

CARACTERIZACIÓN COMPARATIVA DE AGREGADOS OBTENIDOS DE ROCAS ÍGNEAS USADOS EN CONSTRUCCIÓN VIAL

COMPARATIVE CHARACTERIZATION OF AGGREGATES OBTAINED FROM IGNEOUS ROCKS USED IN ROAD CONSTRUCTION

Fecha de recepción: 10 de abril de 2014

Fecha de aprobación: 13 de mayo de 2014

Larissa Chiman

Corporación para la Investigación y Desarrollo en Asfaltos en el Sector Transporte e Industrial, CORASFALTOS, Colombia

Alexei Chiman

Corporación para la Investigación y Desarrollo en Asfaltos en el Sector Transporte e Industrial, CORASFALTOS, Colombia
ashiman@corasfalto.com

Luis Enrique Sanabria Grajales

Corporación para la Investigación y Desarrollo en Asfaltos en el Sector Transporte e Industrial, CORASFALTOS, Colombia
lesanabria14@gmail.com

Jhon Wilson Correa Avello

Corporación para la Investigación y Desarrollo en Asfaltos en el Sector Transporte e Industrial, CORASFALTOS, Colombia
laboratorio@corasfaltos.com / jhonwca@gmail.com

RESUMEN

El desempeño de los agregados minerales en la construcción vial con mezclas asfálticas, específicamente depende de una compleja interacción de factores entre los cuales el componente geológico (tipo de roca, variación mineralógica y estado general del material mineral) se verá reflejado en las propiedades físico mecánicas para su uso, tales como resistencia mecánica, durabilidad y desempeño, entre otros.

Los análisis de agregados, en su mayoría, se enfocan en la evaluación y correlación de propiedades físicas que definen su competencia y poco interés se muestra en mejorar la predicción del comportamiento integral del material mineral.

En tal sentido, como contribución para obtener un estimado en la caracterización comparativa de los agregados a continuación se presenta la evaluación de algunas propiedades geológicas y mecánicas de agregados provenientes de rocas ígneas, y las correlaciones entre sí y con algunas características mineralógicas particulares.

PALABRAS CLAVE: agregados, rocas ígneas, composición mineralógica, materiales para construcción vial.

ABSTRACT

The performance of mineral aggregates in road construction asphalt mixtures, specifically depends on a complex interaction of factors including geological component (rock type, and general mineralogical variation of mineral material) will be reflected in the physical and mechanical properties for use, such as mechanical strength, durability and performance, among others.

The analysis of aggregates, mostly focus on the evaluation and correlation of physical properties that define their competition and shown little interest in improving the prediction of the integral behavior of mineral material.

In this sense, as a contribution to get an estimate on comparative characterization of aggregates then assessing some geological and mechanical aggregate properties from igneous rocks, and correlations among themselves and with some particular mineralogical characteristics is presented.

KEY WORDS: aggregates, igneous rocks, mineralogical composition, road construction materials.

INTRODUCCIÓN

La industria de construcción vial se basa en la utilización de minerales provenientes, en su mayoría, de rocas naturales cuyas propiedades físicas, químicas y mecánicas son fundamentales en la selección de material para un determinado proyecto.

La importancia e influencia de una caracterización detallada y precisa de los agregados minerales en el proceso de predicción del comportamiento de las capas asfálticas es un tema de discusión aún y abarca cuatro principales áreas: proceso de explotación, proceso de producción, caracterización físico mecánica y satisfacción de especificaciones. A nivel mundial se desarrollan trabajos tales como:

- a) La evaluación de utilidad de los ensayos especificados para agregados minerales, presentados en los estudios de diferentes autores (White et al., 2006; Neaylon 2009; Sanjuán et al., 2010)

- b) La correlación de los resultados de dichos ensayos, entre laboratorio y campo.
- c) Análisis, evaluación y desarrollo de nuevas especificaciones de los materiales para la construcción vial con base en investigaciones comparativas, entre estas, las publicadas por Cuelho et al. (2007), Rangaraju y Edlinski (2008).

Se reconoce una compleja interacción entre factores tales como el tipo de la roca y el cambio de las propiedades como la solidez, resistencia al impacto, resistencia al deslizamiento, la transferencia de carga, la resistencia al pulimento, la adhesión y la presencia de humedad en el agregado, durante la vida de un agregado mineral en obra, aspectos resaltados en el manual de LCPC (Francia, 2006).

A pesar que en los términos de ingeniería vial, la diferencia mineralógica algunas veces se considera no relevante, se confirma su validez desde el punto de vista de las alteraciones que presentan los materiales. Los factores de importancia para la ingeniería son las propiedades físicas de las rocas (dureza, textura, peso específico, porosidad, permeabilidad, resistencia a la compresión, etc.); en particular: tamaño de granos, textura, porosidad, discontinuidad entre otras. Por ejemplo, análisis de los agregados provenientes de rocas basálticas de diferentes continentes, Pétursson et al. (2001) encontró que los valores de absorción de agua correspondieron a 1.5% en unas canteras y 0.5% en otras. Dichas particularidades se relacionaron con las diferencias en la edad geológica del basalto y su grado de meteorización. Un basalto libre de olivino (Andesita) siempre presenta menor meteorización que un basalto con olivino, ya que el olivino es más susceptible a dichas alteraciones comparándolo con la augita, [se subraya en el manual de LCPC (2006)]. Generalmente, la presencia de material mineral alterado con arcillas se refleja en la menor densidad y mayor absorción de agua por el agregado mineral. La composición química y la estructura cristalina puede ser el otro factor influyente en la absorción del agua; cuando la roca basáltica está compuesta de andesita microcristalina (Andesita Basáltica) que tiene menor espacio para el agua, se presenta dicha característica de menor valor. Al mismo tiempo la estructura microcristalina de la andesita basáltica resulta más resistente al impacto, comparándola con basalto rico de olivino. La diferencia en la gravedad específica se explica por la composición química, la edad, la historia geológica y el clima.

Los trabajos de Woodward et al. (2002, 2004), Pétursson et al. (2001) dedicados a investigar a mayor profundidad y correlacionar la naturaleza de los agregados con sus características de desempeño presentan gran interés. Sin embargo, los resultados

mencionados no se pueden transferir y aplicar directamente a los casos particulares de cada región y por lo tanto los agregados individuales, dentro de agrupaciones de rocas de un tipo, no se comportan de igual manera.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el marco del proyecto "Investigación nacional para desarrollo y formulación de asfaltos y mezclas asfálticas de alto módulo (HM) para aplicación en vías primarias", cofinanciado por COLCIENCIAS, en el cual se realiza la evaluación de los agregados minerales provenientes de diez fuentes de rocas ígneas y las tendencias marcadas y correlacionadas entre propiedades obtenidas de agregados minerales y algunas características mineralógicas particulares.

MATERIALES Y ENSAYOS

Los tipos de muestras de los agregados minerales en el trabajo son los típicos usados en la construcción vial en Colombia, agregados gruesos y agregados finos. Como criterio de su selección se tenía en cuenta la composición mineralógica donde los componentes mayoritarios provenían de las mismas fuentes, en este caso rocas ígneas.

El análisis petrográfico (ASTM C-295) se realizó para describir y clasificar los constituyentes de la muestra, determinar sus cantidades relativas, identificar tipos y variedades de rocas y grado de meteorización; con el análisis de fluorescencia de rayos X se determinó la composición química de las muestras. La microscopía electrónica de barrido (SEM) y la espectroscopia por dispersión de energía (EDS) se utilizó para observar las muestras con magnificaciones de hasta 60.000x con una profundidad de $\sim 3\mu\text{m}$ y determinar la composición química mediante la técnica de espectroscopia por dispersión de energía.

La gravedad específica y la absorción de los agregados gruesos y de los agregados finos, se determinaron con las normas Colombianas I.N.V.E-223-07, I.N.V.E-222-07. La resistencia al desgaste en la Máquina de Los Ángeles I.N.V.E-218-07 (Evaluada a las diferentes condiciones: en seco con 500 revoluciones, después de 3 días de saturación con agua y superficialmente seco y después de someterse a alta temperatura. Para determinar la resistencia a la abrasión se usó el aparato Micro Deval I.N.V.E-238-07.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se reportan los datos del análisis petrográfico de las muestras estudiadas en cuanto a los tamaños T-Nº4, T-Nº10 y T-Nº40. Las fracciones T-Nº10 ($> 2,00\text{ mm}$) y T-Nº40 ($> 0,42\text{ mm}$)

Tabla 1. Constituyentes ígneos de los minerales

Muestra	T-Nº4, %	T-Nº10, %	T-Nº40, %	Componente mineral	Alteración T-Nº4, %			
					Sin alteración	Leve	Moderada	Severa
N1	88.6	66.9	35.3	Basalto holohialino	52.6	44.0	3.4	0.0
N2	99.0	95.7	78.0	Toba y toba alterada	10.4	44.3	33.4	11.7
N3	100.0	90.2	17.3	Gabro	14.8	76.5	6.4	2.3
N4	76.0	74.4	49.2	Toba, andesita, tonalita	44.7	49.3	4.0	2.0
N5	84.2	76.4	60.8	Toba, andesita holohialina	38.7	52.7	6.7	0.0
N6	85.1	58.4	26.7	Gabro, andesita, basalto	88.7	11.3	0.0	0.0
N7	99.3	100.0	60.1	Gabro, tonalita	61.0	34.8	4.3	0.0
N8	77.3	82.4	51.5	Gabro	73.0	24.3	2.6	0.0
N9	68.7	43.0	20.7	Toba, andesita, andesita basalto	65.3	30.7	4.0	0.0
N10	>95	--	--	Andesita	Se registra en forma general alteraciones leves de plagioclasas y anfíboles			

Nota 1: En las fracciones T-Nº10 y Nº40 se presentan los monominerales: plagioclasa, hornblenda, cuarzo, piroxeno.

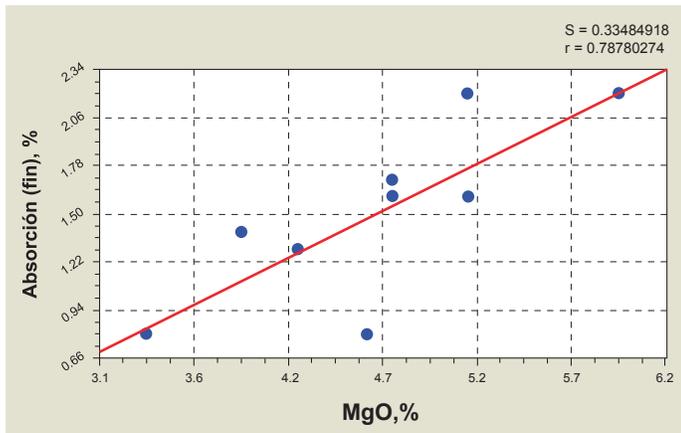
Tabla 2. Composición química de minerales

Muestra	% en peso										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	S
N1	59.9	14.4	8.9	6.5	4.7	2.7	1.3	1.05	0.16	0.15	-
N2	52.1	19.3	11.5	7.0	5.4	2.1	1.2	0.97	0.10	0.19	-
N3	54.9	16.4	8.7	9.0	4.2	4.1	0.8	1.21	0.33	0.16	0.01
N4	51.6	15.9	11.9	8.0	4.7	2.5	1.0	1.80	0.26	0.19	1.52
N5	55.1	17.7	10.3	6.2	5.1	2.0	1.0	1.10	0.21	0.15	0.53
N6	51.5	19.0	11.5	7.5	5.1	1.8	0.8	1.63	0.86	0.20	0.18
N7	54.4	15.8	9.9	8.3	4.6	3.9	0.8	1.38	0.49	0.19	0.03
N8	49.9	15.8	12.2	9.3	5.9	3.1	0.9	1.49	0.32	0.21	0.32
N9	60.0	17.4	9.4	4.6	3.4	2.0	1.7	1.17	0.22	0.16	0.10
N10	65.2	16.2	5.7	4.1	3.9	1.9	1.3	0.7	0.05	0.15	0.24

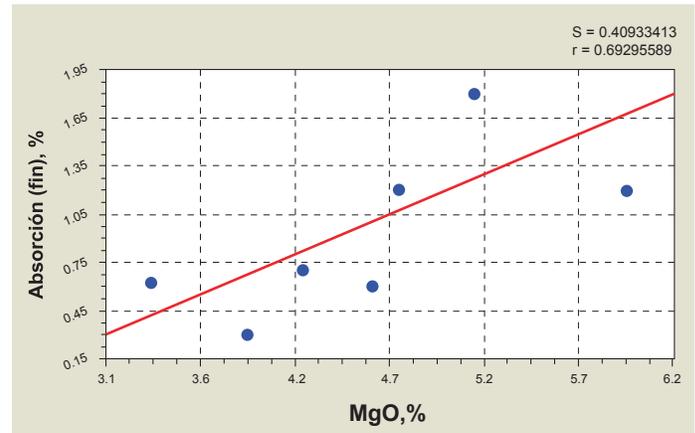
contienen cantidades significativas de monominerales, de los cuales la plagioclasa y hornblenda son componentes mayoritarios. Todas las muestras, excepto las muestras N8 y N9 se pueden identificar como del tipo de roca ígnea. La muestra N8 contiene alrededor de 23% (en peso) de minerales metamórficos (Neis) y en la muestra N9, 19%(en peso) pertenecen a los metamórficos y 12% (en peso) a los sedimentarios. Sin embargo, se mantiene una proporción máxima de minerales del tipo de rocas ígneas en ambas muestras.

La composición química de minerales se presenta en la tabla 2. (no es relevante la clasificación petrográfica por el alcance del presente trabajo).

En la composición química de minerales se resalta la importancia de la cantidad de óxido de magnesio (MgO), ya que el ión de magnesio (Mg) tiene menor radio comparándolo con los otros iones como calcio (Ca) o sodio (Na); dicho ión tiene mayor densidad de carga positiva y, por consiguiente, atrae con mayor fuerza las moléculas del agua. Se pueden correlacionar los resultados de absorción de agua de los agregados gruesos y finos con la proporción de MgO en el mineral. En la figura 1 se presentan los resultados obtenidos. (En algunas gráficas se presenta superposición de puntos).



(a)



(b)

Figura 1. Correlación de resultados de absorción de agua para los agregados finos (a) y gruesos (b) con la proporción de MgO.

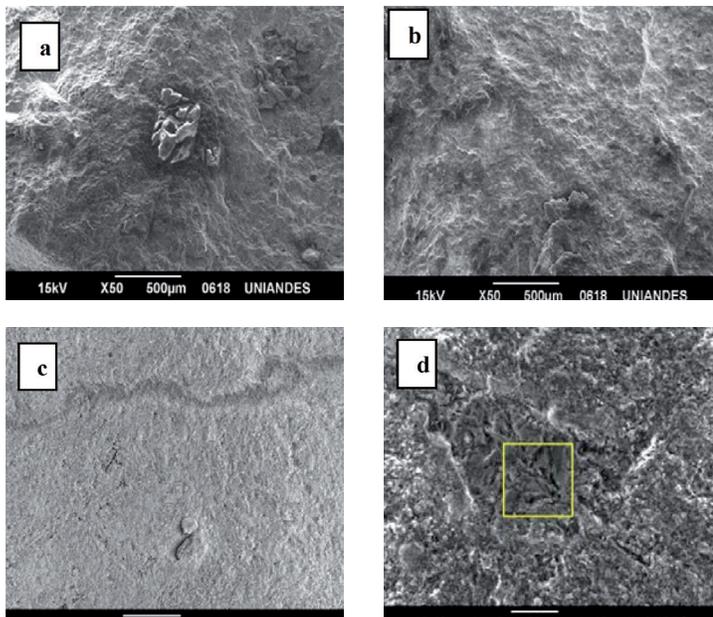


Figura 2. Microfotografías a través del microscopio electrónico de barrido de agregados gruesos (a, b) y finos (c, d) de muestra N9 resaltándose la textura superficial de los cristales.

Las gráficas muestran la tendencia al aumento de absorción de agua con el aumento de la proporción de MgO. La mejor correlación, con un coeficiente de regresión de 0.7878, se presentó para los datos de la fracción de finos, que se puede explicar por la presencia de mayor cantidad de iones de Mg ubicados superficialmente y mayor área de superficie en general. Esto se confirma con los resultados de análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia por dispersión de energía (EDS). En la figura 2 se presentan las microfotografías de minerales gruesos y finos de muestra N9.

Sobre estos sectores se realizó el microanálisis cuantitativo con el detector de espectroscopia por dispersión de energía (EDS). En la tabla 3 se reportan los datos obtenidos.

A pesar de que los resultados espectroscópicos presentes confirman la cantidad de Mg en las fracciones gruesas y finas, no se puede esperar que cada ensayo vaya a cumplir dicha hipótesis, ya que los puntos de análisis se toman aleatoriamente y la distribución de Mg tampoco tiene reglas definidas.

Tabla 3. Concentración (% en peso) de los elementos presentes en el sector analizado de los agregados gruesos y finos de muestra N° 9

Muestra	O	Al	Si	Fe	Ca	Mg	Na	K	C
Fracción de Gruesos									
a	46.98	3.72	19.87	1.92	0.86	0.70	1.62	0.53	23.81
b	48.57	5.32	17.9	4.92	3.06	0.62	0.85	-	18.77
Fracción de Finos									
c	54.13	4.55	21.26	4.85	4.25	1.57	2.64	-	6.75
d	52.82	7.25	11.08	12.21	-	7.85	8.80	-	-

A continuación se presenta en las figuras 3 y 4 los resultados de dos ensayos de resistencia (Micro Deval y Los Ángeles después de 3 días de saturación) donde se tiene en cuenta la presencia del agua.

Con el aumento de cantidad de MgO se observó un aumento del desgaste de los agregados minerales. En ambos casos de resistencia evaluada se puede hablar de una correlación aceptable, sin embargo para el ensayo Micro-Deval el coeficiente de correlación, 0.8113, confirmó alta probabilidad de interconexión de dos características investigadas, es decir, componente de caracterización química y mecánica.

Tradicionalmente los datos de desgaste se interpretan en conjunto con los datos de absorción. En las figuras 5 y 6 se presentan los datos de comparación de características de resistencia en la relación con resultados de absorción.

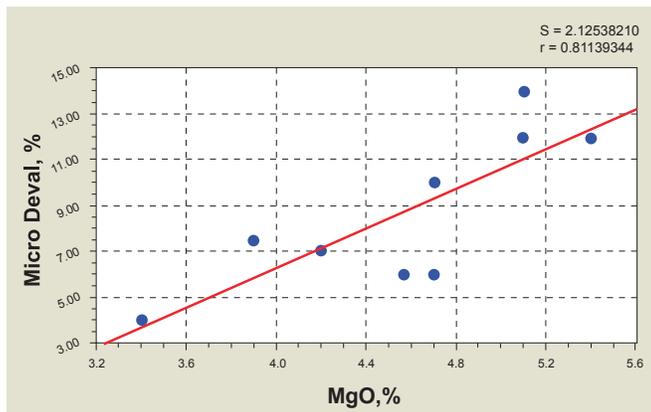


Figura 3. Resistencia Micro-Deval vs. proporción MgO.

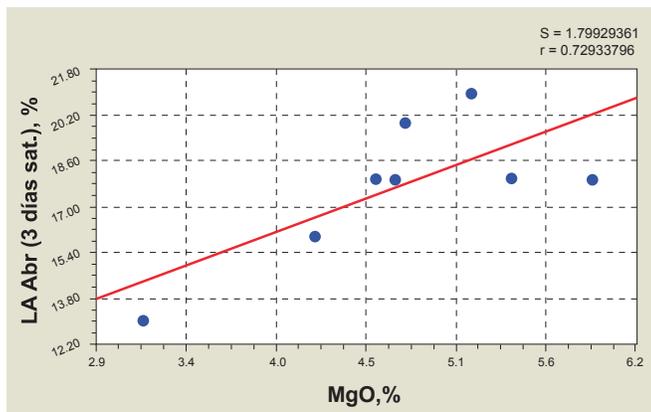


Figura 4. Desgaste LA después de 3 días de saturación vs. proporción MgO.

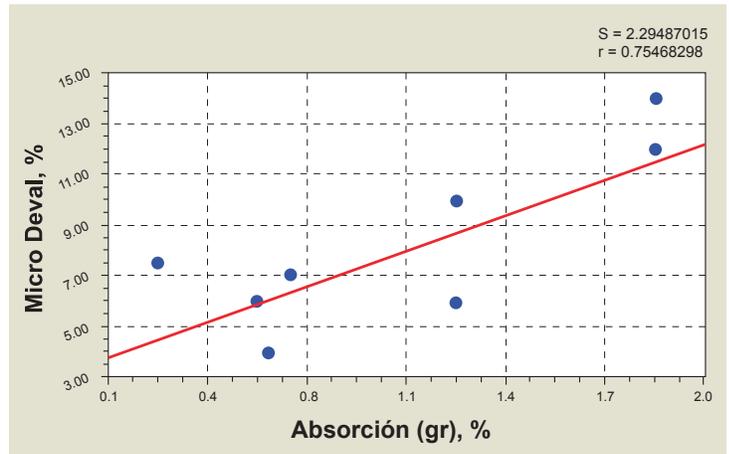


Figura 5. Resistencia Micro-Deval vs. Absorción gruesos.

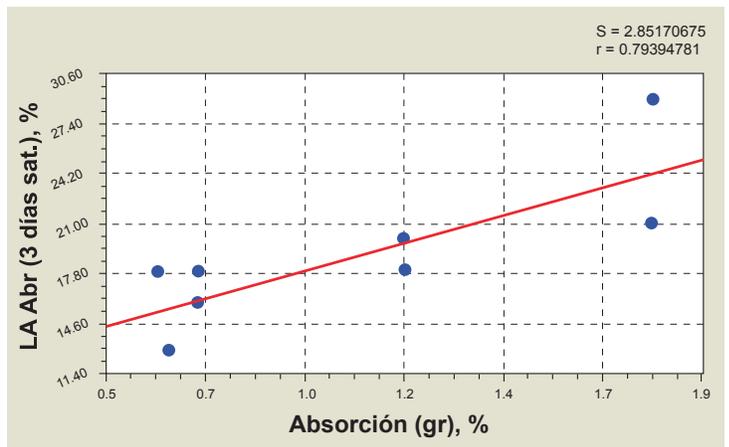


Figura 6. Desgaste LA después de 3 días de saturación vs. Absorción gruesos.

En las gráficas se nota menor correlación de los valores de Micro Deval con la absorción, mientras que la resistencia de LA, después de 3 días de saturación, presenta mayor correlación comparándola con la figura 4 (empleando para la elaboración de los dos gráficos un tamaño de muestra de 8)

La figura 7 presenta los datos de los ensayos de desgaste LA versus Micro Deval.

Con un coeficiente de correlación de 0.8036 se presenta la tendencia en el aumento de dos tipos de desgaste: en la máquina de Los Ángeles con el aumento de resultados de Micro Deval.

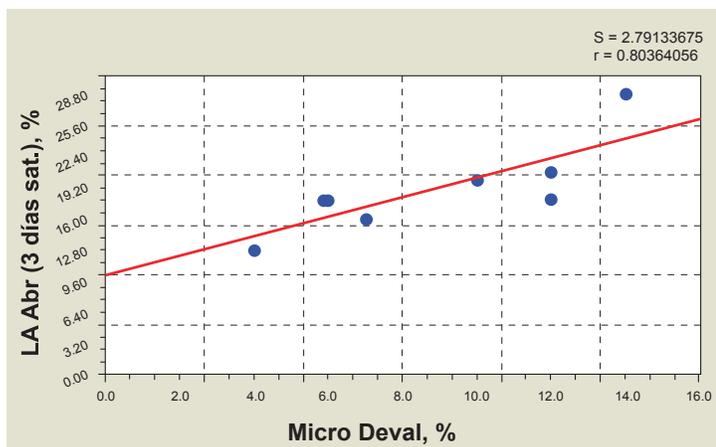
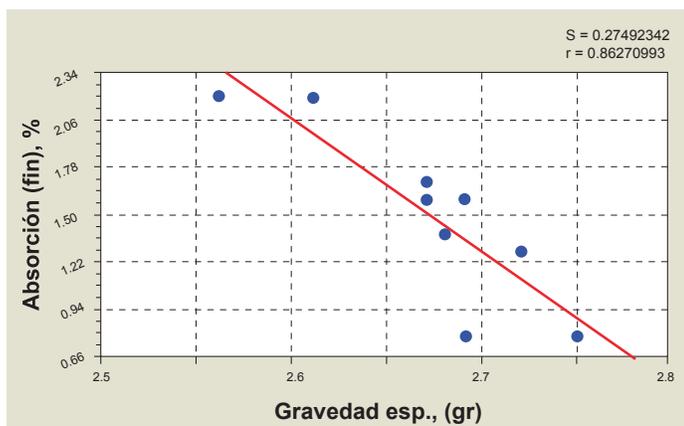


Figura 7. Resistencia LA después de 3 días de saturación en agua vs. Micro Deval.

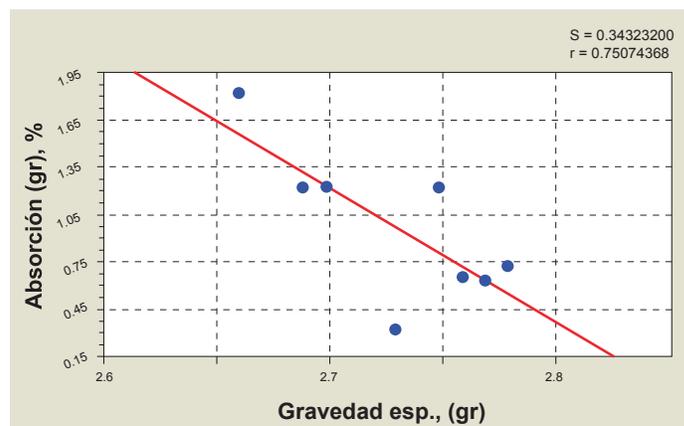
La correlación de la gravedad específica de los agregados gruesos y finos con su respectiva absorción de agua se presenta en la figura 8.

Las gráficas muestran el aumento de gravedad específica con la disminución de absorción de agua. Dicho fenómeno, generalmente, se vincula con particularidades cristalógraficas y grado de meteorización de minerales; para este caso, los coeficientes de regresión son mayores a 0.75 para fracciones de gruesos y finos y se puede hablar sobre la concordancia con los datos conocidos.

Comparando la resistencia al desgaste por ensayo LA500 en estado seco con el parámetro encontrado después de calentar las muestras a una temperatura de 150°C durante 3 horas (LA500, T°), se puede tener una idea sobre el proceso de deshidratación de minerales. En las 8 (ocho) muestras analizadas no se hallaron cambios significativos. El hecho indica la adecuada velocidad de reacción de deshidratación de minerales, para completar dicho proceso durante el tiempo de ensayo LA500 a una temperatura de 110°C reglamentada para ensayo. La tabla 4 muestra los resultados.



(a)



(b)

Figura 8. Correlación de resultados de absorción de agua para los agregados finos (a) y gruesos (b) con la gravedad específica.

Tabla 4. Cambio de la resistencia al desgaste LA500

Característica	Muestra								
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
L ₅₀₀ , %	21	13	16	21	18	14	23	16	13
L ₅₀₀ , T°, %	10	13	15	20	17	15	22	16	13

Nota2: La muestra N10 no fue procesada.

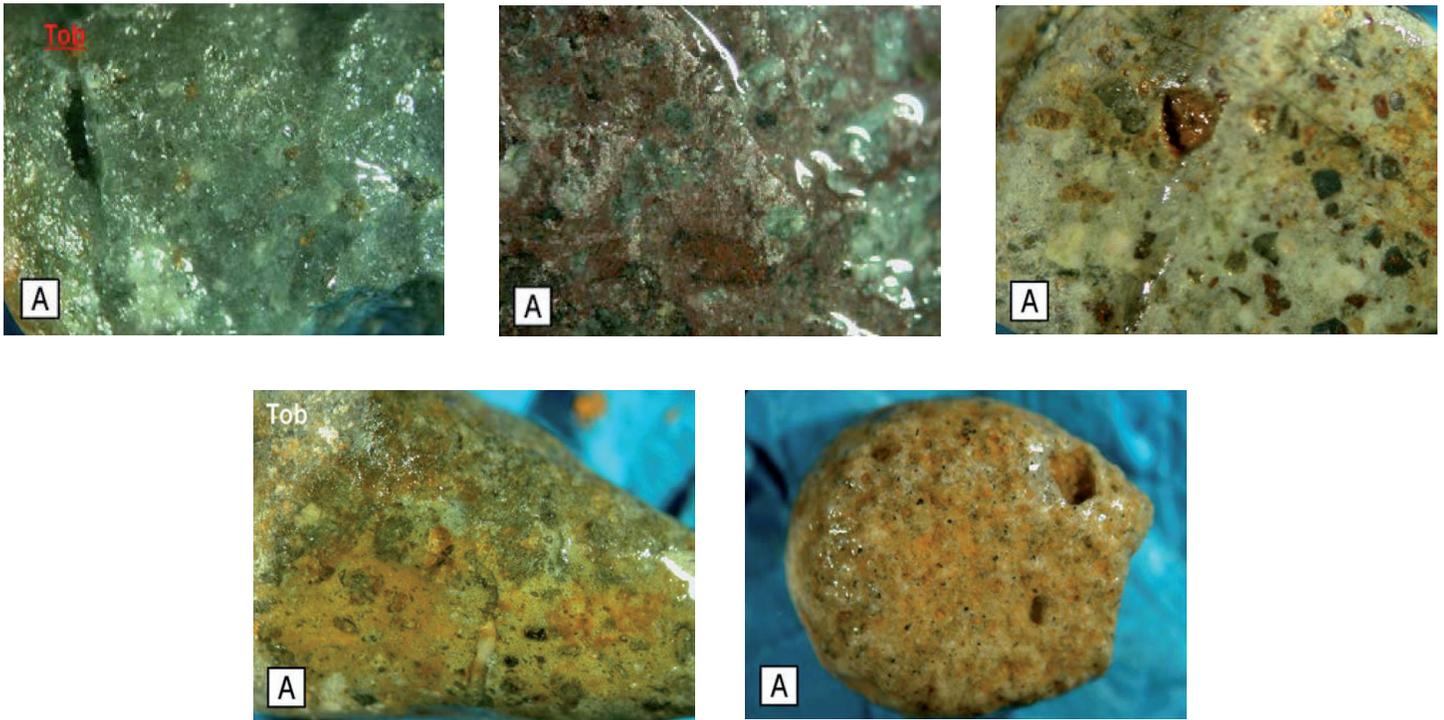


Figura 9. Las microfotografías de agregados del tipo toba de diferentes fuentes del estudio bajo el estéreo microscopio.

La única muestra, N1, que aumentó su resistencia al doble, después de someterla a la temperatura 150°C, es decir, dicha muestra requiere mayor cantidad de energía para deshidratarla ya que el proceso de deshidratación se realiza a menor velocidad y se puede atribuir a particularidades cristalográficas de la muestra.

La dispersión de resultados presentes en los análisis se debe al estado de los minerales de la misma naturaleza provenientes de diferentes fuentes. Las fotografías de agregados de tamaño T-No4, que pertenecen a toba fresca y alterada en diferente grado (de cinco (5) fuentes del estudio), se presentan en la figura 9.

Se nota la diferencia ya que en algunas muestras se destaca 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 de la figura 9, varían dependiendo de particularidades de su estado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las correlaciones obtenidas dan evidencia que la prueba de características de resistencia mecánica (microdeval) es correlacionable con la cantidad de MgO, como característica química de minerales.

Para los minerales estudiados se comprobaron las correlaciones entre propiedades de absorción y la resistencia de acuerdo con los mismos ensayos. Se confirmó, también, el aumento del peso específico de agregados minerales con la disminución de la absorción.

Se recomienda hacer la comparación de resultados de dos ensayos de LA500 (a 110°C y 150°C), para identificar la necesidad de aplicar mayor temperatura y lograr una deshidratación más completa, para obtener un material con mayor resistencia al impacto.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Cuelho, E., Mokwa, R., Obert, K. Comparative Analysis of Coarse Surfacing Aggregate Using Micro-Deval, L.A. Abrasion and Sodium Sulfate Soundness Tests [en línea]. Report FHWA/MT-06-016/8117-27, p.50, 2007. [fecha de consulta: 13 diciembre 2011].
Disponible en: http://www.mdt.mt.gov/other/research/external/docs/research_proj/coarse_aggregate/final_report.pdf
2. Manual LPC de ayuda en la formulación de mezclas bituminosas en caliente [en línea]. Bajo la dirección de Jean-Luc Delorme, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, p.176, 2005. [fecha de consulta: 13 diciembre 2011].
Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/69501781/Manual-LPC-de-formulacion-de-mezclas-bituminosas-en-caliente>
3. Neaylon, K. The PAFV test and road friction [en línea]. AAPA 13th International Flexible Pavements Conference, p.15, 2009. [fecha de consulta: 13 diciembre 2011].
Disponible en: http://aapa.asn.au/cms_files/Kym%20Neaylon%20-%20PAFV%20and%20Friction.pdf
4. Pétursson, P., Bjarnason, G., Woodward, D., Widajati, D. Comparison of basaltic aggregates from Iceland, West Java and Northern Ireland [en línea]. p.10, 2001. [fecha de consulta: 13 diciembre 2011].
Disponible en: [http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Peturson&Woodward/\\$file/Petursson&Woodward.pdf](http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Peturson&Woodward/$file/Petursson&Woodward.pdf)
5. Rangaraju, P.R., Edlinski, J. Comparative Evaluation of Micro-Deval Abrasion Test with Other Toughness/Abrasion Resistance and Soundness Tests. Journal of Materials in Civil Engineering, V. 20, (5) : 343- 351, 2008.
6. Sanjuán, J., Lopez, J., Hernandez, 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. [en línea]. Comunicación 14, ASEFMA, p. 151-158, 2010. [fecha de consulta: 13 diciembre 2011].
Disponible en: <http://www.proyctofenix.es/File/ViewLinkedFile.aspx?FileId=81897>
7. White, T.D., Haddock, J.E., Rismantojo, E. Aggregate Tests for Hot-Mix Asphalt Mixtures Used in Pavements [en línea]. NCHRP Report 557, p.48, 2006. [fecha de consulta: 13 diciembre 2011].
Disponible en: http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_557.pdf
8. Woodward, D., Woodside, A., Jellie, J. Clay in rocks [en línea]. SCI Lecture Papers Series, 2002, Society of Chemical Industry. [fecha de consulta: 13 diciembre 2011].
Disponible en: <http://www.soci.org/Publications/Lecture-Paper-Series.aspx>
9. Woodward, D., Woodside, A., Jellie, J. Higher PSV and other aggregate properties [en línea]. SCI Lecture Papers Series, 2004, Society of Chemical Industry. [fecha de consulta: 13 diciembre 2011].
Disponible en: <http://www.nzta.govt.nz/resources/surface-friction-conference-2005/8/docs/higher-psv-and-other-aggregate-properties.pdf>