

Coeficiente de Los Angeles y de Pulimento Acelerado de áridos ofíticos de Cantabria: interpretación petrofísica

Los Angeles Test and Polished Stone Value of ophite in Cantabria: a petrophysical interpretation

G. FERNÁNDEZ MAROTO (*), L. M. SUÁREZ DEL RÍO (**)

(*) Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada E.U.I.T. de Minas (Torrelavega). Universidad de Cantabria

(**) Departamento de Geología. Universidad de Oviedo

Persona de contacto/Corresponding author: fernandmg@unican.cs

Fecha de recepción: 18-VII-03

Fecha de aceptación: 21-XI-03

ESPAÑA

RESUMEN

A partir de la caracterización petrográfica de las ofitas de algunos afloramientos de Cantabria, se han identificado los parámetros petrográficos que explican, a través de modelos lineales de regresión, el comportamiento del árido de machaqueo obtenido de estas rocas frente a los ensayos de Coeficiente de desgaste de Los Angeles (CLA) y Coeficiente de Pulimento Acelerado (CPA). En el CLA son los minerales más abundantes y comunes en las ofitas los que condicionan el comportamiento de dicho árido. En el CPA, la existencia en proporción variable de minerales de dureza contrastada condiciona el desarrollo de una microrrugosidad que aumenta la resistencia al pulimento del árido.

SUMMARY

Crushed aggregate obtained from certain ophite outcrops in Cantabria was tested with the Los Angeles and polished stone value (PSV) procedures. Linear regression analysis was used to identify the petrographic parameters that account for aggregate performance in these two tests. The most abundant and common minerals in the ophite were observed to condition such performance in the Los Angeles method. In PSV behaviour was determined by the existence or otherwise of a rough microtexture -the result of the existence of minerals with different hardness values-, which increases aggregate resistance to polishing action.

PALABRAS CLAVE: árido, Coeficiente de Pulimento Acelerado, Coeficiente de Los Angeles, petrografía, propiedades físicas.

KEYWORDS: aggregate, Polished Stone Value, Los Angeles abrasion Test, petrography, physical properties.

1. INTRODUCCIÓN

La calidad del árido de machaqueo empleado en la capa de rodadura va a condicionar en gran medida tanto la durabilidad del firme de una carretera como su seguridad. La primera depende, además, de algunos factores extrínsecos (la cantidad, tipo y densidad de tráfico, el tipo de clima existente en la zona, la presencia de partículas actuando como abrasivo o el grado de humedad de la calzada) (1); pero sobre ella, además, influyen de manera notable los factores intrínsecos al pavimento, entre ellos las características

1. INTRODUCTION

The quality of the crushed aggregate used in the wearing course of carriageways largely determines both the durability and the safety of a road pavement. The former depends, moreover, on certain extrinsic factors (amount, type and density of traffic, the local climate, the presence of abrasive particles and surface moisture on the carriageway) (1); but it is likewise substantially affected by factors intrinsic to the surfacing, the characteristics of the aggregate itself among them, which are in turn related to the

propias del árido, relacionadas directamente con la petrografía de la roca origen del mismo, y el tipo y proporción de la mezcla bituminosa (2, 3).

Entre los ensayos más usados para determinar las cualidades de un árido para su utilización como capa de rodadura, base o subbase, están el Coeficiente de desgaste de Los Angeles (CLA) y el Coeficiente de Pulimento Acelerado (CPA).

2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

El estudio se ha realizado siguiendo la metodología de trabajo de la Petrofísica: por una parte, caracterizando petrográficamente los principales parámetros petrográficos de las ofitas estudiadas (mineralogía, textura y espacios vacíos) y, por otra, midiendo las propiedades físicas seleccionadas sobre el árido obtenido por machaqueo (en este caso, el Coeficiente de desgaste de Los Angeles y el Coeficiente de Pulimento Acelerado).

Las ofitas en Cantabria constituyen una importante reserva de rocas industriales y se encuentran distribuidas de norte a sur, encajadas en materiales del Triásico a modo de diques o sills (4). Se han agrupado los afloramientos en siete zonas y de ellas se han caracterizado los siguientes afloramientos: Peña Lucía (Zona de Laredo); Hermosa (Zona de Orejo-Solares); Sierra Caballar (Zona Centro); Pando y Portolin (Zona de Cueto Pando - Embalse de Alsa); La Población (Zona del Embalse del Ebro - La Población); Castrillo del Haya y Matarrepudio (Zona Sur).

La composición mineral de las ofitas estudiadas está formada en un 86% de media, por cuatro minerales mayoritarios: piroxenos (Px) y plagioclasas (Plg) sanos; piroxenos uralitizados ($Px_{(U)}$) y plagioclasas alteradas ($Plg_{(A)}$). El resto de la composición lo constituyen minerales presentes en bajas proporciones en todas ellas (opacos y olivino), así como minerales sólo apreciables en algunos de los afloramientos estudiados, tales como biotita (Hermosa y Sierra Caballar), epidota (Cueto Pando y Peña Lucía), calcita (Castrillo del Haya), cuarzo secundario (Sierra Caballar) o moscovita y talco (Matarrepudio), y que denominamos minoritarios (Tabla I).

La textura predominante en los afloramientos estudiados es la ofítica, con variaciones a subofítica y, ocasionalmente, textura porfídica con matriz intergranular. El tamaño de grano de los piroxenos así como la microfisuración (Tabla II) y el grado de alteración constituyen otras variables petrográficas que podrían afectar al comportamiento del árido ofítico frente a estos dos ensayos. El tamaño de grano de los

petrography of the original rock and the type and proportion of the coated macadam (2, 3).

The Los Angeles aggregate abrasion Test, used to find the Aggregate Abrasion Value (AAV), and the accelerated polishing test for determining the Polished Stone Value (PSV), are among the most commonly used procedures to define the fitness of aggregate for use in road construction, in wearing, base or subbase courses.

2. RESEARCH METHODOLOGY

The present study was conducted in accordance with petrophysical working methodology which involved, firstly, characterisation of the main petrographic parameters of the ophite studied (mineralogy, texture and voids) and secondly, measurement of certain selected physical properties of the crushed aggregate (in this case, via the Los Angeles abrasion and Polished Stone Value Tests.)

There are substantial reserves of industrial rock in the Spanish region known as Cantabria in the form of ophite, embedded as dykes or sills in Triassic materials distributed from North to South across the region (4). For the purposes of this study, these ophite reserves were grouped in seven areas, with samples taken and characterised from the following outcrops: Peña Lucía (Laredo area); Hermosa (Orejo-Solares area); Sierra Caballar (centre area); Pando and Portolin (Cueto Pando-Alsa reservoir); La Población (Ebro reservoir area-La Poblacion); Castrillo del Haya and Matarrepudio (south area).

Four main minerals comprise 86%, on average, of the mineral composition of the ophite sampled: sound pyroxenes (Px) and plagioclase (Plg), uralitised pyroxene ($Px_{(U)}$) and altered plagioclase ($Plg_{(A)}$). The remaining 14% consists of minerals found in small proportions in all the ophites (opaque minerals and olivine); minerals only detectable in some of the outcroppings studied, such as biotite (Hermosa and Sierra Caballar), epidote (Cueto, Pando and Peña Lucía), calcite (Castrillo del Haya), secondary quartz (sierra Caballar) or muscovite and talc (Matarrepudio), collectively termed "minority minerals" (Table I).

Ophitic textures predominate in the outcrops studied, although this varies to subophitic and occasionally porphyritic textures, the latter with intergranular groundmass. Pyroxene grain size and micro-cracking (Table II), along with the degree of alteration, constitute other petrographic variables that may affect

piroxenos se ha medido sobre láminas delgadas y microscopía óptica de polarización, utilizando procedimientos estereológicos (5). La microfisuración se ha evaluado estableciendo una Densidad de Microfisuración (expresada como el número de fisuras por milímetro) en observaciones mediante el

the performance of the ophite aggregates tested using these two procedures. Pyroxene grain size was measured on thin sections under a polarising optical microscope, using stereological procedures (5). Microcracking was assessed in terms of Microcracking Density (expressed as the number of cracks per

TABLA I/TABLE I

Composición mineral de las ofitas estudiadas.
Mineral composition of the studied ophites

Muestra/Sample (%)	Matarrepudio	Castrillo del Haya	La Población	Pando-Portolín	Sierra Caballar	Hermosa	Peña Lucía
Plagioclasa / <i>Plagioclase</i>	13,9	21,6	18,9	21,5	29,8	39,7	37,9
Piroxeno / <i>Pyroxene</i>	37,5	20,4	25,1	23,0	27,5	37,0	13,7
Olivino / <i>Olivine</i>	2,8	3,4	3,1	2,6	1,7	3,5	1,4
Opacos / <i>Opaque</i>	5,8	6,4	4,5	5,8	5,2	3,2	7,4
Anfíboles / <i>Amphibole</i>	3,5	0,7	3,1	3,3	2,1	1,7	4,2
Plagioclasas alteradas <i>Altered plagioclase</i>	23,2	25,1	35,1	26,7	24,0	5,7	11,8
Uralita / <i>Uralite</i>	9,3	16,4	7,4	14,1	7,3	6,9	6,9
Biotita / <i>Biotite</i>	0,0	0,0	0,0	0,5	1,5	1,5	0,0
Epidota / <i>Epidote</i>	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	2,9
Clorita / <i>Chlorite</i>	0,0	0,5	0,2	0,3	0,0	0,0	6,6
Feldespato / <i>Feldspar</i>	0,5	1,2	1,0	0,7	0,4	0,0	5,3
Cuarzo / <i>Quartz</i>	0,3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2
Calcita / <i>Calcite</i>	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Moscovita / <i>Moscovite</i>	1,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,6
Zeolita / <i>Zeolite</i>	1,1	0,1	0,6	0,5	0,1	0,0	0,0
Otros / <i>Others</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Serpentino cloríticos <i>Serpentine chlorite</i>	1,0	4,0	0,7	0,5	0,2	0,9	1,1

TABLA II/TABLE II

Resultados obtenidos en el estudio de la densidad de microfisuración y del tamaño de grano de los piroxenos. Datos agrupados según el tipo de textura
Obtained results in the study of the linear crack density and the pyroxene grain size. Data grouped by texture type

Textura / <i>Texture</i>	Porfídica con matriz intergranular <i>Porphyritic with intergranular groundmass</i>	Subofítica <i>Subophitic</i>	Ofítica <i>Ophitic</i>
Densidad Media de Micro-fisuración Intragranular (nº fisuras/mm) <i>Average intergranular microcracking density (n° cracks/mm)</i>	1,28	1,60	1,27
Densidad Media de Micro-fisuración Intergranular (nº fisuras/mm) <i>Average intergranular microcracking density (n° cracks/mm)</i>	1,41	2,06	1,29
Tamaño de los piroxenos (mm ²) <i>Pyroxene size</i>	0,05	2,10	3,03

microscopio electrónico de barrido. Más detalles sobre las características petrográficas de las ofitas estudiadas pueden consultarse en Fernández Maroto (2002) (4).

Si bien los valores obtenidos en el CLA (Tabla III) y CPA (Tabla IV) no presentan rangos amplios, la aplicación de modelos de regresión lineal que relacionen las variables petrográficas, expresadas en tanto por uno, con los comportamientos de los áridos en los ensayos, permite explicar los resultados obtenidos en los distintos afloramientos. En dichas Tablas se incluyen todos los de las muestras individuales ensayadas en cada afloramiento.

Los criterios establecidos para validar los modelos se fijan, para los valores de significancia (sig), en < 0.11 , y para el «coeficiente de determinación» (R^2), máximo.

3. ENSAYO DE COEFICIENTE DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES

Entre los ensayos recogidos en el PG-3 (6) para evaluar la resistencia de los áridos, el ensayo denominado

millimetre) as observed under a scanning electron microscope. Further details concerning the petrographic characteristics of the ophite sampled can be found in Fernández Maroto (2002))(4).

Even though the AAV (Table III) and PSV (Table IV) results did not range widely, linear regression models relating the petrographic variables to the performance of the aggregates in the tests allows could be employed to account for the results obtained for the samples from the various outcrops. The tables show the results for all the individual tests run in each outcrop, with no indication of average values.

The criteria established for identifying model validity were, for significance (sig) values, values of < 0.11 , and for the "determination coefficient" (R^2), the maximum value.

3. LOS ANGELES ABRASION VALUE TEST

The "Los Angeles Abrasion Test " is one of the procedures addressed in the Spanish Road Transport

TABLA III/TABLE III

Valores obtenidos en el ensayo del "Coeficiente de Desgaste de Los Angeles" (Granulometría B)
Obtained values in the Los Angeles Abrasion Value Test (Gran size B)

AFLORAMIENTO / OUTCROP	VALOR CLA / AAV VALUE
Matarrepudio	9,87-9,38-9,45-9,12
Castrillo del Haya	9,27-8,92-10,37-8,60
La Población	8,17-6,57-8,25
Pando	9,49-9,56-10,69-8,45
Portolín	8,93-9,21
Sierra Caballar	10,0-10,14-9,08-11,00-9,94-8,60-7,80
Hermosa	10,18-10,81
Peña Lucía	8,99

TABLA IV/TABLE IV

Valores obtenidos en el ensayo del "Coeficiente de Pulimento Acelerado"
Obtained values in the Polished Stone Value Test

AFLORAMIENTO / OUTCROP	VALOR DE CPA / PSV VALUE
Matarrepudio	0,49
Castrillo del Haya	0,52 - 0,49
La Población	0,46
Pando	0,48
Portolín	0,53
Sierra Caballar	0,49-0,48-0,48
Hermosa	0,48
Peña Lucía	0,56

“Coeficiente de Desgaste de Los Ángeles” es uno de los que mejor reflejan la calidad del árido y el mejor método de referencia para la determinación de la resistencia a la fragmentación de los mismos (7). Se realiza sobre cualquier árido natural o de machaqueo para determinar su resistencia al desgaste. Este ensayo valora el comportamiento del árido ante los efectos de la abrasión, fragmentación y desagregación por atrición (8,9); durante su realización, los áridos sufren una combinación de atrición e impacto, siendo probablemente éste último el más importante (10).

El objetivo final de este ensayo es valorar la resistencia al desgaste del árido antes de su puesta en obra, donde va a estar sometido a cargas repentinas por el tráfico de vehículos. Además de depender de su resistencia intrínseca, el Coeficiente de los Angeles varía con la forma de las partículas y con la granulometría del ensayo (11). Por eso está sujeto a factores extraños a los de su naturaleza petrográfica, tales como el sistema de trituración, que condicionará la existencia de partículas lajasas, más fáciles de fragmentar que las cúbicas (12).

En este trabajo se ha eliminado la influencia del factor «forma» al haber realizado una trituración primaria y otra secundaria del material, seleccionando el árido a ensayar a partir exclusivamente del obtenido de la trituración secundaria, con lo que se eliminan las lajas y agujas contenidas en el material de trituración primaria. También debe tenerse en cuenta que la roca utilizada para el machaqueo fue escogida para eliminar el factor meteorización. De esta manera los valores de CLA obtenidos son muy buenos y, comparados con los valores de este mismo ensayo realizado sobre materiales de cantera, resultan menores. Ello se debe al hecho de haber eliminado dos de los factores que más influyen en la pérdida de material en el ensayo de Los Angeles, consiguiendo aislar en los resultados los efectos de los factores mineralógicos y texturales.

En la resistencia al desgaste de una roca van a influir: la naturaleza de los minerales que la forman y la cohesión del esqueleto interno de la misma, que condiciona su resistencia a la fragmentación. Por tanto, su deterioro como consecuencia del efecto de impacto y abrasión que se origina durante el ensayo del Coeficiente de Los Angeles vendrá condicionado por ambos factores.

4. RESULTADOS PARA EL CLA

Los resultados obtenidos en el ensayo de Los Angeles presentan rangos de variación pequeños en los distintos afloramientos estudiados. El modelo de regresión que relaciona las propiedades petrográficas de las ofitas con los datos obtenidos en el ensayo, lo hace a partir de tres

DG's specifications known as "PG-3" (6) for the assessment of aggregate resistance to wear that best reflects aggregate quality; moreover, it is the benchmark test for determining aggregate resistance to fragmentation (7). It can be run on any natural or crushed aggregate to test for abrasion, fragmentation and degradation due to attrition (8,9). During the test, the aggregate is subjected to a combination of attrition and impact, although the latter most likely has a more substantial effect (10).

The ultimate aim of this analysis is to assess the resistance to wear of the aggregate before it is laid in road construction, where it must withstand the abrupt loads typical of vehicle traffic. The results of the Los Angeles Abrasion Test vary with particle shape and the grain size distribution of the aggregate tested, in addition to intrinsic aggregate resistance (11). Hence they are subject to factors other than the petrographic nature of the rock per se, such as the crushing method, which may or may not produce flat-faced particles, more readily breakable than cube-shaped product (12).

This "shape" effect was removed in the present exercise by performing both primary and secondary material crushing and selecting the aggregate to be analysed from the product of the second crushing phase only, thereby eliminating the flat and elongated particles in the material resulting from primary crushing. Furthermore, the weathering factor was likewise eliminated by careful selection of the rock crushed. Hence, the AAV values obtained were very good and observed to be lower than the values obtained when the same test was run on quarry material, as a result of having eliminated two of the major causes of material loss in the Los Angeles test. In other words, the results obtained in the tests are, exclusively, caused by the effects of mineralogical and textural properties.

The two main factors that affect a rock's abrasion resistance are the nature of the minerals comprising it and the cohesion of its internal skeleton, which determines its resistance to fragmentation. That is to say, aggregate deterioration caused by the impact and abrasion taking place during the Los Angeles Abrasion Test is a result of these two factors.

4. AAV RESULTS

The results obtained in the Los Angeles test varied only slightly in the different outcrops studied. The regression model that relates ophite petrographic properties to the results obtained in the test does so

variables: piroxenos (Px), plagioclasas (Plg) y piroxenos uralitizados (Px_{Ur}).

La aplicación del modelo de regresión se realiza sobre el conjunto total de las muestras ensayadas, obteniéndose un R² de 0,519 y significancias menores de 0,11 para los tres minerales utilizados como variables, especialmente la del piroxeno. La recta de regresión obtenida se ajusta a la siguiente expresión:

$$CLA/AAV = 5,666 + 7,106Px + 4,118Plg + 6,908Px_{Ur} \pm 0,73$$

La inclusión en el modelo de las plagioclasas alteradas o de factores texturales como el tamaño de los piroxenos, la microfisuración, o la porosidad aumenta escasamente el coeficiente de determinación (R²), elevándose de manera importante la significancia de las variables.

Existe una cierta correlación bilateral directa entre el contenido en piroxenos y el Coeficiente de Los Angeles, la cual se conserva cuando se analizan las muestras clasificadas por afloramientos, obteniéndose unas regresiones parciales similares y concordantes con el modelo general. Así, un alto contenido en piroxeno sin alterar aumenta el valor obtenido en el CLA, indicando un peor comportamiento.

Clasificadas las muestras por texturas, el modelo obtenido también explica el comportamiento del árido ofítico. Los valores más bajos de CLA corresponden a las muestras clasificadas como porfídicas con matriz intergranular, y los más altos a las ofíticas. Las texturas subofíticas presentan un comportamiento intermedio. Destaca una de las muestras del afloramiento de La Población, con el valor de CLA más bajo para todo el conjunto de muestras estudiadas. En esta muestra coinciden dos factores que influyen en el comportamiento del árido en el ensayo de Los Angeles: la textura porfídica intergranular y el bajo contenido de piroxenos.

En la Figura 1 se muestra la relación entre el contenido en piroxenos y el comportamiento del árido en el ensayo de CLA, agrupadas las ofitas de acuerdo con su textura.

5. COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO

Entre las propiedades que deberían perdurar en un firme está la resistencia al deslizamiento del neumático en contacto con la capa de rodadura, que, a su vez, está directamente relacionada con la calidad del árido. Éste debe presentar un elevado grado de rugosidad

on the basis of three variables: pyroxenes (Px), plagioclase (Plg) and uralitised pyroxenes (Px_{Ur}).

When the regression model was applied to the whole group of samples, the R² found came to 0.519 and significance of values under 0.11 were observed for the three minerals used as variables, in particular pyroxene. The regression line obtained is represented by the following expression:

The inclusion in the model of altered plagioclase or textural factors such as pyroxene size, microcracking or porosity increased the value of the determination coefficient (R²) only slightly, whilst variable significance rose substantially under these conditions.

A weak direct bilateral correlation was observed between pyroxene content and the Los Angeles Test results. A similar finding was observed when the samples were classified and analysed by outcrop, an exercise that yielded partial regressions concurrent with the general model. According to these results, high unaltered pyroxene content drove the AAV value upward, an indication of poorer performance.

When samples were classified by textures, the regression model found, pursuant to established criteria, also provided an explanation for ophite aggregate performance. The lowest AAV values were observed for the porphyritic samples with intergranular groundmass, and the highest for the aggregate with an ophitic texture. Samples with subophitic textures showed an intermediate level of performance. The sample with the lowest AAV figure of all the aggregate studied was taken from the La Población outcrop. Unsurprisingly, the two factors that account for good aggregate performance in the Los Angeles test, namely intergranular porphyritic texture and low pyroxene content, concurred in this sample.

Figure 1 shows the relationship between pyroxene content and aggregate behaviour in the AAV test for the three types of ophite texture.

5. POLISHED STONE VALUE

One of the properties sought in a pavement is long-lasting skid resistance (tyres, when in contact with the wearing course), which is directly related to aggregate quality. The initially rough surface of aggregate is gradually worn smooth over time, at a

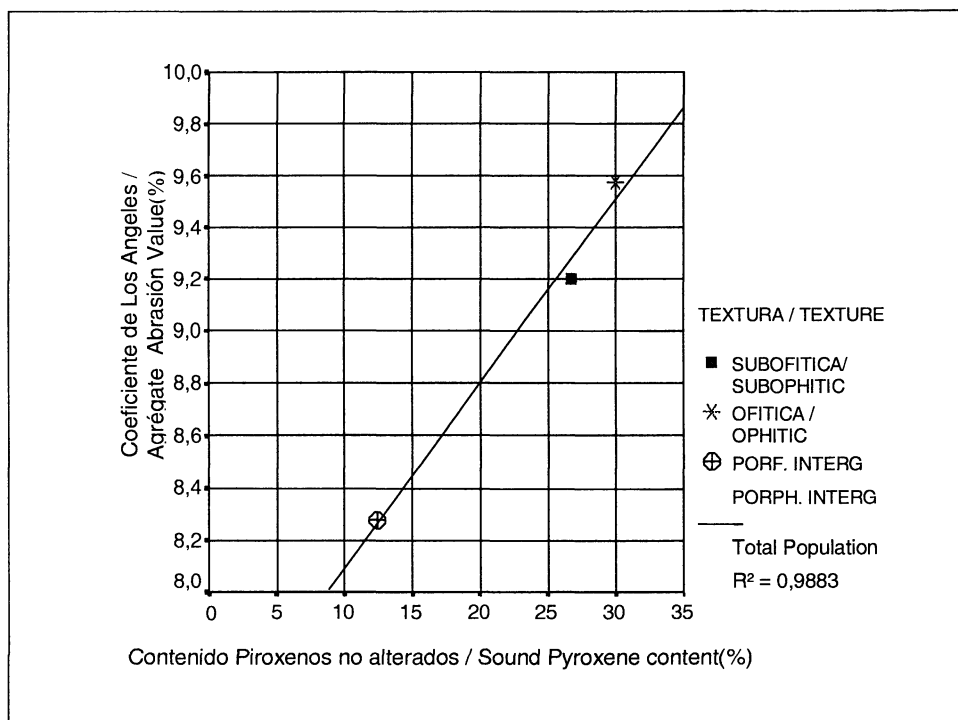


Figura 1.- Variación del CLA con el contenido en piroxenos no alterados. Muestras agrupadas por el tipo de textura.

Figure 1.- Variation of the AAV in relation to the non-altered pyroxene contents. Samples grouped by texture type.

superficial, que irá disminuyendo a lo largo del tiempo en función de su resistencia al pulimento y al desgaste textural como consecuencia de la acción directa del tráfico (pulido de la superficie). Este valor está directamente relacionado con el coeficiente físico de deslizamiento (13).

El ensayo del Coeficiente de Pulimento Acelerado (CPA) valora la resistencia al pulimento de un árido puesto en obra. La naturaleza petrográfica del árido que forma la capa de rodadura de la carretera constituye un factor importante para la determinación de la resistencia al deslizamiento de la misma (14). McLean y Shergold (15) idearon una máquina que consigue reproducir en el laboratorio el pulimento que experimentarán los áridos bajo la acción del tráfico. Según Salinas (16), la relación entre los datos obtenidos en este ensayo y el comportamiento real de los áridos en la capa de rodadura es satisfactoria.

Además de los factores extrínsecos citados anteriormente, el grado de pulido que admite un árido va a depender del tamaño de sus minerales constituyentes, así como de la disparidad de su dureza (10, 11, 17, 18, 19), lo que asegura la creación de superficies microrrugosas que conducen a un bajo grado de pulido del árido. Por el contrario, los materiales monominerales alcanzarán en general un alto grado de pulido.

rate that depends on its resistance to the-polishing action and abrasion of traffic (surface polishing). And such resistance, in turn, is directly related to the skid coefficient (13).

The polished stone value (PSV) gives a measure of aggregate resistance to polishing when set in place in a pavement. The petrographic nature of the aggregate used to form the road surface is important in determining its skid-resistance (14). McLean and Shergold (15) designed a machine that can reproduce the polishing effect of vehicle tyres on aggregates in the laboratory. Salinas (16) sustains that the relationship between the data obtained in this test and aggregate performance under real conditions on a road surface is satisfactory.

In addition to the above extrinsic factors, the polishing action that can be withstood by an aggregate depends on the size of the constituent minerals and the existence of a wide range of hardness values (10,11,17,18,19); the resulting rough microtexture ensures high aggregate resistance to polishing. In keeping with this premise, single mineral materials generally show poorer performance in terms of resistance to polishing action.

El número de muestras en este ensayo se ha reducido a 12, entre las que se encuentran representados todos los afloramientos.

6. RESULTADOS PARA EL CPA

El modelo de regresión, con significancias menores de 0,11 y el máximo coeficiente de determinación, es aquél que toma como variables cuatro fases minerales: piroxenos (Px), plagioclasas (Plg), piroxenos uralitizados (Px_{Ur}) y plagioclasas alteradas (Plg_{Al}). Estas variables inciden en el comportamiento del árido en este ensayo de forma negativa, debido a que su incremento supone una mayor susceptibilidad del árido al pulido.

La expresión que corresponde al modelo de regresión para el CPA es la siguiente:

$$CPA/PSV = 0,778 - 0,334Px - 0,308Plg - 0,385Plg_{Al} - 0,268Px_{Ur} \pm 0,0195$$

El proceso de uralitización que afecta a los piroxenos, debido a su escasa variabilidad en las muestras estudiadas, ofrece los valores de significancia más altos de todo el grupo de variables.

La falta de heterogeneidad en la roca favorece el pulimento de la misma (17), por lo que es, en cierta medida, la proporción de minerales minoritarios la que condiciona el aumento de la resistencia al pulido de las ofitas estudiadas, creando la rugosidad necesaria en el árido, por contraste con el resto de minerales de diferente dureza (20).

La muestra que presenta los mayores valores de CPA, calculado y real, es la del afloramiento de Peña Lucía, donde el contenido en minerales minoritarios es del 29,7%, muy superior al resto de las muestras.

El extremo opuesto es una muestra de La Población, en la que el valor de CPA está muy por debajo del calculado por el modelo. Ello se debe a que esta muestra, que contiene un 14,3% de minerales minoritarios, presenta un tamaño de grano muy fino, factor éste que influye en el comportamiento de un árido en este ensayo (14).

El tipo de textura no parece tener una influencia decisiva en el resultado de este ensayo. Los valores extremos de CPA (mayor y menor) se presentan en rocas con texturas porfídicas con matriz intergranular y contenidos variables de minerales minoritarios.

Las rocas subofíticas presentan, en cambio, valores más altos que los calculados por el modelo, lo que se debe a las variables texturales no integradas en la regresión,

All seven outcrops were represented in the twelve samples tested using this procedure.

6. PSV RESULTS

The regression model obtained applying the lower than 0.11 significance value and maximum determination coefficient criteria was the one in which the variables defined were four mineral phases, namely pyroxenes (Px), plagioclases (Plg), uralitised pyroxenes and altered plagioclases (Px_{Ur} and Plg_{Al}). These variables proved to have an adverse effect on aggregate performance in this test, since any increase in the values entailed higher aggregate susceptibility to polishing.

The expression for the PSV regression model found was:

As the uralitisation altering the pyroxenes varied only slightly in the samples studied, the highest significance values were obtained for this variable.

The lack of compositional diversity makes the rock more sensitive to polishing (17), from which it may be deduced that, to some extent, it is the proportion of minority minerals that determines ophite resistance to polishing in the samples studied; ultimately, the presence of such minerals and the differences in hardness it entails create the rough surface texture needed for higher aggregate resistance to wear (20).

The sample with the highest calculated and real PSV values was the one containing aggregate taken from the Peña Lucía outcrop, where the minority mineral content reached 29.7%, much higher than in any of the other samples.

The opposite extreme was found in a sample taken from La Población, whose PSV value was much lower than calculated by the model. This was due to the fact that this sample, with a minority mineral content of 14.3%, had a very fine grain size, a factor that affects aggregate performance in this test (14).

Type of texture, however, did not seem to influence the outcome. The extreme (highest and lowest) PSV values were both found in rocks with porphyritic textures with intergranular groundmass and variable minority mineral content.

The rocks with a subophitic texture had higher values than calculated by the model, due to textural variables such as microcracking and porosity (quantification of

tales como la microfisuración y la porosidad (como cuantificación del volumen de espacios vacíos, las cuales no cumplen con el criterio de significancia). En el estudio petrográfico son las muestras subofíticas las que tienen los valores más altos de densidad de microfisuración y de porosidad, factores que influyen aumentando la resistencia al pulido (19).

Las muestras con textura ofítica se ajustan mal al modelo, presentando, en conjunto, el peor comportamiento en el ensayo de CPA. Se trata de un grupo de muestras con valores semejantes, dentro de un rango pequeño, que corresponden, en gran medida, a las muestras de Sierra Caballar, caracterizadas por tener bajos contenidos en minerales minoritarios (Figura 2).

7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El árido, de machaqueo, obtenido de las ofitas de Cantabria presenta muy buenos resultados, tanto al ensayo de Coeficiente de desgaste de Los Angeles (6,57-11,0) como al Coeficiente de Pulimento Acelerado (0,46-0,56).

De las relaciones obtenidas entre la petrografía de estas rocas y el comportamiento del árido de machaqueo frente al ensayo de CLA, se obtiene que su desgaste

the void volume), which did not meet the significance criteria for inclusion in the model and were therefore not considered in regression analysis. In the petrographic study, the highest microcracking density and porosity values - factors that heighten resistance to polishing - were found for the subophitic samples (19).

The samples with ophitic textures fit the model poorly, showing, as a whole, the worst PSV test results. This group of samples, primarily from Sierra Caballar, had values that varied very little and were characterised by their low minority mineral content (Figure 2).

7. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The aggregate resulting from crushing Cantabrian ophite performed well in both the Los Angeles Abrasion Value (6.57-11.0) and Polished Stone Value Tests (0.46-0.56).

It may be deduced from the relationship between the petrography of these rocks and the performance of the crushed aggregate in the AAV test that aggregate wear

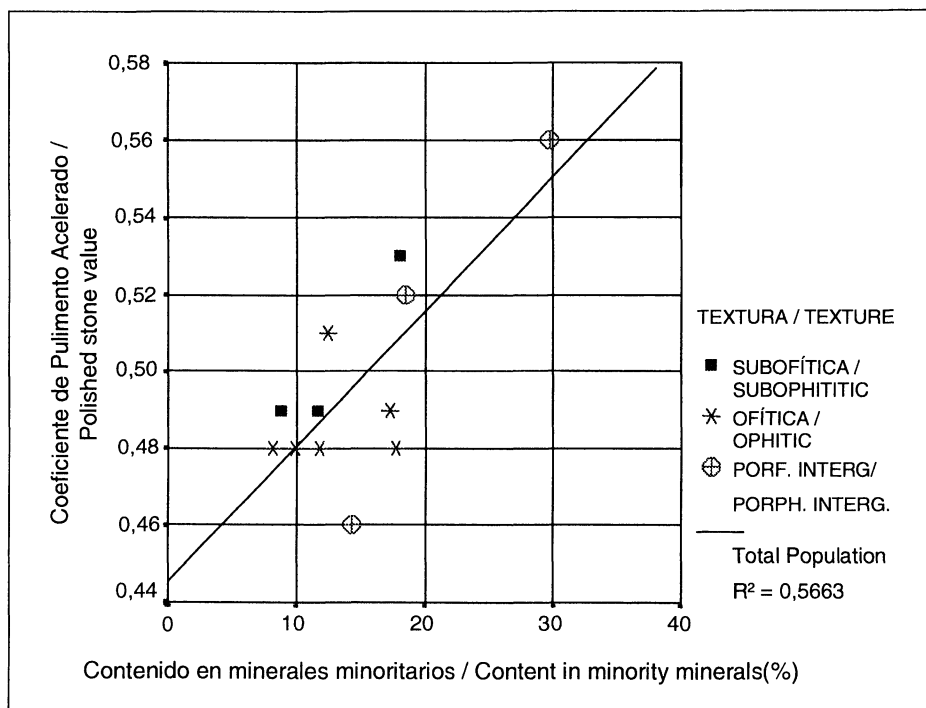


Figura 2.- Influencia del contenido en minerales minoritarios en el CPA. Muestras clasificadas según el tipo de textura.

Figure 2.- Influence of the minority minerals contents on the PSV. Samples clasified by the texture type.

está influenciado por la existencia de dos componentes minerales sin alteración: piroxenos y plagioclasas. Se observa que la existencia de contenidos altos en piroxenos origina valores de desgaste altos y, aunque éste es el componente mineral mayoritario de mayor dureza, también es el más frágil y, por tanto, el más susceptible a la elevada acción de desgaste por efecto de impacto producida durante el ensayo. Por otra parte, la microfisuración estudiada en estas rocas está esencialmente relacionada con los piroxenos, lo que, a su vez y junto con la exfoliación tan bien desarrollada que presentan estos minerales, favorece finalmente la fragmentación.

Las muestras con tamaño de grano fino y textura porfídica con matriz intergranular presentan, sin embargo, un mejor comportamiento en el ensayo de desgaste de Los Angeles. En ellas se dan dos factores que influyen positivamente en el comportamiento del árido: bajos contenidos en piroxenos y grano fino.

En el ensayo de Coeficiente de Pulimento Acelerado, las variaciones composicionales de la muestra influyen en el comportamiento del árido ofítico. Así, se demuestra que la existencia de proporciones elevadas de minerales de dureza contrastada originan irregularidades en la textura superficial de la muestra que favorecen su resistencia al pulimento; es el caso de los materiales del afloramiento de Peña Lucía que, con un CPA de 0,56, tienen el mejor comportamiento. En el otro extremo, una muestra de La Población, con menor contenido en minerales minoritarios, da el peor comportamiento.

En estos dos casos extremos, se trata de muestras con texturas porfídicas y matriz intergranular, lo que no parece indicar que la existencia de un tipo u otro de textura pueda tomarse como un factor que condicione el comportamiento del árido. Sin embargo son, en general, las muestras con textura ofítica las que presentan valores más bajos de CPA, mientras que las subofíticas los dan mayores, en los ensayos, a los calculados según el modelo de regresión lineal, debido a la influencia positiva en la resistencia al pulido de una microfisuración y porosidad más alta en las rocas con este tipo de texturas.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) J. Alonso Rodríguez: *Susceptibilidad al pulimento de áridos de carretera de naturaleza calcárea: condicionantes petrográficos*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Geología. Universidad de Oviedo (1978). 123 pp.
- (2) J.L. Salinas, A. Ubach y M. Montoto: *Establecimiento de correlaciones prácticas entre las características petrográficas de las rocas para carreteras y las propiedades de sus áridos*. Boletín de Información del Lab. de Transporte y Mecánica del Suelo, nº 129 (1978), pp. 31-47.
- (3) F. Carmona Guillén: *La relación entre la petrografía de los áridos y su comportamiento en carretera bajo el tráfico*. Carreteras, nº 108, mayo-junio (2000), pp.107-108
- (4) G. Fernández Maroto: *Comportamiento como árido para pavimento de las ofitas de Cantabria*. 512 pp. (2002). Tesis Doctoral. Facultad de Geología. Universidad de Oviedo.

is affected by the existence of two unaltered mineral components: pyroxenes and plagioclases. High pyroxene content is associated with high abrasion values; although pyroxene is the hardest of the majority minerals, it is also the most fragile and, therefore, the most susceptible to the abrasive action caused by the impact component of this test. Moreover, the microcracking studied in these rocks is essentially associated with the pyroxenes which, along with the highly developed cleavage characteristic of these minerals, may ultimately enhance fragmentation.

The samples with fine grain size, porphyritic texture and intergranular groundmass, on the contrary, perform best in the Los Angeles abrasion test. Two properties of such rocks enhance aggregate performance: low pyroxene content and fine grain.

Compositional variations in samples have a bearing on ophitic aggregate performance in the Polished Stone Value Test. Large proportions of minerals with different degrees of hardness are shown to occasion irregularities in the surface texture of the sample, a development which in turn increases aggregate resistance to polishing action. Hence, the best performance was recorded for the outcropping sample taken from Peña Lucía, with a PSV of 0.56. The poorest performance in this regard, in turn, was observed in a sample from La Población, where the minority mineral content is lower.

The fact that both the best and worst performing samples have porphyritic textures with intergranular groundmass would appear to infer that texture has little or no effect on aggregate performance. Nonetheless, generally speaking, the samples with ophitic textures are the ones with the lowest PSV values, whereas the subophitic samples show higher test values than calculated by linear regression. This is due to the beneficial effect, in terms of resistance to polishing action, of the higher microcracking density and porosity that goes hand-in-hand with the latter type of texture.

- (5) B. Menéndez Villar: *Cuantificación de componentes petrográficos mediante técnicas de microscopía y estereología*. (1992). Tesis Doctoral. Facultad de Geología. Universidad de Oviedo.
- (6) Dirección General de Carreteras: *Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes*. PG-3. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (2001), Madrid, 570 pp.
- (7) R. Fernández Aller: *Normalización europea: Los Áridos*. Rocas y Minerales, octubre 1998, pp. 42-50.
- (8) G. Chevassu: *Influence des caractéristiques pétrographiques de quelques roches sur leur résistance à l'attrition*. Bull. L. Lab., Rov., 39 (1969), pp. 65-72.
- (9) J. L. Salinas Rodríguez: *El pulimento y el desgaste de Los Angeles en las areniscas utilizadas como áridos para carreteras*. Comunicación del XXIX Congreso Luso-Español. Asoc. Portuguesa para el progreso de las ciencias (1970). Tomo II, pp. 59-73. Lisboa.
- (10) M. R. Smith y L. Collis: *Aggregates: Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes*. The Geological Society (1993). London. Versión española: L. Suárez y M. Regueiro (1994). ICOG, Madrid, 435 pp.
- (11) J. L. Salinas Rodríguez: *Influencia mineralógico-textural en el pulimento de los áridos calizos*. Boletín de Información del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo (1969), nº 72, pp. 41-73.
- (12) F. Achútegui: *Áridos*. Jornadas Nacionales de Firmes Flexibles. Oviedo (1986), pp. 23-66.
- (13) A. Ubach Calvo: *El pulimento de los áridos*. Bol. Inf. del Laboratorio del Transporte y Mecánica del suelo, nº 58 (1976), pp. 51-82.
- (14) J. L. Salinas Rodríguez: *El deslizamiento en la carretera y su problemática*. Bol. Inf. Lab. de (quitar espacio) Transporte y Mecánica del suelo, nº 115 (1976), pp. 37-52.
- (15) D. J. McLean y F. A. Shergold: *The polishing of roadstone in relation to the resistance to skidding of bituminous road surfacings*. Road Research Technical Paper nº 43 (1958), 30 pp.
- (16) J. L. Salinas Rodríguez: *La susceptibilidad al pulimento de los áridos silíceo*. Boletín de Información del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo (1970), nº 79, pp. 23-32.
- (17) J. L. Salinas Rodríguez: *Estudio del comportamiento de las rocas eruptivas frente al ensayo de pulimento acelerado*. Boletín de Información del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, nº 91 (1972), pp. 26-41.
- (18) D. Fourmaintraux: *Interprétation mineralogique de la résistance au polissage de roches*. First Int. Congress of the Int. Ass. of Eng. Geology, 1, Paris, (1970) pp. 344-355.
- (19) J. Alonso y M. Montoto: *Pulimento de áridos carbonatados en capas de rodadura. Parte I: Parámetros petrográficos*. Boletín Geológico y Minero. T XCIII-III. (1982) pp. 254-260.
- (20) A. Hartley: *A review of the geological factors influencing the mechanical properties of road surface aggregates*. Q. J. Engng. Geol. Vol. 7 (1974), pp. 69-100.

* * *

BIBLIOTECA DEL IETCC

RECURSOS DE INFORMACIÓN PARA EL ÁREA DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN

La Biblioteca del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (<http://www.ietcc.csic.es/biblioteca.html>) creada desde la fundación del Instituto en el año 1952, está integrada dentro de la red de bibliotecas del CSIC (<http://www.csic.es/cbic/cbic.htm>). Es una biblioteca de investigación especializada en temas de ingeniería, arquitectura, construcción, ciencias de los materiales, normativa, etc. Su fondo bibliográfico está formado por más de 19.000 volúmenes y 684 títulos de revistas nacionales y extranjeras, disponible dentro de los Catálogos Informatizados de las Bibliotecas del CSIC (<http://sauco.csic.es:4505/ALEPH>). Integra también este fondo la colección de "*Monografías del Instituto Eduardo Torroja*" con 400 títulos publicados y un fondo especializado de folletos, cartillas y manuales que recogen trabajos de investigación especializados en el área de la ingeniería, arquitectura y construcción.

Su sala cuenta con 10 puestos de lectura y dispone de 3 ordenadores para consulta de bases de datos, catálogos, revistas electrónicas y recursos de información científica en Internet

La biblioteca ofrece sus servicios de información a la comunidad científica española y profesionales del área de la ingeniería, arquitectura y construcción.

Servicios de referencia e información bibliográfica:

Acceso a la información electrónica:

Catálogos CIRBIC: (<http://www.csic.es/cbic/acceso.htm>)
Bases de Datos de la Red de CD-ROM del CSIC
Revistas Electrónicas

Acceso a la información especializada disponible en Internet:

Servicio de búsquedas bibliográficas:

Este servicio facilita la obtención de referencias bibliográficas sobre cualquier tema de interés para el usuario.

Servicio de suministro de documentos:

Obtención de Documentos:

Búsqueda y suministro de artículos, libros, normas, manuales, etc. Además del envío de documentos por medios convencionales (correo, fax, etc.) la biblioteca del Instituto dispone de un servicio de envío de documentos por correo electrónico.

Para más información sobre los servicios y tarifas de los mismos:

imendoza@ietcc.csic

Bib_Torroja@bib.csic.es

<http://www.ietcc.csic.es/biblioteca.html>