5), al contrario, en rocas ácidas cargadas negativamente, se requiere un asfalto con carga más positiva. Esto explica el diferente comportamiento de las emulsiones catiónicas y aniónicas, en función de la acidez del agregado.

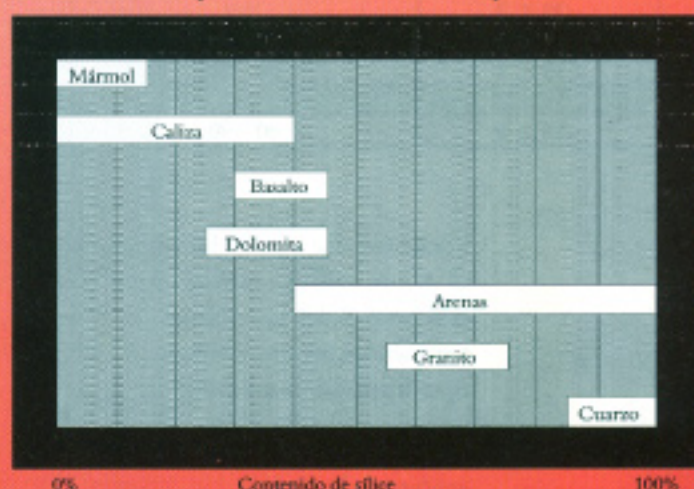


Tabla 1. Clasificación de las rocas según su contenido de sílice

Rocas ácidas	Rocas intermedias	Rocas básicas
Granitos	Sienitas	Gabro
Granodiorita	Traquita	Basalto
Granito Pórfido	Traquiandesitas	Peridotita
Riolita	Diorita	Piroxenita
Dacita	Fonolita	Dolerita

Fuente: Ref. 2

Otras clasificaciones de carácter muy general se presentan en la siguiente figura. Figura 1. Contenidos típicos de sílice de diferentes tipos de rocas.



Fuente: Ref. 4

No obstante lo anterior, la teoría de que los agregados silíceos (ácidos), tienen cargas negativas y que los básicos alcalinos tienen cargas positivas ha sido cuestionada por Mc Glaseen, quien al determinar el potencial electrocinético superficial de los agregados, concluyó, según esta teoría, que todos los agregados pétreos estudiados tenían cargas eléctricas superficiales negativas, incluidos granitos, calizas, dolomitas, mármol, areniscas, basalto y cuarzo. Esta afirmación fue comprobada por J. Dybalsk en 1976.

Más recientemente se ha introducido el concepto





de "potencial Z" para medir la carga eléctrica superficial del agregado. Esta teoría establece que los iones en la superficie del agregado no están completamente circundados, por tanto no hay un equilibrio electrostático. Al interactuar el agregado con el potencial eléctrico de partículas coloidales en un medio acuoso, se origina un potencial eléctrico que permite determinar el potencial Z que se registra en un equipo denominado "Z meter".

Al aplicar esta técnica se corroboran los resultados de las investigaciones de Dybalsk respecto a la carga superficial negativa de los agregados.

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos (ref. 3) en un análisis de potencial Z.

Tabla 2. Potencial Z de diferentes agregados.

Agregado	Potencial z (mV)	Adhesividad según a emulsión (%área)		Contenido mineral		
		tipo 1	tipo 2	SiO ₂	CaO	MgO
Calcita	-10 ± 2	80 - 90	50 - 70	6,2	52,8	1,4
Dolomita	-15 ± 1	80 - 90	80 - 90	0,8	31,1	19,9
Granito	-20 ± 2	100	100	73	0,9	0,5
Granito	-19 ± 2	80 - 90	80 - 90	66,8	3,8	0,8
Granito	-18 ± 2	80 - 90	100	66,3	0,7	2,9
Granito	-31 ± 1	100	100	65,5	1,2	2,9
Basalto	-14 ± 2	80 - 90	80 - 90	48,9	9,4	4,5

Fuente: Ref. 3

Puede notarse que en los agregados básicos (según el % de sílice), calcita, dolomita y basalto, el potencial Z del agregado es negativo y se obtienen también los peores resultados de adhesividad para el tipo de emulsión aplicado.

En el caso de las emulsiones asfálticas se hace más evidente la diferencia respecto al grado de adhesividad entre agregados básicos y ácidos, no obstante, cuando se trata de mezclas en caliente, tal diferencia ya no es tan notoria, e inclusive el fenómeno de adhesividad en el largo plazo se ve afectado por otros aspectos que adelante se comentan.

OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

Para la producción de mezclas asfálticas con buen desempeño en el largo plazo, se han desarrollado una serie de criterios o parámetros de calidad, que en la práctica permiten seleccionar los agregados idóneos para este propósito, por ejemplo:

• **Resistencia a la abrasión.** Es un indicador de la resistencia mecánica del agregado, sometido a un proceso de abrasión. El ensayo Los Ángeles se aplica en este caso.

• **Resistencia al impacto.** Este ensayo de resistencia mecánica no ha sido generalizado en cuanto a su aplicación en carreteras.

• **Resistencia al pulimento.** Determina la resistencia del árido a ser pulido mediante la acción abrasiva de la arena. El ensayo de pulimento acelerado (polishing stone value) se aplica con el propósito de simular en laboratorio el efecto de pulimento que inducen los vehículos en la superficie de rodamiento.

• **Forma de las partículas del agregado grueso.** Uno de los ensayos que se utiliza es el de partículas planas y elongadas. Las normas europeas utilizan otros

criterios similares.

• **Vacios en el agregado fino no compactado.** Permite determinar la angularidad del agregado fino.

• **Caras fracturadas.** Es un ensayo indicativo de la textura superficial de la matriz del agregado grueso.

• **Ensayo de lámina delgada.** Permite determinar la estructura mineralógica del agregado. Usualmente no se incluye en las especificaciones, pero muchas veces aporta importante información para entender mejor el desempeño de una mezcla en campo o en el laboratorio.

• **Gravedad específica y absorción.** Permite valorar la densidad y la porosidad del agregado. Esta característica se relaciona directamente con el diseño de la mezcla y su modelo de deterioro en el campo. Este es uno de los parámetros más importantes para obtener mezclas homogéneas con un buen desempeño en el largo plazo.

• **Durabilidad.** Es fundamentalmente importante asegurarse de no utilizar agregados degradables. Algunos ensayos que se aplican son: ciclos inmersión-secado, ensayo "Slake", ensayo AASHTO T-210.

•**Sanidad.** Aplica este concepto a la resistencia del agregado a ciclos de congelamiento-descongelamiento, simulados en laboratorio por la cristalización de sulfatos. Los agregados porosos, suelen ser más susceptibles ante este ensayo.

•**Granulometría (vía húmeda).** La curva granulométrica es uno de los responsables directos de la volumetría de la mezcla e incide directamente en la capacidad a fatiga, la resistencia a deformación permanente y los vacíos de la mezcla compactada, entre otros. Esta característica es fundamental en el desempeño de la mezcla.

•**Granulometría de los finos.** La prueba del hidrómetro permite medir la granulometría del polvo de la mezcla. Este polvo, conjuntamente con el asfalto, forman una pasta o "mastic" que inciden en propiedades de rigidez, resistencia a deformación permanente, el potencial de exudación de la capa asfáltica y la textura superficial de la capa de rudo (resistencia al deslizamiento), entre otros.

•**Equivalente de arena.** Es un indicador de la limpieza o contenido de arcilla del agregado fino.

•**Límites de Atterberg.** Son un indicador de la calidad desde el punto de vista de plasticidad de los finos de la mezcla.

•**Azul de metileno.** Este ensayo permite determinar la presencia de arcillas en el agregado fino.

•**Dureza del agregado fino.** En este caso se hacen los análisis de dureza a la porción de agregado grueso de la fuente o directamente a muestras de la roca.

•**Contenido de materia orgánica.** Es un indicador de la limpieza de los agregados que aplica especialmente cuando la fuente es el lecho de un río.

•**Angularidad del agregado fino.** Es un indicador de la forma y textura de la arena.

•**Partículas friables.**

Además de las propiedades de los materiales de la fuente de agregados, el proceso de explotación repercute directamente en la calidad y uniformidad de la materia prima. De este proceso dependen varios aspectos que inciden directamente en la calidad final de los agregados (materia prima), por ejemplo:

-El control de la uniformidad de los agregados en función de la variabilidad que va presentando el frente de explotación, especialmente cuando hay estratigrafías de capas de diferentes características.

-La forma de los agregados triturados (angularidad y cubicidad).

-La uniformidad granulométrica del material triturado.

-La contaminación por arcillas o lodos (limpieza del destape, lavado).

-La textura superficial del agregado (caras fracturadas).

-La segregación o la uniformidad granulométrica con que se construyen los apilamientos.

Si esta materia prima no reúne los requerimientos de calidad y uniformidad, el producto terminado no podrá cumplir con las exigencias de las especificaciones.

Una vez que la materia prima (agregados, asfalto, aditivos) cumpla satisfactoriamente los requisitos de calidad y uniformidad, las demás etapas del proceso deben controlarse una a una, de esta forma se garantiza un producto terminado a satisfacción (100% de cumplimiento).

DESEMPEÑO DE LA MEZCLA A LARGO PLAZO Y SU RELACIÓN CON LOS AGREGADOS PÉTREOS. COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DEL PAVIMENTO.

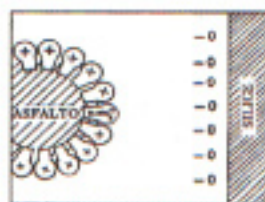
Este importante parámetro guarda una relación directa con la seguridad de circulación de los vehículos en condición lluviosa (pavimento mojado). Desde este punto de vista, las características más destacables de los agregados son:

- Resistencia al pulimento
- Dureza
- Textura y forma del agregado grueso
- Angularidad del agregado fino
- Volumetría o forma de la curva granulométrica
- Correcto diseño de mezcla
- Correcto proceso de producción y colocación de la mezcla.

RESISTENCIA AL EFECTO DEL AGUA

El contacto con agua puede generar:

- Desprendimiento de partículas
- Formación de baches
- Pérdida del módulo resiliente
- Pérdida de la capacidad a fatiga



Fuente: Ref. 2

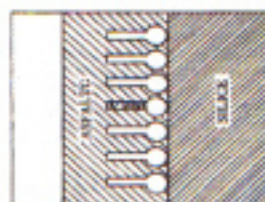
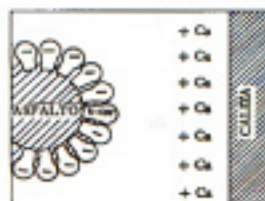


Figura 2: Acción de una emulsión catiónica con un material silíceo.



Fuente: Ref. 2

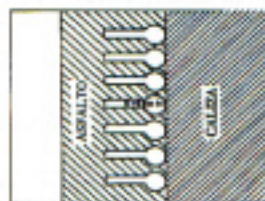


Figura 3: Acción de una emulsión aniónica con un material calizo.



- Agrietamiento prematuro por fatiga
- Filtración de agua a las capas inferiores

Las causas de este fenómeno asociadas con los agregados:

- Escasa adhesividad agregado-ligante
- Presencia de minerales arcillosos dentro del agregado
- Presencia de polvo hidrofílico en la interfase agregado-ligante
- Recubrimiento parcial del agregado (escaso contenido de asfalto)
- Alto contenido de vacíos en la mezcla colocada (curva granulométrica deficiente)
- Disminución del asfalto efectivo por efecto de la absorción durante el almacenamiento en el silo

DEFORMACIÓN PERMANENTE

Cuando se presenta este fenómeno debido a deficiencias de la mezcla, se observa:

- Formación de roderas en la huella de los camiones
- Desplazamiento lateral de la mezcla
- Textura superficial lisa
- Exudación del "mastic" asfáltico
- Corrimiento de la pintura de la señalización horizontal

Los agregados inciden en este proceso de deterioro de la siguiente forma:

Alta absorción del agregado. Esto hace más difícil mantener constante la cantidad de asfalto absorbido. Se presentan diferencias importantes de asfalto efectivo, según sea el tiempo que transcurre entre la producción de la mezcla y su colocación. El almacenamiento en el silo puede ocasionar una disminución significativa del asfalto efectivo cuando el agregado es muy poroso.

Forma de la curva granulométrica. Variando la forma de la curva granulométrica se obtiene, para un mismo agregado, mezclas con diferente potencial de deformación permanente.

Angularidad del agregado fino. Este es uno de los parámetros que más incide en la deformabilidad de la mezcla.

Forma y textura del agregado grueso. Partículas planas y elongadas, así como el porcentaje de caras fracturadas son

indicadores de esta característica.

Degradación mecánica del agregado. Áridos de baja resistencia a la abrasión y a cargas de impacto también contribuyen a la deformación permanente de la mezcla.

DETERIORO POR FATIGA

Cuando se presenta este fenómeno aparecen fisuras y grietas en el pavimento, que luego avanzan hasta formar una malla que se denomina "cuero de lagarto o piel de cocodrilo". Si el problema no se atiende a tiempo se origina la formación de baches y se acelera el proceso de deterioro de las capas inferiores del pavimento.

En este caso, las características del agregado que más inciden en este proceso de deterioro son:

- La resistencia del agregado a la degradación por abrasión o impacto
- La estructura o esqueleto resistente que forma el agregado mineral
- La cohesión agregado-asfalto
- La pérdida de resistencia por efecto del agua

MÓDULO DE DEFORMACIÓN

El módulo de deformación determina la respuesta esfuerzo-deformación de la capa asfáltica, a una temperatura determinada, en función de la magnitud y velocidad de aplicación de la carga. La capacidad de la mezcla de absorber los esfuerzos inducidos por el tránsito, para transmitirlos debidamente amortiguados a las capas inferiores del pavimento, depende fundamentalmente de este parámetro.

Para obtener mezclas de alto módulo, especialmente a altas temperaturas, se requiere, además de un ligante asfáltico de alto módulo a temperaturas altas (PG-70 o superior), agregados con las siguientes características:

- Alta resistencia mecánica (abrasión, impacto)
- Textura superficial rugosa
- Forma cúbica del agregado grueso
- Alta angularidad y rugosidad superficial del agregado fino
- Relleno mineral (filler) que le de alta rigidez al "mastic" asfáltico (cal por

ejemplo)

- Curva granulométrica adecuada desde el punto de vista del módulo
- Alta adhesividad agregado-ligante
- Alta resistencia al efecto del agua

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS Y CALIDAD DE LA MEZCLA

Si una fuente de agregados cumple las especificaciones de durabilidad, plasticidad, sanidad, equivalente de arena, resistencia mecánica, pulimentabilidad, abrasión, forma y textura superficial, la calidad de la materia que se obtiene dependerá del sistema de calidad con que se rige la explotación y manejo de los áridos, pero la calidad de la mezcla quedará supeditada al sistema de calidad con que se controle todo el proceso de producción.

Desde el punto de vista de la calidad de la materia prima, los elementos prácticos que deben mantenerse bajo estricto control son:

a) Las variaciones que se presentan en el frente de explotación. Estas se pueden prever con estudios geológico-geotécnicos apropiados, que anticipen los cambios que se pueden esperar en las características de la fuente, por ejemplo, en cuanto a la estratigrafía de un tajo, o en el caso de una avalancha cuando el material se extrae de un río.

b) La textura superficial del agregado grueso, especialmente en relación con el número de caras fracturadas cuando se extrae material de río.

c) La forma y angularidad del agregado grueso y fino. El proceso de machaqueo del material es el único elemento que permite controlar esta variable, pues también depende de la estructura mineralógica y cristalográfica de la roca, sobre la cual no se pueden hacer modificaciones.

d) La uniformidad granulométrica, principalmente asociada con el control del quebrador y la uniformidad del tamaño de la piedra que se incorpora al quebrador primario.

e) La gravedad específica y absorción del agregado. Aunque esta es una propiedad

intrínseca de la roca, este parámetro es sumamente importante en relación con la uniformidad y desempeño a largo plazo de la mezcla. Una fuente de agregados que presente alta variabilidad en este parámetro, debe evaluarse cuidadosamente para definir respecto a su uso como materia prima para producir concreto asfáltico. En todo caso, el proceso de explotación y manejo de agregados, debe garantizar la uniformidad de este parámetro, al momento de construir los apilamientos.

f) Limpieza del agregado. El material arcilloso o residuos orgánicos deben eliminarse de los agregados. Debe asegurarse que el frente de

ABSORCIÓN EN AGREGADOS VOLCÁNICOS

Para producción de mezclas asfálticas, la absorción es el parámetro más crítico que presentan estos agregados, por las siguientes razones:

- Para producción de mezclas asfálticas, idealmente la absorción del agregado debe ser inferior a 1.0%, condición que típicamente no se presenta en este tipo de agregados.
- Valores de absorción mayores a 2.0% requieren de un estricto control de uniformidad del proceso de producción, almacenamiento en silo y colocación.
- El diseño de mezcla debe simular, por medio de



Núm	Fuente	Coordenadas	Ubicación	Geología de la zona	Tipo de Tajo
1	Confluencia Río Blanco-Tiro amarillo	55375 E 24365 N	Guápiles	Aluviones, rocas ígneas extrusivas, lavas y brechas. Material bastante contaminado con finos	Depósito aluvial de Origen ígneo
2	Río Costa Rica	55211E 2459N	Guápiles	Aluviones, rocas ígneas extrusivas, lavas y brechas. Material bastante contaminado con finos	Depósito aluvial de Origen ígneo
3	Chirripó Norte	55075 E 24625N	Guápiles	Sedimento finos, tobas en las márgenes y lahares	Depósito aluvial de origen volcánico
4	Chirripó Norte	54725E 2443N	Guápiles	Sedimento finos, tobas en las márgenes y lahares	Depósito aluvial de origen volcánico
5	Chirripó Norte Río General	5469 E 24425N	Heredia/Limón Guápiles	Sedimento finos, tobas en las márgenes y lahares	Depósito aluvial de origen volcánico
6	Río Balsa	4795E 25980N	Santa Clara	Aluviones de origen volcánico, brechas y lavas	Depósito aluvial de origen volcánico
7	Tajo Belén	51680E 21733N	Belén	Tobas brechosas o ignimbritas	Origen volcánico
8	Tajo Nicoya	3790 E 2380N	Nicoya	Calizas	Origen sedimentario
9	Tajo Santa Ana	5145E 2180N	Santa Ana	Tobas brechosas o ignimbritas	Origen volcánico
10	Río Tárcoles	4790 E 2090N	Tárcoles Pte. Hamaca	Aluviones procedentes de lavas y brechas	Depósito aluvial de origen ígneo
11	Río Tárcoles	4780 E 2080N	Tárcoles Pte. Hamaca	Aluviones procedentes de lavas y brechas	Depósito aluvial de origen ígneo
12	Tajo Zurquí	5310 E 2243N	Brazúlio Carrillo Ruta 32	Lavas y tobas brechosas o ignimbritas	Origen volcánico
13	Tajo Cerrito		Naranjo	Volcanismo del cuaternario	Origen volcánico
14	Tajo Pizote	5385 E 2160N	San Ramón Tres Ríos	Tobas	Origen volcánico
15	Río Ceibo	5520 (*) 3460 (*)	Buenos Aires	Aluvión de río, material ígneo intrusivo, contaminado con material sedimentario.	Depósito aluvial de origen ígneo

(*) Coordenadas Lambert Sur

explotación no se contamine (destape, por ejemplo) así como aplicar un lavado efectivo de los agregados después de pasar por el quebrador.

En la Tabla 3 se presenta la ubicación y tipo de fuentes de materiales ígneos utilizados para producir mezcla asfáltica, y en la Tabla 4 se resumen los datos de dispersión respecto a gravedad específica y absorción obtenidos a partir de distintas fuentes de materiales. Se tomaron datos al azar de un banco de datos de ensayos de laboratorio durante un período de 2 años. En esa misma tabla se presenta la ubicación y tipo de fuente.

procedimientos de laboratorio, la cantidad de asfalto absorbido, en función de la temperatura y del tiempo que transcurre entre la producción y la colocación de la mezcla.

- El asfalto absorbido en el caso de agregados porosos oscila normalmente entre 0.40% y 0.80% de la absorción. Absorción, temperatura y tiempo de mezclado, así como el tiempo que transcurre entre la producción y la colocación, son variables que inciden en la cantidad de asfalto absorbido.
- La misma mezcla colocada una hora o diez horas después de su producción, presenta variaciones muy significativas de asfalto efectivo, en razón del tiempo de "curado".

Tabla 3: Tipo y ubicación de tajos y quebradores



Abril • 2001

FUENTE	n	AGREGADO GRUESO					AGREGADO FINO				
		x		s		N° muestras con Abs > 2 (3)	x		s		N° muestras con Abs > 2 (3)
		x	s	x	s		Gbs	Abs	x	s	
1	7	2.62	0.01	1.9	0.1	37.6	2.63	0.01	2.7	0.4	61.8
2	5	2.90	0.01	2.1	0.2	86.6	2.64	0.02	1.8	0.4	38.9
4	8	2.63	0.06	2.0	0.1	-	2.38	0.19	2.1	0.5	57.4
5	8	2.61	0.02	1.9	0.2	38.0	2.61	0.05	2.5	0.8	74.1
6	1	2.62	-	1.9	-	-	2.60	-	2.3	-	-
7	39	2.61	0.05	2.6	0.4	91.7	2.54	0.04	2.8	0.5	52.6
8	11	2.67	0.05	0.5	0.1	0.0	2.56	0.04	1.8	0.5	50.8
11	1	2.61	-	2.1	-	-	2.53	-	2.1	-	-
12	3	2.50	0.04	1.0	0.2	-	2.34	0.05	3.2	1.0	-
13	4	2.49	0.03	2.0	0.3	-	2.46	0.04	2.7	0.7	-
14	1	2.48	-	2.3	-	-	-	-	-	-	-
15	5	2.67	0.01	1.4	0.1	0.0	2.63	0.02	2.2	0.3	24.2
1-4 (1)	9	2.55	0.06	2.6	0.5	83.3	2.54	0.06	2.7	0.6	84.3
1-2-9 (2)	5	2.38	0.07	2.2	0.2	89.0	2.50	0.08	1.1	0.2	99.1

(1) Agregado combinado de las fuentes 1 y 9.
(2) Agregado combinado de las fuentes 1, 2 y 9.
(3) Aplicada inferencia estadística.

Tabla 4: Variación de los parámetros Gbs y Absorción observados en distintas fuentes de

(3) Porosidad (%)	Absorción de asfalto (%)		
	4.5	2.5	1.5
% Opt. Asf.			
Tiempo curado (h) (1)			
0	8.26	6.77	5.71
4	1.91	1.54	0.78
20	2.93	2.21	1.01
	3.25	2.5	1.25

Fuente: Ref. 15

Tabla 5: Asfalto absorbido en función del tiempo de curado a 135

% Opt. Asf.	Relación entre agua absorbida y asfalto absorbido		
	4.5	2.5	1.5
Tiempo curado (h)			
0	8.26	6.77	5.71
4	42%	62%	52%
20	61%	88%	67%
	72%	100%	83%

Fuente: Ref. 15

Tabla 6: Porcentaje de asfalto absorbido respecto a la absorción de



- Variaciones en el porcentaje de asfalto efectivo de una mezcla implican comportamientos muy diferentes de la mezcla en el corto y mediano plazo.
- La variación máxima permisible del contenido de asfalto es de + 0.5% respecto al peso de la mezcla.

Un agregado con absorción del 3.0% por ejemplo, al almacenarse en un silo por un período de más de 6 horas podría eventualmente absorber más del 2.0% del asfalto, cantidad suficientemente significativa para cambiar drásticamente las propiedades de la mezcla.

En agregados absorbentes es fundamental que el proceso de producción y colocación de la mezcla sea absolutamente congruente con el procedimiento de

curado con el que se diseñó la mezcla. Además, la simulación que se hace de la absorción del asfalto en el laboratorio en función de la temperatura y el tiempo de curado, debe monitorearse permanentemente en la planta y en el momento de colocación de la mezcla en la obra.

La Tabla 5 muestra la variación del asfalto absorbido en función del tiempo de curado, para agregados con diferente porosidad. En todos los casos se aplicó el porcentaje óptimo de asfalto.

- (1) Curado a 135 °C en el laboratorio.
- (2) Diferencia de porcentaje de asfalto absorbido entre 0 y 20 horas de curado.
- (3) Porosidad del agregado medida como porcentaje de absorción de agua.

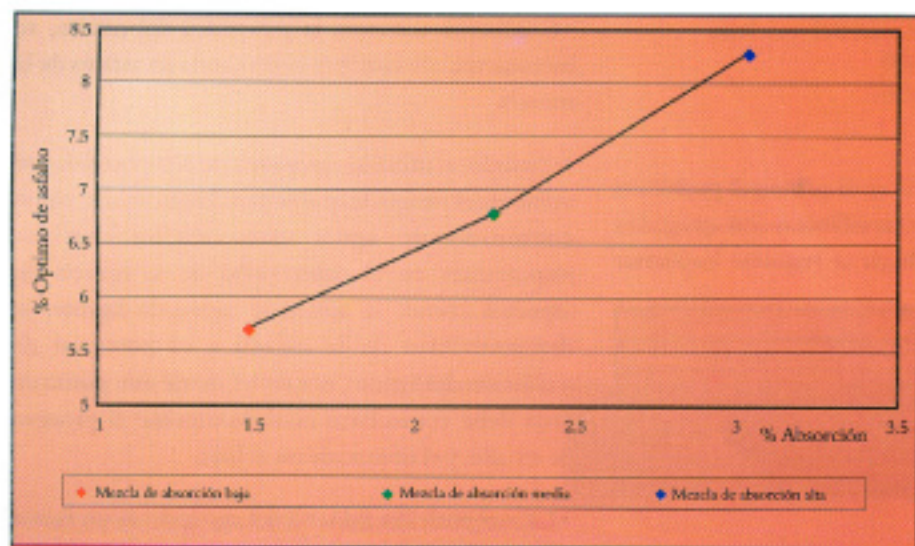
Cuando se usan agregados porosos con un alto contenido de humedad, debe tenerse presente que si el proceso de secado en la planta no es efectivo, la mezcla producida queda con contenidos de agua que provocan cambios en las propiedades de la mezcla.

En consecuencia, siendo la porosidad una de las características más críticas de los agregados volcánicos, para asegurar la calidad de la mezcla se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El control de calidad con que se produce la materia prima. Debe tenerse un conocimiento detallado y permanente de la variación de la densidad y de la porosidad del agregado, para poder CONSTRUIR apilamientos homogéneos.
- El asfalto absorbido normalmente oscila entre el 40% y 80% de la absorción del agregado (agua absorbida), sin embargo, a 20 horas de curado, en un caso se llegó al 100% de la absorción.

Cada planta asfáltica, debe conocer con exactitud cómo varía el asfalto efectivo, desde el momento de mezclado, hasta que la mezcla es colocada en el proyecto, en función de la temperatura y del tiempo transcurrido (incluido el tiempo de mezclado). Este hecho toma especial relevancia cuanto mayor sea la absorción del agregado y el tiempo de almacenamiento y transporte.

El plástico reciclado ha resultado ser un aditivo muy efectivo a incorporar en las mezclas asfálticas. Además de las importantes ventajas que se obtienen con este aditivo respecto a la resistencia mecánica y durabilidad a largo plazo, adicionalmente, en el caso



de los agregados porosos prácticamente resuelve el problema de la absorción del asfalto por efecto de la temperatura y del tiempo transcurrido hasta su colocación (Tabla 6).

En la Figura 4 se muestra la variación del porcentaje óptimo de asfalto en función de la absorción y en la Figura 5 la variación de los vacíos llenos de asfalto respecto a la absorción del agregado.

RESISTENCIA AL EFECTO DEL AGUA (DURABILIDAD) EN AGREGADOS VOLCÁNICOS

Otra característica observada en los agregados volcánicos es la dificultad que en algunos casos se presenta la mezcla, para cumplir con la especificación nacional respecto a la susceptibilidad al efecto del agua de la mezcla asfáltica. Esta normativa exige un valor de resistencia a la compresión uniaxial de 2.1 MPa y un porcentaje de resistencia retenida después de 24 horas de inmersión a 60 °C (ASTM-D 1074 y ASTM-D 1075) de 75%. En la Tabla 7 se presenta un resumen de 41 ensayos de durabilidad, agrupados según los tipos de fuentes de agregados. En la Tabla 3 se detalla la ubicación de estas fuentes.

Técnicamente este es un problema mucho más sencillo de resolver pues se dispone de varias opciones para enfrentar esta situación, como por ejemplo:

- Lavar correctamente los áridos
- Incorporar aditivos activantes de adherencia
- Incorporar otros tipos de aditivos como: polímeros, látex, caucho (llantas recicladas), plásticos reciclados, cal, cemento, etc.

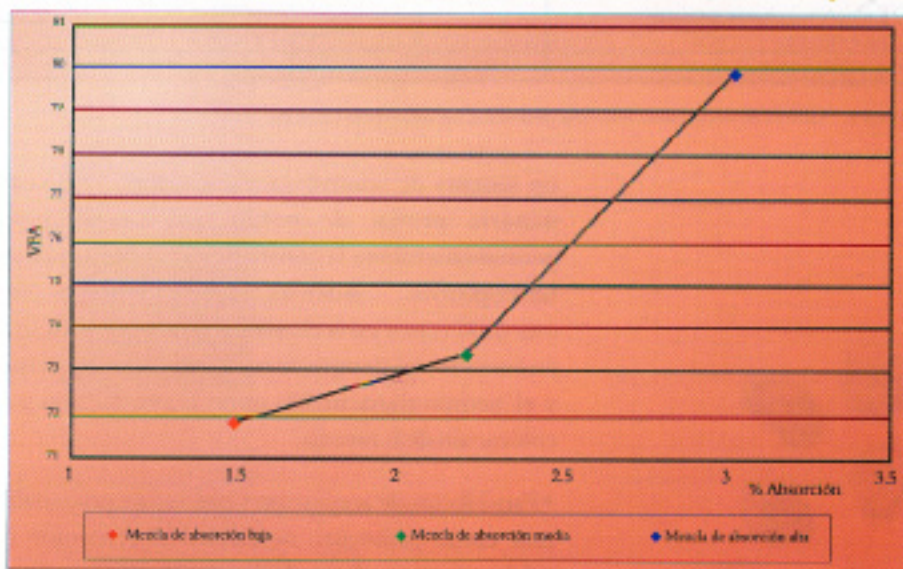
Desde el punto de vista de la durabilidad de la

Figura 4. Porcentaje óptimo de asfalto respecto a la absorción del agregado.

mezcla (resistencia retenida), para cada tipo de agregado se puede obtener la solución técnica y económica más adecuada, esto en virtud de la gama de posibilidades para enfrentar el problema.

Investigaciones realizadas en el LANAMME sobre el modelo de condicionamiento en el laboratorio, recomiendan, para tener certeza de la efectividad del aditivo en el desempeño a largo plazo de la mezcla, sumergir los especímenes de prueba por un período de 240 horas. Se han observado mezclas asfálticas que en las primeras 24 horas de inmersión presentan una resistencia retenida alta, pero ante el condicionamiento a largo plazo su comportamiento es deficiente.

De la amplia investigación realizada por el LANAMME en este campo se concluye que el plástico reciclado es la mejor opción como aditivo para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla así como su resistencia al efecto del agua, sin



En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos en una investigación de alternativas de reciclado en caliente, para la carretera Barrio San José-Naranjo. En este estudio de laboratorio se utilizaron agregados de tipo lavas volcánicas y se aplicaron los siguientes aditivos: cal, polímero, plástico reciclado y también se ensayaron especímenes sin adición de aditivos. En este ejemplo se muestran los diferentes resultados que se obtienen en la resistencia al efecto del agua al utilizar diferentes tipos de aditivos, sometiendo los especímenes a 240 horas de inmersión a 60 °C.

En esta figura se utiliza la siguiente nomenclatura:
RO: Mezcla con 0% de material reciclado
R25: Mezcla con 25% de material reciclado

Figura 5. Vacíos llenos de asfalto en función de la absorción del



R50: Mezcla con 50% de material reciclado
 AC-20: Asfalto tipo AC-20
 AC-30: Asfalto tipo AC-30

CONCLUSIONES

• La porosidad de la roca es el principal problema para producción de mezclas asfálticas con agregados volcánicos. En primer lugar se requiere implantar

% Asfalto efectivo		
Curado (h)	Con plástico	Sin plástico
0	8.44	6.5
4	8.16	5.88
20	7.87	5.28
Diferencia respecto al óptimo (%)	0.39	2.98

Fuente: Ref. 15

Tabla 7. Variación del asfalto efectivo al incorporar plástico reciclado a la mezcla. Absorción del agregado 4.5%, porcentaje óptimo de asfalto 8.26%.

Fuente de Agregados	Número de muestras	Resistencia Retenida (%)	
		Promedio	Desv. Est. (%)
Depósito aluvial de origen ígneo	15	73	8
Depósito aluvial de origen volcánico	2	75	11
Origen volcánico	12	73	8
Origen sedimentario	12	71	8

Tabla 8. Valores de resistencia retenida obtenidos en diferentes tipos de

un sistema de control para la producción de esta materia prima, de modo que se garantice permanentemente la construcción de apilamientos homogéneos. Además, debe conocerse con exactitud cómo varía el asfalto efectivo de la mezcla en función del tiempo de mezclado, la temperatura y el tiempo transcurrido entre la producción y la colocación de la mezcla.

• Para efectos de aceptación y pago es recomendable usar como parámetro de calidad el contenido de asfalto efectivo, tomando la muestra directamente de la mezcla que se está colocando en la obra.

• Cuando se utilizan agregados porosos, se debe llevar un control riguroso que garantice un efectivo secado de los agregados durante el proceso en la planta, por cuanto:

a.) El exceso de asfalto efectivo provoca en el pavimento ahuellamiento, exudación, desplazamiento de la mezcla y además induce una superficie de ruedo lisa y por tanto peligrosa al tránsito vehicular.

b.) La disminución del asfalto efectivo hace que disminuya la atracción ligante-agregado, provocando, disminución de la capacidad a fatiga, agrietamiento y desprendimiento de agregados.

• Conforme aumenta la porosidad del asfalto, se incrementa obviamente la demanda de asfalto de la mezcla.

• Cuando se utilizan agregados de alta porosidad se aumenta el riesgo de que la mezcla quede con algún contenido de agua, esto origina cambios importantes en el desempeño de la mezcla en aspectos como: la adhesión agregado-ligante, la deformabilidad de la mezcla y el potencial de oxidación del ligante, por tanto, desde este punto de vista debe controlarse cuidadosamente el proceso de secado, y el tiempo de mezclado.

• La composición mineral del agregado es un factor muy importante a considerar cuando se trabaja con emulsiones asfálticas, no así en el caso de las mezclas en caliente.

• En términos generales, de acuerdo con las fuentes de agregados analizadas, desde el punto de vista de la resistencia al efecto del agua (durabilidad) de la mezcla asfáltica, en algunos casos, para cumplir satisfactoriamente la especificación de resistencia retenida, conviene incorporarle aditivos como cal, cemento, polímeros, plástico reciclado o activantes de adherencia.

• Cuando se toman especificaciones desarrolladas en otros países, debe tenerse especial cuidado de verificar si efectivamente aplican a las condiciones nacionales.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Sanabria, Luis E. Apuntes del Curso de Tecnología del Asfalto. Colombia, 1999
2. Rivera, Gustavo E. Emulsiones Asfálticas. 4ª Edición. Editorial Alfaomega. México, 1998
3. Paranhos, Carlos Alberto. Compatibilidade das Emulsões Asfálticas com a Natureza Mineralógica dos Agregados. 10º Encontro de Asfalto, Rio de Janeiro, 1990
4. AKZO NOBEL. Boletín técnico. Aditivos Promotores de Adhesión. Texas, 2000.
5. Smith M.R. & Collis L. Aggregate, sand, gravel and crushed rock aggregate for construction purposes. Geological Society London. 2ª Edición, 1993
6. Epps, Jon and Quintus, Harold V. Asphalt Materials and Paving Mixtures NHI Course N° 13123. Federal Highway Administration, 1990
7. F. Durrieu. Influence des Produits Polaires des Bitumes Routiers sur leurs Propriétés Interfaciales. Laboratoires des Ponts et Chaussées. Paris, 1977
8. J. A. N. Scott y otros. Etude des Mécanismes d'Adhesion et de Désenvoijage des Bitumes Routiers. Shell Laboratorium. Amsterdam, 1977
9. Morilla Abad, Ignacio. Prospección de Yacimientos Granulares y Canteras para la Obtención de Áridos Utilizables en Carreteras.
10. García Arango Cienfuegos, Ignacio. Explotación de Yacimientos Granulares. Jornadas Técnicas sobre Áridos en la Construcción de Firmes. Madrid, 1988.
11. Asphalt Institute. Cause and Prevention of Stripping in Asphalt Pavements. Maryland, U.S.A., 1987
12. Gandhi, Poduru M. and others. Polishing of Aggregates and Wet-Weather Accident Transportation Research Record No 1300. University of Puerto Rico, Mayaguez, 1991.
13. Arce, Mario y Castro, Pedro L. Tecnología de Evaluación para Liganes y Mezclas Asfálticas. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Costa Rica, 2000.
14. Arenas, Hugo León. Tecnología del Cemento Asfáltico. Editorial Lizardo Carvajal. Colombia, 1999.
15. Jiménez, Mónica. El Efecto de la Porosidad en las Propiedades de las Mezclas Asfálticas. Tesis. Universidad de Costa Rica, 2001.
16. Samy N., Ahmed. Oxidation of Asphalt Binders and its Effect on Molecular Size Distribution and Consistency. ASTM Publication N° 04-012410-08. Editorial John C. Hardin. U.S.A., 1995.
17. Gutierrez, Tracy. Reciclado de Mezcla Asfáltica Procesada en Caliente con Incorporación de Aditivos. Tesis. Universidad de Costa Rica, 2001.

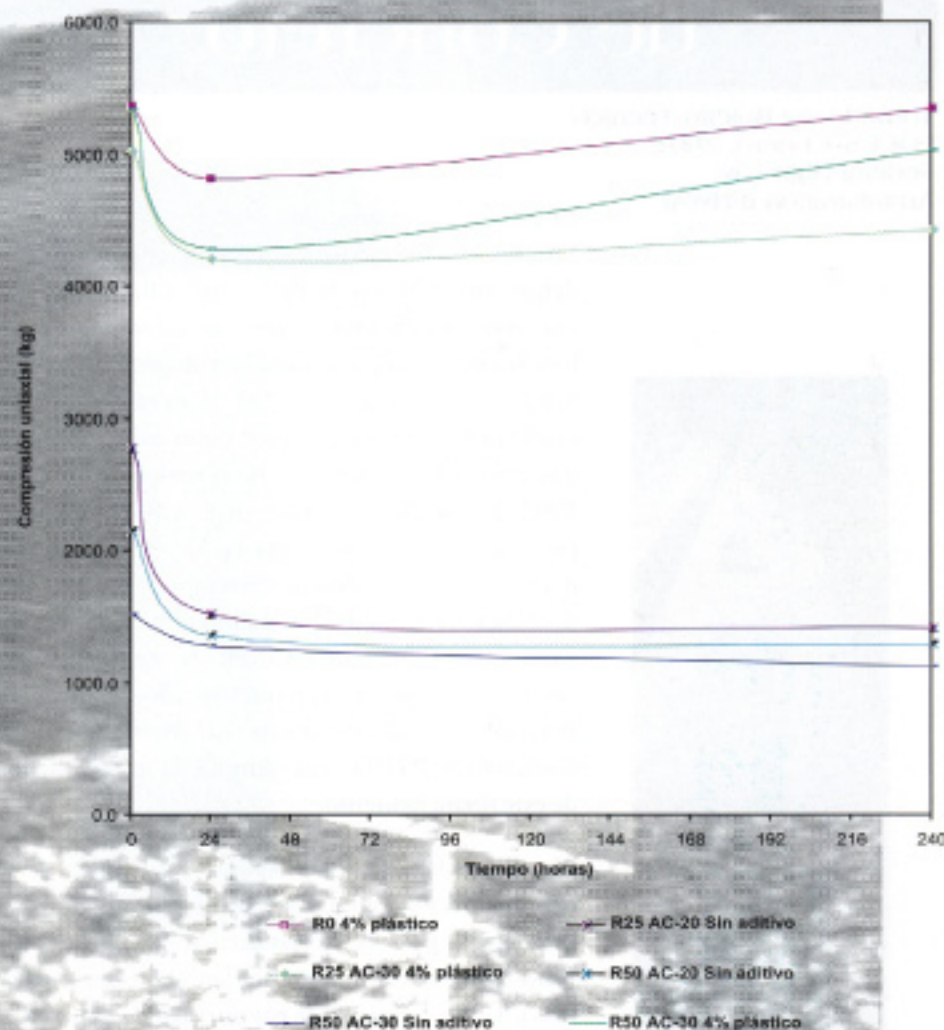


Figura 6. Resistencia al efecto del agua, en especímenes sometidos a inmersión a largo plazo, Carretera Barrio San José - Naranjo.

