

# Usos y aprovechamientos de los materiales carbonatados carboníferos de la vertiente meridional de la Cordillera Cantábrica

LORETO RODRÍGUEZ BOUZO (\*); MIGUEL TORRES ALONSO (\*)

**RESUMEN** Se han realizado una serie de ensayos y análisis sobre las rocas carbonatadas de edad carbonífera que afloran en el área de Pajares-Villamanín, con el fin de determinar las características que van a condicionar su utilización y así poder evaluar el uso más apropiado en cada caso. Los ensayos realizados están en relación con el cálculo de los porcentajes máximos que pueden presentar en sustancias agresivas (materia orgánica, sulfatos solubles, etc.), su composición y el porcentaje de pérdida que sufren frente a determinados ensayos de alterabilidad y desgaste.

## USE AND EXPLOITATION OF CARBONATED CARBONIFEROUS ROCKS FROM CANTABRIAN MOUNTAIN

**ABSTRACT** Carbonated carboniferous rocks from Pajares-Villamanín zone had been tested. The aim of this study has been to know all properties which controlled their use and exploitation. The test realised were: contents of organics material and water soluble sulphate, petrographic studies and weathering and wear test.

**Palabras clave:** Rocas carbonatadas; Usos; Petrografía; Análisis químicos; Alterabilidad; Desgaste.

## INTRODUCCIÓN

En el área comprendida entre Villamanín y Pajares, existe un importante volumen de rocas carbonatadas carboníferas, las cuales son seccionadas por las obras de infraestructura que comunican Asturias con el interior del país, tanto por las ya existentes como por las que se realicen en un futuro. Una obra de este tipo genera gran cantidad de material que ha de ser almacenado en escombreras o bien utilizado, ya sea en la propia obra o en otros sectores. Debido a ello y a que en la zona han existido y existen canteras en explotación (en la cantera de Carrozal se explotan las formaciones Alba y Barcaliente, y en la cantera de Baleas se explotan las formaciones Barcaliente y Valdeteja), parece conveniente conocer las características de estos materiales que pueden condicionar su utilización y proceder a la búsqueda de los usos más adecuados.

Desde el punto de vista de la utilidad que aportan para las obras de ingeniería civil, los materiales carbonatados están considerados como unos de los más importantes; debido principalmente al gran volumen que se consume, tanto en su aplicación directa en la construcción, como por su uso a modo de materia prima en procesos industriales.

En ocasiones, su amplia demanda está limitada por la influencia de factores económicos, como es el coste del transporte desde la explotación al lugar de utilización, y por las

estrictas especificaciones que tiene que cumplir, en relación con las distintas modalidades de aprovechamiento. Estas especificaciones se polarizan, sobre todo, en los porcentajes máximos que pueden presentar en sustancias agresivas (materia orgánica, sulfatos solubles, etc.), en su composición y en el porcentaje de pérdida que sufren frente a determinados ensayos de alterabilidad y desgaste.

Con esta finalidad se ha procedido al estudio de una serie de materiales de naturaleza carbonatada, localizados en la vertiente meridional de la Cordillera Cantábrica. A partir de los resultados obtenidos se valorarán las condiciones de explotabilidad y aprovechamiento de los mismos.

## MATERIALES ESTUDIADOS

Los materiales estudiados se corresponden con las formaciones carbonatadas, de edad carbonífera, localizadas en la zona de Pajares-Villamanín. Cuyas características más importantes son las siguientes:

**Fm. Alba.** constituida por caliza tableada de tonos rojizos (griotte), micrítica, con abundantes laminaciones y restos fósiles y que en algunos tramos es muy nodulosa.

**Fm. Barcaliente.** calizas y dolomías secundarias, tableadas y de tonalidad variable entre gris y amarillenta, de micríticas a esparíticas. Presentan abundancia de estilolitos y laminaciones.

**Fm. Valdeteja.** calizas y dolomías secundarias de carácter masivo, de tonos amarillentos a grisáceos, de microesparíticas a esparíticas y con un alto grado de recristalización. En algunos tramos se evidencia la existencia de estratificación.

(\*) Dpto. de Explotación y Prospección de Minas. Universidad de Oviedo.

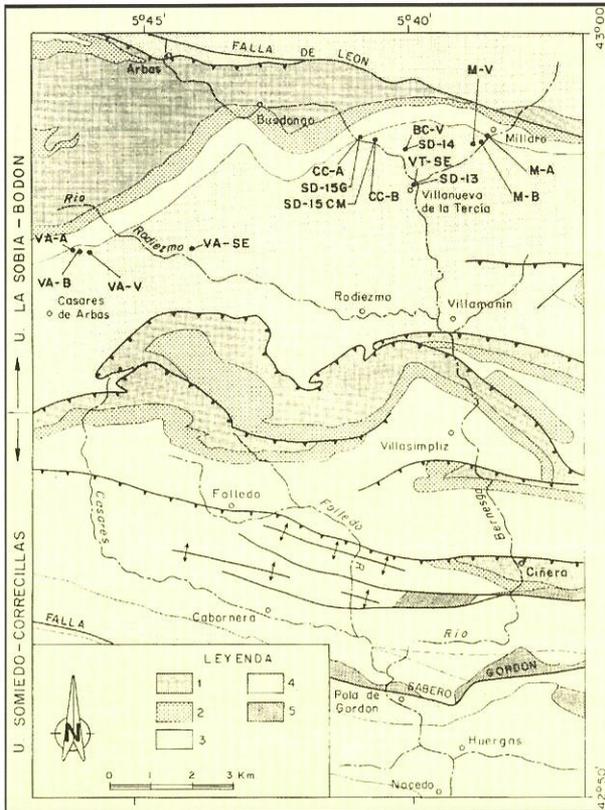


FIGURA 1. Esquema geológico del área estudiada con la localización de las estaciones. 1. Cámbrico, 2. Ordovícico, 3. Silúrico y Devónico, 4. Carbonífero, 5. Estefaniense. A. Fm. Alba, Alba, B. Fm. Barcaliente, V. Fm. Valdeteja, SE. Fm. San Emiliano, CC. Cantera de Carrozal, BC. Balneario de Caldas de Villanueva, M. Millaró, VT. Villanueva de la Tercia, VA. Viadangos de Arbas.

**Fm. San Emiliano.** En esta formación eminentemente pizarrosa, se encuentra intercalado un nivel de calizas y dolomías secundarias, de tipo microesparítico a esparítico y con coloraciones de amarillentas a grisáceas, que en ocasiones están muy recristalizadas. A pesar de que se presenta como un nivel predominantemente masivo, en algunos tramos se puede evidenciar la existencia de una marcada estratificación.

Las muestras estudiadas procedieron de bloques recogidos en el campo y de testigos de sondeos de reconocimiento, procedentes de una campaña de sondeos realizada por RENFE para el estudio de la variante del ferrocarril entre La Robla y Pola de Lena. La correspondencia entre los sondeos y las formaciones es como sigue: SD-15G para la Fm. Alba (A), SD-15CM para la Fm. Barcaliente (B), SD-14 para la Fm. Valdeteja (V) y SD-13 para la Fm. San Emiliano (SE). Las estaciones en las que se ha procedido a la toma de muestras son: La Cantera de Carrozal (CC), el Balneario de Caldas de Villanueva (BC), Villanueva de la Tercia (VT), las proximidades de Millaró (M) y Viadangos de Arbas (VA). Su localización puntual queda recogida en el esquema geológico (Fig. 1).

Se han tomado muestras representativas en los afloramientos prototípicos y de testigos de sondeos y en todas aquellas áreas en las que, por cambios de color, textura, o cualquier otra característica de la roca, podrían predecirse

cambios de su litología; sobre todo teniendo en cuenta que en toda esta zona los materiales carbonatados están sometidos a una fuerte dolomitización secundaria de distribución muy irregular (Rodríguez Bouzo, 1993).

### ESTUDIO PETROGRÁFICO

Se ha analizado la composición cuantitativa y cualitativa de la muestra mediante dos tipos de estudios, la difracción de RX y el estudio petrográfico de láminas delgadas teñidas según la tinción de Dickson; contabilizando entre ambos un total de 132 análisis. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1.

En cuando a la mineralogía los resultados permiten precisar que la composición de las muestras es poco variada; como minerales principales siempre aparecen calcita y dolomita, según se trate de zonas afectadas o no por los procesos de dolomitización. La existencia de esta dolomitización y su gran extensión, puede suponer un inconveniente para el aprovechamiento de estos materiales, pues aunque calizas y dolomías tienen amplios sectores de uso, estos no siempre coinciden, pudiendo darse el caso de que se fijen límites, tanto máximos como mínimos, en el contenido de magnesio.

En una proporción muy baja (minerales traza) se ha detectado la presencia de cuarzo y, en las muestras de la Fm. Alba además se han encontrado pequeñísimos porcentajes de minerales arcillosos y óxidos de hierro.

En cuanto a la petrografía, el tamaño de los cristales depende de la mineralogía. En las muestras calcáreas predominan las texturas micríticas y microesparíticas y en las muestras dolomíticas las esparíticas (doloesparíticas) que presentan además un aspecto muy recristalizado. La Fm. Alba es a la que se asocian las texturas más finas, así como una mayor abundancia de restos fósiles (Rodríguez Bouzo y Torres Alonso, 1995).

### ANÁLISIS QUÍMICOS

#### CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA

Uno de los aprovechamientos más importantes de las rocas carbonatadas es su uso como áridos, especialmente en la fabricación de hormigón, el cual puede verse limitado por un alto contenido de materia orgánica. Su presencia es muy negativa, ya que afecta a la adherencia entre la pasta de cemento y el árido, ataca el cemento (Soriano Carrillo, 1986, 1988; Alonso Ramírez, 1988), e influye también en los fenómenos de hidratación del cemento, retardando el fraguado y reduciendo las resistencias mecánicas.

Para el cálculo de la materia orgánica se ha seleccionado el método de oxidación con dicromato potásico, según la norma del Road Research Laboratory (1963). La elección de éste método frente a otros se debió a su mayor exactitud ya que no sólo indica presencia de materia orgánica sino que también la cuantifica, proporcionando el valor de su contenido total en las muestras, incluyendo tanto la petrificada en forma de carbono como la debida a restos de organismos, por lo que el porcentaje obtenido va a ser siempre el máximo posible.

Se han ensayado 71 muestras y sobre cada una de ellas se han realizado dos determinaciones, un resumen de los resultados obtenidos, expresados en valores porcentuales medios para cada estación, se recogen en la Tabla 1. El conjunto de las muestras presentan contenidos muy bajos.

Hay que señalar que al analizar los testigos de sondeos —en ninguno de los casos— se han observado variaciones significativas de materia orgánica con el aumento de profundidad.

FORMACIÓN	LOCALIDAD	PETROGRAFÍA (%)					ANÁLISIS QUÍMICOS		ESTAB. NaSO <sub>4</sub> (%)	LOS ANGELES D <sub>500</sub>	SLAKE DURABILITY				
		CALCITA	DOLOMITA	CUARZO	ARCILLA	CLASIFICACIÓN	% M. ORGÁNICA	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>			Id (1)	Id (2)	Id (3)	Id (4)	Id (5)
SAN EMILIANO	Viadangos de Arbas	<1-3	95-99	1	0	Doloesparita Ca. Cr.	0,078	No	4,08	26,40	99,69	99,48	99,31	99,17	99,04
		98		2	0	Micrita fosilífera	0,037	No							
	SD-13	0-4	95-100	0-21	0	Doloesparita Ca. Cr.	0,074	No		99,73	99,54	99,54	99,35	99,18	99,03
	Villanueva de la Tercia			97-100	0-3	0	Doloesparita Ca. Cr.	0,119	No	0,67	27,79	99,70	99,53	99,31	99,19
95		2	3	0	Microesparita con fósiles	0,268	No								
VALDETEJA	Viadangos de Arbas		98	2	0	Doloesparita Ca. Cr.	0,172	No	2,79	23,66	99,68	99,53	99,40	99,24	99,16
			99-100	<1	0	Doloesparita Ca. Cr.	0,038	No							
	Millaró	98		2	0	—	0,189	No	3,05	25,8	99,78	99,61	99,50	99,37	99,25
		SD-14	0-9	90-98	1-2	0<1	Doloesparita Ca. Cr.	0,119							
	Balneario de Caldas de Villanueva	0-5	94-99	1	0	Doloesparita Ca. Cr.	0,191	No	3,5	22,41	99,55	99,32	99,18	99,02	98,88
87		?	?	0	—	0,192	No								
BARCALIENTE	Viadangos de Arbas	98		2	0	Biopelmicrita	0,135	No	1,24	24,57	99,69	99,52	99,34	99,18	99,12
	Millaró	0-15	84-99	1	0	Doloesparita Ca. Cr.	0,074	No	1,91	34,87	99,64	99,48	99,33	99,18	99,08
	SD-15CM	0-4	91,98	1-4	0<1	Doloesparita Ca. Cr.	0,383	No		16,41	99,73	99,58	99,47	99,34	99,26
	Cantera de Carrozal	1	97	1	0	Doloesparita Ca. Cr.	0,130	No	5,94	18,82	99,71	99,56	99,40	99,31	99,21
90-95		2	2	0	Micrita con fósiles	0,095	No								
ALBA	Viadangos de Arbas	96		2	<1	Biomicrita bioclásica	0,007	No	5,05	26,01	99,63	99,38	99,15	98,99	98,86
	Millaró	94-97	0-3	2-3	0-1	Micrita con fósiles	0,086	No	2,17	26,94	99,71	99,50	99,38	99,23	99,12
	SD-15G	76-93		5-19	1-4	Micrita con fósiles	0,068	No		22,65	99,72	99,60	99,42	99,24	99,10
	Cantera de Carrozal	96		3	1	Micrita con fósiles	0,178	No	5,02	22,85	99,64	99,44	99,26	99,10	98,95

NOTA: Ca. Cr. = Carbonato cristalino

TABLA 1.

**SULFATOS SOLUBLES**

Se ha analizado la presencia de sulfatos solubles por los graves problemas que pueden surgir cuando los materiales que los contienen son utilizados como áridos para la fabricación de hormigones, ya que provocan su desintegración (Soriano Carrillo, 1986; Alonso Ramírez, 1988).

El procedimiento seguido para su análisis se ha basado en detectar primero su presencia mediante la norma N.L.T.-119/72 y, en caso positivo, proceder a su cuantificación con la norma N.L.T.-120/72.

Sobre cada una de las 71 muestras ensayadas, se realizaron dos determinaciones. Un resumen de los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 1. En todos los casos, resultó negativa la presencia de sulfatos.

**ENSAYOS DE ALTERABILIDAD Y DESGASTE**

Este tipo de ensayos valoran el comportamiento y la resistencia de los materiales frente a las distintas condiciones agresivas —tanto de alterabilidad como de abrasión— a las que se verán sometidos. Aspecto interesante, por que los en-

sayos de resistencia puntual no valoran con eficacia el comportamiento del material como árido (Salinas Rodríguez, 1988), cuya morfología es muy diferente a la de las probetas utilizadas en la realización de los ensayos mecánicos.

Con ellos se pretenden reproducir, de manera acelerada, las condiciones degradantes a las que estará sometido el árido y que condicionarán su durabilidad al provocar cambios, sobre todo en su granulometría, reflejados como pérdidas en peso de las distintas fracciones.

Dentro de este grupo de ensayos se han seleccionado tres. El primero proporciona información acerca de la alterabilidad de los materiales (Estabilidad frente a la acción del sulfato sódico (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), el segundo sobre su resistencia a la abrasión (Ensayo de desgaste Los Angeles), por último, un tercero que combina las dos opciones (Slake Durability Test).

Todos ellos se han realizado sobre muestras trituradas, en forma de árido, representativas de los distintos afloramientos.

**ESTABILIDAD FRENTE A LA ACCIÓN DEL SULFATO SÓDICO**

El ensayo se basa en la valoración de la degradación que produce la cristalización de sales sobre los materiales y pre-

tende reflejar, de manera comparativa, la acción desintegradora de los agentes atmosféricos sobre dichos materiales (Ubach Calvo y Salinas Rodríguez, 1971).

Durante la ejecución del ensayo se siguieron las recomendaciones de la norma N/T.-158/72. La sal utilizada fue una solución saturada de sulfato sódico ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) decahidratado, ya que es el tipo de sal más utilizada (Alonso *et al.*, 1987). Para cada formación muestreada se realizó un ensayo en cada una de las estaciones, bajo la modalidad de árido grueso.

Se sometieron las muestras a cinco ciclos de inmersión y secado, durante los cuales se mantenían sumergidas 10 horas. Este tiempo es inferior al prescrito por la norma, que fija una inmersión de 16 horas, pero esta diferencia no tiene importancia a efectos de la alteración, ya que en numerosos estudios (Price, 1978; Cuttano *et al.*, 1981) se ha demostrado que la mayor alteración se produce durante las primeras horas de inmersión, no apreciándose variaciones significativas en el deterioro con el aumento del tiempo de la misma.

En la Tabla 1 se muestran los porcentajes de pérdida. El valor más alto (5,94%) se obtuvo para la Fm. Barcaliente, seguida de la Fm. Alba, con pérdidas similares. Las mayores pérdidas se asociaron a la presencia de un abundante número de laminaciones, que actúan como zonas preferentes de debilidad de la roca y son aprovechadas por la acción destructiva de las sales.

**ENSAYO DE LOS ÁNGELES**

Es el más utilizado de los ensayos de desgaste, proporciona un índice de la resistencia a la abrasión de los áridos. Mide la resistencia de los materiales frente a la acción de cargas extremas, conjuntamente con el efecto producido por el choque entre las propias partículas.

Durante su ejecución se siguieron las recomendaciones de la norma NLT-149/72, seleccionando la granulometría de ensayo tipo A. La única diferencia con la norma consistió en que en lugar de emplear el tamiz de 1,6 mm para evaluar la pérdida se empleó el de 1,5 mm; esto va a suponer un error despreciable, ya que la diferencia de tamaño es tan pequeña que unido al poco material retenido entre dicho tamiz y el de 2 mm y a la gran cantidad de muestra ensayada —sobre la que se calculan los porcentajes—; las diferencias en el coeficiente apenas serán apreciables.

Se realizaron un total de 16 ensayos distribuidos entre las cuatro formaciones. Los resultados se recogen en la Tabla 1 (para la Fm. Barcaliente en la Cantera de Carrozal se recoge el valor medio de los dos ensayos realizados). Los desgastes están expresados en porcentaje (%) del peso inicial.

De la observación de los resultados se deduce que tanto los más elevados como los más bajos pertenecen a distintas estaciones de muestreo de la Fm. Barcaliente, presentando las otras formaciones valores intermedios, los más abundantes de los cuales se encuentran en torno al 22-26%.

**ENSAYO DE DURABILIDAD (SLAKE DURABILITY TEST)**

Este ensayo fue descrito por Franklin y Chandra (1972) con el fin de conocer la resistencia a la disgregación o tendencia a meteriorizarse de los materiales cuando son expuestos a las condiciones atmosféricas. Permite determinar el desgaste o alteración que sufren los materiales tras ser sometidos a ciclos sucesivos de humedad y secado con agitación, combinando así la alteración derivada del contacto con el agua, y del secado posterior, con el desgaste sufrido al chocar los fragmentos entre sí. Es muy utilizado para conocer la sensibilidad al gua que presentan los materiales que serán

utilizados en la construcción de pedraplenes, pudiendo condicionar, en algunos casos, el espesor de las tongadas (Dapena García, 1988).

Para la realización del ensayo se siguió la norma A.S.T.M. D 4644-87. Se realizaron cinco ciclos, al término de los cuales se calcula un índice de durabilidad, que viene dado por la relación entre el peso final de la muestra y el inicial, expresado en términos porcentuales.

$$I_d = \frac{W_f}{W_i} \cdot 100$$

donde:

$I_d$  = índice de durabilidad

$W_f$  = peso de la muestra al finalizar los ciclos

$W_i$  = peso inicial de la muestra (antes del primer ciclo)

De todos los índices el más importante es el correspondiente al segundo ciclo, que es el “índice de Slake Durability” ( $I_d(2)$ ). Se realizaron los cinco ciclos para obtener una visión de la tendencia al desgaste en base al número de ciclos.

Se han realizado un total de 18 ensayos para los cuales se utilizó agua corriente, a temperatura ambiente y con un pH de 7,5, y se observó la variación del pH.

Para cada formación se aplica, según los valores obtenidos, la clasificación establecida por Gamble (1971) en función del porcentaje retenido, dividiéndolo en rangos y asignando a cada uno de ellos un grado (Tabla 2).

GRADO	% RETENIDO
Muy alto	>98
Alto	98-95
Medio alto	95-85
Medio	85-60
Bajo	60-30
Muy bajo	<30

TABLA 2.

Los resultados de los ensayos se recogen en la Tabla 1, donde se muestra para cada ensayo el desgaste que corresponde a cada uno de los ciclos,  $I_d(i)$ . Para las litologías de las que se dispone de más de un ensayo se refleja el valor medio.

Si se clasifican estos materiales en función de lo establecido por Gamble (1971), se deduce que -a todos ellos- les corresponden grados muy altos, lo que implica desgastes muy bajos. El índice se conserva aún muy alto en el quinto ciclo para todas las muestras, correspondiendo a las Fms. Barcaliente y Valdejeja las dispersiones más bajas y más altas, respectivamente.

La alteración tiende a mantenerse bastante constante con el número de ciclos, observándose una ligera disminución del desgaste a partir del segundo o tercer ciclo. Estas variaciones quedan muy bien reflejadas en el caso más extremo que se ha encontrado, correspondiente a la Fm. Valdejeja (Balneario de Caldas de Villanueva).

El pH del agua tras los ciclos presenta un ligero aumento, del orden de 0,1-0,25, este aumento de alcalinidad es

ESPECIFICACIÓN	USOS Y APROVECHAMIENTOS								
	ÁRIDO								ROCA ORNAMENTAL
	HORMIGÓN	LIGANTE BITUMINOSO			BASE CARRETERAS		SUBBASE GRANULAR	BALASTO	
FLUIDOS Y VISCOSOS		MEZCLA CALIENTE	MEZCLA FRÍO	MACADAM	GRAVA- CEMENTO				
Terrones de arcilla	<0,25%	—	—	—	—	<2%	—	—	—
Partículas blandas	≤5%	—	—	—	—	—	—	—	—
Contenido en SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<1,2%	—	—	—	—	—	—	—	—
Materia orgánica	<patrón	—	—	—	—	<0,05% a. tánico	—	—	—
Absorción de agua	≤5%	—	—	—	—	—	—	—	<2-3%
Resistencia al desgaste	≤40%	<40	<30 (1) <25 (2)	<35 (1) <30 (2)	<35%	<40% (IGME) <35 (3) <30 (4)	<50%	<30% <35%	—
Pérdida de peso en ciclos de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	≤12%	<16	<12	<12	<16%	<16%	—	<10%	—
Resistencia a compresión	—	—	—	—	—	—	—	—	>400 kg/cm <sup>2</sup>

NOTA: (1) Capas de regulación. (2) Capas de rodadura. (3) Tráfico ligero. (4) Tráfico pesado y medio.

TABLA 3.

lógico si se tiene en cuenta que todas las muestras son carbonatadas, y por lo tanto aportan un carácter básico.

### USOS Y APROVECHAMIENTOS

Las rocas carbonatadas tienen gran número de usos y aprovechamientos en un amplio abanico de sectores, que abarcan desde su empleo en la construcción a la industria, tanto metalúrgica como química, y la agricultura. De todos ellos, es en la construcción donde alcanzan el mayor consumo, especialmente como árido.

En la Tabla 3 se recoge el valor de las especificaciones más frecuentes para los usos más habituales. Por lo que se refiere al porcentaje de terrones de arcillas y partículas blandas, todas las muestras proceden de materiales rocosos con durezas altas y el porcentaje de arcillas detectado es únicamente a nivel de traza en algunas de las muestras. En cuanto a la resistencia a compresión simple y a la absorción, todas las formaciones se encuentran ampliamente dentro de los límites fijados por las especificaciones (Rodríguez Bouzo, 1993). En función de todo esto y de los resultados de los ensayos se ha hecho una valoración de los usos y aprovechamiento de estos materiales, cuyo resumen se refleja en la Tabla 4.

Al elaborar esta valoración se tuvo también en cuenta la presencia de discontinuidades de los macizos rocosos, como pueden ser la presencia de una marcada estratificación, que dificulta el aprovechamiento de los materiales como grandes bloques para escollera, o la presencia de diaclasación que dificulta el tallado de losas en el caso de su empleo como roca ornamental (Rodríguez Bouzo, 1993)

De la valoración de la Tabla 4, se desprende que las cuatro formaciones podrían utilizarse de manera óptima en prácticamente la totalidad de los usos, con algunas excepciones relacionadas, además del condicionamiento estructural del macizo rocoso, con los resultados del ensayo de Los Ángeles que —en ocasiones— es lo suficientemente alto como para llegar a ser restrictivo.

En otros casos la adecuabilidad del material va a estar en función de los contenidos de magnesio, calcio y sílice.

### CONCLUSIONES

- Un aspecto importante a tener en cuenta es el contenido de magnesio (MgO), el cual va a influir notablemente condicionando la utilidad de todos los materiales excepto la Fm. Alba, ya que al ser formaciones que, aunque originalmente eran calcáreas, se vieron sometidas a un proceso de dolomitización de distribución irregular, lo que provoca que en zonas adyacentes de un mismo afloramiento puedan encontrarse calizas y dolomías cuya separación o diferenciación con fines prácticos no sería viable ni rentable.
- Dado al bajo contenido en materia orgánica de las muestras analizadas, no es de esperar que estos materiales presenten los problemas de tipo constructivo que origina su presencia.
- La no existencia de sulfatos solubles implica que estas rocas podrán ser utilizadas sin ningún tipo de restricción en la fabricación de hormigón.
- Para todas las muestras las pérdidas obtenidas frente a la acción de las sales son bajas, bastante menores al límite del 10%, máximo de pérdida que permiten las especificación más estrictas, por lo que la acción de las sales sobre las muestras no va a ocasionar ningún tipo de restricción en su utilización como materia prima.
- Los valores del desgaste, aunque menores al 35% máximo que precisan las especificaciones en la mayor parte de los casos, va a limitar la utilización de estos materiales. Tal es el caso de su empleo con mezclas bituminosas, para los cuales se requieren desgastes menores al 25 y 30%, según el uso.
- Uno de los usos más importantes es como balasto para ferrocarriles, para el que únicamente serían problemáticos

FORMACIÓN	LOCALIDAD	USOS Y APROVECHAMIENTOS												
		ÁRIDO								ROCA ORNAMENTAL	ESCOLLERA	MATERIA PRIMA		
		HORMIGÓN	LIGANTE BITUMINOSO		BASE CARRETERAS		SUBBASE GRANULAR	BALASTO	FUNDENTE			CEMENTO		
FLUIDOS Y VISCOSOS	MEZCLA CALIENTE		MEZCLA FRIO	MACADAM	GRAVA-CEMENTO									
SAN EMILIANO	Viadangos de Arbas	●	●	1 ● 2 ▼	●	●	●	●	●	●	▲	●	●	▲
	Villanueva de la Tercia	●	●	1 ▲ 2 ▼	1 ● 2 ■	●	●	●	●	■	▲	●	●	▲
VALDETEJA	Viadangos de Arbas	●	●	1 ● 2 ■	●	●	●	●	●	●	▲	●	●	▲
	Millaró	●	●	1 ● 2 ▲	●	●	●	●	●	●	▲	●	●	▲
	Balneario de Caldas	●	●	1 ● 2 ▼	●	●	●	●	●	●	▲	●	●	▲
BARCALIENTE	Viadangos de Arbas	●	●	1 ● 2 ■	●	●	●	●	●	●	■	▼	●	▲
	Millaró	●	●	▼	1 ▲ 2 ▼	▲	3 ▲ 4 ▼	●	▼	■	▼	●	●	▲
	Cantera de Carrozal	●	●	●	●	●	●	●	●	■	▼	●	●	▲
ALBA	Viadangos de Arbas	●	●	1 ● 2 ▼	●	●	●	●	●	●	●	▼	●	■
	Millaró	●	●	1 ● 2 ▼	●	●	●	●	●	●	●	▼	●	■
	Cantera de Carrozal	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	▼	●	■

NOTA: ●. Optimo; ■. Adecuado; ▲. Deficiente; ▼. Inadecuado; 1. Base de regularización; 2. Capa de rodadura; 3. Tráfico ligero; 4. Tráfico pesado.

TABLA 4.

los resultados del coeficiente de Los Ángeles, que asigna propiedades inadecuadas a la Fm. Barcaliente en Millaró.

- Son interesantes las buenas propiedades que presentan estas rocas como fundente, principalmente en la industria metalúrgica. El inconveniente en este caso lo presentan los elevados costes del transporte desde la zona de extracción a las grandes empresas de consumo.

**BIBLIOGRAFÍA**

ALONSO RAMÍREZ, J.L. (1988): "Los ensayos químicos de áridos y su significado". *Curso sobre áridos para la obra pública. Gabinete de Formación y Documentación, MOPU-CEDEX*, Madrid. 22 pp.

ALONSO RODRÍGUEZ, F. J.; ORDAZ, J.; VALDEÓN, L.; ESBERT, R.M. (1987): "Revisión crítica del ensayo de cristalización de sales". *Materiales de Construcción*, Vol. 37, N° 206, Abril-Junio. 53-56.

CUTTANO, M.; MASATRONARDI, P.; ROSSI.MANARESI, R. (1981): "Alveolar weathering of the "tuff" of Matera mechanism of deterioration and effectiveness of preservation treatments", *The Conservation of Stone II, R. Rossi-Manaresi (Ed), Proc. Of the Int. Symp.*, Bologna. 355-377.

DAPENA GARCÍA, E. (1988): "Áridos para pedraplenes". *Curso sobre áridos para la obra pública. Gabinete de Formación y Documentación. MOPU-CEDEX*. Madrid.

FRANKLIN, J. A.; CHANDRA, R. (1972): "The Slake Durability Test". *Intul. J. Rock Mechanics and Mining Sciences (Reunión Internac. De Mecánica de Rocas y Ciencias de la Minería)* V.9,325-341.

GAMBLE, J. C. (1971): "Durability-plasticity classification of shales and other agrillaceous rocks". *Ph. D. Thesis, University of Illinois*.

PRICE, C.A. (1978): "The use of the sodium sulphate crystallisation

test for determinig the weathering resistance of untreated stone". *Proc. Int. Symp. on Deterioration and Protection of Stone Monuments*. París, 3.6, 23 pp.

ROAD RESEARCH LABORATORY (1963): "Mecánica del suelo para ingenieros de carreteras y aeropuertos". *Departament of Scientific and Industrial Research. Ed. Centro bibliográfico, CEDEX*, Madrid. 659 pp.

RODRÍGUEZ BOUZO, L. F. (1993): "Caracterización geomecánica de materiales carbonatados del Carbonífero en la zona de Pajares-Villamanán". Tesis doctoral, Universidad de Oviedo, 1993. (Inedita).

RODRÍGUEZ BOUZO, L. F.; TORRES ALONSO, M. (1995): "Estudio de la abrasividad de los materiales carbonatados carboníferos de la vertiente meridional de la cordillera Cantábrica (zona de Pajares-Villamanán)". *Ingeniería Civil, CEDEX*, n° 99, pp, 81-87, Madrid.

SALINAS RODRÍGUEZ, J. L. (1988): "Caracterización de áridos para carreteras". *Curso sobre Aridos para la Obra Pública. Gabinete de Formación y Documentación. MOPU-CEDEX*. Madrid, 22 pp.

SORIANO CARRILLO, J. (1986): "Reacciones de interacción entre el árido y el cemento". *Curso sobre Materias Primas para la Obra Pública. Gabinete de Formación y Documentación. MOPU-CEDEX*. Madrid.

SORIANO CARRILLO, J. (1988): "Los áridos y la durabilidad del hormigón". *Curso sobre los Aridos para la Obra Pública. Gabinete de Formación y Documentación. MOPU-CEDEX*. Madrid.

UBACH CALVO, A.; SALINAS RODRÍGUEZ, J. L. (1971): "Estudio del comportamiento de los materiales pétreos frente a los ensayos normalizados para su valoración como áridos para carreteras". *Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica. Madrid-Lisboa*, E-5-22, Tomo 5. 219.237.