



Rocas

Vicente Martínez Pastor

Propiedades
Características
Ejemplos de Problemas
Glosario de términos

ARQUITECTURA TÉCNICA
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN -I-

R O C A S

Curso Académico 2002/2003

Problemas sobre materiales pétreos

**Propiedades físicas y mecánicas
de los materiales pétreos**

Glosario de términos y conceptos

Prácticas de Laboratorio

Vicente Martínez Pastor
Profesor Titular de Escuela Universitaria
Materiales de Construcción

Introducción

Los problemas que se presentan a continuación están extraídos de varios libros específicos de la materia. El profesor de la asignatura hace constar expresamente que los ha transferido a estos apuntes al objeto de mostrar a los alumnos de esta Universidad y en concreto de la asignatura de Materiales de Construcciones del primer curso de los estudios de Arquitectura Técnica, las cuestiones más importantes, encaminadas a la mejor comprensión por el alumno de los conceptos y la forma más sencilla y comprensible para resolver los problemas y cuestiones que se plantean, de forma que las explicaciones se detallan desde un punto de vista pedagógico.

A lo largo de los distintos enunciados de los problemas planteados aparecen conceptos que significando lo mismo, se plantean con nomenclatura distinta, lo que produce un glosario de términos, en algunos casos, como notas a pie de página y en otros como un compendio específico al final de la colección de problemas.

El alumno, atenderá lo que significa tanto el dato definido como la incógnita a evaluar o calcular, atendiendo más a su significado que a la terminología empleada en cada problema.

De manera generalizada, los alumnos consultarán sus dudas, bien mediante tutoría personalizada o a través de “Campus virtual”, correo electrónico o la página personal del profesor.

La dirección de correo electrónico es: vicente.martinez@ua.es y la página personal: <http://www.ua.es/personal/vicente.martinez>

El profesor de la asignatura
Noviembre, 2002

Utilizaremos determinados problemas, como se ha indicado en la Introducción, al objeto de permitir al alumno la comprensión de los distintos ejemplos, todos ellos encaminados a familiarizar al estudiante en el conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas, principalmente de las rocas, materia prima de la mayoría de los materiales de construcción.

ROCAS

1

1. Al ensayar una muestra de piedra en un laboratorio se obtienen los siguientes resultados:
- *Peso en el aire de la muestra seca*¹ 412 gramos
 - *Peso en el aire de la muestra embebida en agua*².... 464 gramos
 - *Peso en el agua de la muestra embebida en agua*³... 245 gramos
- Determinar la **porosidad**⁴, el **agua absorbida**, la **densidad aparente** y la **densidad real**⁵.

¹ Definimos como **Peso en el aire de la muestra seca** al PESO SECO –pesado en balanza convencional, en las condiciones normales del laboratorio, aunque lo ideal sería manteniendo constantes la temperatura y la humedad-, que abreviadamente representaremos por **P_s**. Bajo este concepto asociaremos el peso de la muestra tratado en el laboratorio –aquél que en cualquier condición- permite establecer condiciones de repetibilidad y reproducibilidad. Es el valor que para determinar la densidad o peso específico, corresponde al numerador de la fracción.

² Definimos como **Peso en el aire de la muestra embebida en agua** al PESO SATURADO, que abreviadamente representaremos por **P_{sat}**. Bajo este concepto asociaremos el peso de la muestra cuando por medio de un líquido de densidad conocida –en este supuesto, agua de densidad 1 g/cm³- saturamos la muestra, es decir, conseguimos que la totalidad de los poros accesibles, abiertos o externos, puedan ser rellenados por dicho líquido, permitiendo de esta forma determinar el volumen de los poros abiertos o accesibles. Nos permitirá la obtención, en su momento, del volumen relativo.

³ Definimos como **Peso en el agua de la muestra embebida en agua** al peso obtenido mediante el empleo de una balanza hidrostática. Fundamentado en el principio de Arquímedes se determina el empuje que experimenta el objeto –en este caso, la muestra de roca- y que representará el volumen de líquido –agua en nuestro caso- que desplaza. No obstante, siendo válido el planteamiento anterior de manera generalizada, debemos tener en cuenta algunas consideraciones, a saber: podemos obtener el volumen aparente o el volumen relativo; en el ejemplo propuesto será el volumen aparente, toda vez que la muestra ha sido previamente saturada con lo que sus poros accesibles están “llenos” y el volumen desplazado será el de la roca y los poros accesibles.

⁴ Llamamos **porosidad** a la relación existente entre los poros existentes en la muestra y la unidad de volumen. En los estudios de materiales debemos considerar, dos porosidades, la relativa o abierta, con relación a los poros accesibles y la total o absoluta, relacionada con la totalidad de los poros existentes en la muestra. Al final de la exposición, en la tabla de fórmulas se detallarán las mismas y las explicaciones complementarias.

⁵ Las **densidades aparente** y **real** –en este supuesto, no se refiere estrictamente a dicha densidad real, sino a la relativa- se determinará mediante las oportunas explicaciones al exponer las fórmulas en el anexo final.

2. Una muestra de roca pesa 656,6 gramos y tiene el 1 por 100 de humedad respecto al peso de la muestra seca. **Calcular cuanto pesará cuando se reduzca su humedad a la mitad.**

3. De una muestra de roca se poseen los siguientes datos:

- Peso en seco:⁶ 1170 gramos
- Peso sumergida en agua sin saturar previamente:⁷ 632 gramos
- Peso saturada: 1320 gramos
- Un fragmento de la misma se pulveriza y deseca. Pesamos 10 gramos de la misma que introducimos dentro de un picnómetro que llenándolo de agua hasta el enrase, pesa 76,42 gramos, cuando el peso del picnómetro lleno de agua hasta el enrase, pero sin muestra, pesa 70 gramos.⁸

Hallar:

- a) El **peso específico aparente** (densidad aparente)
- b) El **relativo** (se refiere al peso específico o densidad relativa)
- c) El **real** (se refiere al peso específico o densidad real)
- d) La **absorción**⁹
- e) La **porosidad absoluta**¹⁰ y **aparente**¹¹
- f) La **compacidad**¹²
- g) El **porcentaje de poros abiertos**¹³ y **cerrados**¹⁴

4. Se ha ensayado una muestra de roca en el laboratorio, obteniéndose los resultados siguientes:

- Peso en seco de la muestra: 628 gramos
- Peso de la muestra saturada en un líquido de densidad 0,96 kg/dm³: 709 gramos

⁶ Es el mismo concepto indicado en la nota al pie número 1 (página 4)

⁷ Este concepto es el conocido como **peso en la balanza hidrostática (P_{bh})**, basado en el principio de Arquímedes. Debe considerarse que el referido peso obtenido mediante la balanza hidrostática, puede obtenerse, bien mediante la muestra saturada, bien con la muestra sin saturar. Con independencia de las diferentes interpretaciones según varios autores, el volumen que se obtendría con la muestra saturada, siempre sería el volumen aparente –no puede entrar el líquido de la balanza en los poros previamente saturados- mientras que en el caso de la muestra sin saturar, aceptando que entre o no líquido en los poros durante la operación de la pesada, se obtendría un volumen relativo o aparente, relativamente. Si aceptamos que se llenan la totalidad de los poros durante la pesada, aumentando el tiempo hasta el equilibrio en la pesada, entonces el volumen obtenido será el volumen relativo.

⁸ Con este método del picnómetro se obtendrá el **volumen real** o total o absoluto de la muestra introducida en el picnómetro. Por analogía podremos obtener el volumen real de cualquier muestra, procedente del mismo material; no obstante, dicho valor sirve para calcular la densidad real (**D_R**).

⁹ Este concepto hace referencia al **volumen de los huecos accesibles (h_a)**

¹⁰ Hace referencia a la **porosidad total o absoluta (P_t)**. Ver anexo – fórmulas.

¹¹ Hace referencia a la **porosidad relativa (P_r)**. Ver anexo – fórmulas.

¹² Concepto que se puede considerar la diferencia hasta la unidad de la porosidad total. Podríamos definir la **compacidad (C)** como la relación entre el volumen real (**V_R**) y el volumen aparente (**V_{ap}**). Podemos establecer: **C = 1 – P_t** o **P_t = 1 – C**.

¹³ Coincide con el concepto de porosidad relativa pero expresado en tanto por ciento. Ver anexo – fórmulas.

¹⁴ Este concepto, carente de aplicación en el estudio de los materiales, será la relación expresada en tanto por ciento del volumen de huecos cerrados o inaccesibles (**h_c**) entre el volumen aparente (**V_{ap}**) de la muestra considerada.

- Peso en ese líquido de la muestra seca con los poros accesibles cerrados con parafina:¹⁵ 380 gramos

Determinar:

- Volumen de los poros accesibles**
- Porosidad aparente**
- Densidad relativa**
- Densidad aparente**

5. Una muestra de roca en forma de hexaedro regular pesa en estado natural¹⁶ 565,5 gramos. Se seca a peso constante para calcular la humedad que tenía y se obtiene que ésta es del 1 por 100. Seca la roca se ensaya a compresión¹⁷, dando una resistencia de 110 N/mm², precisando una carga de 396 kN para romperla.

Sabiendo que la porosidad absoluta es del 2 por 100, **determinar el volumen total de poros y la densidad absoluta de la misma.**

6. La densidad aparente de una muestra de roca es de 2,32 kg/dm³ y su densidad absoluta de 3,20 kg/dm³. Después de sumergida en agua durante 24 horas, el agua absorbida representa el 10 por 100 del peso de la roca seca.

Se desea conocer el porcentaje de poros cerrados de la roca.

7. Una roca tiene una densidad aparente de 1,9 kg/dm³. Su densidad absoluta vale 2,6 kg/dm³ y el volumen de poros inaccesibles es el doble que el de poros abiertos.

Hallar el incremento de peso que experimentará una muestra de esa roca al estar saturada de agua, expresando el porcentaje del peso seco de la roca.

8. Un laboratorio ha realizado los siguientes ensayos:

1. En un trozo de roca:

- Peso de la muestra seca a peso constante..... 1000 gramos
- Peso de la muestra saturada de agua con superficie seca 1060 gramos
- Peso de la muestra saturada de agua y sumergida en ella..... 550 gramos
- ..

2. Un trozo de roca molida y seca ha dado:

- Peso de la muestra seca 84 gramos
- Peso de la muestra en un picnómetro lleno de agua hasta el enrase 141 gramos
- Peso del picnómetro lleno de agua 90 gramos

3. Una probeta prismática de 4x4x16 cm cortada de dicha roca se ha roto a flexotracción¹⁸, con luz entre apoyos de 10 cm, rompiendo con una carga centrada de 860 kp.

4. Un cubo de la misma roca de 10x10x10 cm se ha roto a compresión con una carga de 105000 kp.

¹⁵ Debemos considerar que el peso de la parafina empleada se entiende ínfimo. En este supuesto, sin ningún género de dudas, se determinaría el volumen aparente (V_{ap}).

¹⁶ En este supuesto y atendiendo a la definición dada en el problema propuesto, esta referencia es el peso de la muestra saturada (P_{sat}).

¹⁷ La resistencia a compresión (σ_c) define como la relación entre la fuerza aplicada y la superficie sobre la que se aplica dicha fuerza.

¹⁸ La resistencia a flexotracción (σ_f) se determina aplicando una carga centrada sobre la probeta apoyada en dos puntos. Ver anexos – fórmulas.

5. En la determinación de la resistencia a la abrasión en pista de acero, dos probetas de $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ cm han dado, después de ensayar las tres caras de un triedro, los siguientes valores: $V_1 = 291 \text{ cm}^3$; $V_2 = 282 \text{ cm}^3$.

Determinar:

- a) **La densidad real en seco**¹⁹
 - b) **La densidad absoluta**²⁰
 - c) **La porosidad**
 - d) **La resistencia a compresión y a flexotracción**
 - e) **El coeficiente de absorción**
 - f) **La desgastabilidad**²¹
-

¹⁹ Punto de reflexión: es evidente que no se refiere al concepto anteriormente expuesto de densidad real. El alumno tratará de deducir a cuál de las densidades que se pueden y deben obtener se trata. Ante las dudas que se le presente podrá efectuar la consulta mediante tutoría personal o mediante e-mail.

²⁰ Parece evidente que aquí sí se trata de la conocida y expuesta densidad real, total o absoluta.

²¹ La definición –empleando un término de dudosa aceptación por la Real Academia Española- se refiere al coeficiente de desgaste. Valor que por si solo nos indica un número, que cuando más pequeño, nos indicará una cualidad del material y que estableciendo la comparación entre dos o más materiales permitirá la mejor elección cuando el material será usado como pavimento. En este supuesto el valor del volumen inicial en ambas probetas será el volumen aparente de los respectivos hexaedros o cubos.

A lo largo de los problemas expuestos con anterioridad han aparecido varios términos que hacen referencia a conceptos, tanto físicos, como definitorios como de las incógnitas a deducir. Sin ánimo de resultar excluyente, a continuación y de manera alfabética, se relacionan aquellos que se han considerado más significativos, empleando los términos como aparecen en los enunciados de los problemas. Muchos de ellos, se ha considerado oportuno exponer sus respectivas aclaraciones, mediante notas a pie de página. Para el supuesto que el alumno encuentre dificultad para interpretar alguno de ellos, recurrirá a la consulta en tutoría, bien personal o vía e-mail.

Términos:

1. *coeficiente de absorción*
2. *compacidad*
3. *densidad absoluta*
4. *densidad aparente*
5. *densidad real*
6. *densidad real en seco*
7. *densidad relativa*
8. *desgastabilidad*
9. *muestra seca a peso constante*
10. *muestra seca con los poros accesibles cerrados*
11. *peso de la muestra saturada*
12. *peso de la muestra saturada de agua con superficie seca*
13. *peso de la muestra saturada de agua y sumergida en ella*
14. *peso de la muestra seca*
15. *peso de la muestra seca a peso constante*
16. *peso de la muestra sumergida en agua sin saturar previamente*
17. *peso en el agua de la muestra embebida en agua*
18. *peso en el aire de la muestra embebida en agua*
19. *peso en el aire de la muestra seca*
20. *peso en seco de la muestra*
21. *peso específico aparente*
22. *peso específico real*
23. *peso específico relativo*
24. *poros abiertos*
25. *poros cerrados*
26. *poros inaccesibles*
27. *porosidad*
28. *porosidad absoluta*
29. *porosidad aparente*

ANEXO - FÓRMULAS

❖ POROSIDAD

- **POROSIDAD RELATIVA:** Definiremos la **porosidad relativa** como la relación existente entre el volumen de poros abiertos o accesibles con relación al volumen aparente de la muestra considerada. Se obtendrá un número comprendido entre 0 y 1, aunque también es común representar dicha relación en porcentaje de tanto por ciento; para ello, el valor obtenido se multiplica por 100.

$$P_r = \frac{h_a}{V_{ap}} \quad \text{(1)} \quad \text{o bien expresándolo en tanto por ciento: } P_r = \frac{h_a}{V_{ap}} \times 100 \quad \text{(2)}$$

- **POROSIDAD TOTAL o ABSOLUTA:** Definiremos la **porosidad total o absoluta** como la relación existente entre el volumen de poros totales con relación al volumen aparente de la muestra considerada. Se obtendrá un número comprendido entre 0 y 1, aunque también es común representar dicha relación en porcentaje de tanto por ciento; para ello, el valor obtenido se multiplica por 100.

$$P_r = \frac{ht}{V_{ap}} \quad \text{(3)} \quad \text{o bien expresándolo en tanto por ciento: } P_r = \frac{h_t}{V_{ap}} \times 100 \quad \text{(4)}$$

❖ DENSIDAD

- Debemos diferenciar aquí el concepto de densidad de los establecidos en la física con relación a la densidad y el peso específico. Cuando estudiamos materiales de construcción y atendemos a las propiedades físicas de los mismos, los conceptos densidad o peso específico se refieren al mismo concepto, con independencia de lo que la física explica al respecto. Por definición la densidad será la relación existente entre el peso –consideraremos un peso constante, desecado y pesado al aire, en condiciones de reproducibilidad, en el Laboratorio- que llamaremos peso seco P_s y el volumen del cuerpo, eligiendo el que se corresponda en cada caso: aparente, relativo o real o absoluto.

Fijado lo anterior, estableceremos tres densidades, a saber:

$$\text{Aparente: } D_{ap} = \frac{P_s}{V_{ap}} \quad \text{(5)} \quad \text{Relativa: } D_r = \frac{P_s}{V_r} \quad \text{(6)} \quad \text{Real: } D_R = \frac{P_s}{V_R} \quad \text{(7)}$$

Determinación de la resistencia a flexión (flexotracción).

Según la normativa española –Normas UNE 22176, para granitos ornamentales y UNE 22186, para mármoles y calizas ornamentales- para determinar la resistencia a flexión se puede recurrir a probetas prismáticas de dimensiones 300x25x40 mm o de 90x30x30.

Este ensayo se realiza mediante una prensa de las empleadas para los ensayos a compresión, utilizando un útil o capilla habilitada para transmitir una carga centrada sobre la probeta apoyada en dos puntos, donde la carga unitaria y la velocidad de incremento de la misma vienen determinadas en su respectivo ensayo –Norma aplicable, en cada caso- obteniéndose la resistencia –expresada en MegaPascales (Mpa), mediante la fórmula:

$$R \text{ (Mpa)} = \frac{3Wl}{4bh^2} \times \frac{1}{100} \quad \mathbf{(8)}$$

donde: **W** es la carga de rotura en N (newton), **l** la distancia entre los apoyos inferiores, **b** el ancho de la probeta y **h** el canto de la misma (las unidades de las dimensiones expresadas en cm).

En función de las dimensiones de la probeta, también se suele emplear la fórmula anterior, sustituyendo el coeficiente 3/4 por 3/2, manteniendo el resto de las variables y las unidades de las dimensiones.

Dado que estas circunstancias vienen expuestas en la respectivas norma, en el planteamiento de los problemas propuestos y para evaluar la adquisición de los conocimientos por los alumnos, sustituiremos las fórmulas de las normas, por una más general, que es la propuesta a continuación:

$$R(\text{MPa}) = \frac{Wl}{bh^2} \times \frac{1}{100} \quad \mathbf{(9)}$$

con los mismos significados expuestos en **(8)**.

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS ROCAS ORNAMENTALES

CARACTERÍSTICA TECNOLÓGICA	REVESTIMIENTOS		PAVIMENTOS		PELDAÑOS DE ESCALERA	PIZARRAS PARA CUBIERTAS
	INTERIORES	EXTERIORES	INTERIORES	EXTERIORES		
Descripción petrográfica	I	I	I	I	I	I
Análisis químico	PI	PI	PI	PI	PI	PI
Densidad aparente	I	I	I	I	I	I
Absorción de agua	PI	I	PI	I	PI	MI
Resistencia compresión	PI	I	PI	I	I	---
Resistencia a flexión	PI	I	I	I	MI	MI
Resistencia al choque	----	---	I	MI	MI	---
Resistencia a las heladas	----	MI	---	MI	---(*)	---
Resistencia al desgaste	PI	PI	I	MI	MI	---
Resistencia cambios térmicos	PI	MI	PI	MI	I	MI
Módulo de elasticidad	---	I	---	I	---	PI
Coefficiente de dilatación	---	MI	---	I	---	---
Microdureza Knoop	---	PI	I	MI	I	---
Resistencia al SO ₂	---	I	---	I	---	MI
Resistencia al anclaje	I	MI	---	---	---	---
Contenido en carbonatos	---	---	---	---	---	MI

Leyenda:

- MI ... muy importante
- I importante
- PI... poco importante

(*) atendiendo a que se trate de peldaños al exterior, considerar este factor como si se tratara de pavimento.

Octubre / noviembre 2002