

**Estudio comparativo de materiales pétreos para producción de mezclas
asfálticas en varios sectores del departamento de Antioquia**

Larissa Chiman

Ingeniera Química, PhD Ciencias Químicas

lshiman@corasfaltos.com

Liliana Betancurth

**Geóloga, Especialista en Minería y Medio ambiente; Master en Ciencias e
Ingeniería**

lbetancurth @explorationalliance.com

Edgar Peña Acosta

Ingeniero Civil, Especialista en Vías

laboratorio@corasfaltos.com

Resumen

Este documento presenta el análisis realizado para 11 fuentes de materiales pétreos localizadas en diferentes municipios del departamento de Antioquia, los cuales hacen parte de una primera fase investigativa, desarrollada por Corasfaltos en el marco del proyecto "CARACTERIZACION DE MATERIALES PETREOS DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, UTILIZADOS EN LA FABRICACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE PARA EL MEJORAMIENTO TECNOLOGICO DE LOS PROCESOS Y PRODUCTOS EMPLEADOS EN EL DISEÑO, CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE VIAS CON PAVIMENTOS FLEXIBLES". Se realizaron análisis físicos y químicos tendientes al reconocimiento de las propiedades litológicas, composición mineralógica, granulometría, composición química y ensayos físicos, llevados a cabo comúnmente para determinar la calidad y pertinencia en su uso al momento de fabricar mezclas asfálticas.

Palabras clave: Rocas, minerales, dureza, resistencia, absorción, gravedad específica, desgaste.

Resume

This report shows the analysis developed for 11 sources of rock materials located in different municipalities of the Department of Antioquia, which make part of the first researching phase, developed by Corasfaltos into the project "STONE MATERIALS CHARACTERIZATION OF THE DEPARTMENT OF ANTIOQUIA, USED IN THE MANUFACTURE TO HEAT ASPHALT MIXTURES TO TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT OF THE PROCESS AND PRODUCTS EMPLOYED IN THE DISING, CONSTRUCTION AND CONSERVATION OF ROADS WITH FLEXIBLE PAVEMENTS." Several physical and chemical analysis were carried out to determine the materials behavior, recognizing its lithological properties, mineralogical

composition, sorting, chemical composition, as well the physical essays that are commonly carried out to determine the quality and useful to produce asphaltic mixtures.

Key words: Rocks, materials, hardness, resistance, absorption, gravity

Introducción:

Las rocas o materiales pétreos en general, pueden ser utilizadas para diversos fines. En el caso de la producción de mezclas asfálticas, éstas constituyen el mayor componente, con un 90 a 95% del total de la mezcla. Por esta razón, es importante el conocimiento de su mineralogía, de sus propiedades físicas y de sus características químicas, con el objeto de predecir su comportamiento en la mezcla y finalmente, en la carpeta asfáltica.

Todos aquellos agregados derivados de rocas ígneas, tendrán como principales constituyentes una gama de minerales que pueden presentarse desde los anfíboles, piroxenos, plagioclasas y micas, hasta el cuarzo, con posibles alteraciones principalmente a minerales arcillosos. Lo anterior, es debido a los procesos geológicos tanto internos en la corteza terrestre (endógenos) como externos (exógenos) que permiten enfriamientos lentos (formación de muchos minerales) y enfriamientos rápidos en donde la formación de minerales es más limitada.

Los agregados derivados de aporte sedimentario, presentarán mayor variabilidad en su composición, debido a que han sido transportados e incluyen en su trayecto el arrastre de fragmentos de roca y líticos (monominerales) de origen ígneo, metamórfico y sedimentario, muchas veces embebidos en matrices no compactas de arena o arcilla silíceas o con matrices sellantes (cemento) de precipitación química.

Los agregados de rocas metamórficas, serán mucho más homogéneos en su composición, dado que éstas por naturaleza son más resistentes, y han sido originadas al sufrir la acción de altas presiones y temperaturas al interior de la corteza terrestre, que cuando son expuestas en superficie, conservan sus propiedades; no obstante, también se ven afectadas por los agentes atmosféricos y llegan a presentar perfiles de meteorización de algunos metros, formando suelos y la característica de partir en lajas.

A lo largo de la historia de construcción de carreteras se habían desarrollado varios métodos de ensayos para caracterización de agregados minerales. En el enfoque de dichos métodos se consideran: la solidez, resistencia al impacto, al deslizamiento, la transferencia de carga y resistencia a pulimento, la adhesión y la presencia de humedad en el agregado (Manual LCPC 2006; Sanjuán J. 2010; White T.D 2006). La discusión de utilidad de uno u otro método sigue abierta (White T.D 2006), también continúan los estudios dirigidos a correlacionar las propiedades intrínsecas de rocas con las de agregados y su comportamiento en las mezclas. Sin embargo las conclusiones deducidas de dichos estudios no se puede transferir y aplicar directamente a los casos particulares de cada región. Evidentemente que los agregados individuales dentro de agrupaciones de rocas de un cierto tipo, no se comportan de igual manera.

Las especificaciones existentes para los materiales pétreos en la construcción vial se basan en métodos desarrollados y están en el proceso de mejoramiento continuo en varios países con el propósito de su optimización.

En nuestro estudio se evaluaron agregados minerales en el departamento de Antioquia de algunas fuentes que disponen de este material para uso constructivo. Se

realizaron ensayos exigidos en las especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS y algunos no convencionales, con el fin de mostrar las tendencias marcadas en correlaciones entre propiedades obtenidas de agregados minerales y algunas características mineralógicas particulares.

Fuente de materiales en estudio

Dentro del proyecto, se incluyeron 11 áreas en las cuales se realiza extracción de materiales pétreos, tanto para la producción de agregados, como para fines netamente de mezclas asfálticas. Para el presente documento y con fines de conservar la privacidad de las empresas participantes en el proyecto, la nomenclatura de las fuentes se ha realizado utilizando letras: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K como lo muestra el mapa de la figura 1.

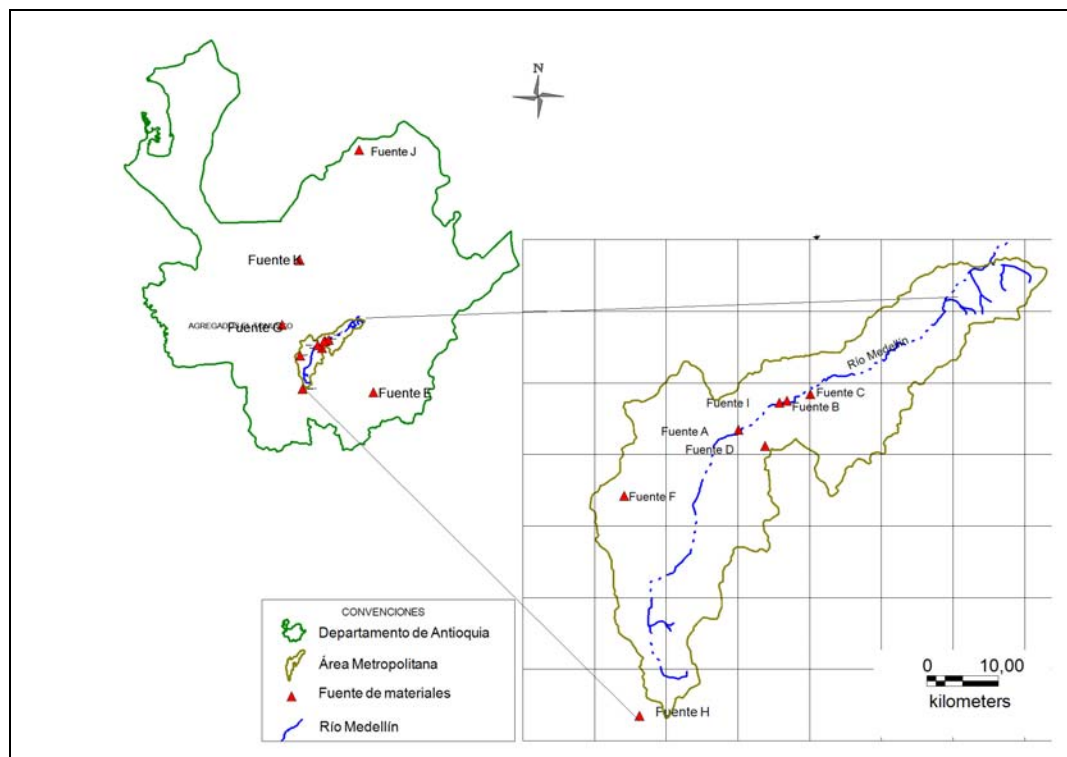


Figura 1. Localización de las 11 fuentes de materiales en estudio.

Dentro de estas 11 fuentes, se encuentran rocas de los 3 tipos, tanto ígneas, como sedimentarias asociadas a depósitos aluviales de río y metamórficas. Esta heterogeneidad en el origen de los materiales, permite hacer un análisis más amplio y quizás más enriquecedor, al momento de comparar las características que deben ser más relevantes para la producción de mezclas.

Caracterización mineralógica de fuentes.

A pesar de que en los términos de ingeniería de construcción vial, la diferencia mineralógica no presenta a veces gran importancia, se confirma su validez desde el punto de vista de alteraciones (Woodward D. 2002). Las fotos de agregados de

tamaño T-No4 (> 4,75 mm), que pertenecen a toba fresca y alterada en diferente grado, de 5 (cinco) fuentes del estudio, se presentan en la figura 2.

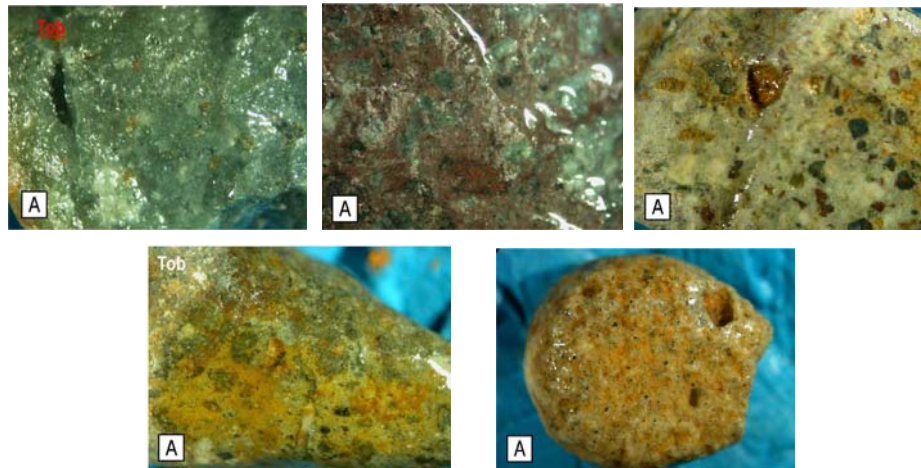


Figura 2. Microfotografías de agregados del tipo toba de diferentes fuentes del estudio bajo el estéreo microscopio.

Es notable la diferencia en el estado del mineral de la misma naturaleza para diferentes fuentes. En algunas muestras se destaca la presencia de poros, además de minerales oxidados de color naranja y matriz de tonalidad rojiza por alteración. Obviamente, las características del desempeño de los minerales mostrados, varían dependiendo de particularidades de su estado.

Por las características geológicas, las fuentes de este estudio se dividen en tres categorías de rocas.

Rocas de origen ígneo: dentro de esta categoría se encuentran las fuentes F y H, en las cuales se presenta una fuente derivada de rocas tipo intrusivo, de enfriamiento lento y de variabilidad mineralógica, que se han denominado dioritas – granodioritas (Fuente F) y rocas de tipo volcánico - extrusivo, tipo expulsión con poca variabilidad mineralógica, denominadas (Fuente H).

Mineralogía Fuente F: como minerales predominantes en este material se encuentran la plagioclasa, hornblenda y biotita, los cuales varían en su porcentaje y por esta razón, para la fuente de materiales se presenta una variación textural que muestra la roca como un gabro, una diorita, una granodiorita hasta una tonalita para el mismo sector. Lo más característico de estos minerales es su susceptibilidad a las alteraciones, sobre todo cuando se habla de la presencia de agua; es así como para éstos, se observa sericita como alteración de la plagioclasa y la biotita, además de la clorita como alteración de la hornblenda y minerales arcillosos en general. La roca al ser expuesta a los agentes atmosféricos principalmente, es decir, a cambios de clima, presencia de agua, fracturamiento causado no solo por el diaclasamiento (partición natural de la roca en planos), sino por los efectos de compresión –dilatación debido a cambios de temperatura, presenta entonces meteorización superficial, que muchas veces alcanza los 5 a 10 m de espesor, solo encontrándola fresca a mayores profundidades.

El principal mineral que puede causar preocupación a la hora de la utilización para mezcla asfáltica, es la montmorillonita, la cual es típica en este tipo de rocas; ella

como arcilla expansiva dificulta la adherencia. Para el caso, el porcentaje del mineral es manejable y no afecta fuertemente el material.

Mineralogía Fuente H: esta roca es de composición andesítica, con alto porcentaje de plagioclasas. El material presenta alteraciones de la plagioclasa a sericita, además de la presencia de sílice amorfa y caolinita. Puede considerarse que el mayor problema con estos minerales tiene que ver con la susceptibilidad al contacto con el agua y la propiedad de partirse o fraccionarse fácilmente al ejercer presión manual, es decir, su mayor debilidad es que sea friable al tacto.

Rocas de aporte sedimentario: dentro de esta categoría se encuentran la mayor parte de las fuentes en estudio, siendo éstas A, B, C, E, G, I y J. Se caracterizan por tener fragmentos de agregados de variados tamaños y composiciones en una matriz generalmente arenosa a limoarenosa y sin compactación. Se denomina de origen sedimentario, por la forma como se transportaron y moldearon a lo largo de su recorrido, derivado de la dinámica fluvial de ríos y sus afluentes; sin embargo, los clastos encontrados en estas fuentes, abarcan rocas de todo tipo, en donde predominan las de origen ígneo, seguidamente de origen metamórfico y finalmente rocas sedimentarias.

Mineralogía Fuente A: Los agregados de esta fuente, son derivados de los afluentes del río Medellín y por lo tanto, presentan rocas de variada composición, basaltos, gabros, tonalitas, cherts, cuarcitas. Como monominerales en la fracción fina se encuentran plagioclasa, hornblenda, cuarzo, piroxenos y micas. La alteración del material se relaciona con la presencia de sílice amorfa, sericita y oxidaciones de hierro.

Mineralogía Fuente B: Los agregados de esta fuente son derivados de los afluentes del río Medellín, aunque presentan mayor heterogeneidad en algunos sectores, quizás por un aporte predominante de otro cauce antiguo, que aportó material con una mineralogía marcada de otro tipo. Las rocas que conforman estos depósitos son tobas, andesitas, basaltos y gneises; como monominerales se presentan plagioclasa, hornblenda y cuarzo. Además, se encuentra caolinita y motmorillonita en porcentajes bajos, y alteraciones relacionadas con la presencia de sericita, sílice amorfa y calcedonia.

Mineralogía Fuente C: Los agregados provienen de las laderas y cauce principal del río Medellín, encontrando fragmentos de rocas basálticas, cuarzodioritas, anfíbolitas y gneises. Los principales minerales formadores de las rocas y encontrados además en la fracción fina son plagioclasa, hornblenda y cuarzo. Como minerales de alteración se observan sílice amorfa, sericita, caolinita y oxidaciones de hierro superficiales.

Mineralogía Fuente G: Los materiales de esta fuente son originados en el Río Tonusco, donde se observa chert, tobas, andesitas y basaltos. Los minerales de alteración se relacionan con óxidos, sílice amorfa, sericita y minerales arcillosos. Se caracteriza por presentar una matriz arenosa abundante y fragmentos de gran variabilidad en tamaño, al igual que las formas, que son marcadamente subangulares.

Mineralogía Fuente I: Los agregados son derivados de los afluentes y del cauce del río Medellín, encontrando gabros, tonalitas, basaltos, andesitas, granitos y clastos de roca metamórfica como gneises y cuarcitas y en menor proporción chert de origen sedimentario. Los monominerales identificados son plagioclasa, piroxeno, hornblenda, cuarzo y feldespato.

Mineralogía Fuente J: Los agregados de esta fuente son producto de la dinámica del Río Cauca, después de recorrer varios kilómetros, de allí que son fragmentos más pequeños y de formas menos angulares, ya que han sido retrabajados y más moldeados; en donde se observan tobas devitrificadas, tonalitas y cuarcitas, además

de cherts y areniscas arcillosas. Los minerales de alteración son sílice amorfa, palagonita, clorita, caolinita y motmorrillonita.

Rocas de origen metamórfico: las fuentes en donde se presentan estas rocas corresponden a D, E y K. Son anfibolitas, que han experimentado fenómenos de alta presión y temperatura, con poca variabilidad mineralógica. Lo más notable, es la presencia de diaclasamientos que parten la roca en lo que se puede llamar una tendencia de fracturas.

Mineralogía Fuente D: el material de esta fuente de materiales corresponde a una anfibolita compuesta por hornblenda, plagioclasa y biotita. Presenta muy bajo contenido de arcillas, solo con presencia de montmorrillonita, pero en un porcentaje despreciable (4.3%).

Mineralogía Fuente E: Corresponde a una anfibolita compuesta por hornblenda y plagioclasa. La roca no presenta arcillas expansivas, lo que favorece sustancialmente la adhesividad de árido – ligante. El mineral de alteración identificado es la sericita producto de la alteración de la plagioclasa.

Mineralogía Fuente K: El agregado que se extrae de esta fuente, se deriva de una anfibolita oscura, compuesta por hornblenda, cuarzo, biotita y plagioclasa. No obstante, los análisis petrográficos también permiten identificar texturas típicas de tonalitas, gabros y andesitas- basaltos, las cuales se constituyen en la roca parental u original que dió formación a la anfibolita. Los minerales de alteración son sericita y leves oxidaciones de hierro.

Caracterización de agregados minerales para las fuentes analizadas:

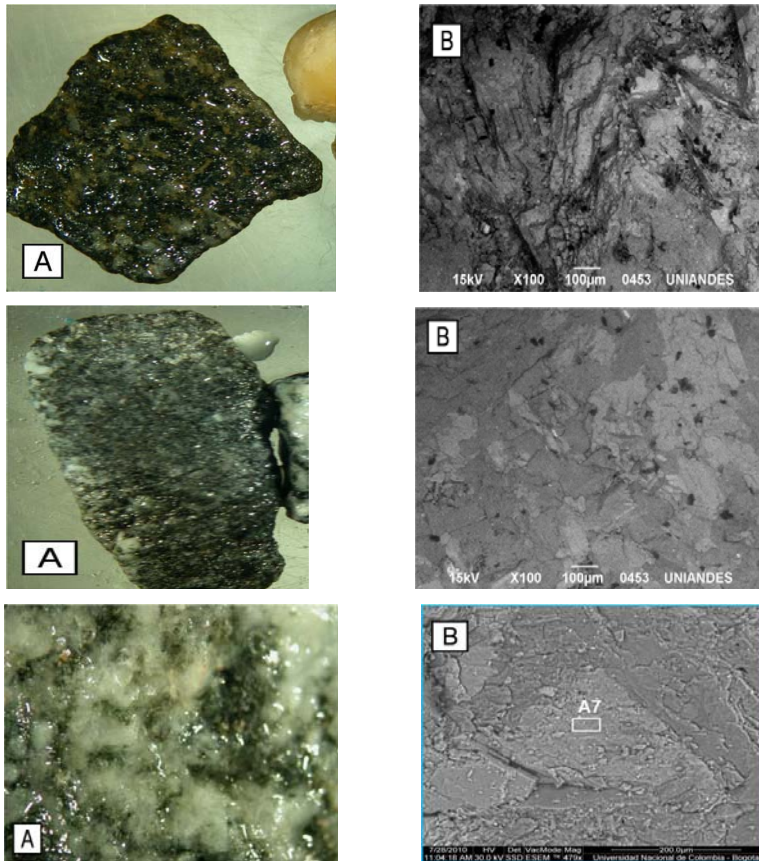
De manera general, puede decirse que no es procedente ni factible, caracterizar exactamente una fuente de materiales, ya que son muchas las variables y factores que influyen en el comportamiento de los agregados al momento de utilizarlos para producir una mezcla asfáltica. Sin embargo, hipotéticamente se puede indicar el comportamiento general de los materiales derivados de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, a partir del cumplimiento de ciertas particularidades básicas, relacionadas con su mineralogía y sus propiedades físicas. La tabla 2 presenta las propiedades, estadísticamente comprobadas en las investigaciones, de dureza, resistencia, textura y forma, que los minerales de tres tipos de rocas que limitan o permiten su uso para la fabricación de mezclas (Hot Mix Asphalt Materials, 1996).

Tabla 2. Propiedades básicas de los materiales usados en Mezclas asfálticas.

Tipo de roca	Dureza/Tenacidad	Resistencia al desprendimiento	Textura Superficial	Forma fracturada
Ígneas:				
Granito	Regular	Regular	Regular	Regular
Sienita	Buena	Regular	Regular	Regular
Diorita	Buena	Regular	Regular	Bueno
Basalto	Buena	Bueno	Bueno	Bueno
Diabasa	Buena	Bueno	Bueno	Bueno
Gabro	Buena	Bueno	Bueno	Bueno
Sedimentarias:				
Caliza	Pobre	Bueno	Bueno	Regular

<i>Arenisca</i>	<i>Regular</i>	<i>Bueno</i>	<i>Bueno</i>	<i>Bueno</i>
<i>Chert</i>	<i>Bueno</i>	<i>Regular</i>	<i>Pobre</i>	<i>Bueno</i>
<i>Lutita</i>	<i>Pobre</i>	<i>Pobre</i>	<i>Regular</i>	<i>Regular</i>
Metamórficas:				
<i>Gneis</i>	<i>Regular</i>	<i>Regular</i>	<i>Bueno</i>	<i>Bueno</i>
<i>Esquisto</i>	<i>Regular</i>	<i>Regular</i>	<i>Bueno</i>	<i>Regular</i>
<i>Pizarra</i>	<i>Bueno</i>	<i>Regular</i>	<i>Regular</i>	<i>Regular</i>
<i>Cuarcita</i>	<i>Bueno</i>	<i>Regular</i>	<i>Bueno</i>	<i>Bueno</i>
<i>Mármol</i>	<i>Pobre</i>	<i>Bueno</i>	<i>Regular</i>	<i>Regular</i>
<i>Serpentina</i>	<i>Bueno</i>	<i>Regular</i>	<i>Regular</i>	<i>Regular</i>

Las características básicas con que se relacionan los parámetros de resistencia de agregados, son la Gravedad específica y la Absorción del agua. Ambas propiedades dependen de la naturaleza de la roca madre, su alteración y estado general (porosidad, textura, microfisuración). La figura 3 muestra agregados del tipo gabro de 4 (cuatro) fuentes del estudio resaltando la textura superficial de cada uno.



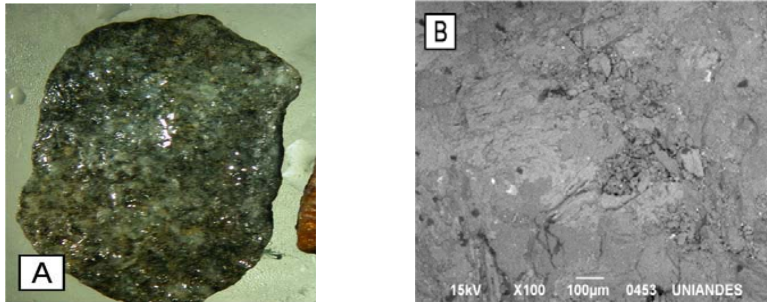


Figura 3. **A.** Microfotografías de los agregados del tipo gabro bajo el estéreo microscopio. **B.** Microfotografía a través del microscopio electrónico de barrido del mismo agregado anterior, resaltándose la textura superficial de los cristales.

Generalmente, las características de Gravedad específica para los agregados de rocas ígneas y metamórficas no varían mucho, mientras que para los puros sedimentarios, los valores suelen ser menores. La correlación de las propiedades mecánicas de los agregados estudiados entre sí y con características mencionadas, tiene sentido siempre y cuando se presente una cierta homogeneidad en la naturaleza de los minerales.

En nuestro estudio, de acuerdo con los resultados de análisis petrográfico, las nueve muestras de agregados tamaño T-No4 ($> 4,75$ mm) (fuentes: A, C, B, F, G, H, T, J) tienen en su composición más de 65% de componentes de rocas ígneas. Las características de dichas muestras se usaron en la correlación e interpretación del comportamiento de agregados minerales.

Los agregados de tres fuentes (D, E, K) están compuestos en alta proporción de componentes de rocas metamórficas, que son por su proceso de formación más duras y resistentes, como fue mencionado antes, por eso no presentan comportamiento comparable.

En la figura 4 se presenta la correlación entre la Absorción de agua y Gravedad específica para las fracciones de agregados gruesos y finos de minerales en estudio. La fracción de finos se tomó en cuenta ya que proviene de los mismos agregados gruesos.

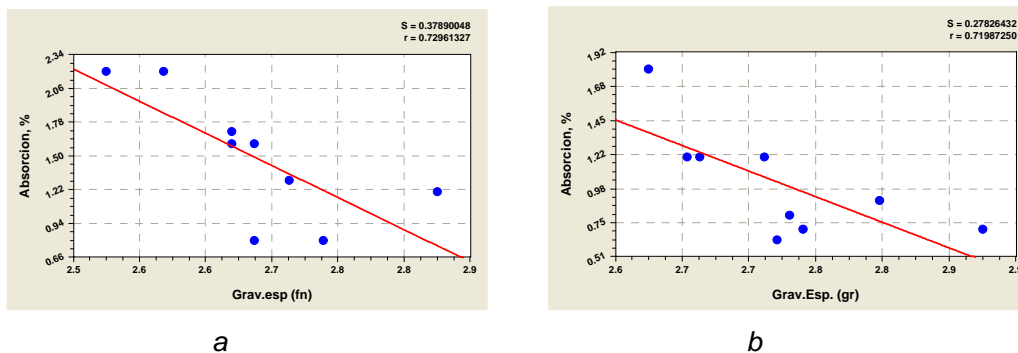


Figura 4. Correlación de resultados de absorción de agua para los agregados finos (a) y gruesos (b) con la gravedad específica.

Los coeficientes de correlación son cercanos para ambas fracciones y aceptables demostrando la disminución de Absorción con el aumento de la Gravedad específica. Una cierta dispersión de resultados se debe al diferente grado de alteración de minerales y presencia en algunas muestras de componentes de aporte sedimentario. Los valores numéricos obtenidos para cada fuente se encuentran en los rangos especificados.

Se supone que la tendencia para los agregados de rocas ígneas va a indicar la disminución de la resistencia al desgaste con la Máquina de Los Angeles (LA) con el aumento de Absorción. En la figura 5 se presentan las graficas con los resultados de desgaste LA a 500 revoluciones en estado seco y después de 3 (tres) días de saturación con agua.

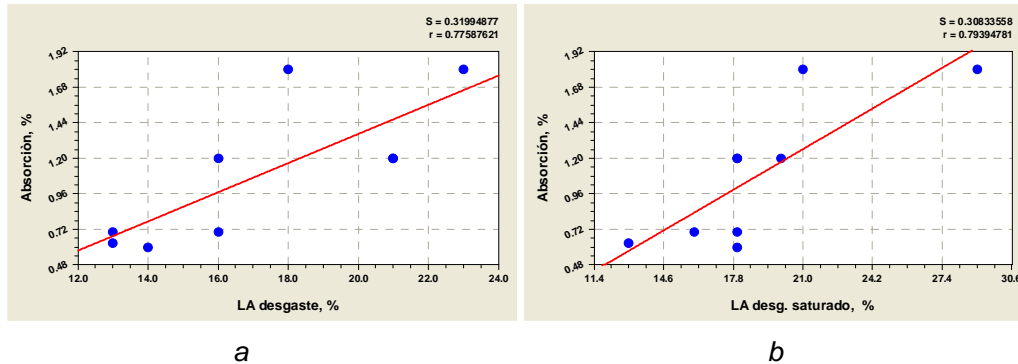


Figura 5. Correlación de resultados de Absorción de agua con desgaste LA₅₀₀ (a) y desgaste LA después de 3 días de saturación en agua (b).

Los resultados de desgaste de LA en estado seco y saturado mostraron un valor aceptable respecto a la correlación con los datos de Absorción, conformando la tendencia esperada.

Para el caso del desgaste por abrasión con Micro-Deval se presentan los resultados en la figura 6.

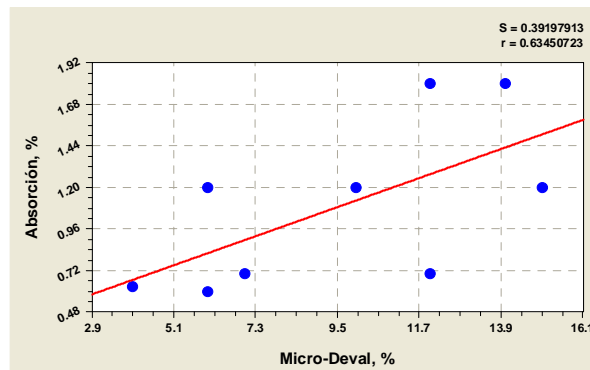


Figura 6. Correlación de resultados de desgaste por abrasión Micro-Deval con Absorción.

La mayor dispersión de resultados para el ensayo de Micro-Deval, comparándola con resultados de LA, se obtiene por el diferente grado de alteración de minerales, que debido a las condiciones específicas del ensayo se pone más notorio.

Los resultados de desgaste por abrasión de muestras procesadas se ubican en los rangos admisibles de especificaciones vigentes.

Conclusiones.

Los análisis mineralógicos aplicados en materiales pétreos, resultan ser un factor positivo y complementario a los análisis físicos de dichos materiales, ya que permiten escudriñar más en detalle la composición de las rocas, porcentajes, formas,

alteraciones; ampliando su caracterización y optimizando su uso en la producción de mezclas asfálticas.

Para determinar los materiales, se realizaron análisis físicos y químicos tendientes al reconocimiento de las propiedades litológicas, composición mineralógica, granulometría, composición química y ensayos físicos llevados a cabo comúnmente para determinar la calidad y pertinencia en su uso, al momento de fabricar mezclas asfálticas.

De las 11 (once) fuentes del estudio, los minerales de 9 (nueve) que presentaron homogeneidad de su composición admisible, es decir, más de 65% de componentes de rocas ígneas, se usaron para correlacionar sus principales características teniendo en cuenta particularidades mineralógicas.

Las correlaciones obtenidas entre la Absorción de agua, Gravedad específica y desgastes demuestran valores aceptables y tendencias reales del comportamiento de agregados y se recomiendan aplicarlas a ciertos materiales en su utilización.

Referencias.

- *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction. National Center for asphalt Technology, 1996.*
- *Manual LPC de ayuda en la formulación de mezclas bituminosas en caliente; Bajo la dirección de Jean-Luc Delorme, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 2006, 176p.*
- *Sanjuán J., Lopez J., Hernández A., Lozano J., Carmona M., Nieto S., Avila J., Proyecto FÉNIX. Trabajo de investigación sobre mejora del CPA (Coeficiente de Pulimento Acelerado) de los áridos. Comunicación 14, ASFEMA, 2010, pp 151-157.*
- *White T.D., Haddock J.E., Rismantojo E., Aggregate Tests for Hot-Mix Asphalt Mixtures Used in Pavements, NCHRP Report 557, 2006, 48p.*
- *Woodward D., Woodside A. and Jellie J., Clay in rocks, SCI Lecture Papers Series, 2002, Society of Chemical Industry. <http://www.soci.org>*