

Granitos empleados en Ávila - España

Granites employed in Ávila - Spain

Fecha de recepción: 22-III-94

I.- Composición química de las distintas variedades

I.- Chemical composition of the different types

J. GARCIA-TALEGÓN, A.C. IÑIGO, M.A. VICENTE
IRNA-CSIC. Salamanca

M. VARGAS, J.L. PÉREZ-RODRÍGUEZ
ICM-CSIC. Sevilla

E. MOLINA
Dpto.de Geología, Universidad de Salamanca

RESUMEN

Se estudia la composición química de los distintos tipos de granito empleados en la Catedral y otros edificios de interés histórico-artístico de Ávila.

Las diferencias entre las distintas facies estudiadas (granito gris, ocre y piedra sangrante), se justifica por su diferente composición mineralógica, producto de las profundas paleoalteraciones ocurridas en el Zócalo Hercínico Ibérico.

Las diferencias químicas entre la piedra de cantera y las muestras tomadas de distintas partes del monumento son debidas a los procesos de alteración ocurridos en el mismo, entre los que destaca la precipitación de sales en zonas con humedad e influencia de los morteros alcalinos en las variedades ricas en ópalo.

ABSTRACT

The chemical composition of the different types of granite employed in the Cathedral and buildings of historic and artistic interest in Avila (Spain) is studied.

The differences among the various facies studied (grey, ochre and bloodstone granites) are explained in terms of their different mineralogical composition, a result of the profound paleoweathering that occurred in the Iberian Hercynian Basement.

The chemical differences between quarry stone and the samples taken from different parts of the buildings are due to weathering processes that occurred on the buildings. Among these, the precipitation of salts in humid zones and the effect of alkaline mortar on the varieties rich in opal are striking.

INTRODUCCIÓN

En la construcción y sucesivas restauraciones de la mayoría de los edificios de interés histórico-artístico de Ávila se han utilizado diversos tipos de granito, procedentes de canteras próximas a la ciudad.

INTRODUCTION

In the construction and successive restoration of most buildings of historic and artistic interest in Avila different types of granite have been used. These granites come from quarries close to the city.

Un estudio de los distintos edificios y sobre todo del grupo catedralicio, muestra la existencia de tres tipos de granito bien diferenciadas, aunque dentro de los mismos aparecen diversos subtipos: "granito gris", con distintas granulometrías, "granito ocre" y "granito rojo y blanco", conocido en la ciudad como "piedra sangrante".

Cada una de estos tipos aparece en los distintos niveles de alteración del Zócalo Hercínico (1), y presentan propiedades petrofísicas diferenciadas (2, 3).

En el Grupo Catedralicio han sido utilizados unos u otros según las distintas épocas de construcción y restauraciones, resistencia y características decorativas de los mismos. En las restauraciones se ha empleado granito "Gris Ávila" (grano fino y grueso.), resistente al deterioro, de forma casi generalizada. Esto ha dado lugar a una mezcla de los distintos tipos en el edificio, poco afortunada desde el punto de vista estético. El grado de alteración que presentan, indicativo de la labilidad de cada uno frente a los agentes de deterioro, es notablemente distinto.

En el presente trabajo se realiza un estudio sistemático de las características químicas de cada tipo, relacionándolo con su origen y especies mineralógicas de que está compuesto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha realizado el muestreo de bloques en el yacimiento "La Colilla" (Reserva Natural del Estado) y de los sillares que forman las paredes, columnas y cruceros del Claustro de la Catedral de Ávila. En la cantera se estudian cinco tipos de roca que se sitúan en tres niveles:

- Nivel inferior: granito sano "Gris Ávila", de grano grueso (GG) y de grano fino (GF). Aparecen en bolos y en diques.
- Nivel medio: granito ocre (O). Presenta una potencia de 10m.
- Nivel superior: granito rojo (R), y granito blanco (B). Aparece en la cumbre de la cantera, con un espesor de 1m. Muestra variaciones de color. Para su estudio hemos separado las partes rojas y las blancas.

En el monumento se tomaron muestras de los cinco tipos, en zonas con alto grado de deterioro, en columnas, cruceros y paredes, fundamentalmente en la parte sur.

Los análisis químicos de los elementos mayores y traza se han realizado empleando la Fluorescencia de Rayos-

Study of the different buildings, in particular the Cathedral complex, reveals the existence of three well differentiated types of granite, although among them three different subtypes appear: "grey granite", with different grain sizes; "ochre granite" and "red and white granite", known in the city as "bloodstone".

Each type appears in the different weathering levels of the Hercynian Basement (1) and displays differentiated petrophysical properties (2, 3).

In the Cathedral complex, use has been made of one type or another depending on the different periods of construction and reconstruction, resistance and their decorative characteristics. In restorations, granite of the "Avila Grey" type has been used, owing to its almost generalized resistance to deterioration. This has given rise to a mixture of types throughout the complex which from the aesthetic point of view is not very attractive. The degree of weathering displayed by the buildings, indicative of the susceptibility of each to weathering agents, differs considerably.

The present work offers a systematic study of the chemical characteristics of each type of granite, relating these with its origin and the mineralogical species forming it.

MATERIALS AND METHODS

Block sampling was carried out at "La Colilla" deposit (State Nature Reserve) and on samples from the masonry forming the walls, columns and transepts of the Cloisters of the Cathedral of Avila. In the quarry, five types of rock situated at three levels were studied:

- *Lower level: "Avila Grey" granite; coarse grain (GG) and fine grain (GF). These appear in corestones and in dykes.*
- *Middle level: Ochre granite (O), with a thickness of 10 m.*
- *Upper level: Red (R) and white (B) granite. These appear at the top of the quarry, with a thickness of 1 m. There are variations in colour. For their study, the red and white parts were separated.*

In the Cathedral, five types of sample were collected in zones with a high degree of deterioration, in columns, transepts and walls, mainly from the south face.

Chemical analyses for the major and trace elements were performed employing X-ray fluorescence

X (SIEMENS RS-200) y la Absorción Atómica (VARIAN AA-1475). La composición mineralógica fue tomada de trabajos anteriores de los autores (1, 2, 3).

(SIEMENS RS-200) and Atomic Absorption (VARIAN AA-1475). Mineralogical composition was taken of previous work carried out by the authors (1, 2, 3).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla I aparecen los porcentajes medios de los elementos mayores que componen los materiales de cantera en la columna izquierda (C), y los procedentes de muestras de distintas zonas de la Catedral en la derecha (M). En la tabla II se presentan los elementos menores correspondientes a las mismas muestras.

RESULTS AND DISCUSSION

Table I shows the mean percentages of major elements composing the materials: from the quarry in the left column (C) and those of samples from different parts of the cathedral at the right (M). Table II shows trace elements percentages.

Tabla 1.

	GF		GG		O		B		R	
	C	M	C	M	C	M	C	M	C	M
SiO ₂	72.400	68.800	66.600	68.800	69.600	69.000	73.600	63.300	73.200	63.100
Al ₂ O ₃	14.000	14.700	16.100	14.700	14.100	16.100	15.200	21.000	13.800	19.000
Fe ₂ O ₃	1.800	4.000	3.700	4.000	5.700	3.300	0.900	3.700	3.100	4.000
CaO	0.600	2.600	3.400	2.600	0.100	0.500	0.100	0.100	0.040	0.300
MgO	0.400	1.100	1.200	1.100	0.100	0.200	0.100	0.200	0.100	0.200
Na ₂ O	2.500	2.800	3.100	2.800	0.100	0.500	0.100	0.400	0.200	0.800
K ₂ O	5.600	3.700	3.700	3.700	0.100	0.200	0.200	0.200	0.200	0.300
SO ₃	0.030	0.087	0.085	0.087	0.070	0.053	0.070	0.105	0.044	0.207
TiO ₂	0.310	0.420	0.530	0.420	0.440	0.530	0.470	0.660	0.410	0.500
MnO	0.030	0.065	0.060	0.650	0.010	0.010	0.080	0.010	0.010	0.020
P ₂ O ₅	0.350	0.133	0.260	0.133	0.205	0.147	0.095	0.195	0.150	0.047

Composición química (%) de los elementos mayores de las cinco variedades de rocas en cantera (C) y monumento (M): Granito gris fino (GF), Granito gris grueso (GG), Granito ocre (O), Granito blanco (B) y Granito rojo (R).

Chemical composition (%) of mayor elements of the five types of rocks in quarry (C) and monument (M): Fine grey granite (GF), Coarse grey granite (GG), Ochre Granite (O), White granite (B) and Red Granite (R).

Tabla 2.

	GF		GG		O		B		R	
	C	M	C	M	C	M	C	M	C	M
Ba	0.032	0.043	0.040	0.043	0.026	0.029	0.020	0.099	0.014	0.017
Cl	0.007	0.043	0.016	0.043	0.006	0.172	0.006	0.039	0.006	0.323
Cr	0.018	0.043	0.022	0.035	0.012	0.008	0.013	0.031	4.660	0.036
Cu	0.005	0.008	0.005	0.008	0.005	0.005	0.006	0.006	1.004	0.006
Ga	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
La	0.002	0.003	0.001	0.003	0.008	0.007	0.006	0.003	0.003	0.006
Nb	0.006	0.006	0.001	0.006	0.004	0.005	0.006	0.005	0.006	0.006
Pb	0.003	0.002	0.003	0.002	0.005	0.004	0.009	0.019	0.008	0.004
Rb	0.026	0.008	0.013	0.008	0.002	0.008	0.003	0.000	0.001	0.002
Sn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.003	0.014	0.004	0.006	0.004
Sr	0.001	0.009	0.013	0.009	0.034	0.032	0.033	0.071	0.017	0.022
Zn	0.006	0.013	0.005	0.013	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.004
V	0.000	0.036	0.000	0.036	0.000	0.000	0.000	0.027	0.000	0.031
Zr	0.013	0.010	0.015	0.010	0.018	0.021	0.019	0.028	0.016	0.020

Composición química (%) de elementos traza en las cinco variedades de rocas en cantera (C) y monumento (M): Granito gris fino (GF), Granito gris grueso (GG), Granito ocre (O), Granito blanco (B) y Granito rojo (R).

Chemical composition (%) of trace elements of the five types of rocks in quarry (C) and monument (M): Fine grey granite (GF), Coarse grey granite (GG), Ochre Granite (O), White granite (B) and Red Granite (R).

Trabajos anteriores de los autores (1, 3, 4) indican que las variedades, ocre, roja y blanca, son consecuencia de fuertes procesos de alteración (paleoalteraciones) que afectaron al Zócalo Hercínico (granitos, pizarras, calizas, esquistos, etc.); son pues, productos de alteración del granito "Gris Ávila", que es la facies sana.

Los datos de la tabla I indican que en las muestras de cantera los contenidos en SiO_2 aumentan al pasar del granito grueso (G.G.), al ocre (O) y sobre todo en el rojo (R) y blanco (B). Los cambios mineralógicos que han tenido lugar en las paleoalteraciones que han dado lugar a la aparición de estos niveles (1), explican dicho aumento, así como las variaciones químicas que se han observado.

Los minerales principales de la facies de granito sano (GG y GF), son: cuarzo, feldspatos (alcalinos y plagioclasas), micas (moscovitas y biotitas) y cloritas. El paso a la facies "ocre" conlleva la alteración de las especies más lábiles con desaparición de cloritas, biotitas y plagioclasas y aparición de filosilicatos 2/1 (interestratificado illita/esmectita) y oxihidróxidos de hierro (goetita). La textura del granito sano se conserva. La formación del nivel superior, roja (R) y blanca (B), es debida a un proceso de caolinitización, formación de ópalo y, por procesos posteriores de hidromorfia, redistribución de óxidos de hierro, que se concentran en la facies roja.

En las muestras de monumento recogidas en zonas con alteración, la disminución del contenido en SiO_2 en la facies roja y blanca es debido a la disolución del ópalo especialmente en la zona de influencia de los morteros alcalinos. En el estudio por Microscopía Electrónica de Barrido de estas muestras puede apreciarse la destrucción de las lepisferas de ópalo en estas zonas (5).

El contenido en Al_2O_3 no varía de forma apreciable entre las variedades de granitos de cantera. En el monumento se produce una acumulación relativa en las zonas alteradas, al perderse en las mismas SiO_2 y, en el tipo blanco, óxidos de hierro.

Tampoco el $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})}$ presenta cambios importantes, excepto una escasez en la facies blanca (B), que en cantera ha sufrido un lavado en condiciones hidromorfas y se ha concentrado en las partes rojas (R).

Alcalinos y alcalinotérreos presentan una drástica disminución al pasar del granito gris a las facies alteradas de cantera; los valores encontrados en el edificio son notablemente más altos que en cantera,

Previous work carried out by the authors (1, 3, 4) has shown that the ochre, red and white varieties are a result of strong weathering processes (paleoweatherings) that affected the Hercynian Basement (granites, slates, limestones, schists, etc). They are therefore products of fresh granite, "Avila Grey", weathering.

The data in Table I indicate that in the quarry samples the contents in SiO_2 increase as the (GG) granite passes to the (O) type and above all in the (R and B) granites. The mineralogical changes that have occurred in the paleoweatherings that have given rise to the appearance of these levels (1) account for this increase and the chemical variations observed.

The main minerals of the (GG and GF) granite facies are quartz, feldspars (alkaline and plagioclases), micas (muscovites and biotites) and chlorites. The passage to the "ochre" facies involves alteration of the most labile species, with the disappearance of chlorites, biotites and plagioclases and the appearance of 2/1 layer silicates (interstratified illite/smectite) and iron oxihydroxides (goethite). The texture of the fresh granite is conserved. The formation of the upper level or red (R) or white (B) granite facies is given to a process of kaolinization, the formation of opal and to later processes of hydromorphy, the redistribution of iron oxides, which are concentrated in the red (R) facies.

In de cathedral samples taken from weathered zones the decrease in the SiO_2 contents of the red and white facies is due to the dissolution of opal, especially in the zones affected by alkaline mortar. SEM study of these samples reveals the destruction of opal lepispheres in this zones (5).

The content in Al_2O_3 does not vary appreciably among the varieties of quarry granites. In the Cathedral, there is a relative accumulation of this in the weathered zones accompanied there by a loss of SiO_2 and of iron oxides in the white granite (B).

Similarly, there are few important changes in $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})}$ except for a scarcity of this in the white facies (B), which in the quarry has undergone a leaching under hydromorphic conditions and has been concentrated in the red (R) facies.

Alkalis and alkaline earths elements are dramatically decreased as the grey granite passes to the weathered facies of the quarry; the values found in the Cathedral are considerably higher than at the quarry. This can be

explicable por la aparición de sales precipitadas en las partes degradadas del monumento, sobre todo de Na^+ y Ca^{2+} . De forma similar, el SO_3^{2-} y Cl^- (tabla II) son más abundantes en la piedra roja-blanca del edificio que en el resto de las muestras. La similitud en los contenidos en elementos traza entre las muestras de cantera y edificio confirma que ambos tienen la misma procedencia.

CONCLUSIONES

La composición química y mineralógica de las rocas ornamentales, empleadas en la construcción y posteriores restauraciones de la Catedral de Ávila, y el estudio, comparando los resultados de los materiales de cantera y de monumento, indican:

- Entre las cinco variedades de granito estudiadas, granito sano "gris Ávila" (GG y GF), facies ocre (O), roja (R) y blanca (B) cuyo origen está ligado a paleoalteraciones del Zócalo Hercínico Ibérico, se aprecia un aumento del contenido en SiO_2 en las facies alteradas, sobre todo en la roja y blanca, que han sufrido un proceso de cementación por ópalo.
- En las zonas degradadas del monumento, la piedra roja y blanca presentan una disminución de su contenido en SiO_2 , hecho explicable por disolución del ópalo, debido a la influencia de morteros alcalinos.
- Hay un aumento de los contenidos en Ca^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} y Cl^- en las piedras degradadas de monumentos, afectadas por precipitaciones de sales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la ayuda de la CE (STEP CT-90-0101), Junta de Castilla y León (project 0314/90) y CICYT (PAT91-1507-C03-01-CE).

explained in terms of the appearance of salts precipitated in the degraded parts of the monument, above all Na^+ and Ca^{2+} . Likewise, SO_3^{2-} and Cl^- (Table II) are more abundant in the red-white rock of the building than in the rest of the samples. The similarity in trace elements between the samples from the quarry and from the Cathedral confirms that they have the same origin.

CONCLUSIONS

The chemical and mineralogical composition of the ornamental stone used in the construction and later restoration of the Cathedral complex of Avila and comparative study of the material from the monument and quarry indicate the following:

- *Among the five varieties of granite from quarries studied fresh granite, "Avila Grey" (GG and GF), ochre (O), red (R) and white (B) facies, whose origin is linked to paleoweatherings of the Hercynian Basements, an increase in SiO_2 contents is seen in the weathered facies, above all in the red and white facies, which have undergone a process of cementation by opal.*
- *In the degraded zones of the monument, the red and white stone are decreased in their SiO_2 contents due to the dissolution of opal, in turn due to the presence of alkaline mortar.*
- *The contents in Ca^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} and Cl^- are increased in the degraded parts of the monument, affected by the precipitation of salts.*

ACKNOWLEDGEMENTS

Financial support from EC (contract STEP CT90-0101), from Junta de Castilla y León (project 0314/90), and from CICYT (PAT91-1507-C03-01-CE) is acknowledged.

REFERENCIAS

- (1) GARCIA-TALEGON, J, MOLINA, E. y VICENTE, M.A. "Weathering processes in granites". Proceedings of the 7 th Euroclay Conference, DRESDEN (ALEMANIA), 2, 1991. 405-409.
- (2) GARCIA-TALEGON, J., GARCIA-DEL AMO, D., IÑIGO, A.C., MENDUIÑA, J., MOLINA, E. y VICENTE, M.A. "Propiedades físico-mecánicas de los granitos empleados en la Catedral de Ávila procedentes del yacimiento de "La Colilla" (Ávila)". Actas del Workshop: Alteración de granitos y rocas afines, empleados como materiales de construcción. 1993. 129-132.

- (3) GARCIA-TALEGON, J. IÑIGO, A.C., MOLINA, E RIVES, V. y VICENTE, M.A. "Granitos empleados en la Catedral de Ávila: Características de los materiales de cantera". Actas del Workshop: Alteración de granitos y rocas afines, empleados como materiales de construcción. 1993. 125-127.
- (4) GARCIA-TALEGON, J., MOLINA, E. y VICENTE, M.A. "Paleoalteraciones y silicificaciones en el relieve del Macizo Hercínico Ibérico. Empleo de los distintos niveles de alteración como materiales de construcción". Guías de las excursiones geológicas del III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología. 1992. 310-319.
- (5) VICENTE, M.A., GARCIA-TALEGON, J., IÑIGO, A.C., MOLINA, E. y RIVES, V "Weathering Mechanisms of silicated rocks in continental environment". Proceedings of Interantional Congress on the conservation of stone and other materials, Paris (FRANCIA). 1, 1993. 320-327.

* * *

II.- Caracteres petrofísicos

II.- Petrophysical characteristics

A.C. IÑIGO, J. GARCIA-TALEGÓN, M.A. VICENTE
IRNA-CSIC. Salamanca

M. VARGAS, J.L. PÉREZ-RODRÍGUEZ
ICM-CSIC. Sevilla

E. MOLINA
Dpto. de Geología, Universidad de Salamanca

RESUMEN

Se estudian las propiedades físico-mecánicas de los diferentes materiales graníticos empleados en la construcción y sucesivas restauraciones de la Catedral de Ávila.

Los estudios de porosidad se han realizado en agua y con el porosímetro de mercurio. Se determina la porosidad total, libre y atrapada de los distintos materiales, realizando dos inyecciones de mercurio sucesivas sobre cada tipo de material, y se hace un estudio comparado de los resultados obtenidos por las distintas técnicas.

Se determina también la resistencia a la compresión, de forma indirecta, deduciéndola de la velocidad de propagación de ultrasonidos. Los valores obtenidos son concordantes con los obtenidos por determinación directa, en las facies graníticas sanas (GF y GG), pero no en el caso de rocas graníticas alteradas (O, R y B).

ABSTRACT

The studies concern physical-mechanical properties of the different granitic materials used in the construction and the successive restorations of the Cathedral of Avila.

The calculation of porosity is made in water, and also by using Hg-porosimeter (two successive injections of mercury). A determination of the total, the free, and the trapped porosity is carried out, and with the results a comparison is done.

Also, the theoretical resistance to compression is measured with an indirect method, deduced from the velocity of ultrasound propagation. Upon comparing the values of resistance to compression obtained directly, with those obtained with the velocity of ultrasound propagation, a good correlation is seen in the GF and GG facies, but not in the case of the weathered granites (O, R and B).