



X Congreso Geológico de España

6 - 8 Julio 2020 VITORIA - GASTEIZ

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO



Fco. Javier Alonso Rodríguez

Departamento de Geología
Universidad de Oviedo



ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Course categories

- Lenguajes y Sistemas Informáticos
- Cristalografía y Mineralogía
- Máquinas y Motores Térmicos
- Derecho Constitucional
- Matemática Aplicada
- Derecho del Trabajo y de la Seguridad Social
- Derecho Público
- Estadística e Investigación Operativa y Didáctica de la Matemática
- Fisiología
- Organización de Empresas
- Química Física
- Economía Financiera y Contabilidad
- Fisiología Vegetal
- Didáctica y Organización Escolar
- Economía Aplicada
- Derecho Internacional Privado
- Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras
- Arquitectura y Tecnología de Computadores
- Filología Inglesa
- Petrología y Geoquímica
- Ingeniería eléctrica
- Fundamentos de análisis económico
- Psicología evolutiva y de la educación
- Biología de organismos y sistemas
- Cirugía y Especialidades Médico Quirúrgicas
- Neurociencias
- Didáctica de la Matemática
- Tecnología Electrónica
- All courses ...

Bienvenido al OpenCourseWare de la Universidad de Oviedo

La Universidad de Oviedo le da la bienvenida a su portal OpenCourseWare (OCW) de contenidos en abierto cuya finalidad es dar a conocer a la sociedad los contenidos que genera y transmite la Universidad proporcionando acceso libre y sin restricciones a su material docente, para que pueda ser compartido por todos aquellos interesados como docente, académicos o estudiantes.

Este proyecto forma parte de una iniciativa más global que surgió en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) en 2001 y ha generado la agrupación de universidades de alto prestigio internacional en torno al Open Education Consortium. En este marco y como red de universidades, Uniersia promueve la creación del OpenCourseWare Uniersia, consorcio que participa en esta iniciativa de promover el acceso libre y sin restricciones al conocimiento.

OpenCourseWare **no** es una iniciativa de formación a distancia o campus virtual en el que se puedan cursar estudios u obtener titulaciones de la Universidad de Oviedo. **Sí** es una herramienta que permite la libre publicación de material y proporciona contenidos que constituyen un apoyo a la formación gratuita de cualquier usuario.

Derechos de autor

Las personas que han proporcionado los materiales publicados en el OpenCourseWare de la Universidad de Oviedo han declarado expresamente que tales materiales son de su propiedad intelectual u ostentan título suficiente para su uso y explotación, habiendo concedido tales personas las licencias apropiadas para poder disponer del material en este sitio OpenCourseWare.

Para más información vaya al apartado Info Legal.

<http://ocw.uniovi.es/course/view.php?id=171>

home > cursos > petrología y geoquímica

Course categories: **Petrología y Geoquímica**

Petrología y Geoquímica

Introducción a la Petrología Sedimentaria
Profesor: VICENTE GOMEZ RUIZ DE ARGANDOÑA
Profesor: FRANCISCO JAVIER ALONSO RODRIGUEZ

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013-2014)
Profesor: FRANCISCO JAVIER ALONSO RODRIGUEZ

Search courses: GO Búsqueda Avanzada

Contacto | Información legal | Sobre OCW | RSS | Centro de Innovación | Universidad de Oviedo

home > alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013-2014)

Section links

- Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013-2014)
- Información General
- Programa
- Guía de aprendizaje
- Material de clase
- Actividades, prácticas, proyectos y/o casos
- Material de estudio y/o consulta
- Evaluación
- Calendario
- Otros recursos
- Profesores de la asignatura

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013-2014)

1. Información General
2. Programa
3. Guía de aprendizaje
4. Material de clase
5. Actividades, prácticas, proyectos y/o casos
6. Material de estudio y/o consulta
7. Evaluación
8. Calendario
9. Otros recursos
10. Profesores de la asignatura

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

1. Información General

- **Profesor:** Fco. Javier Alonso Rodríguez
- **Asignatura:** Alteración durabilidad y conservación de materiales rocosos
- **Plan de estudios:** Licenciatura en Geología
- **Centro:** Facultad de Geología
- **Créditos totales:** 5
- **Ciclo:** 5º curso
- **Tipo:** Ciencias
- **Teóricos:** 3
- **Prácticos:** 2
- **Curso:** 2013-2014
- **Periodo:** Primer Cuatrimestre
- **Descripción general de la asignatura:** Curso orientado a la adquisición de conocimientos y competencias sobre las **rocas como materiales de construcción**, su comportamiento frente a la alteración, la evaluación de su durabilidad, y las etapas y métodos de intervención para su conservación.
- **Objetivos:** Analizar las **características petrofísicas** y los **factores ambientales** que influyen en la **alteración de las rocas**. Conocer los procedimientos para valorar su **durabilidad**. Examinar los criterios y las etapas a seguir en la **conservación** de los materiales pétreos en edificación.
- **Contenidos:** 1) **Conceptos generales** sobre las rocas y su alteración. 2) **Métodos de estudio**. 3) **Factores internos** de alteración. 4) **Agentes externos**. 5) **Factores de construcción**. 6) **Procesos** de alteración y sus **efectos**. 7) **Durabilidad** de materiales pétreos. 8) Valoración de **tratamientos** de conservación. 9) **Criterios** de conservación y **diagnóstico** de lesiones. 10) Trabajos de **intervención** y **mantenimiento**.
- **Metodología:** Clases **expositivas** (presentaciones: guiones teóricos), prácticas de **laboratorio** o de **aula** (ejercicios sobre petrografía, composición química y propiedades físicas) y prácticas de **campo** (edificios restaurados en el centro de Asturias).
- **Organización:** El curso consta de **3 créditos teóricos** (30 horas) a desarrollar en un cuatrimestre (12-15 semanas, en sesiones de 2-2,5 horas por semana), correspondiendo una o dos presentaciones –según su extensión- a cada semana. Además incluye **2 créditos prácticos** (20 horas) a desarrollar en sesiones de 2-4 horas a la semana durante 5-10 semanas.
- **Recursos:** Los contenidos **teóricos** se sintetizan en **22 presentaciones**. Cada **práctica** (9 sesiones) dispone de una **hoja de contenidos**, cuatro de ellas son ejercicios y se indica el resultado, y la última es de campo.
- **Actividades:** Se incluyen **lecturas** complementarias sobre los distintos temas. Se proponen los citados **ejercicios de prácticas**, y posteriormente se indica el resultado.
- **Evaluación:** Se propone la autoevaluación de sus contenidos de cada tema mediante **preguntas tipo test**, seguidamente se responde el cuestionario.

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

TEORÍA

Tema 1. Conceptos generales. Las rocas como materiales de construcción. Piedra natural: extracción, elaboración y criterios de calidad. Acabados de la superficie. Las rocas de construcción en España. Meteorización y alteración. Escalas de estudio: macizos rocosos y materiales rocosos. Análisis de la alteración. Interés de su estudio. Documentación: bibliografía, publicaciones y normas de ensayo.

Tema 2. Métodos de estudio. Trabajo de campo. Toma de datos en el edificio: cartografía digital. Técnicas de campo. Datos del ambiente. Toma de muestras. Trabajo de laboratorio: métodos directos visuales. Observación y cuantificación. Trabajo de laboratorio: técnicas de análisis. Análisis mineral, morfoquímico y químico. Análisis del material alterado.

Tema 3. Factores internos. Características petrográficas. Composición: grado de alteración mineral. Textura: tipos y elementos. Porosidad: análisis de la porosidad como característica petrográfica. Informe petrográfico. Propiedades físicas: básicas, hídras, mecánicas, dinámicas y térmicas. Correlaciones.

Tema 4. Agentes de externos. Temperatura. Agua y humedad: propiedades, estado, origen, movimiento, acción del agua en las rocas. Contaminantes: tipos, fuentes, evolución y efecto sobre los materiales. Sales solubles: tipos, fuentes, evolución, procesos y daños generados. Desarrollo de organismos: tipos, localización, descripción, procesos relacionados con el biodeterioro.

Tema 5. Factores de construcción. Manipulación y puesta en obra de los materiales. Posición de la piedra en el edificio. Características de los morteros. Influencia del terreno. Defectos del proyecto y de su ejecución. Humedades y fisuras. Agresiones antrópicas.

Tema 6. Procesos y efectos. Procesos de alteración: físicos, químicos y biológicos. Efectos: formas y productos de alteración. Pérdida de materia. Aporte de materia: productos de alteración. Alteración cromática. Deformación y rotura. Grados de alteración: localización, extensión e intensidad. Zonas.

Tema 7. Durabilidad. Conceptos y métodos de estudio. Métodos indirectos. Ensayos experimentales. Envejecimiento artificial acelerado: preparación de muestras, procedimiento experimental. Ensayos termohídricos, de heladicidad, cristalización de sales, niebla salina y niebla ácida. Valoración de los resultados. Correlación entre ensayos.

Tema 8. Valoración de tratamientos de conservación. Introducción: objetivos, requisitos, conceptos, factores, etapas y métodos en la valoración de los tratamientos. Ensayos de laboratorio: producto absorbido, propiedades físicas y durabilidad. Ensayos “in situ”. Consideraciones finales.

Tema 9. Conservación de materiales pétreos I. Criterios y normas de conservación: antecedentes históricos, cartas de restauración, organizaciones, normas. Términos relacionados con la conservación. Diagnóstico de lesiones: el edificio, los materiales, el deterioro y el ambiente. Documentación. Inspección de campo. Análisis de laboratorio. Trabajo de gabinete: causas del deterioro, memoria final. Etapas de intervención.

Tema 10. Conservación de materiales pétreos II. Trabajos de intervención. Limpieza: criterios generales, tipos, métodos y productos. Limpieza mecánica, con agua, química, láser, otros métodos. Otras intervenciones. Sustitución y reintegración: objetivos, requisitos, materiales. Consolidación y protección: objetivos, factores, requisitos, consideraciones, tipos de productos consolidantes e hidrofugantes. Mantenimiento y conservación preventiva.

2. Programa

PRÁCTICAS

Práctica 1. Fuentes documentales del curso: Libros, publicaciones, normas

Práctica 2. Análisis químico y mineral: Tratamiento e interpretación de datos.

Práctica 3. Determinación del contenido en sales solubles por conductividad eléctrica.

Práctica 4. Caracterización petrográfica de rocas porosas.

Práctica 5. Caracterización petrográfica de rocas cristalinas.

Práctica 6. Porosimetría por inyección de mercurio: Obtención de parámetros del sistema poroso.

Práctica 7. Determinación de propiedades físicas: Densidad, porosidad y capilaridad. Valoración de resultados. Interpretación petrofísica.

Práctica 8. Humedad y temperatura del aire: Procesos de sorción y de succión.





Práctica 9. Conservación de monumentos asturianos.

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS





CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

4. Material de clase



Tema 1. Conceptos generales

-  Las rocas como materiales de construcción
-  Meteorización y alteración
-  Documentación 





Tema 2. Métodos de estudio

-  Trabajo de campo
-  Trabajo de laboratorio: métodos visuales 
-  Trabajo de laboratorio: técnicas de análisis

Tema 3. Factores internos

-  Características petrográficas
-  Propiedades físicas




Tema 4. Agentes externos

-  Temperatura. Agua y humedad
-  Contaminantes
-  Sales solubles
-  Desarrollo de organismos

Tema 5. Factores de construcción

-  Factores de construcción

Tema 6. Procesos y efectos

-  Procesos de alteración
-  Efectos: formas y productos de alteración
-  Grados de alteración




Tema 7. Durabilidad

-  Durabilidad



Tema 8. Valoración de tratamientos

-  Valoración de tratamientos de conservación

Tema 9. Conservación de materiales pétreos I

-  Criterios y normas de conservación 
-  Diagnóstico de lesiones

Tema 10. Conservación de materiales pétreos II

-  Trabajos de intervención. Limpieza
-  Otras intervenciones

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

4. Material de clase: TEMA 1. Documentación

1. **ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS**

Tema 1. CONCEPTOS GENERALES
1.1. Documentación, bibliografía y normas

Material de consulta:
 - Documentación bibliográfica, publicaciones y normas de trabajo (2014), S.G.
 - Fichas de los materiales, minerales y cementos (2014), S.G.

2. **ROCAS EN ARQUITECTURA**

3. **ROCAS EN ARQUITECTURA**

4. **ALTERACIÓN Y CONSERVACIÓN**

5. **ALTERACIÓN Y CONSERVACIÓN**

6. **ALTERACIÓN Y CONSERVACIÓN**

7. **RESTAURACIÓN Y MANTENIMIENTO**

8. **CONSERVACIÓN: Criterios**

9. **ALTERACIÓN Y CONSTRUCCIÓN: Clásicos**

10. **MÉTODOS DE ESTUDIO**

11. **MÉTODOS DE ESTUDIO**

12. **DETERIORO Y CONSERVACIÓN: Libros de V.V.AA.**

13. **DETERIORO Y CONSERVACIÓN: Libros de V.V.AA.**

14. **CURSOS Y SEMINARIOS**

15. **CURSOS Y SEMINARIOS**

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

4. Material de clase: TEMA 2. Métodos de estudio

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

Tema 2. MÉTODOS DE ESTUDIO 2.2. Trabajo de laboratorio: métodos directos visuales

MÉTODOS DE ESTUDIO

- Trabajo de campo:
 - objetivo, especificidad, relevancia: INSPECCIONES VISUALES, ENSAYOS IN SITU
 - Toma de datos: materiales
 - Toma de datos: ambiente
 - Toma de muestras
- Trabajo de laboratorio
 - criterios en la elección de TÉCNICAS DE ESTUDIO
 - Análisis de la composición: mineral, químico...
 - Análisis de la textura: fases sólidas, espacios vacíos...
 - preparación de muestras, procedimiento de análisis...
- Análisis de datos

Consideraciones:

- ✓ Información requerida
- ✓ Precisión requerida
- ✓ Técnica adecuada
- ✓ Toma de decisiones

TRABAJO DE LABORATORIO

OBJETIVOS DE ESTUDIO

- COMPOSICIÓN → QUÍMICA MINERAL
 - fases sólidas
- TEXTURA → TAMAÑO FORMA ISOTROPÍA HOMOGENEIDAD
 - fases sólidas
 - espacios vacíos

NIVEL DE ESTUDIO

- CUALITATIVO → identificar, describir
- CUANTITATIVO → cuantificar

PROCEDIMIENTO

- MÉTODOS DIRECTOS VISUALES (MACRO-MICROSCÓPICOS)
- TÉCNICAS ANALÍTICAS INSTRUMENTALES
- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (PROPIEDADES FÍSICAS)

MÉTODOS DIRECTOS VISUALES

⇒ COMPOSICIÓN + TEXTURA

a) OBSERVACIÓN (fotografías) → cualitativos

- Métodos macroscópicos: "DE VISU"
 - Métodos microscópicos:
 - LUPA BINOCULAR (Estereomicroscopio)
 - MICROSCOPIA ÓPTICA DE POLARIZACIÓN (MOP): LUZ TRANSMITIDA / LUZ REFLEJADA
 - MICROSCOPIA DE FLUORESCENCIA
 - MICROSCOPIA LÁSER CONFOCAL
 - MICROSCOPIA ELECTRÓNICA: DE BARRIDO (MEB/SEM) de transmisión (MET/TEM)
 - MICROSCOPIA ACÚSTICA...
- combinación de técnicas

Tamaño de la muestra

- f (tamaño de componentes)
 - VISU: > 1 mm
 - POL: 1 mm a 10 µm
 - SEM: < 10 µm

Preparación de la muestra

- evitar artefactos
- Impregnar con resinas
- superficie plana / pulida
- superficie de fractura...
- superficie tratada

b) CUANTIFICACIÓN → cuantitativos

- Métodos estereológicos:
 - CONTADOR DE PUNTOS, OCULAR INTEGRADOR...
- Métodos informáticos:
 - PROCESO DIGITAL DE IMÁGENES

Alonso F.J. (2008). Técnicas de estudio de la porosidad. Documento Interno. Dpto. Geología, Univ. Oviedo, 8 p.

MÉTODOS DIRECTOS VISUALES

METODOLOGÍA

- composición mineral
- características texturales
- observación > cuantificación

- Observación: identificación
 - Simple vista
 - Lupa binocular (estereomicroscopio)
 - Microscopía óptica
 - Microscopía electrónica



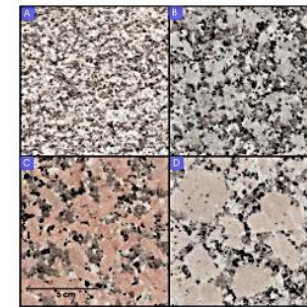
- Descripción:
 - Modelos de textura / sistema poroso
 - Elementos texturales de los granos / vacíos
 - Tipos de granos / espacios vacíos



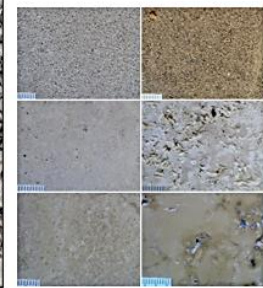
- Cuantificación:
 - Métodos manuales
 - Métodos automáticos

OBSERVACIÓN: Aspecto macroscópico

Rocas ígneas



Rocas sedimentarias



ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

4. Material de clase: TEMA 9. Conservación de materiales pétreos

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

Tema 9. CONSERVACIÓN DE MATERIALES PÉTREOS 9.1. Criterios y normas de conservación

Fco. Javier Alonso (Dpto. Geología Univ. Oviedo) Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013) Tema 9. Conservación de materiales 1

1

CONSERVACIÓN DE MATERIALES PÉTREOS

ÍNDICE GENERAL

- Criterios y normas en la conservación de la piedra
- Diagnóstico de lesiones → estudios previos...
 - Metodología de trabajo
 - Plan de intervención → etapas
- Trabajos de Intervención
 - Seguimiento durante la obra
- Mantenimiento y conservación preventiva

Fco. Javier Alonso (Dpto. Geología Univ. Oviedo) Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013) Tema 9. Conservación de materiales 2

2

CONSERVACIÓN DE MATERIALES PÉTREOS

- El aspecto/estado de la piedra es importante por estética e integridad.
- El deterioro de la piedra es un proceso acelerado.
- Cada edificación monumental es única y compleja.
- Se precisa un plan de actuación con criterios y pautas a seguir.
- El diagnóstico requiere un equipo interdisciplinar.
- La intervención requiere personal técnico experimentado.

Fco. Javier Alonso (Dpto. Geología Univ. Oviedo) Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013) Tema 9. Conservación de materiales 3

3

CRITERIOS DE CONSERVACIÓN

ÍNDICE

- Antecedentes históricos
- Cartas de restauración
- Organizaciones
- Legislación y normas
- Bibliografía

Fco. Javier Alonso (Dpto. Geología Univ. Oviedo) Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013) Tema 9. Conservación de materiales 4

4

CRITERIOS DE CONSERVACIÓN

Antecedentes históricos

- **Viollet-le-Duc (1814-1879)**
Intervencionista
Restauración en estilo
Recuperar la "forma pristina"
Perfeccionismo → falso histórico
- **John Ruskin (1819-1900)**
Conservador → antirrestauración
Restauración romántica
Mínima intervención
Contemplación de la ruina



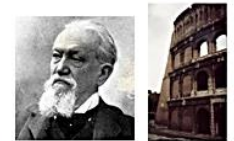
Fco. Javier Alonso (Dpto. Geología Univ. Oviedo) Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013) Tema 9. Conservación de materiales 5

5

CRITERIOS DE CONSERVACIÓN

Antecedentes históricos

- **Camilo Boito (1836-1914)**
Restauración científica: análisis → cartas
Legado histórico → conservación íntegra
Mínima intervención (adiciones diferenciadas)
Clasificación, grupos de restauración:
 - arqueológica → antigüedad: consolidar
 - pictórica → medieval: respetar el ambiente
 - arquitectónica → pos-renacimiento: unidad formal
- **Cesar Brandi (1906-1988)**
Teoría del restauro → ICR, cartas
Restauración como acto crítico (+ técnico)
Valor estético (+ documento histórico)
Restaurar la materia → por los científicos
Restablecer unidad potencia de la obra, sin falsificar






















Fco. Javier Alonso (Dpto. Geología Univ. Oviedo) Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013) Tema 9. Conservación de materiales 6

6

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

5. Actividades prácticas

-  Práctica 1. Fuentes documentales del curso.
-  Práctica 2. Análisis químico y mineral. 
-  Práctica 3. Determinar el contenido en sales solubles.
-  Práctica 4. Caracterización petrográfica de rocas porosas.
-  Práctica 5. Caracterización petrográfica de rocas cristalinas.
-  Práctica 6. Porosimetría por inyección de mercurio. 
-  Práctica 7. Propiedades físicas: Interpretación de resultados. 
-  Práctica 7. Datos propiedades: arenisca Ojo de Perdiz.
-  Práctica 7. Datos propiedades: arenisca de Santillana.
-  Práctica 7. Datos propiedades: caliza de Sepúlveda.
-  Práctica 7. Datos propiedades: caliza de Vinaixa.
-  Práctica 7. Datos propiedades: dolomía de Laspra.
-  Práctica 7. Datos propiedades: granito de Fraguas.
-  Práctica 8. Humedad y temperatura del aire. 
-  Práctica 9. Conservación de monumentos asturianos.

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

5. Actividades: PRÁCTICA 2. Análisis químico y mineral + RESULTADO

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013)

Práctica 2. Análisis químico y mineralogía

Práctica 2. Análisis químico y mineral: Tratamiento e interpretación de datos.

Se ha determinado la composición de distintas rocas carbonatadas (mármoles y calizas) mediante fluorescencia de rayos X y difracción de rayos X con los siguientes resultados:

- Datos obtenidos mediante fluorescencia de rayos X.

Roca	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	MnO	K2O	Na2O	TiO2	P2O5	LOI	Total
(% en peso)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Macael	0,00	0,00	0,02	55,67	0,83	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	43,45	100,01
Triana	0,00	0,00	0,12	33,31	20,55	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	46,23	100,26
Tranco	0,59	0,00	0,20	55,43	0,49	0,06	0,00	0,02	0,01	0,01	43,16	99,97
Albox	0,00	0,00	0,05	55,33	0,31	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	43,46	99,19
Uncastillo	47,80	3,43	1,80	24,73	0,59	0,05	0,62	0,38	0,21	0,05	20,40	100,06
Fraga	1,80	0,33	0,54	53,28	0,57	0,18	0,06	0,07	0,04	0,02	43,05	99,95
Sta. Pudía	2,93	0,06	0,37	52,53	0,31	0,02	0,05	0,02	0,02	0,04	43,20	99,54
Hontoria	0,37	0,02	0,00	54,39	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	43,49	98,34
Laspra	2,88	0,72	0,50	31,23	18,71	0,03	0,04	0,09	0,04	0,06	45,53	99,83
Boñar	1,03	0,49	0,38	34,34	17,63	0,02	0,03	0,00	0,03	0,02	45,48	99,45

- Datos obtenidos mediante difracción de rayos X.

Roca	Calcita	Dolomita	Cuarzo	Feldespato	Moscovita
Macael	xxxxx	--	t	--	--
Triana	x	xxx	x	--	x
Tranco	xxxx	--	t	--	t
Albox	xxxxx	--	t	--	--
Uncastillo	xxx	--	xx	t	--
Fraga	xxxxx	--	t	--	--
Sta. Pudía	xxxxx	--	t	--	--
Hontoria	xxxxx	--	t	--	--
Laspra	--	xxxx	x	--	--
Boñar "B"	xx	xxx	t	--	--

t = trazas

Responde las siguientes cuestiones:

- A partir de los datos de composición química, determina el contenido normativo de las distintas rocas en los minerales calcita y dolomita.
- Indica si los resultados anteriores –relativos al contenido normativo en calcita y dolomita– son coherentes en todas las rocas con los resultados de otros análisis (difracción de rayos X, microscopía óptica de polarización), en cuanto a la presencia o ausencia de dichos minerales. En caso de discrepancia entre ambos resultados indica a que puede ser debido.

Pasos a seguir en una hoja de cálculo:

- Pasar el porcentaje en peso a número de moléculas (dividir por el peso molecular).
- Restar del nº de moléculas de CaO (normalmente mayor) del nº de moléculas de MgO.
- Pasar el nº de moléculas de la diferencia CaO-MgO a porcentaje en peso de calcita.
- Pasar el nº de moléculas de MgO x2 (por cada molécula de MgO hay una de CaO en la dolomita) a porcentaje en peso de dolomita.
- Comparar el contenido normativo en dolomita con el determinado por otras fuentes (DRX, MOP).
- Valorar la estabilidad de los minerales calcita y dolomita.

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013)

Práctica 2. Análisis químico y mineralogía

a) A partir de los datos de composición química, determina el contenido normativo de las distintas rocas en los minerales calcita y dolomita.

- Pasar el porcentaje en peso a número de moléculas (dividir por el peso molecular):

Roca	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	MnO	K2O	Na2O	TiO2	P2O5
Macael	0,000	0,000	0,000	0,993	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Triana	0,000	0,000	0,001	0,594	0,510	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tranco	0,010	0,000	0,001	0,988	0,012	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Albox	0,000	0,000	0,000	0,987	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Uncastillo	0,796	0,034	0,011	0,441	0,015	0,001	0,007	0,006	0,003	0,000
Fraga	0,030	0,003	0,003	0,950	0,014	0,003	0,001	0,001	0,001	0,000
Sta. Pudía	0,049	0,001	0,002	0,937	0,008	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Hontoria	0,006	0,000	0,000	0,970	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Laspra	0,048	0,007	0,003	0,557	0,464	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Boñar "B"	0,017	0,005	0,002	0,612	0,437	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Considerando que todo el Mg forma dolomita y que los cristales son estequiométricos (Ca y Mg están en la misma proporción):

- Restar del nº de moléculas de CaO (normalmente mayor) del nº de moléculas de MgO.
- Pasar el nº de moléculas correspondiente a la diferencia CaO-MgO a porcentaje en peso de calcita.
- Pasar el nº de moléculas de MgO x 2 (por cada molécula de MgO hay una de CaO en la dolomita) a porcentaje en peso de dolomita.

Roca	Sólo calcita (CaO-MgO)		Sólo dolomita (CaO+MgO)		Calcita + dolomita
	moléculas	% en peso	moléculas	% en peso	
Macael	0,972	97,3	0,0412	3,8	101,1
Triana	0,084	8,4	1,0193	94,0	102,4
Tranco	0,976	97,7	0,0243	2,2	100,0
Albox	0,979	98,0	0,0152	1,4	99,4
Uncastillo	0,426	42,7	0,0295	2,7	45,4
Fraga	0,936	93,7	0,0283	2,6	96,3
Sta. Pudía	0,929	93,0	0,0152	1,4	94,4
Hontoria	0,970	97,1	0,0000	0,0	97,1
Laspra	0,093	9,3	0,9281	85,6	94,9
Boñar "B"	0,175	17,5	0,8746	80,6	98,2

b) Indica si los resultados anteriores son coherentes con los resultados de otros análisis. En caso de discrepancia entre ambos resultados indica a que puede ser debido.

- Comparar el contenido normativo en dolomita con el determinado por otras fuentes.
- Valorar la estabilidad de los minerales calcita y dolomita.

Macael	DRX: calcita, sin dolomita. Dolomita normativa: 3,8 %, valor bajo, el Mg estaría en la red de la calcita.
Triana	DRX: dolomita >>>> calcita. Calcita normativa: 8,4 %, detectada en DRX y vista al microscopio.
Tranco	DRX: calcita, sin dolomita. Dolomita normativa: 2,2 %, valor bajo, el Mg estaría en la red de la calcita.
Albox	DRX: calcita, sin dolomita. Dolomita normativa: 1,4 %, valor muy bajo, el Mg en la red de la calcita.
Uncastillo	DRX: calcita, sin dolomita. Dolomita normativa: 2,7 %, valor bajo, el Mg estaría en la red de la calcita.
Fraga	DRX: calcita, sin dolomita. Dolomita normativa: 2,6 %, valor bajo, el Mg estaría en la red de la calcita.
Sta. Pudía	DRX: calcita, sin dolomita. Dolomita normativa: 2,2 %, valor muy bajo, el Mg en la red de la calcita.
Hontoria	DRX: calcita, sin dolomita. Dolomita normativa: 0,0 %, confirma que no tiene dolomita
Laspra	DRX: dolomita, sin calcita. Calcita normativa: 9,3 %, valor elevado, pero no se detecta calcita en DRX ni se observa al microscopio, por lo que el Ca debe de estar en la red de la dolomita. Dada la elevada cantidad de calcio en la red de la dolomita la dolomita es más inestable.
Boñar "B"	DRX: dolomita >> calcita. Calcita normativa: 17,5 %, la cual se detecta en DRX y se ve al microscopio.

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

5. Actividades: PRÁCTICA 6. Porosimetría de mercurio + RESULTADO

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013)

Práctica 6. Porosimetría de mercurio

Práctica 6. Porosimetría por inyección de mercurio: Obtención de parámetros del sistema poroso.

A partir de los informes de porosimetría por inyección de mercurio de las siguientes rocas (filas), determina los parámetros del sistema poroso indicados (columnas):

TIPO DE ROCA	DENSIDAD		POROSIDAD			SUPERFICIE ESPECÍFICA (m ² /g)
	Densidad corregida (Kg/m ³)	Densidad de la roca seca (Kg/m ³)	Porosidad abierta (%)	Porosidad atrapada (%)	Porosidad atrapada relativa (%)	
Arenisca de Villaviciosa (11536)	2639 / 2640	2110 / 2111	20,1	15,8	79	0,75
Arenisca de Montjüic (10768)	2603 / 2614	2250 / 2258	13,6	8,9	65	0,64
Caliza de Piedramuelle (11548)	2710 / 2710	2260 / 2262	16,5	11,8	71,5	0,62
Dolomía de Boñar (7730)	2771 / 2783	2390 / 2400	13,7 / 13,8	11,7	85	2,10
Dolomía de Laspra (10179)	2781 / 2792	2050 / 2056	26,3 / 26,4	12,5	47	5,26
Granito de Fraguas (12500)	2675 / 2671	2532 / 2528	5,3	1,75	33	0,34

* Los valores subrayados proceden del informe de resultados y los no-subrayados son los calculados con los datos (peso y volumen)

TIPO DE ROCA	Radio de acceso de poro (µm)			Poros con radio de acceso mayor de 10 µm (%)		Poros con radio de acceso de 10 a 0,1 µm (%)		Poros con radio de acceso menor de 0,1 µm (%)	
	media	moda	mediana	relativos	absolutos	relativos	absolutos	relativos	absolutos
	Arenisca de Villaviciosa (11536)	9,4	10	8	27	5,4	65	13,0	8
Arenisca de Montjüic (10768)	6,7	8 (0,15)	3	10,5	1,4	75	10,2	14,5	2,0
Caliza de Piedramuelle (11548)	0,59	0,6	0,6	5	0,8	88	14,5	7	1,2
Dolomía de Boñar (7730)	0,21	0,20	0,12	0	0	59	8,1	41	5,7
Dolomía de Laspra (10179)	0,16	0,15	0,11	0	0	53	13,9	47	12,4
Granito de Fraguas (12500)	0,5	0,4	0,3	15	0,8	70	3,7	15	0,8

Fco. Javier Alonso. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). Universidad de Oviedo

Página 1 de 2

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013)

Práctica 6. Porosimetría de mercurio

ARENISCA DE VILLAVICIOSA (11536)

```

Milestone 200 Report generator
Instrument name : Porosimeter 2000
Method name : bicnv
Method filename : WV1C102.POR

Sample information
Container name : UNIVERSIDAD DE OVIEDO / E1891
Sample name : Arenisca de Villaviciosa (11536)
Preparation : Tiempo: 1 hora: 22NC.....
Date : 25/03/97
Operator : J.A. P4=24.29
Sample mass (g) : 12,00
Sample dens. (g/cm3) : 0
Height Dilatometer (g) : 0
Weight Dil.+ Mercury (g) : 483,48
Weight Dil.+ mer.+sample (g) : 617,48

Instrument parameters
Porosimeter type : P4-M5
Capillary radius (mm) : 3
Dilatometer Vol. (cm3) : 24
Macropores connection : Auto
Macropore Press. unit : (kPa)

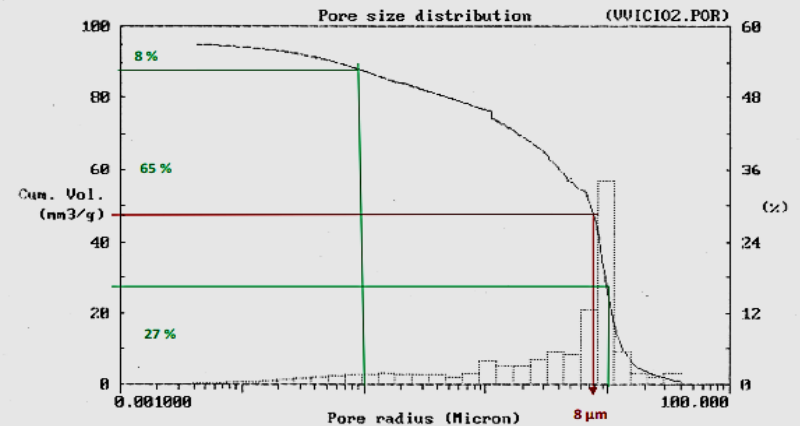
Acquisition parameters
Step rise time (s) : 3
Max pressure (bar) : 2000
Pump speed : 3

Analytical conditions
Contact angle (Deg) : 141,3
Hg Surf. Tens. (Dyn/cm) : 480
Mercury weight (mg) : 150
Hg density (g/cm3) : 13,6

Disk and filename of Blank measurement to subtract
Filename : G:\P4\3\BLANDRBLAN13B

Calculation & Report parameters
Data report type : Summary
Calculation model : Cylindrical

Total volume specific surface and pore radius average (Ver 3.0b)
Total cumulative vol. (mm3/g) : 95,02905
Specific surface area (m2/g) : 75
Pore radius average (Micron) : 9,373
Bulk density (g/cm3) : 2,11
Corrected Bulk density (g/cm3) : 2,839187
Total sample porosity (%) : 20,05
    
```



Fco. Javier Alonso. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). Universidad de Oviedo

Página 2 de 2

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

5. Actividades: PRÁCTICA 7. Propiedades físicas + RESULTADO

PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ROCAS

TIPO DE ROCA		DENSIDAD			POROSIDAD			CAPILARIDAD		
		Método geométrico	Método hidrostático	Densidad real	Método hidrostático	Porosidad cerrada	Porosidad total	COEFICIENTE		
		ρ_d (Kg/m ³)			n_o (%)			C (kg/m ² x h ⁻²)	A (cm x h ^{-1/2})	A _r (cm x h ^{-1/2})
OJO DE PERDIZ (13898)	x	2210	2236	2679	15,6	1,0	16,6	1,60	2,45	1,02
	σ	± 73	± 9		± 0,2			± 0,06	± 0,06	± 0,04
	C.V.	3,3 %	0,4 %		1,2 %			4 %	3 %	
SANTILLANA (11767)	x	2032	2027	2671	23,7	0,4	24,1	2,4	1,6	1,03
	σ	± 28	± 10		± 2,6			± 0,4	± 0,2	± 0,15
	C.V.	1,4 %	0,5 %		11 %			15 %	13 %	
VINAIXA (12378)	x	2349	2348	2764	13,3	1,7	15,0	2,3	3,5	1,8
	σ	± 14	± 12		± 0,2			± 0,2	± 0,7	± 0,2
	C.V.	0,6 %	0,5 %		1,2 %			9 %	21 %	
LASPRA (10863)	x	2042	2053	2856	26,1	2,0	28,1	3,2	1,0	1,24
	σ	± 32	± 9		± 0,3			± 0,3	± 0,4	± 0,06
	C.V.	1,5 %	0,4 %		1,0 %			9 %	41 %	
SEPÚLVEDA (12501)	x	2160	2197	2709	18,7	1,5	20,3	2,8	3,0	1,5
	σ	± 18	± 14		± 0,5			± 0,4	± 0,4	± 0,2
	C.V.	0,8 %	0,6 %		2,7 %			15 %	13 %	
FRAGUAS (12500)	x	2485	2502	2645	5,33	0,07	5,39	1,9	3,61	3,6
	σ	± 11	± 2		± 0,08			± 0,2	± 0,04	± 0,4
	C.V.	0,4 %	0,1 %		1,5 %			11 %	1,2 %	

Valor medio (x), expresado con el número de cifras significativas correcto, de acuerdo con su desviación típica (σ).

Desviación típica relativa, también llamada coeficiente de variación (C.V.): se obtiene dividiendo la desviación típica (σ) por la el valor medio (x) y se expresa en (%), de esta forma se pueden comparar las desviaciones (σ) cuando las magnitudes (x) son muy diferentes (por ejemplo: no significa lo mismo una desviación de 0,1 en la porosidad de una roca si el valor de la porosidad es del 2 % o si la porosidad es del 20 %).

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

5. Actividades: PRÁCTICA 7. Propiedades físicas + RESULTADO

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013)

Práctica 7. Propiedades físicas

Práctica 7. Determinación de propiedades físicas: Densidad, porosidad y capilaridad. Valoración de resultados. Interpretación petrográfica.

Dadas las siguientes rocas: arenisca Ojo de Perdiz, arenisca de Santillana, caliza de Sepúlveda, caliza de Vinaixa, dolomía de Laspra y Granito de Fraguas, se ha realizado su caracterización petrográfica (prácticas 3.1 y 3.2) y se han determinado sus propiedades físicas: densidad, y porosidad y capilaridad (ver ficheros adjuntos).

a) Valora los resultados obtenidos para las propiedades físicas determinadas, respondiendo las siguientes cuestiones:

- La densidad aparente o densidad de la roca seca se ha obtenido por dos métodos: geométrico e hidrostático, ¿cuál te pare más preciso?

Es más preciso el método hidrostático. En el método hidrostático las desviaciones son menores, en valor absoluto se sitúan alrededor de ± 9 (en valor relativo 0,5 %), mientras que en el método geométrico la media de las desviaciones es ± 30 (1,3 % en términos relativos).

- En cuanto a los valores obtenidos por ambos métodos, ¿consideras que son similares teniendo en cuenta las desviaciones que existen?, ¿observas alguna tendencia?

Teniendo en cuenta los errores cometidos en ambos métodos, pueden considerarse los valores (densidad aparente o densidad de la roca seca) son similares en: Santillana, Vinaixa, Laspra y Ojo de Perdiz, y existen ligeras diferencias en: Sepúlveda y Fraguas.

En general los valores obtenidos por el método hidrostático son mayores que los del geométrico. Esta tendencia puede deberse en principio a dos causas: a) en el método geométrico la falta de material en alguna arista o vértice de la muestra da como resultado menor masa y por tanto menor densidad, b) en el método hidrostático si la saturación de las muestras no es completa la masa saturada es menor, el volumen obtenido es menor y por tanto la densidad mayor.

Desconocemos si el valor verdadero está más próximo al obtenido por un método o por el otro, en cualquier caso cuando ambos valores son similares cabe pensar que estamos próximos al valor verdadero.

- En el cálculo de la densidad real influye los porcentajes de los distintos minerales, en el caso de que existan diferencias entre los valores obtenidos experimentalmente y los reales, ¿se ve afectada la porosidad abierta?, y ¿la porosidad cerrada?

La porosidad abierta no se ve afectada ya que se obtiene por el método hidrostático (se mide el peso seco, saturado y sumergido) y por tanto no interviene la composición mineral.

La porosidad cerrada si se ve afectada ya que se calcula a partir de la diferencia entre la porosidad total y la abierta. La porosidad total considerada en este caso es teórica y se calcula a partir de la composición mineral. Esto significa que pequeñas diferencias en la composición mineral o en los valores de densidad de los minerales generan notables diferencias en la porosidad cerrada.

- En el cálculo de los coeficientes de capilaridad, ¿consideras que el ajuste de los puntos experimentales a una recta es bueno en cada muestra?, ¿la dispersión entre las distintas muestras de un mismo tipo rocoso es grande?, ¿en qué órdenes de magnitud se sitúa la dispersión relativa de esos coeficientes de capilaridad?

Sí, el ajuste es muy bueno, el coeficiente de correlación (R^2) se sitúa siempre muy próximo a 1. Tanto las rectas obtenidas para determinar la absorción capilar (C) como las de penetración capilar (A) toman con frecuencia valores de 0,99 y siempre se mantienen por encima de 0,94.

En general la dispersión (desviación) entre las distintas muestras dentro de cada roca es pequeña (varía de 0,06 a 0,4). No obstante, es mejor considerar la desviación relativa (coeficiente de variación), de esta forma la desviación no depende de la correspondiente magnitud (normalización de resultados para efectuar comparaciones).

La dispersión relativa para la absorción capilar "C" se sitúa en torno al 10 % (variando del 4-15 %) e igualmente para la penetración capilar "A" puede considerarse el 10 % (variando 1-20%), en este caso sin tener en cuenta Laspra (donde la dispersión es mucho mayor: 40 %).

Fco. Javier Alonso. Departamento de Geología (Petrología y Geocímica). Universidad de Oviedo

Página 1 de 4

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013)

Práctica 7. Propiedades físicas

- Los coeficientes de capilaridad se han expresado en distintas unidades (g. kg, m, cm, mm; h, min, s), ¿qué conjunto de las unidades de las indicadas te parecen más apropiadas?

Para la absorción capilar "C" parecen unidades apropiadas ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$) o quizás mejor ($\text{g/m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) estas últimas propuestas por la norma de la piedra natural. Si se expresa de acuerdo con el sistema internacional unidades ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), tal como hace la norma de conservación del patrimonio cultural, los valores obtenidos son muy pequeños y requieren muchos ceros decimales. Para la penetración capilar "A" se consideran unidades más adecuadas ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$), ya que entonces este parámetro toma valores alrededor de la unidad.

- Compara el coeficiente de penetración capilar experimental (A) con el teórico (A_t), ¿observas alguna tendencia?, en caso afirmativo, ¿qué interpretación sugieres?

En la mayoría de las rocas el coeficiente experimental es mayor que el teórico. En concreto en las rocas donde la porosidad se debe fundamentalmente a poros de tipo intergranular (Ojo de Perdiz, Santillana, Vinaixa y Sepúlveda). Este hecho significa que el agua asciende más deprisa en sistema poroso real que en el modelo teórico de poros cilíndricos de igual tamaño. En consecuencia cabe pensar que este tipo de sistema poroso (porosidad intergranular), con notables variaciones de tamaño: ensanchamientos y estrechamientos, favorece que el agua ascienda más rápidamente.

En el granito ambos coeficientes son similares, esto se atribuye a la distinta configuración de la porosidad. En este caso los espacios vacíos son finos y el comportamiento de las fisuras, cuyo espesor (apertura) se mantiene más o menos constante (no presenta ensanchamientos y estrechamientos como en el caso anterior) es más parecido al del modelo de poros cilíndricos ideales (cuyo radio por definición también se mantiene constante).

En Laspra el coeficiente experimental es menor que el teórico, esto puede deberse a que su sistema poroso es diferente al intergranular de las rocas clásticas; ahora se observan poros grandes (vacuolares) y pequeños (matriciales) mal comunicados entre sí. Además debe tenerse en cuenta que el error cometido en la determinación del coeficiente experimental es muy grande y es posible que la diferencia entre ambos coeficientes no sea tal, incluso que el comportamiento sea similar al resto de las rocas porosas.

- Admitiendo que no se han cometido errores en los ensayos, ¿qué tipo/s rocoso/s consideras más homogéneo?, y ¿cuál/es presentan mayor variabilidad?

Considerando que las desviaciones son debidas a falta de homogeneidad entre las distintas probetas de la muestra, y que no son debidas a errores experimentales, la roca más homogénea es Ojo de Perdiz, ya que las desviaciones son las más pequeñas (n_s : 1,2 %, C: 4 % y A: 3 %), y como más heterogénea puede considerarse Santillana ya que las desviaciones son para todos los parámetros (n_s : 11 %, C: 15 % y A: 13 %).

b) Realiza una interpretación petrográfica en términos relativos de las seis rocas, de acuerdo con las características petrográficas y las propiedades físicas determinadas.

La densidad real es parecida en todos los tipos rocosos. Los valores más bajos corresponden a las rocas silicatadas, siendo similar en areniscas y granitos: 2650-2680 kg/cm^3 . Las rocas carbonatadas presentan valores algo mayores: 2710-2860 kg/cm^3 , correspondiendo el primer valor a las calizas puras (como Sepúlveda), el segundo a las dolomías puras (como Laspra), y valores intermedios a las calizas dolomíticas y dolomías calcáreas (como Vinaixa).

La densidad aparente, de acuerdo con la poca diferencia que presenta la densidad real, depende esencialmente de la porosidad. En consecuencia, valores bajos en la densidad aparente son debidos a elevada porosidad, y esta relación es válida en la mayoría de las rocas ornamentales.

La porosidad abierta -accesible al agua- en rocas sedimentarias (textura clástica y porosidad tipo sistema poroso, con predominio de poros intergranulares) es mayor que en las rocas ígneas (textura cristalina y porosidad tipo red de fisuras). Así, los valores obtenidos en las primeras varían entre 13 y 26 %, mientras que el granito se sitúa alrededor de 5 %.

Fco. Javier Alonso. Departamento de Geología (Petrología y Geocímica). Universidad de Oviedo

Página 2 de 4

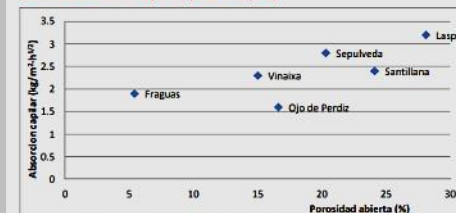
Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013)

Práctica 7. Propiedades físicas

La porosidad cerrada en todos los casos es muy baja (esto ocurre en la mayoría de los tipos rocosos). En cuanto a las diferencias entre las distintas rocas son poco significativas, ya que su determinación depende de la composición mineral, y vimos como pequeñas diferencias pueden generar grandes variaciones, es decir los valores obtenidos por este método tienen mucho error.

Capilaridad. La absorción capilar depende de la porosidad (de que haya muchos poros) y de las características del sistema poroso (del tamaño/comunicación de los poros), mientras que la penetración capilar depende esencialmente de las características del sistema poroso. El coeficiente de penetración capilar (altura ascendida por unidad de tiempo) aumenta al aumentar el tamaño de poro, ya que los en los poros grandes el agua puede circular más deprisa que en los pequeños. El coeficiente de absorción capilar (masa por unidad de tiempo) aumenta al aumentar la porosidad y el tamaño de poro. Ciertamente a menor tamaño de poro mayor es la altura ascendida, pero esto es para condiciones de equilibrio (tiempo infinito). Inicialmente -a partir de la roca seca- a menor tamaño de poro el ascenso del agua es más lento (menor coeficiente de penetración capilar).

En el gráfico puede verse como al aumentar la porosidad abierta aumenta el coeficiente de absorción capilar, existiendo diferencias menores respecto al comportamiento lineal que se atribuyen a las características del sistema poroso (tamaño de poro).



Comparado las rocas con parecida porosidad (alrededor del 14 % y del 25 %):

a) Vinaixa debe de tener un sistema poroso mejor comunicado que Ojo de Perdiz. A pesar de que en superficie observamos poros milímetros en Ojo de Perdiz y apenas superan 0,1 mm en Vinaixa, la arenisca debe de presentar notables estrechamientos, consecuencia de la cementación parcial, y en consecuencia su grado de comunicación es menor. Atendiendo a la penetración capilar vemos como el agua asciende más (más deprisa) en Vinaixa ($3,5 \text{ cm/h}^2$) que en Ojo de Perdiz ($2,4 \text{ cm/h}^2$).

b) Santillana es una arenisca de grano muy fino, en consecuencia el tamaño de sus poros es pequeño y por tanto la absorción capilar es menor de lo que correspondería a una roca de grano medio o grueso de su misma porosidad. Atendiendo a la penetración capilar vemos como el coeficiente es más pequeño ($1,6 \text{ cm/h}^2$), mientras que Sepúlveda (3 cm/h^2) presenta valores próximos a las rocas detriticas de grano más grueso (Ojo de Perdiz y Vinaixa).

Finalmente, en un extremo se sitúa el granito, con una importante absorción capilar, a pesar de su menor porosidad. Esto es debido a la buena comunicación de la porosidad (red de fisuras), prueba de ello es su elevado coeficiente penetración capilar ($3,6 \text{ cm/h}^2$). En el otro extremo se sitúa Laspra, su elevada absorción capilaridad se debe a su porosidad, dado que la comunicación entre sus poros no debe de ser tan buena como en casos anteriores (poros muy grandes -vacuolares- comunicados por porosidad matricial, de muy pequeño tamaño). El coeficiente de penetración capilar es 1 cm/h^2 , si bien el error que le acompaña es elevado.

Fco. Javier Alonso. Departamento de Geología (Petrología y Geocímica). Universidad de Oviedo

Página 3 de 4

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

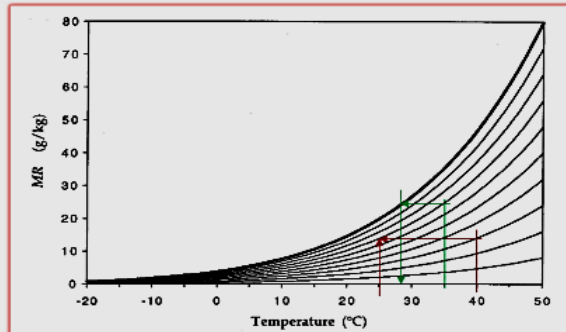
5. Actividades: PRÁCTICA 8. Humedad y temperatura + RESULTADO

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013)

Práctica 8. Humedad, sorción y succión

Práctica 8. Humedad y temperatura del aire: Procesos de sorción y de succión

a) Dado el siguiente gráfico, donde se relaciona el contenido en vapor de agua en el aire (g/kg) en función de la temperatura (°C):



Responde las siguientes cuestiones:

- ¿Qué información suministra el gráfico?: Indica el contenido de vapor de agua que hay en el aire (corresponde al eje Y: g de agua / Kg de aire) en función de la temperatura del aire (en el eje X: en °C) y de su humedad relativa (corresponde a las distintas curvas: la inferior para HR = 10 % y la superior -que es más gruesa- para HR = 100%, es decir el ambiente está saturado).
- Dado ambiente con T = 40°C y HR = 30%, si disminuye rápidamente la T hasta 25 °C, ¿cuál será su HR?: 70 %
- En un ambiente con T = 35°C y HR = 70%, se produce condensación cuando la temperatura es inferior a: 28,5 °C

Fco. Javier Alonso, Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica), Universidad de Oviedo

Página 1 de 2

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013)

Práctica 8. Humedad, sorción y succión

b) Comenta lo que expresan los siguientes gráficos:

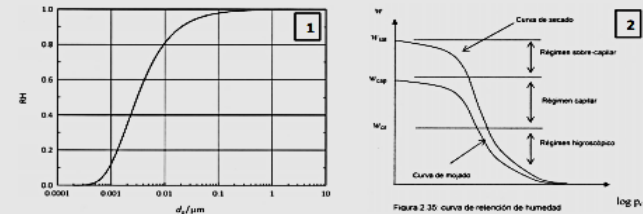


Gráfico 1 curva de sorción:

El eje X: tamaño de poro (µm). El eje Y: humedad relativa (HR en tanto por uno; 1 corresponde al ambiente saturado). La curva indica el tamaño de poro en equilibrio con el ambiente. Si se parte de un ambiente seco (HR = 0) y aumenta la humedad hasta que el ambiente se satura en vapor de agua (HR = 1) la curva indica el tamaño de los poros que van a estar llenos de agua a partir de la humedad del ambiente (agua higroscópica) después de un determinado tiempo, ya que es necesario para que la roca se ponga en el equilibrio con el ambiente. (Mientras no varíe la T o la humedad relativa (HR) el contenido en agua en la roca permanece constante).

Gráfico 2 curvas de succión.

El eje X: potencial capilar o índice de succión (energía potencial que retiene el agua en los poros, está relacionada con la altura alcanzada por el agua que asciende por capilaridad). El eje Y: contenido en agua (se indica los valores máximos que corresponden al agua absorbida en condiciones de saturación, al agua tomada por capilaridad y al agua -vapor de agua- tomada por higroscopicidad). La curva de mojado consta de una parte (régimen higroscópico) donde el potencial capilar es muy elevado y después otra parte (régimen capilar) donde va disminuyendo el potencial capilar al aumentar el contenido en agua en la roca, hasta que ya no entra más agua por capilaridad en condiciones de equilibrio (Todavía cabe más agua en la roca, primero por inmersión libre y luego forzada al vacío por ejemplo). La curva de secado parte de la roca saturada, primero se pierde el agua libre (régimen sobrecapilar), donde el potencial capilar es muy bajo y la fuerza que retiene el agua en los poros es inferior a la gravedad, después el agua capilar (régimen capilar), primero la retenida con menos fuerza y luego con más fuerza en los poros de menor tamaño, y finalmente se pierde el agua higroscópica (régimen higroscópico) que retenida todavía con más fuerza por fenómenos de adsorción. Respecto al estado seco (determinado en laboratorio al elevar la temperatura o disminuir la humedad relativa), en ambientes naturales la roca no pierde todo el agua (la curva no alcanza el eje de las X), ya que siempre permanece algo de agua en la roca (agua higroscópica) en función de la temperatura y la humedad relativa del ambiente que nunca es cero.

Fco. Javier Alonso, Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica), Universidad de Oviedo

Página 2 de 2

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

6. Material de estudio

Tema 1. Conceptos generales

- Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación **A**
- Normalización del análisis de la piedra y conservación del patrimonio cultural **A**
- Documentación: libros, publicaciones, normas de ensayo **D**
- Índice de libros: alteración, durabilidad y conservación **D**

Tema 2. Métodos de estudio

- San Julián de los Prados (Oviedo, Asturias) **A**
- Santa Cristina de Lena (Pola de Lena, Asturias) **A**
- Técnicas de estudio de la porosidad **D**

Tema 3. Factores internos

- La petrofísica en la interpretación del deterioro y la conservación de la piedra **A**
- Caracterización petrográfica de morteros medievales de Oviedo **A**
- La porosidad como componente petrográfico: La porosidad de las rocas carbonatadas **D**
- Descripción petrográfica: Ficha **D**
- La porosidad como propiedad física: Densidad y porosidad **D**
- Porosimetría por inyección de mercurio **D**
- Propiedades hídricas y anisotropía en rocas sedimentarias porosas. **A**
- Fichas: Propiedades físicas (Toma de datos) **D**
- Fichas: Propiedades físicas (Hoja de cálculo) **D**

Tema 4. Agentes externos

- El agua en los materiales rocosos **D**
- Las partículas de contaminación atmosférica en la alteración de la piedra **D**
- Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales **A**

Tema 6. Efectos de la alteración

- Indicadores del deterioro de los materiales pétreos de edificación (p: 111-207) **A**
- Gráfico: Clasificación de indicadores de deterioro **D**

Tema 7. Durabilidad

- Durabilidad de materiales rocosos **D**
- Durabilidad de granitos ornamentales **A**

Tema 9. Conservación de materiales pétreos

- Cartas de restauración **A**
- El claustro de la catedral de Oviedo: Conservación de la piedra **A**
- Estudio diagnóstico del deterioro de la piedra del antiguo Hospicio de Oviedo **A**
- La conservación de la piedra de la fachada del antiguo Hospicio de Oviedo **A**
- San Isidoro de Oviedo. Etapas de intervención y sugerencias para su conservación **A**
- San Isidoro de Oviedo: Seguimiento de los trabajos de conservación de la piedra **A**
- La limpieza con láser de la piedra del claustro de la catedral de Oviedo **A**
- La intervención en la capilla de San Lorenzo de Gijón: Seguimiento petrológico **A**

A: Artículo de publicación periódica

D: Documento interno

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

6. Material de estudio: TEMA 3. Densidad y porosidad

Propiedades físicas: densidad y porosidad (Oct. 2010)

LA POROSIDAD COMO PROPIEDAD FÍSICA: PROPIEDADES DENSIDAD Y POROSIDAD

1. Densidad

La densidad es una propiedad elemental y fundamental de los materiales, relacionada con la naturaleza de sus constituyentes y la existencia de espacios vacíos entre ellos. La densidad (ρ) se define como la masa (M) por unidad de volumen (V), y se expresa en kg/m^3 :

$$\rho = M / V$$

Conocida la masa y el volumen de una muestra rocosa se determina de forma inmediata su densidad. En los materiales porosos tanto la masa como el volumen admiten ciertas matizaciones y, en consecuencia, se pueden establecer distintos tipos de densidad. Fundamentalmente se distingue dos: "densidad de los granos minerales" y "densidad de la roca seca". También se consideran otros tipos de densidad, obtenidos a partir de distintos ensayos, como la "densidad de la roca húmeda" (para un determinado contenido en humedad) y la "densidad corregida" o "densidad del esqueleto" (cuando el volumen de roca no incluye los poros abiertos pero incluye los cerrados).

La densidad de los granos minerales (ρ_s), conocida también como *densidad real* (UNE-EN), *densidad de la fracción sólida* o *densidad verdadera* ("true density", IUPAC), se define como la masa de material seco (M_s) por unidad de volumen de la parte sólida de la roca (V_s), es decir, el volumen después de ser excluidos sus espacios vacíos:

$$\rho_s = M_s / V_s$$

Su valor puede calcularse de forma teórica a partir de la densidad de los minerales constituyentes, siempre que se conozca con precisión la composición cuantitativa de la roca y la densidad de cada componente. Experimentalmente puede obtenerse mediante el método clásico del picnómetro (UNE-EN); en este caso su correcta determinación requiere una buena pulverización y ausencia de humedad en la muestra, y que la temperatura se mantenga constante a lo largo del ensayo. Otra técnica utilizada es el picnómetro de helio, ya que dicho gas –inerte y de número atómico muy bajo– se difunde por todo el espacio vacío, permitiendo obtener el volumen del sólido. Dicho volumen se determina a partir del descenso relativo de presión que experimenta el gas contenido en una célula, en la que eventualmente se introduce la muestra.

Determinación teórica

Dado el porcentaje de cada uno de los minerales que forman la roca (c_i) y su correspondiente densidad (ρ_i), la densidad de los granos minerales (ρ_s) se obtiene como:

$$\rho_s = \sum (c_i \cdot \rho_i) / 100$$

- Densidad de los principales minerales formadores de rocas (en g/cm^3):
 - cuarzo 2,65; ópalo 2,00; ortosa 2,56 a 2,58; plagioclasa 2,63 a 2,76
 - moscovita 2,83; biotita 3,0; goethita: 4,30; limonita: 3,80
 - arcillas: illita 2,75 a 2,85; caolinita 2,60; montmorillonita 2,50
 - calcita 2,71; dolomita 2,86; ankerita: 3,00; yeso 2,32; anhidrita: 2,96

Propiedades físicas: densidad y porosidad (Oct. 2010)

Método del picnómetro

Dada la masa de una muestra de roca pulverizada y seca (M_s), la masa del picnómetro lleno de agua destilada (P_d) y la masa del picnómetro con la muestra dentro y lleno de agua destilada (P_m), así como la densidad del agua destilada (ρ_{agua}) a la temperatura del ensayo, la densidad de los granos minerales (ρ_s) se obtiene a partir de la expresión:

$$\rho_s = (M_s \times \rho_{\text{agua}}) / (P_d + M_s - P_m)$$

La densidad de la roca seca (ρ_d), conocida también como *densidad aparente* (UNE-EN), *densidad de la roca en bloque* ("bulk density", IUPAC) o *peso del volumen*, se define como la masa del material seco (M_s) por unidad de volumen total de roca (V_t), es decir, el volumen incluyendo su parte sólida (V_s) y todos sus espacios vacíos (V_v):

$$\rho_d = M_s / V_t$$

La obtención de la masa de la muestra no presenta problema –únicamente es necesario que esté seca–, por lo que los distintos métodos se diferencian en el procedimiento seguido para determinar el volumen. Un método relativamente sencillo –que puede aplicarse a materiales coherentes como las rocas utilizadas en la construcción– consiste en preparar muestras con formas geométricas (prismas, cilindros), y a partir de la medida precisa de sus dimensiones (con un calibre) se calcula el volumen. También es muy adecuado para este tipo de materiales el método de la pesada hidrostática, basado en el principio de Arquímedes (ISRM, RILEM, ASTM); para que el resultado del ensayo sea correcto debe garantizarse una buena saturación de las muestras. Otro método que puede aplicarse a rocas sin grandes poros, es por desplazamiento de mercurio, en este caso se introduce la muestra en una probeta con mercurio y su ascenso de nivel mide el volumen; como el mercurio es un líquido que no moja, no penetra en los poros y el volumen determinado es el total; se trata de un método más rápido y menos preciso.

Método de la pesada hidrostática

Permite obtener diferentes propiedades físicas a partir de la masa de una muestra de roca obtenida en diferentes condiciones: seca (M_s), saturada en agua (M_w) y sumergida en agua o hidrostática (M_h), entonces se tiene:

- Densidad de la roca seca: $\rho_d = [M_s / (M_s - M_h)] \times \rho_{\text{agua}}$
- Porosidad abierta (al agua): $n_a = [(M_w - M_s) / (M_s - M_h)] \times 100$
- Contenido en agua en saturación: $w_s = [(M_w - M_s) / M_s] \times 100$

Normalmente los distintos minerales que forman las rocas –en particular las rocas industriales– muestran diferencias de densidad pequeñas, en consecuencia la "densidad de los granos minerales" es parecida entre ellas, y la "densidad de la roca seca" depende fundamentalmente de la porosidad que posean (ver tabla). Los valores de las otras densidades previamente indicadas están comprendidos entre esos dos, siendo el valor máximo la "densidad de los granos minerales" y el mínimo la "densidad de la roca seca". Esta última densidad es el que presenta mayor interés en el campo de los materiales de construcción.

Propiedades físicas: densidad y porosidad (Oct. 2010)

2. Porosidad

En este caso se considera únicamente la porosidad (n) como una propiedad física, es decir como un parámetro numérico. Se define como el volumen ocupando los espacios vacíos (V_v) o volumen poroso (V_p , IUPAC) por unidad de volumen total de roca (V_t), y se expresa en porcentaje:

$$n = (V_v / V_t) \times 100$$

Igual que la densidad, la porosidad admiten ciertas matizaciones y se establecen distintos tipos, siendo los principales: la "porosidad total" y la "porosidad abierta". De acuerdo con las características de los espacios vacíos contemplados, pueden considerarse otros tipos de porosidad: "cerrada", "accesible" a un determinado fluido, "comunicada" o "efectiva" para un determinado comportamiento.

La porosidad total (n) se define como el volumen total de vacíos por unidad de volumen total de roca. En este caso deben contabilizarse todos los espacios vacíos presentes: abiertos y cerrados, accesibles y no accesibles. Su valor no puede obtenerse de forma experimental, ya que incluye entre los espacios vacíos los no comunicados con el exterior (poros no accesibles). Su determinación se realiza de forma indirecta a partir del valor de ambas densidades.

Determinación teórica

Conocida la densidad de los granos minerales (ρ_s) y la densidad de la roca seca (ρ_d), la porosidad total (n) se calcula a partir de la expresión:

$$n = ((\rho_s - \rho_d) / \rho_s) \times 100$$

La porosidad abierta (n_a), se conoce también como *porosidad accesible* o *comunicada*, y se define de la misma forma como el volumen de poros abiertos (V_a) o comunicados entre sí y con el exterior (accesibles al agua normalmente) por unidad de volumen total de roca (V_t):

$$n_a = (V_a / V_t) \times 100$$

Esta porosidad se determina normalmente mediante técnicas experimentales, basadas en introducir un fluido en los poros y cuantificar su volumen. El procedimiento más común es el método de la pesada hidrostática ya mencionado, en dicho ensayo se saturan los poros con agua –normalmente al vacío– de acuerdo con las especificaciones de la norma seguida y se obtiene la porosidad abierta "accesible al agua". Otro método utilizado es por inyección de mercurio, en este caso se introduce mercurio a presión en los poros y a partir del volumen inyectado se determina la porosidad abierta "accesible al mercurio". En la mayoría de las rocas los valores obtenidos en ambos ensayos son parecidos, siendo ligeramente mayor la porosidad accesible al agua, ya que el mercurio no llega a introducirse en los poros muy pequeños (< 0,003 μm), y dicho ensayo tampoco considera los poros con accesos muy grandes (> 100 μm).

La porosidad total es, por definición, el máximo valor de porosidad que presenta un material. En el caso ideal de que todos sus poros estén conectados con el exterior de la muestra, la porosidad total y la porosidad abierta coinciden. En la mayoría de las rocas la diferencia entre ambos valores es normalmente pequeña, dicha diferencia mide el

Fco. Javier Alonso Rodríguez, Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica), Universidad de Oviedo.

Página 1 de 4

Fco. Javier Alonso Rodríguez, Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica), Universidad de Oviedo.

Página 2 de 4

Fco. Javier Alonso Rodríguez, Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica), Universidad de Oviedo.

Página 3 de 4

Article Full-text available

Research Interest 129,0

Citations 1

Recommendations 3

Reads 81,818

PROPIEDADES FÍSICAS: DENSIDAD Y POROSIDAD

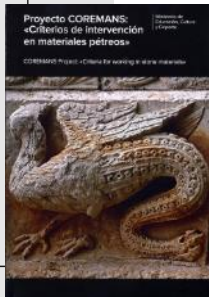
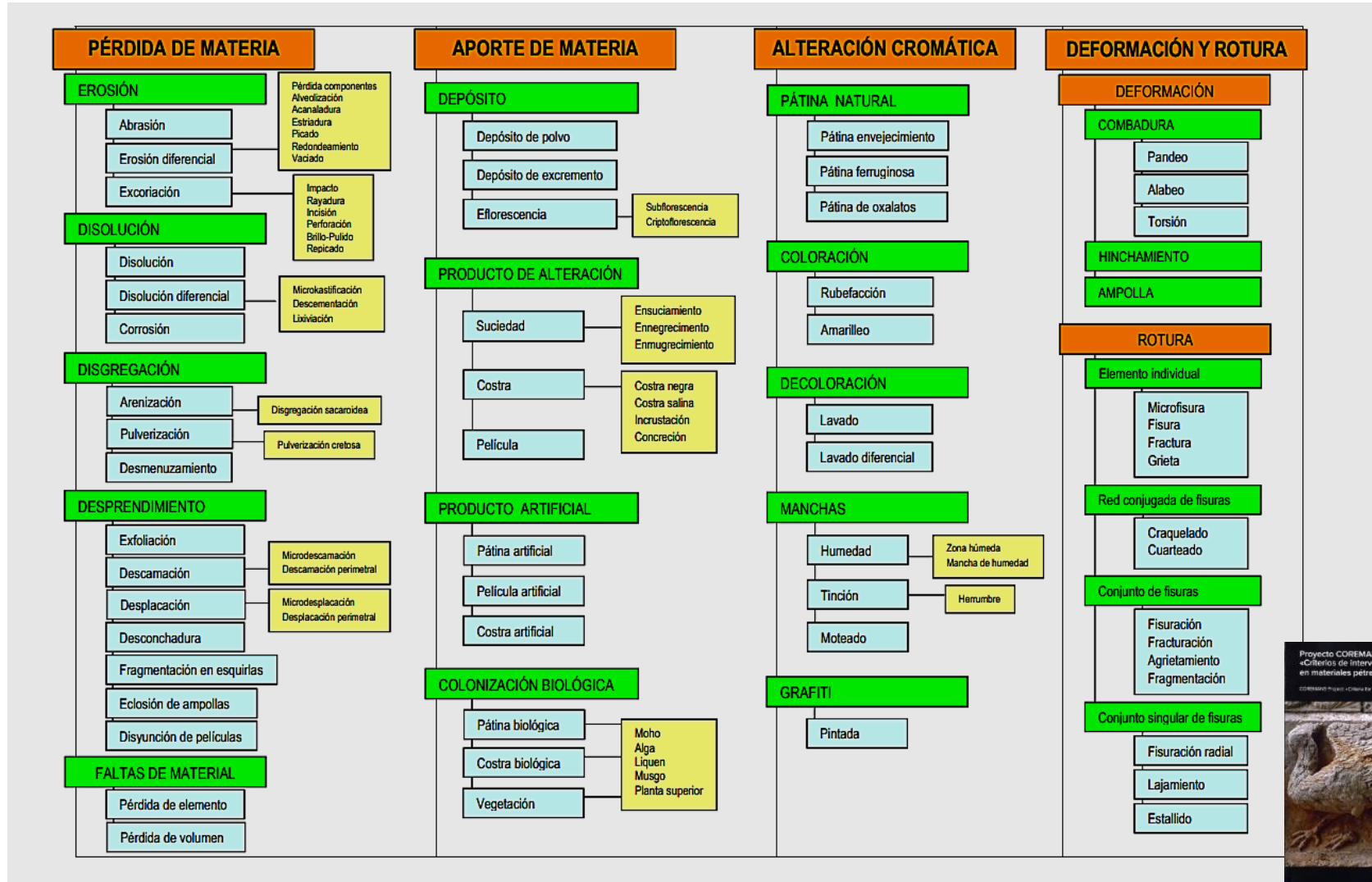
June 2013

Fco. Javier Alonso

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

6. Material de estudio: TEMA 6. Indicadores de deterioro



ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

6. Material de estudio: TEMA 7. Durabilidad

Durabilidad de materiales rocosos (Nov. 2011)

DURABILIDAD DE MATERIALES ROCOSOS

Los materiales rocosos utilizados en construcción están sometidos a procesos más o menos lentos de deterioro, como consecuencia de su exposición al ambiente. Predecir cómo se van a ver afectados por dichos procesos es un tema complejo, dada la variedad de factores que intervienen y los distintos tipos de alteración que pueden darse. Este comportamiento de los materiales frente al deterioro es conocido como durabilidad o inversamente como alterabilidad, y puede obtenerse por diferentes procedimientos, que se han agrupado en dos grandes categorías:

- **Métodos indirectos**, basados en deducir la durabilidad de una roca a partir de sus características petrofísicas y de los factores ambientales que actúan sobre ella. Se fundamentan en el conocimiento que se tiene de la alteración de los distintos materiales en los diferentes ambientes, es decir en la experiencia acumulada en este ámbito de trabajo. Se trata de extrapolar dichos conocimientos a los materiales y ambientes objeto de estudio en cada caso concreto.
- **Ensayos experimentales**, cuando los materiales se someten a procesos de alteración, bajo la acción de diferentes factores ambientales: naturales o artificiales. Estos ensayos se conocen como "ensayos de durabilidad" y tratan de alterar las rocas en el laboratorio de forma artificial, es decir, son "ensayos de envejecimiento artificial acelerado".

1. CARACTERÍSTICAS PETROFÍSICAS Y DURABILIDAD

Las características petrográficas (UNE-EN 12407:2007) composición, textura y espacios vacíos, junto con las propiedades físicas y especialmente las hídricas, permiten realizar una primera evaluación del comportamiento de los materiales frente a la alteración. En este sentido, se indican seguidamente los principales aspectos que influyen en la durabilidad de los materiales pétreos.

Características petrográficas. En cuanto a la *composición*, importa la mineralogía y en menor medida la composición química. En general, las rocas silicatadas (granitos y areniscas) muestran mejor comportamiento que las carbonatadas (mármoles y calizas), en este sentido es de destacar la mayor solubilidad de estas últimas. Determinados minerales minoritarios (arcillas, minerales de hierro...) pueden influir negativamente en la durabilidad. También debe considerarse el grado de alteración de los minerales (feldspatos, micas...). La presencia de sales solubles normalmente es indicio de alteración y de baja durabilidad del material.

Respecto a la *textura*, las rocas cristalinas (granitos y mármoles) suelen mostrar mejor comportamiento que las clásticas (areniscas y calizas). En las texturas detriticas la presencia de matriz en vez de cemento como fase de unión de los granos, es un factor negativo. También influye negativamente en la durabilidad la existencia de anisotropías (estratificación, laminación, etc.), condicionando además la forma de alterarse (estricciones, acanaladuras...). Otros parámetros que pueden influir son el tamaño, la forma y los bordes de los granos o cristales.

Fco. Javier Alonso Rodríguez. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). Universidad de Oviedo.

Página 1 de 18

Durabilidad de materiales rocosos (Nov. 2011)

Los *espacios vacíos* –intimamente ligados a la textura– constituyen sin duda la característica más importante frente al deterioro. En general los materiales porosos (textura clástica) son más alterables que los fisurados (textura cristalina). En las rocas porosas importa en primer lugar el volumen de poros abiertos o accesibles al agua, siendo en general más alterables las más porosas, después importa el tamaño de los poros, presentando normalmente mayor alterabilidad las de menor tamaño de poro y, por tanto, mayor superficie específica. En rocas cristalinas al aumentar la fisuración, es decir el tamaño y la densidad de las fisuras, disminuye la durabilidad.

Propiedades físicas. Estas propiedades se utilizan con frecuencia para caracterizar la durabilidad de los materiales, especialmente las relacionadas con su comportamiento frente al agua: *propiedades hídricas*. En concreto los parámetros aportados por las siguientes propiedades suelen proporcionar buenos criterios de durabilidad:

- **Densidad aparente o de la roca seca y porosidad abierta** (UNE-EN 1936:2007). Ambos valores son dependientes entre sí y se determinan mediante el mismo ensayo. En general la comparación entre los valores debe hacerse dentro de un mismo tipo rocoso.
- **Contenido en agua en saturación.** Este valor puede determinarse del ensayo anterior y está relacionado de forma biunívoca con la porosidad abierta o accesible al agua.
- **Absorción de agua por inmersión total o contenido en agua libre** (UNE-EN 13755:2008). Parámetro muy sencillo de obtener y muy utilizado, dependiente del contenido en espacios vacíos de fácil acceso (porosidad efectiva).
- **Grado de saturación** (coeficiente de Hirschwald). Relación entre el contenido en agua libre y el contenido en agua en saturación, su valor depende del tamaño de los espacios vacíos y del grado de comunicación entre ellos.
- **Coefficiente de capilaridad** (UNE-EN 1925:1999; 15801:2011). Fácil de obtener, su valor depende de la porosidad abierta y el tamaño de los espacios vacíos.
- **Evaporación y contenido en agua higroscópica** (prEN 16322:2011; NORMAL 29/88). Su valor depende del tamaño de los espacios vacíos y el contenido en minerales higroscópicos (arcillas, sales...).
- **Coefficiente de hinchamiento** (ISRM). Su valor depende del contenido y el tipo de arcillas expansivas (montmorillonita...).

Siempre que se considere un mismo tipo rocoso (similar mineralogía), al disminuir la densidad o al aumentar los demás parámetros disminuye la durabilidad de las rocas.

También tienen interés como indicadores de durabilidad otras propiedades físicas (mecánicas, térmicas, dinámicas...) relativas a la calidad de los materiales. Entre las *propiedades mecánicas* destaca la resistencia a la compresión (UNE-EN 1926:2007), la resistencia a la tracción (ensayo brasileño) y la resistencia a la flexión (UNE-EN 12372:2007), dada su relación con la coherencia del material y con su susceptibilidad a fracturarse. Otro parámetro utilizado es el coeficiente de reblandecimiento: relación entre la resistencia de la roca embebida en agua y la roca seca. Igualmente presentan interés distintas *propiedades de superficie* como la dureza y resistencia a la penetración (UNE-EN 14205:2004), y la abrasión o resistencia al desgaste (UNE-EN 14157:2005). Entre las *propiedades térmicas* cabe destacar el coeficiente de dilatación térmica (UNE-EN 14581:2006) y la resistencia al choque térmico, sobre todo en materiales cristalinos. Las *propiedades dinámicas* tienen interés fundamentalmente por su carácter no destructivo y los parámetros más utilizados son la velocidad de propagación de ondas (UNE-EN 14579:2005) y el módulo de elasticidad dinámico (UNE-EN 14146:2004).

Fco. Javier Alonso Rodríguez. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). Universidad de Oviedo.

Página 2 de 18

Durabilidad de materiales rocosos (Nov. 2011)

Ciclos de cristalización de sales (Na₂SO₄)

Este ensayo analiza el efecto de las sales solubles, las cuales en ocasiones impregnan los materiales, en particular los situados en la parte baja de los edificios. En dichas zonas, debido a las variaciones de humedad, las sales cristalizan periódicamente resultando muy perjudiciales. Los daños se atribuyen al incremento de volumen debido a los procesos de cristalización y en especial a los de hidratación de las sales, sobre todo cuando dichos procesos tienen lugar en el interior de los poros, por tanto su acción es esencialmente mecánica. Se trata de un ensayo muy agresivo, utilizado desde antiguo en los materiales pétreos, cuyos factores y efectos sobre los materiales son bien conocidos (Price, 1978; Alonso et al. 1987) y que está normalizado: RILEM, 1980 (V-1, V-2); DIN 52111; UNE-EN 12370 (piedra natural).

El *procedimiento experimental* es cíclico, con ciclos de 24 horas, que constan de tres etapas: inmersión, secado y enfriamiento. Previamente debe prepararse una solución acuosa de sulfato sódico decahidratado al 14 % (Figura 4). La inmersión de las probetas en la solución salina tiene lugar a temperatura ambiente (20°C) durante 4 horas, el secado se realiza en un horno (60 o 105°C) durante 16 horas, después se dejan enfriar las 4 horas restantes. Finalizados los ciclos deben eliminarse las sales por sucesivos lavados. Dada la agresividad del ensayo, el número de ciclos a realizar es pequeño; alrededor de 10 ciclos suelen producir daños en la mayoría de los materiales porosos. La principal variable que afecta al ensayo es la temperatura de secado, ya que cuando es elevada la sal precipita en el interior del material, produciendo daños mucho mayores que si el secado es lento y la sal deposita en superficie (en este caso se producen eflorescencias). Otra variación que puede presentar este ensayo es que las probetas, en vez de sumergirse totalmente en la solución salina, absorban dicha solución más lentamente por capilaridad (RILEM V-2).

La norma para piedra natural UNE-EN 12370 establece tiempos ligeramente diferentes para las distintas etapas: las probetas se sumergen totalmente en la solución a temperatura ambiente (20 ± 0,5°C) durante 2 horas, se secan en un horno a 105 ± 5°C en ambiente húmedo durante al menos 16 horas y se dejan enfriar a temperatura ambiente durante otras 2 ± 0,5 horas. Dicha norma indica que deben de realizarse 15 ciclos, que la solución salina ha de renovarse cada ciclo, y que debe mantenerse cubierta para evitar la evaporación. Dadas las diferencias de tiempo relativamente pequeñas, no se consideran un factor que influya en los resultados (Price, 1978; Alonso et al. 1987).

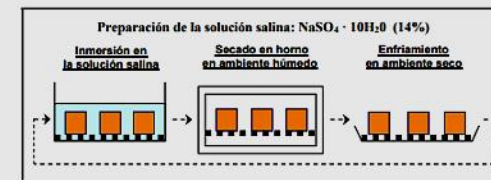


Figura 4.- Ensayos de cristalización de sales.

Fco. Javier Alonso Rodríguez. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). Universidad de Oviedo.

Página 8 de 18

Chapter Full-text available

Durabilidad de materiales rocosos (Nov. 2013)

November 2013

Fco. Javier Alonso · Alonso Rodríguez

Research Interest 7.4

Citations 0

Recommendations 0 new 0















Reads 13 new 2,626

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

7. Evaluación

PREGUNTAS

-  Tema 1. Conceptos generales.
-  Tema 2. Métodos de estudio.
-  Tema 3. Factores internos: características petrográficas.
-  Tema 3. Factores internos: propiedades físicas. ←
-  Tema 4. Agentes externos: temperatura, agua, contaminantes.
-  Tema 4. Agentes externos: sales solubles, organismos.
-  Tema 5. Factores de construcción.
-  Tema 6. Procesos de alteración. Efectos.
-  Tema 7. Durabilidad.
-  Tema 8. Valoración de tratamientos.
-  Tema 9. Conservación: criterios.
-  Tema 9. Conservación: diagnóstico de lesiones.
-  Tema 10. Conservación: limpieza. ←
-  Tema 10. Conservación: otras intervenciones.

RESPUESTAS

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

7. Evaluación: TEMA 3. Propiedades físicas + RESPUESTAS

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013)

Autoevaluación

TEMA 3 - FACTORES INTENOS: Propiedades físicas

- El parámetro cromático luminosidad guarda relación: con la viveza o intensidad del color (F), con la longitud de onda (F).
- El croma es una medida: de la intensidad o grado de saturación del color (V), de la claridad del color (F).
- Son parámetros que suministran la misma información: el croma y el tono (F), el croma y la pureza del color (V).
- Son técnicas utilizadas para cuantificar el color: los colorímetros (V), los espectrofotómetros (F), los posímetros (F).
- Los espectrofotómetros miden: parámetros cromáticos $L^*a^*b^*$ (V), espectro cromático "intensidad-longitud de onda" (V).
- Enumera y define los parámetros cromáticos: 1) *Luminosidad o claridad*, indica la intensidad o reflectancia de la luz (si el color es claro o es oscuro). 2) *Tono o matiz*, guarda relación con longitud de onda de la luz (si el color es verde, rojo, azul, amarillo...). 3) *Croma o grado de saturación*, indica el grado de viveza o intensidad del color (si es un color fuerte-vivo, o por el contrario es débil-opagado).
- Son magnitudes escalares que afectan al volumen de un material: la densidad (V), la porosidad (V).
- La porosidad abierta es: el volumen de poros comunicados al paso de los fluidos (V), siempre mayor que la total (F).
- Al aumentar la porosidad total de una roca aumenta: la densidad de la roca (F), la densidad de los granos minerales (F).
- La densidad aparente, también se denomina: densidad de la roca seca (V), densidad de los granos minerales (F).
- La densidad de los materiales rocosos está relacionada con: la composición mineral (V), la porosidad total (V).
- La densidad de las rocas depende más de su composición que de su porosidad (F), razona la respuesta: *Dado que la densidad de los minerales esenciales que componen las rocas es parecida, la densidad depende más de su porosidad.*
- Indica que métodos conoces para calcular la porosidad total: *Puede obtenerse a partir de la diferencia entre la densidad real (o densidad de los granos minerales) y la densidad aparente (o densidad de la roca seca).*
- La porosimetría de mercurio permite medir de forma precisa: la porosidad cerrada (F), la porosidad atrapada (V).
- La porosidad accesible al mercurio: coincide con la accesible al agua (F), es ligeramente menor (V).
- El tamaño de poro que se obtiene en porosimetría de mercurio es: su diámetro máximo (F), su tamaño de acceso (V).
- La porosimetría de mercurio: es un ensayo no destructivo (F), mide un estrecho rango de tamaños de poro (F).
- La superficie específica aumenta de forma acusada al disminuir: el tamaño de los poros (V), el volumen poroso (F).
- Cita los parámetros del sistema poroso proporcionados por la porosimetría de la roca seca. 2) *Densidad corregida (sin los poros abiertos).* 3) *Porosidad abierta.* 4) *Porosidad atrapada.* 5) *Superficie específica.* 6) *Radio medio de acceso de poro.* 6) *Distribución de la porosidad o del volumen poroso en función del tamaño de acceso de poro.*
- Las curvas de absorción libre de agua: reflejan la cinética de la entrada de agua en el sistema poroso de la roca (V), expresan el contenido en agua que toma la roca en función del tiempo (V).
- El grado de saturación: es una medida de la cantidad de agua que admite una roca en términos relativos (V), es lo mismo que el contenido de agua máximo, por saturación al vacío (F).
- En el coeficiente de absorción capilar (C) influye la cantidad de poros (V), y también el tamaño de los poros (V).
- El coeficiente de absorción capilar (C) informa de: la velocidad de toma del agua (V), la altura alcanzada en un muro (F).
- El coeficiente de penetración capilar (A) mide: la altura ascendida por el agua en un muro (F), el tiempo de ascensión (F).
- En el tramo lineal inicial del secado se produce flujo de agua líquida a la superficie (V) y la roca se mantiene húmeda (V).
- El agua líquida se mueve más rápidamente en los poros al aumentar: el tamaño de poro (V), su cantidad (V).
- En rocas las de grano fino, normalmente con poros de pequeño tamaño, el agua asciende más alto por capilaridad (V).

Fco. Javier Alonso. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). Universidad de Oviedo

Página 1 de 3

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013)

Autoevaluación

- El ensayo de hinchamiento permite conocer: la expansión lineal por acción del agua (V), la dilatación térmica (F).
- En rocas anisótropas la orientación de las muestras influye los valores de: la porosidad abierta (F), el contenido en agua por inmersión total (F), el coeficiente de capilaridad (V), el coeficiente de permeabilidad al vapor de agua (V).
- Conocida la densidad aparente y la porosidad abierta de una roca, ¿puede determinarse su contenido en agua en saturación? (V), en caso afirmativo indica como: *Contenido en agua en saturación = (Porosidad abierta / Densidad aparente) x 100.*
- En las rocas utilizadas en edificación importa más la resistencia a la tracción que la resistencia a la compresión (V).
- La relación entre el esfuerzo ejercido y la deformación producida se conoce como módulo de: elasticidad (V), Young (V).
- Es relativamente sencilla la preparación de muestras para el ensayo de: compresión uniaxial (F), tracción indirecta (V).
- La resistencia mecánica de las rocas aumenta al aumentar: su porosidad (F), su densidad (V), su contenido en agua (F).
- Al aumentar la alteración de las rocas disminuye: resistencia mecánica (V), módulo de Young (V), plasticidad (F).
- El ensayo brasileño es una medida indirecta de la resistencia a: la tracción (V), la flexión (F), la compresión (F).
- En los ensayos de resistencia mecánica influye: la orientación de las muestras (V), el contenido en agua (V).
- El martillo Schmidt se considera: ensayo no destructivo (V), medida indirecta de la resistencia a la compresión (V).
- Dadas las siguientes propiedades, indica si se trata de magnitudes escalares (ESC) o de magnitudes vectoriales (VEC): densidad (ESC), porosidad (ESC), absorción de agua (ESC), capilaridad (VEC), permeabilidad (VEC), hinchamiento (VEC), resistencia mecánica (VEC), velocidad de propagación de ondas (VEC).

- Conocidas las siguientes propiedades de estas cuatro rocas:

ARENISCA DE VILLAMAYOR

ROCA 1
 - Densidad: 1750-1850 kg/m³
 - Porosidad: 32-34 %
 - Tamaño acceso de poro: 2-6 µm
 - Superficie específica: 3,2-4,9 m²/g

ARENISCA DE VILLAVICOSA

ROCA 2
 - Densidad: 2075-2080 kg/m³
 - Porosidad: 21,1-21,3 %
 - Tamaño acceso de poro: 7,5-8,5 µm
 - Superficie específica: 0,5-0,7 m²/g

CALIZA DE PIEDRAMUELE

ROCA 3
 - Densidad: 2140-2260 kg/m³
 - Porosidad: 18,0-21,0 %
 - Tamaño acceso de poro: 0,8-1,6 µm
 - Superficie específica: 0,5-0,7 m²/g

DOLOMÍA DE LASPRA

ROCA 4
 - Densidad: 1880-2060 kg/m³
 - Porosidad: 29-32 %
 - Tamaño acceso de poro: 0,1-0,3 µm
 - Superficie específica: 3-5 m²/g

Responde las cuestiones:

- ¿Cuál va a absorber más agua por saturación al vacío?: 1 ; y ¿cuál menos?: 3
 ¿Cuál se va a saturar más por inmersión en agua?: 4 > 1 ; y ¿cuál menos?: 2 < 3
 ¿Cuál va a presentar mayor capilaridad?: 4 > 1 ; y ¿cuál menos?: 3 < 2
 ¿Cuál va a retener menos agua en el secado?: 3 < 2 ; y ¿cuál más?: 4 = 1
 ¿En cuál el agua va a estabilizar a un nivel más alto?: 4 > 1 ; y ¿en cuál menos?: 2 < 3
 ¿Dónde va ser mayor la permeabilidad al vapor de agua?: 4 > 1 ; y ¿dónde menor?: 3 < 4

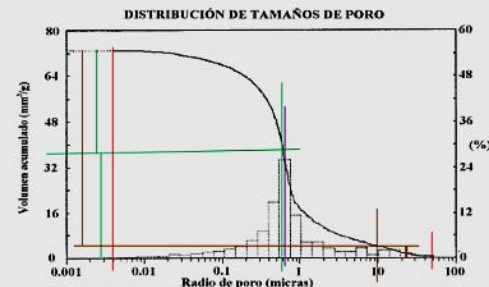
Fco. Javier Alonso. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). Universidad de Oviedo

Página 2 de 3

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013)

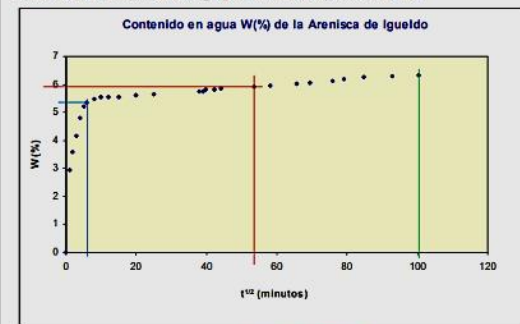
Autoevaluación

- Obtenida la distribución de tamaños de poro de una roca mediante porosimetría por inyección de mercurio:



- A la vista del gráfico, ¿cuál es el rango de tamaño explorado en dicho ensayo?: 50 a 0,04 µm
- ¿Qué tamaño de acceso de poro es el más frecuente (moda)? 0,63 µm y ¿cuál corresponde a la mediana de la distribución?: 0,60 µm
- ¿Qué porcentaje de poros presentan radios de acceso mayores de 10 µm?: 6 %

- Obtenida la curva de absorción de agua por inmersión total a presión atmosférica:



- ¿Cuál el contenido en agua a las 48 horas?: 5,9 % (48 h = 53,7 min³), ¿cuánto tiempo ha durado el ensayo?: 7 días
- Durante la etapa de absorción rápida ¿cuánta agua ha tomado la roca (contenido en agua)? 5,4 %, ¿cuál es la duración de dicha etapa (tiempo en minutos)? 6 min³ = 36 minutos = media hora

Fco. Javier Alonso. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). Universidad de Oviedo

Página 3 de 3

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

7. Evaluación: TEMA 10. Conservación + RESPUESTAS

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013)

Autoevaluación

Tema 10 - CONSERVACIÓN: Otras intervenciones

1. En un paramento se pueden reponer un sillar para completar volúmenes (V), debe usarse para ello piedra natural (V), el material repuesto debe ser diferente para que destaque (F), su comportamiento debe ser similar al original (V).
2. La sustitución de materiales se debe hacer por motivos: estructurales (V), funcionales (V), estéticos (F), y para ello se deben utilizar: materiales del mismo tipo (V), morteros de restauración (F).
3. En la reintegración: los materiales añadidos son morteros (V), su aspecto debe ser similar al de la piedra (V), su durabilidad debe ser menor (F), se debe sellar la entrada de agua (V), se deben reintegrar todas las faltas (F).
4. Los morteros de juntas entre sillares deben: ser más blandos y menos resistentes que la piedra (V), presentar mayor porosidad (V), ser ricos en cemento portland (F), contener sales solubles (F), ser similares a los de restauración (F).
5. Son objetivos de la consolidación de un material: mejorar la resistencia (V), proteger de la humedad (F), mejorar la durabilidad (V), mantener la superficie limpia más tiempo (F), mejorar la coherencia de los componentes pétreos (V).
6. Los consolidantes inorgánicos: precipitan un producto de naturaleza similar a la piedra (V), su adherencia es buena (V), son inestables a la radiación ultravioleta (F), reaccionan rápidamente (V), tienen gran poder de penetración (F).
7. Los consolidantes orgánicos: son muy buenos adhesivos (V), son más rígidos que los inorgánicos (F), se aplican diluidos para facilitar su penetración (V), colmatan los poros (F), penetran poco (V), son muy estables (F).
8. Las resinas epoxi (como el araldit): se utilizan para pegar fisuras (V), no se usan como consolidantes por amarilllear (V), son excelentes adhesivos (V), se utilizan diluidas en disolventes orgánicos (F).
9. Dados los siguientes productos, indica si son consolidantes inorgánicos (IN), orgánicos (OR) o silicoorgánicos (SI): silicato de etilo (SI), resina acrílica (OR), resina epoxi (OR), fluosilicatos (IN), silicato de litio (IN), siliconas (SI), ceras (OR).
10. Los productos silicoorgánicos: se hidrolizan y forman sílice amorfa (V), son buenos consolidantes (V), a veces son hidrofugantes (V), colmatan los poros (F), tienen buena penetración (V), son fáciles de aplicar (V).
11. Los hidrofugantes deben ser en gran medida impermeables a la entrada de agua (V), permeables al vapor de agua (V), deben formar una película continua en superficie (F), pueden mejorar el aspecto (V), no deben generar brillos (V).
12. Las veladuras son soluciones muy diluidas que llevan pigmentos minerales (V), se utilizan para unificar el color (V), se aplican en las etapas finales (V), tienen una función hidrofugante (F), pueden tener una función protectora (V).
13. Cita consolidantes inorgánicos: 1) *Hidróxido de calcio, de bario, de potasio.* 2) *Bicarbonato cálcico.* 3) *Aluminato de potasio, alumbres.* 4) *Derivados del fluor, fluoruro cálcico, fluosilicato de magnesio.* 5) *Silicatos de potasio, de sodio, de litio.*
14. Por ejemplos de consolidantes e hidrofugantes silicoorgánicos: *Silanos, alquil-silanos, alcaxi-silanos, silicato de etilo, siloxanos, siloxanos aligoméricos, siloxanos poliméricos, polisiloxano.*
15. Cita los factores que intervienen el éxito de un tratamiento de conservación: 1) *Características de la piedra (naturaleza, alteración).* 2) *Producto de tratamiento (principio activo, disolvente, concentración).* 3) *Forma de aplicación (procedimiento, condiciones).* 4) *Cantidad y distribución de producto (profundidad de penetración).* 5) *Modificación producidas en el sistema poroso.* 6) *Mantenimiento posterior del edificio y su entorno.*
16. Indica que aspectos deben contemplarse en el mantenimiento de un edificio: 1) *Funcionalidad, circulación del agua, drenajes, humedades.* 2) *Integridad física, caída de materiales, aparición de fisuras.* 3) *Eficacia de los tratamientos, si mantiene el poder consolidante, poder hidrofugante.* 4) *Daños en la superficie de la piedra, disgregaciones, eflorescencias.*

Alteración, durabilidad y conservación de materiales rocosos (2013)

Autoevaluación





17. Se necesita seleccionar un material pétreo para realizar la sustitución de algunos sillares deteriorados en la fachada de un edificio histórico. El material original es una arenisca de color marrón claro, tamaño de grano medio y elevada porosidad ¿qué opción es la más apropiada?: (D).
 - A) Arenisca de la cantera original, a pesar de que el nivel actualmente explotado es de grano más grueso.
 - B) Granito sano, ya que es una roca cristalina de baja porosidad muy resistente a la alteración.
 - C) Caliza blanca de grano muy fino y elevada porosidad, para resaltar la sustitución de material.
 - D) Arenisca similar y probablemente del mismo origen, procedente de la demolición de un edificio cercano.
18. Entre los trabajos de conservación de un edificio monumental se ha considerado la sustitución del material pétreo, ya que su grado de deterioro es elevado. De acuerdo con los actuales criterios de intervención ¿cuál de las siguientes actuaciones es la correcta?: (B).
 - A) Sustituir todos aquellos elementos que presentan el material pétreo alterado.
 - B) Sustituir únicamente los elementos que desempeñan una labor estructural o funcional.
 - C) Reemplazar fundamentalmente los elementos ornamentales en los que se ha perdido la labra.
 - D) No está permitido realizar ningún tipo de sustitución en los materiales pétreos.
19. Si se produce la pérdida de un elemento singular, característico en el diseño arquitectónico de un edificio, ¿en qué caso de los siguientes es necesario reemplazarle?: (D).
 - A) Cuando el elemento permite completar la forma de una pieza escultórica valiosa.
 - B) Si se repara el edificio para obtener una imagen de su aspecto original.
 - C) Si se desea realizar una la intervención integral y sin lagunas.
 - D) Cuando es necesario para evacuar correctamente las aguas de escorrentía
20. La fachada de un edificio monumental presenta abundantes eflorescencias en su parte inferior. Entre las distintas intervenciones planteadas a continuación ¿cuál consideras que es contraproducente?: (A).
 - A) Aplicar un tratamiento que impermeabilice la superficie pétreo.
 - B) Aplicar una ligera veladura para entonar y homogeneizar el color.
 - C) Aplicar de un tratamiento antigraffiti que mantenga la permeabilidad del material.
 - D) Limpiar las sales con un cepillo y no aplicar ningún tipo de tratamiento.
21. Debe intervenir en una fachada de arenisca con una tenue pátina de ennegrecimiento, que presenta algunas zonas disgregadas y un elevado porcentaje de juntas vacías. Ante importantes restricciones económicas, es preciso suprimir algunas de partidas incluidas inicialmente en el proyecto, indicadas seguidamente, ¿qué intervención consideras más importante, ineludible para la conservación?: (A).
 - A) El relleno de juntas y sellado de fisuras para evitar la entrada de agua.
 - B) La limpieza de la pátina de ennegrecimiento con microabrasivos.
 - C) La impermeabilización de toda la fachada con un hidrofugante.
 - D) La consolidación de las zonas disgregadas con productos orgánicos.

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS







CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

9. Otros recursos










RESULTADOS DE LAS PRÁCTICAS

-  Práctica 2 RESULTADO. Análisis químico
-  Práctica 6 RESULTADO. Porosimetría
-  Práctica 7 RESULTADO. Propiedades físicas
-  Práctica 8 RESULTADO. Humedad









PUBLICACIONES

-  Piedras de edificación. Iglesia de los Padres Franciscanos de Avilés (Asturias) **E**
-  La ciencia de los materiales **E**
-  La ciencia y el arte IV: Ciencias experimentales y conservación del patrimonio **P**
-  La ciencia y el arte III: Ciencias experimentales y conservación del patrimonio **P**
-  La ciencia y el arte II: Ciencias experimentales y conservación del patrimonio **P**
-  La ciencia y el arte: Ciencias experimentales y conservación del patrimonio **E**

TESIS DOCTORALES

-  Durabilidad de materiales pétreos porosos frente a la cristalización de sales **P**
-  Alteración y propiedades mecánicas de calizas, dolomías y mármoles **P**
-  Deterioro térmico en piedra natural del patrimonio arquitectónico **P**
-  Ladrillos de edificios históricos de Toledo: caracterización, origen y aplicaciones **E**
-  Morteros compuestos, aplicación en intervenciones de elementos pétreos **E**
-  Tratamientos antigraffiti como protectores de materiales de construcción **E**
-  Nuevos nanomateriales para la conservación del patrimonio monumental andaluz **E**
-  Humedades de capilaridad y condensación higroscópica en edificios históricos **E**
-  Caracterización petrofísica y alterabilidad de calizas y dolomías **P**

REVISTAS, SOCIEDADES, JORNADAS

-  Materiales de construcción **E**
-  ReCoPaR **P**
-  Grupo español-Instituto internacional de conservación (GE-IIC) **E**
-  International institute for conservation (IIC) **E**
-  La cal: II Jornadas FICAL **P**
-  Pátinas y acabados históricos de la piedra mallorquina **P**
-  Durabilidad y conservación de materiales del patrimonio arquitectónico
-  Avances en Investigación sobre patrimonio **E**

E: Se mantiene el enlace

P: Se mantiene la página

ALTERACIÓN, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE MATERIALES ROCOSOS

CURSO ABIERTO (OCW) DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Material de clase / Actividades prácticas / Material de consulta / Evaluación / Otros

Tema 1. Conceptos generales (3)	2Doc / 2Art	1	
Práctica 1. Fuentes documentales: Tarea a realizar			
Tema 2. Métodos de estudio (3)	1Doc / 2Art	1	
Práctica 2. Análisis químico y mineral: Problema			+ Resultado
Práctica 3. Determinar el contenido en sales solubles: Ensayo			
Tema 3. Factores internos (2)	6Doc / 2Art	2	
Práctica 4. Caracterización petrográfica de rocas porosas: Tarea			
Práctica 5. Caracterización petrográfica de rocas cristalinas: Tarea			
Práctica 6. Porosimetría, inyección de mercurio: Problema			+ Resultado
Práctica 7. Propiedades físicas, valorar resultados: Problema			+ Resultado
Tema 4. Agentes externos (4)	2Doc / 1Art	2	
Práctica 8. Humedad y temperatura del aire: Problema			+ Resultado
Tema 5. Factores de construcción (1)		1	
Tema 6. Procesos y efectos (3)	1Doc / 1Art	1	
Tema 7. Durabilidad (1)	1Doc / 1Art	1	
Tema 8. Valoración de tratamientos (1)		1	
Tema 9. Conservación de materiales pétreos I (2)	8Art	2	
Tema 10. Conservación de materiales pétreos II (2)		2	
Práctica 9. Conservación de monumentos asturianos: Tarea			