

## Porosidad libre en granitos alterados: Comentarios a las normas

A.C. IÑIGO IÑIGO\*, S. VICENTE TAVERA\*\*, V. RIVES ARNAU\*\* y M.A. VICENTE HERNÁNDEZ\*

Fecha de recepción: 18-VI-95

ESPAÑA

### RESUMEN

*En el presente artículo se estudia la posible relación existente entre los valores de algunas propiedades petrofísicas de cinco variedades de materiales graníticos cuando, envejecidos artificialmente o no, son sometidos a diferentes tratamientos de consolidación y/o hidrofugación.*

*El estudio indica una buena correlación entre los valores de la imbibición y porosidad (libre y total). Asimismo, existe correlación entre densidad aparente y porosidad total.*

*Las diferencias en las variaciones relativas de los valores de imbibición y porosidad libre al tratar las muestras, aconseja la modificación o ampliación de las normas para materiales con elevado índice de microporosidad.*

### SUMMARY

*In the present paper, the possible relation among some petrophysical properties of five types of granitic materials, whether artificially aged or not, subject to different consolidation and/or water repellent treatments, has been studied.*

*The study indicates a good correlation among imbibition values and porosity (free and total). Likewise, correlation exists between apparent density and total porosity.*

*Differences in relative variation of imbibition values and free porosity when treating samples, advise about modification or enlargement of standards for materials with high microporosity index.*

### INTRODUCCIÓN

Las distintas normativas (ASTM, NORMAL, RILEM, etc) al uso, para la determinación de propiedades petrofísicas de materiales pétreos están, en general, adaptadas a las características de piedras carbonatadas. Su aplicación a la determinación de dichas propiedades en rocas graníticas no siempre es fácil, ya que éstas poseen una composición y arquitectura interna distinta, y las condiciones normalizadas de medida no siempre son las óptimas para estos fines.

En el presente artículo se intenta relacionar los valores de una serie de parámetros petrofísicos, determinados según las normas vigentes, en cinco variedades de granito muy diferentes entre sí (desde facies sanas hasta las que han sufrido intensos episodios de alteración natural), todos ellos ampliamente empleados en la construcción y restauración de numerosos edificios pertenecientes al Patrimonio Histórico de la ciudad de Ávila y otras poblaciones de la zona.

Los valores de dichos parámetros petrofísicos, determinados en probetas de los cinco tipos de material fresco (de

\* IRNA/CSIC. Apdo. 258. Cordel de Merinas 40-52 37008 Salamanca

\*\* Univ. de Salamanca

cantera), envejecidas artificialmente en cámara de simulación, y ambas (frescas y envejecidas) sometidas a tratamientos de consolidación y/o hidrofugación, son analizados estadísticamente, discutiendo los resultados obtenidos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se han empleado cinco variedades de granito natural, que van desde facies naturales sanas, con un bajo grado de porosidad y alta resistencia al deterioro, a facies alteradas, con alta porosidad y con algunos componentes fuertemente reactivos (arcillas expansibles, ópalo, etc) en su composición: granito gris de grano fino (M-1), granito gris de grano grueso (M-2), granito ocre (M-3), granito rojo (M-4) y granito blanco (M-5). Todas ellas aparecen en distintos niveles en la cantera de "La Colilla" (Ávila), y presentan propiedades mineralógicas [1], químicas [2] y petrofísicas [3] muy diferenciadas.

Las características de los materiales empleados en los tratamientos, así como la metodología empleada en los procesos de envejecimiento artificial y tratamientos, han sido expuestos en publicaciones anteriores de los autores [3,4].

Para el análisis de las relaciones entre los valores obtenidos para las propiedades estudiadas (imbibición, densidad real, densidad aparente, porosidad libre, porosidad total y coeficiente de absorción) y determinación de las regresiones correspondientes, se han tenido en cuenta los parámetros que pueden considerarse independientes, ya que su determinación es directa (imbibición, densidad libre, densidad aparente) y dependientes, no obteniéndose por determinación directa, sino por un simple cálculo con los valores obtenidos para otros (coeficiente de absorción).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tablas 1, 2 y 3 se incluyen los valores obtenidos para los distintos parámetros analizados, obtenidos siguiendo las normas establecidas [5-7].

El análisis estadístico de dichos valores permite establecer:

a) Existe una relación lineal entre la *imbibición* y la *porosidad libre* para los granitos alterados de forma natural (M-3, M-4 y M-5), tanto para las muestras tratadas (Fig. 1), como para las no tratadas (Fig. 2), obteniendo, en ambos casos, rectas con pendientes 0,694 y 0,542 respectivamente y altos coeficientes de correlación: 0,765 y 0,922.

La porosidad libre en muestras no tratadas oscila entre el 10 y 25% y la imbibición entre el 7 y 15%. En las muestras tratadas, la porosidad libre oscila entre el 1 y 15% y la imbibición entre el 2 y 15%. La fuerte disminución de la porosidad libre con los distintos tratamientos no lleva paralela una disminución de la imbibición, aunque el fenómeno físico (absorción de agua por la piedra a presión atmosférica) es el mismo. Según la normativa empleada para la determinación del coeficiente de absorción, el cálculo de la porosidad libre implica la inmersión de las probetas en agua, sólo durante 48 horas [5], mientras que para la determinación de la imbibición debe estar en inmersión 10 días [6]. En materiales con alta microporosidad, debida a la presencia de arcillas, ópalo y óxidos, es probable que 48 horas no sean suficientes para el llenado de microporos, y de ahí la diferencia de valores obtenidos para ambos parámetros.

El análisis efectuado confirma lo que cabía esperar, dado que la absorción de agua por inmersión total (imbibición) tiene lugar a través de los poros interconectados a la superficie exterior de las probetas (porosidad libre).

b) En la regresión entre los valores de *imbibición* y *porosidad total*, se obtiene una relación lineal altamente significativa, con coeficientes de correlación 0,899 para las muestras no tratadas (Fig. 3), y 0,648 para las muestras tratadas (Fig. 4).

Las rectas de regresión de la imbibición con la porosidad total presentan un comportamiento distinto respecto al observado para la imbibición con respecto a la porosidad libre. El tratamiento no implica la disminución drástica de porosidad total respecto a los valores de imbibición como ocurría en el caso anterior. Las condiciones forzadas (bajo vacío), recomendadas por la norma aplicada [7] puede explicar este hecho.

No se han calculado las regresiones entre porosidad libre o total y la permeabilidad o capilaridad, dado que la metodología experimental para determinar estas propiedades es distinta. De acuerdo con la norma [8], la medida de la permeabilidad y capilaridad se realiza sobre probetas sometidas en sólo una de sus caras a tratamientos de consolidación y/o hidrofugación, mientras que para la medida de la porosidad (total y libre), la probeta debe ser tratada en todas sus caras.

c) Al relacionar densidad aparente y porosidad total para las muestras tratadas y no tratadas, (Figs. 5 y 6), se encuentran altos coeficientes de correlación (0,867 y 0,799). Ambas regresiones lineales poseen pendiente similar (-0,020 y -0,019) y prácticamente la misma ordenada en origen (2,323 y 2,334), lo que indica que la relación lineal es independiente del tratamiento.

TABLA 1  
Datos de muestra M-3

N° Probeta	Envejecimiento artificial	Tratamiento	C.I.	N <sub>t</sub>	D.A.	N <sub>o</sub>
43	N	H224	8,360	22,860	1,897	5,130
45	N	H224	10,420	21,513	1,830	8,151
31	N	RC80	8,740	25,708	1,805	5,809
50	N	RC80	5,750	21,942	1,921	4,708
9	N	RC80H224	7,760	27,871	1,734	3,913
18	N	RC80H224	7,120	25,701	1,805	5,356
11	N	RC70	14,890	29,896	1,705	9,991
23	N	RC70	10,740	25,076	1,880	10,034
21	N	RC70H224	4,320	22,313	1,901	4,335
44	N	RC70H224	7,790	24,085	1,841	7,026
7	S	H224	11,210	27,860	1,754	8,389
42	S	H224	9,150	25,764	1,803	4,922
38	S	RC80	7,880	22,793	1,936	7,010
47	S	RC80	5,670	25,540	1,824	4,359
29	S	RC80H224	6,220	25,320	1,808	3,238
34	S	RC80H224	4,990	24,604	1,822	3,601
15	S	RC70	13,190	28,890	1,743	12,102
36	S	RC70	10,040	23,769	1,862	10,870
12	S	RC70H224	13,900	29,800	1,700	10,835
41	S	RC70H224	7,670	24,040	1,844	6,297
24	S		14,210	29,280	1,822	24,297
46	S		13,190	25,110	1,857	17,106
2	N		12,390	27,460	1,786	20,276
4	N		12,760	27,580	1,805	21,981
5	N		12,810	28,370	1,783	21,590
6	N		12,080	26,950	1,789	19,436

**N:** Muestras no sometidas a envejecimiento artificial.  
**S:** Muestras sometidas a envejecimiento artificial.  
**C.I.:** Capacidad de imbibición por inmersión total en agua, %.  
**N<sub>t</sub>:** Porosidad total, % (calculada por inmersión en agua).  
**D.A.:** Densidad aparente, g/cm<sup>3</sup>.  
**N<sub>o</sub>:** Porosidad libre, % (calculada por inmersión en agua).

TABLA 2

Datos de la muestra M-4

N° Probeta	Envejecimiento artificial	Tratamiento	C.I	N <sub>t</sub>	D.A.	N <sub>o</sub>
16	N	H224	4,44	22,923	1,916	4,407
42	N	H224	6,25	14,578	2,026	4,541
38	N	RC80	3,01	23,908	1,852	2,274
49	N	RC80	2,61	19,244	1,959	2,178
30	N	RC80H224	2,99	17,329	2,016	2,220
32	N	RC80H224	2,37	18,476	1,993	1,770
27	N	RC70	6,5	17,414	1,931	3,633
74	N	RC70	5,63	17,7	1,998	4,444
9	N	RC70H224	3,75	21,838	1,93	2,552
72	N	RC70H224	3,67	20,935	1,932	4,405
31	S	H224	4,62	21,49	1,947	3,022
44	S	H224	6,18	21,181	1,952	4,078
18	S	RC80	2,93	22,238	1,905	1,904
6	S	RC80	3,16	18,863	1,993	1,748
12	S	RC80H224	3,11	20,98	1,93	1,711
14	S	RC80H224	3,16	21,53	1,925	1,637
11	S	RC70	8,11	21,867	1,948	4,259
22	S	RC70	5,74	18,183	2,036	6,018
29	S	RC70H224	4,15	20,26	1,963	2,163
48	S	RC70H224	4,89	18,55	2,01	5,888
47	S		8,42	23,78	1,99	10,862
46	S		6,86	24,274	1,999	11,044
1	N		7,498	18,46	2,018	12,694
2	N		8,135	20,34	1,976	14,014
4	N		7,141	18,7	2,006	11,628
8	N		8,08	21,46	1,951	14,013

**N:** Muestras no sometidas a envejecimiento artificial.

**S:** Muestras sometidas a envejecimiento artificial.

**C.I.:** Capacidad de imbibición por inmersión total en agua, %

**N<sub>t</sub>:** Porosidad total, % (calculada por inmersión en agua).

**D.A.:** Densidad aparente, g/cm<sup>3</sup>.

**N<sub>o</sub>:** Porosidad libre, % (calculada por inmersión en agua).

TABLA 3

Datos de la muestra M-5

Nº Probeta	Envejecimiento artificial	Tratamiento	C. I.	N <sub>t</sub>	D. A.	N <sub>o</sub>
6	N	H224	4,06	17,088	1,888	1,843
30	N	H224	10,94	19,916	1,869	1,765
9	N	RC80	3,23	19,7	1,899	2,136
52	N	RC80	4,27	15,46	2,022	3,951
24	N	RC80H224	4,19	19,93	1,905	3,233
62	N	RC80H224	2,75	19,06	1,918	1,781
31	N	RC70	10,17	22,054	1,869	14,856
63	N	RC70	10,19	26,48	1,784	10,963
64	N	RC70H224	7,39	20,33	1,883	4,024
65	N	RC70H224	7,6	26,7	1,778	15,699
3	S	H224	4,9	20	1,883	1,99
20	S	H224	7,46	20,03	1,929	7,31
10	S	RC80	3,94	18,87	1,921	2,399
14	S	RC80	3,55	19,199	1,902	2,871
15	S	RC80H224	2,56	17,966	1,936	1,368
23	S	RC80H224	3,77	18,552	1,953	2,266
11	S	RC70	7,06	18,496	1,932	3,403
35	S	RC70	7,56	19,55	1,931	7,53
28	S	RC70H224	6,04	18,64	1,969	4,952
25	S	RC70H224	6,98	18,79	1,8	5,517
21	S		12,09	25,92	1,804	15,05
36	S		8,15	19,095	1,945	11,671
2	N		8,26	21,18	1,871	13,769
4	N		8,43	21,2	1,872	12,752
5	N		8,1	21,07	1,875	13,238
7	N		7,92	20,07	1,882	10,89

**N:** Muestras no sometidas a envejecimiento artificial.

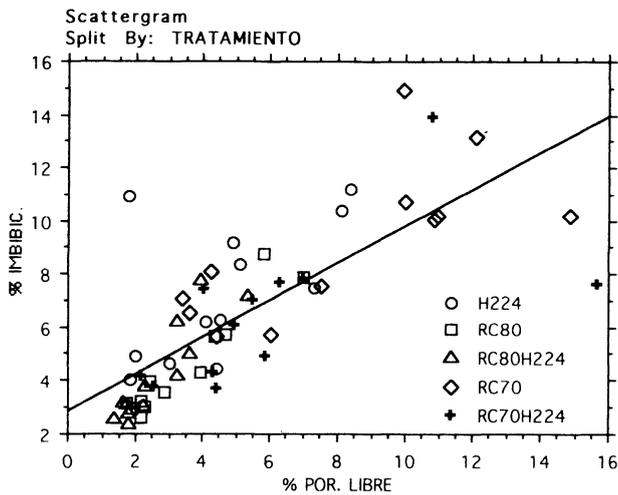
**S:** Muestras sometidas a envejecimiento artificial.

**C.I.:** Capacidad de imbibición por inmersión total en agua, %.

**N<sub>t</sub>:** Porosidad total, % (calculada por inmersión en agua).

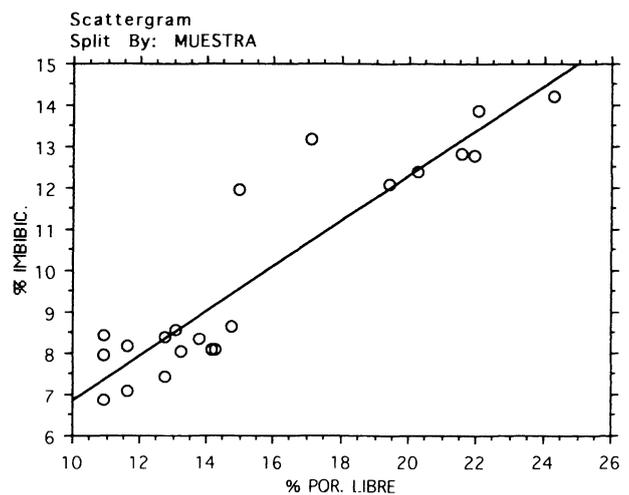
**D.A.:** Densidad aparente, g/cm<sup>3</sup>.

**N<sub>o</sub>:** Porosidad libre, % (calculada por inmersión en agua).



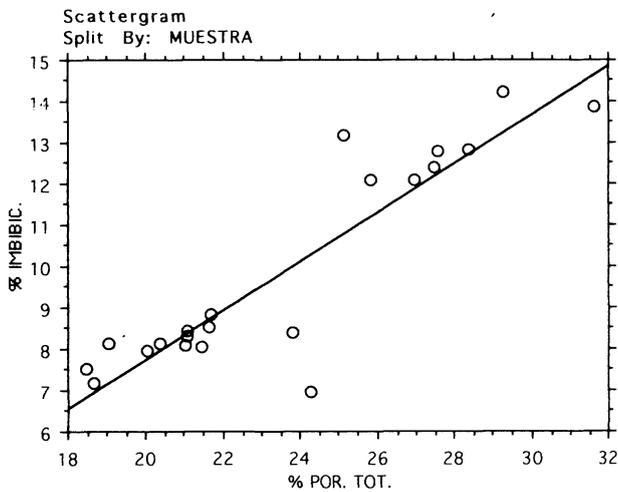
$$\% \text{ IMBIBIC.} = 2,881 + ,694 * \% \text{ POR. LIBRE}; R^2 = ,585 \text{ (} P < 0,0001 \text{)}$$

Fig.1.- Regresión lineal de la imbibición en función de la porosidad libre para las muestras tratadas.



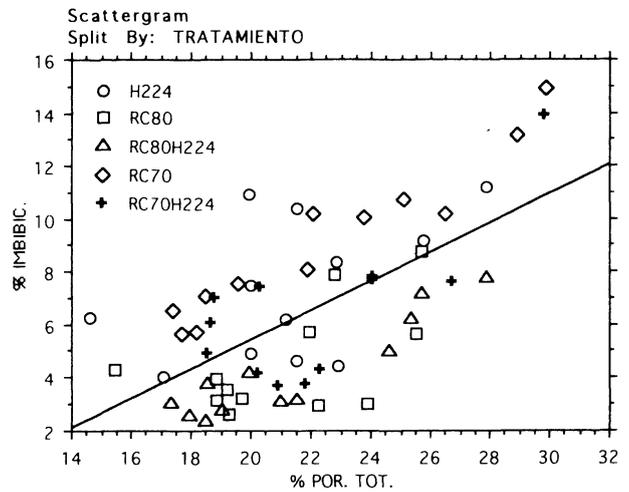
$$\% \text{ IMBIBIC.} = 1,469 + ,542 * \% \text{ POR. LIBRE}; R^2 = ,85 \text{ (} P < 0,0001 \text{)}$$

Fig.2.- Regresión lineal de la imbibición en función de la porosidad libre para las muestras no tratadas.



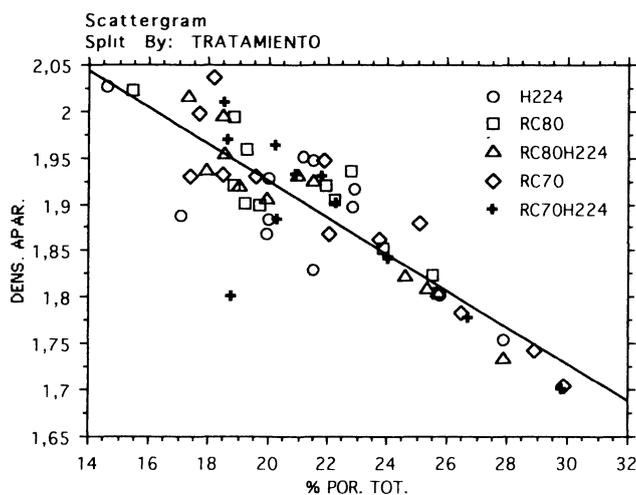
$$\% \text{ IMBIBIC.} = -4,069 + ,592 * \% \text{ POR. TOT.}; R^2 = ,808 \text{ (} P < 0,0001 \text{)}$$

Fig.3.- Regresión lineal de la imbibición en función de la porosidad total para las muestras no tratadas.



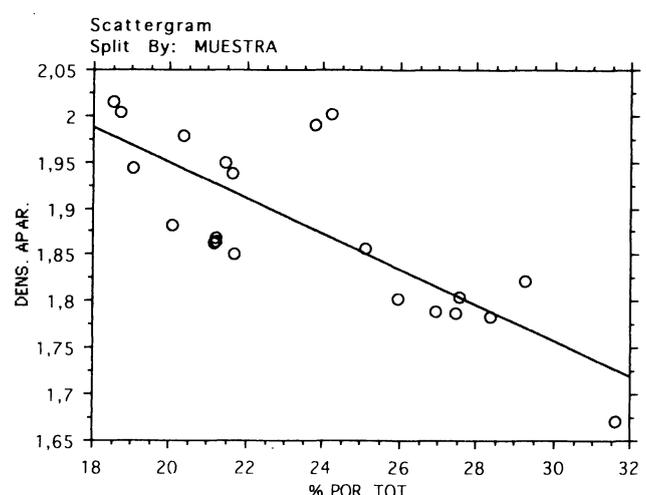
$$\% \text{ IMBIBIC.} = -5,642 + ,553 * \% \text{ POR. TOT.}; R^2 = ,42 \text{ (} P < 0,0001 \text{)}$$

Fig.4.- Regresión lineal de la imbibición en función de la porosidad total para las muestras tratadas.



$$\text{DENS. APAR.} = 2,323 - ,02 * \% \text{ POR. TOT.}; R^2 = ,751 \text{ (} P < 0,0001 \text{)}$$

Fig.5.- Regresión lineal de la densidad aparente en función de la porosidad total para las muestras tratadas.



$$\text{DENS. APAR.} = 2,334 - ,019 * \% \text{ POR. TOT.}; R^2 = ,639 \text{ (} P < 0,0001 \text{)}$$

Fig.6.- Regresión lineal de la densidad aparente en función de la porosidad total para las muestras no tratadas.

## CONCLUSIONES

El análisis de los resultados obtenidos de las regresiones permite establecer las siguientes conclusiones:

a) Los valores de porosidad libre e imbibición no varían en la misma proporción al someter las muestras a tratamientos de consolidación y/o hidrofugación, debido probablemente al protocolo recomendado para la determinación de las mismas.

b) El tiempo empleado para determinar la porosidad libre (48 horas) según la norma, es insuficiente cuando se trata de materiales de elevada microporosidad, por lo que sería aconsejable la modificación o ampliación de dicha norma para este tipo de materiales aumentando el tiempo de la inmersión, ya que la cinética de llenado de estos poros es

más lenta, y parte de la porosidad libre se considera como atrapada.

c) Se comprueba, mediante regresiones, la relación existente entre la densidad aparente y la imbibición con la porosidad total.

d) También existe regresión entre la imbibición y la porosidad libre, que es más directa que con la porosidad total.

## AGRADECIMIENTOS

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

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) GARCIA-TALEGÓN, J., MOLINA, E., VICENTE, M.A., 1991: "Weathering processes in granites". Proceedings del 7º Congreso Europeo de Arcillas-EUROCLAY, Dresden (Alemania), vol. 2, pp. 405-409.
- (2) GARCÍA-TALEGÓN, J., IÑIGO, A.C., MOLINA, E., PÉREZ-RODRÍGUEZ, J.L., VARGAS, M., VICENTE, M.A., 1994: "Granites employed in Avila (Spain): I.- Chemical composition of the different types". *Materiales de Construcción*, 44, pp. 23-28.
- (3) IÑIGO, A.C., GARCÍA-TALEGÓN, J., MOLINA, E., PÉREZ-RODRÍGUEZ, J.L., VARGAS, M., VICENTE, M.A., 1994: "Granites employed in Avila (Spain): II.- Petrophysical characteristics". *Materiales de Construcción*, 44, pp. 28-37.
- (4) IÑIGO, A.C., VICENTE-TAVERA, S., RIVES, V., VICENTE, M.A., 1995: "Colour changes in granitic materials surface by consolidated and/or water repelent treatments". *Color Research and Application* (pendiente de publicación).
- (5) Normas NF, 1973: "Mesure du Coeficient de absorption d'eau", B10 - 504.
- (6) Normas NORMAL, 1981: "Assorbimento d'acqua per immersione totale, capacità di imbibizione", 7.
- (7) Normas NF, 1973: "Mesures de la porosité, de la masse volumique réelle et de la masse volumique apparente", B10-503.
- (8) Normas NORMAL, 1985: "Interventi conservativi: progettazione esecuzione e valutazione preventiva", 20.

\* \* \*