

ALTERABILIDAD DE LA PIEDRA MONUMENTAL DE LASPRA (ASTURIAS)

R. M. ESBERT y J. ORDAZ

TRABAJOS DE GEOLOGÍA Esbert, R. M. y Ordaz, J. (1985).—Alterabilidad de la piedra monumental de Laspra (Asturias). *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 15, 325-331. ISSN 0474-9588.



Mediante una serie de ensayos de alterabilidad (ciclos humedad-sequedad, hielo-deshielo y cristalización de sales) efectuados sobre la «piedra de Laspra», material utilizado preferentemente en la fábrica gótica de la Catedral de Oviedo, se llegan a establecer ciertas predicciones sobre su mayor o menor capacidad de deterioración.

Se observa, para los tres tipos de ensayos realizados, que las muestras procedentes del monumento presentan siempre, proporcionalmente, mayores pérdidas de material que las de cantera, siendo el incremento de desgaste del orden de 34 veces superior en el ensayo de humedad-sequedad, 12,5 veces en el de heladicidad y unas 10 veces en el de cristalización de sales.

«Laspra stone» (from Asturias, Spain) was the stone preferentially used in the building of the Gothic fabric of the Cathedral of Oviedo. This paper presents the results of some alterability tests, consisting of cycles of wetting-drying, freezing-thawing and salt crystallisation, carried out on this stone in order to predict the extent of its deterioration.

Specimens of Laspra stone from the original quarries and from Oviedo Cathedral have been tested. Those from the Cathedral show much greater losses of material than those from the quarries (about 34 times higher for the wetting-drying cycles, 12,5 for freezing-thawing and 10 for salt crystallisation).

Rosa M.^a Esbert y Jorge Ordaz, Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad de Geología, Universidad de Oviedo. Manuscrito recibido el 9 de enero de 1985.

INTRODUCCIÓN

La denominada «piedra de Laspra» es uno de los principales materiales rocosos utilizados en la construcción y sucesivas reconstrucciones de la Catedral de Oviedo, especialmente en la Sala Capitular, Claustro Bajo, interior del Templo y Pórtico. Pertenece a la formación calcáreo-dolomítica de edad Paleógena de los alrededores de Oviedo y ha sido ya, previamente estudiada, junto con los otros materiales de la Catedral, desde el punto de vista de sus características petrográficas y físicas más directamente relacionadas con su deterioración (Esbert y Marcos 1983).

En el presente trabajo se estudia su comportamiento frente a la acción deteriorante del agua, ya sea en fase líquida o en fase sólida (hielo), así como de las sales solubles; con objeto de evaluar su alterabilidad, tanto de materiales procedentes de cantera, como de los ubicados en el Monumento.

De entre los ensayos de alterabilidad o durabilidad más comunmente empleados en el laboratorio, se han escogido, en este caso, los de humedad-sequedad, heladicidad y cristalización de sales. Todos ellos suministran criterios estimativos de la susceptibilidad y resistencia a la alteración de los materiales pétreos frente a la acción de agentes exógenos, en relación con su durabilidad como material de construcción (Ordaz 1983; Esbert *et al.* 1984).

MATERIAL SELECCIONADO

Para la realización de los citados ensayos se han seleccionado una serie de bloques representativos de la piedra de Laspra, procedentes de:

- a) Cantera: Afloramiento de «Picu Sierra» (Siero).
- b) Cantera: Afloramiento del «Cristo de las Cadenas» (Oviedo).
- c) Monumento: Claustro Bajo de la Catedral de Oviedo.

De cada uno de los bloques seleccionados se obtuvieron varias probetas cúbicas, de 3 cm de arista, seleccionándose cinco, entre las que aparentemente eran más homogéneas y carentes de defectos externos. Las probetas, previamente a los ensayos, fueron numeradas, medidas sus dimensiones, y sus aristas y vértices rotuladas con tinta indeleble, para hacer más manifiestos los futuros deterioros superficiales. Las series de probetas elegidas para los tres ensayos de alterabilidad fueron fotografiadas antes de ser sometidas a los ciclos, al objeto de poder ser comparadas en su aspecto externo después de éstos. Luego, fueron secadas a estufa para extraer completamente la humedad de las mismas y, a continuación, fueron pesadas en una balanza de precisión.

HUMEDAD-SEQUEDAZ

El ensayo de humedad-sequedad nos aporta información sobre la mayor o menor tendencia a la degradación de los materiales rocosos a causa de las fluctuaciones hígricas (variaciones en el contenido en agua) (Vos 1976).

De entre los varios tipos de ensayos basados en sucesivos ciclos alternos de imbibición en agua (humedad) y evaporación (sequedad) se ha seguido, en nuestro caso, el siguiente procedimiento:

1) Inmersión en agua de las probetas durante 12 horas.

2) Secado de las probetas, a estufa (105°-110° C), durante 12 horas.

El número de ciclos efectuados fue de 30.

Los resultados obtenidos se exhiben en la Tabla I.

TABLA I.—Pérdida de material por humedad-sequedad

Muestras	Porcentaje medio de pérdida de material (en peso)
Picu Sierra	0,07 %
Cristo de las Cadenas	0,07 %
Claustro Bajo	2,39 %

Se deduce de ello que, los ciclos de humedad-sequedad afectan, por lo general, muy poco a la «piedra de Laspra». La pérdida de material, al cabo de los ciclos efectuados, es prácticamente nula para las muestras extraídas de los afloramientos geológicos, con resultados similares; siendo ligeramente mayor para la muestra procedente del Monumento.

A lo largo del ensayo, las probetas apenas evidenciaron cambios superficiales significativos (Fig. 1 a y b), salvo quizás una ligera pérdida en forma de polvi-

llo en las probetas correspondiente al Claustro. Las escasas pérdidas de material tuvieron lugar, generalmente, a partir del vigésimo ciclo.

En cualquier caso, puede decirse que las fluctuaciones del nivel higrométrico apenas tienen incidencia, a corto plazo, sobre el material pétreo ensayado, aún cuando no pueden descartarse mayores efectos degradativos a medio y largo plazo.

HELADICIDAD

El hielo ejerce una acción destructiva muy notable en la mayoría de las piedras debido, particularmente, al incremento de volumen al pasar el agua líquida, contenida en poros y fisuras, al estado sólido; lo que genera esfuerzos internos de tracción que en última instancia, y tras repetidos ciclos, pueden deteriorarlas gravemente llegando, en ocasiones, por fatiga, a su desmoronamiento o ruptura final (gelifracción). Los ensayos de heladicidad o gelivación consisten básicamente en someter una serie de muestras de roca a sucesivos ciclos de congelación (hielo) y descongelación (deshielo), con objeto de evaluar la resistencia a las heladas de dicha roca (Gerard, 1978).

El procedimiento seguido, para la realización de este ensayo, fue el siguiente:

Las probetas se sumergieron en agua durante cinco días, al término de los cuales se completó la imbibición mediante saturación forzada, al vacío, por espacio de dos horas. A continuación se introdujeron las cinco probetas en la cámara climática (marca FEUTRON, mod. 3001) cuya temperatura se encontraba por encima de 0° C (alrededor de 5° C). A partir de este momento la temperatura de la cámara se hizo descender gradualmente hasta -4° C, manteniéndose en este punto dos horas. Luego la temperatura se volvió a bajar hasta -15° C, en donde se mantuvo por espacio de cuatro horas. La velocidad de enfriamiento fue de 0,24° C/min., es decir, aproximadamente un grado centígrado cada cuatro minutos. La humedad relativa en el interior de la cámara se situó alrededor del 85 %.

Terminada la fase de congelación, las probetas fueron desheladas introduciéndolas en un recipiente con agua a temperatura ambiente, durante un tiempo de dos horas, como mínimo. Acabada esta fase de descongelación, las probetas fueron de nuevo colocadas en la cámara climática para empezar otro ciclo idéntico. El número total de ciclos efectuados fue de 30. Una vez terminados los ciclos de hielo-deshielo, las probetas fueron pesadas, en seco, para conocer la pérdida de material.

Los resultados obtenidos se expresan en la Tabla II.

Las pérdidas de material contabilizadas muestran que la acción del hielo sobre la «piedra de Laspra» es, en general, leve en las probetas procedentes de las canteras, mientras que sus efectos son ligeramente superiores en las probetas provinientes del Monu-

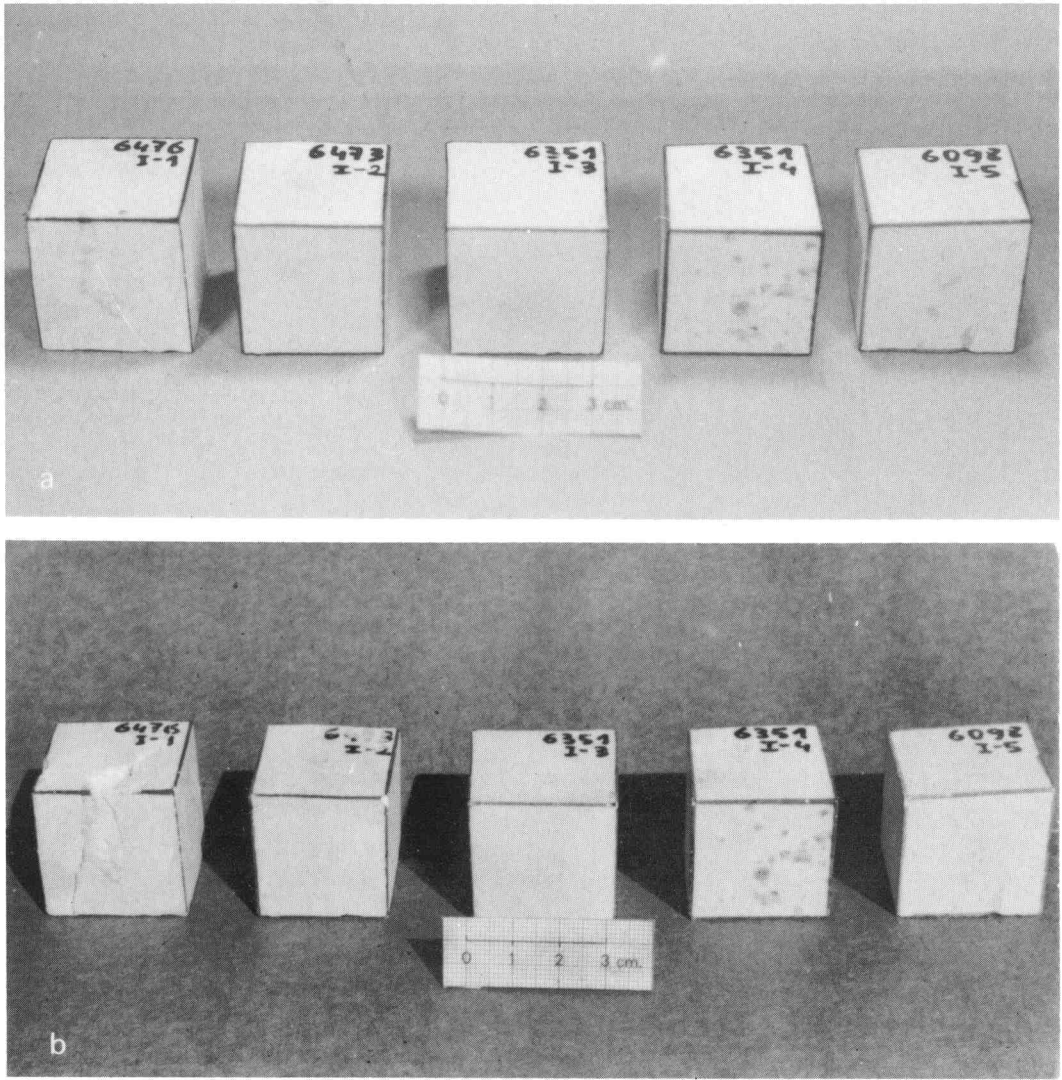


Fig. 1 a y b.—Probetas de Laspra pre y post-ensayo humedad-sequedad, respectivamente.

mento, aún cuando su intensidad no es, en valor absoluto, excesivamente elevada.

Las variaciones observadas a lo largo del ensayo de heladicidad son mínimas (Fig. 2 a y b). No se detectaron pérdidas de material por desagregación pulveru-

lenta en ninguna muestra; sí, en cambio, se observaron algunas pequeñas descamaciones a lo largo, principalmente, de las aristas y vértices de las probetas. En la probeta perteneciente al Claustro Bajo se observó el crecimiento de una microfisuración que se fue extendiendo y propagando progresivamente a partir del tercer ciclo. A partir del décimo ciclo de hielo-deshielo, la interacción de varias de estas pequeñas fracturas motivó el que se produjeran pequeños desconchamientos que dieron lugar a los desprendimientos de material registrados al final del ensayo. Las fracturas se nuclearon esencialmente a partir de defectos microestructurales preexistentes, como puedan ser las venillas de recristalización que surcaban la masa de la probeta. Al término de los treinta ciclos,

TABLA II.—Pérdida de material por hielo-deshielo

Muestras	Porcentaje medio de pérdida de material (en peso)
Picu Sierra	0,38 %
Cristo de las Cadenas	0,10 %
Claustro Bajo	2,99 %

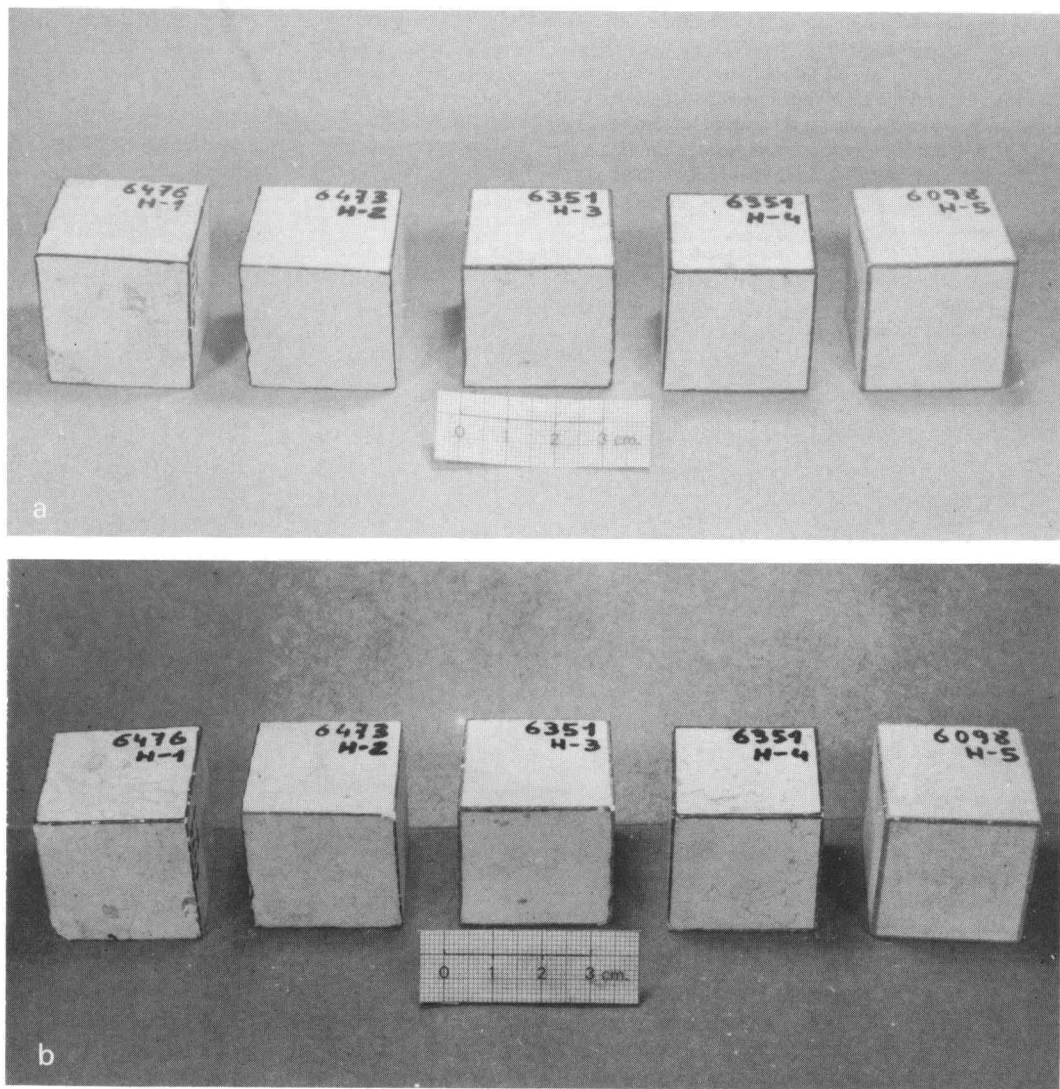


Fig. 2 a y b.—Probetas de piedra de Laspra pre y post-ensayo de heladicidad. Obsérvese las descamaciones que presentan algunas de ellas, la I-1 por ej., post-ensayo.

dicha probeta conservaba, sin embargo, cierta cohesión interna, aunque notoriamente debilitada por la microfracturación generalizada y desarrollada como consecuencia de la acción crioclástica del hielo.

CRISTALIZACIÓN DE SALES

Los ensayos de cristalización de sales se basan en el efecto disruptivo de soluciones salinas, más o menos concentradas, al cristalizar éstas en el interior de poros y fisuras. Los repetidos ciclos de inmersión de las muestras en la solución salina y posterior evaporación, proporcionan datos para una evaluación cuantitativa del comportamiento físico de un material ro-

coso frente a las acciones destructivas de las sales solubles (Niesel 1978). Por otro lado, consignada la «intensificación» que comporta este tipo de pruebas experimentales, en comparación con las condiciones naturales, dichos ensayos pueden también considerarse como de «envejecimiento acelerado o artificial» de la roca, e indicadores, por extensión, de su proclividad a la disgregación mecánica bajo los efectos de la intemperie, concretamente de la acción de las heladas.

Para la realización de este ensayo se utilizó una solución acuosa de sulfato sódico al 15%. El efecto disruptivo del SO_4Na_2 es debido al incremento de volumen de un 400% durante su transición a SO_4Na_2 .

$10\text{H}_2\text{O}$, en una solución a temperatura inferior a $32,4^\circ\text{C}$ (Price 1978).

El procedimiento seguido en los ciclos fue el siguiente: las probetas, después de ser secadas, pesadas y medidas, fueron sumergidas parcialmente en la solución salina por espacio de seis horas, a temperatura ambiente ($18-20^\circ\text{C}$). Posteriormente las probetas fueron secadas a estufa (precalentada a unos 70°C) durante doce horas, como mínimo. Luego se dejaron enfriar en un desecador, aproximadamente durante una hora. Seguidamente volvieron a ser sumergidas las probetas en la solución acuosa de sulfato sódico. El número de ciclos efectuados fue de 10.

De las cinco probetas ensayadas, dos de ellas (una

correspondiente a la muestra de cantera de Picu Sierra y la otra a la del Cristo de las Cadenas) se escindieron en pedazos antes de terminar los diez ciclos; concretamente al quinto y séptimo, respectivamente. La rotura o resquebrajamiento tuvo lugar, seguramente, a partir de zonas de debilidad preexistentes, como pueden ser fisuras internas, no aparentes. El resto de probetas perdieron, a lo largo de los sucesivos ciclos, material en cantidad variable, según el tipo de muestra, aunque conservando su coherencia interna (Fig. 3 a y b). Este desprendimiento de material se llevó a cabo, generalmente, por desagregación superficial en forma de polvo (pulverización) o en pequeñas escamas (descamación).

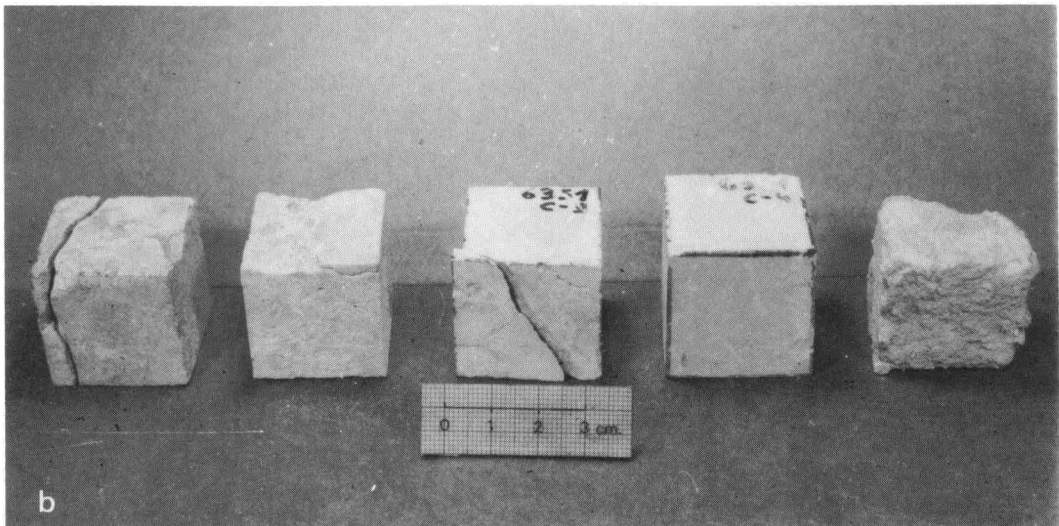
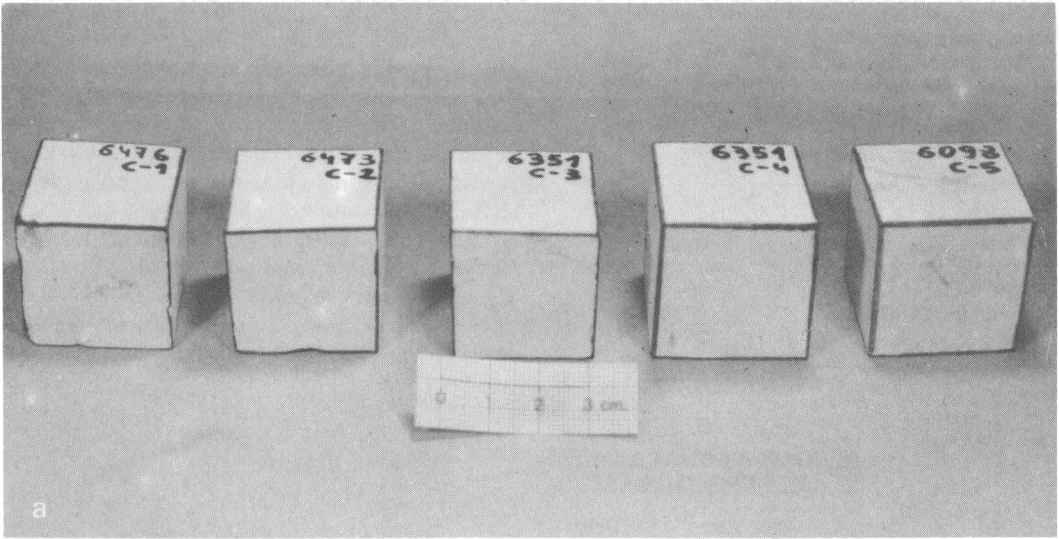


Fig. 3 a y b.—Probetas de piedra de Laspra pre y post-ensayo de cristalización de sales. Como se evidencia en las fotografías la mayoría de las probetas, tras los ensayos, quedaron seriamente deterioradas.

Dichas pérdidas empezaron a ser perceptibles a distintos niveles: a partir del cuarto ciclo, para la probeta perteneciente al Monumento; a partir del quinto, la del Cristo de las Cadenas, que no se fracturó; y a partir del sexto la de Picu Sierra, que se mantuvo cohesionada hasta el final. La mayor parte del material se desprendió en los primeros momentos de la fase de inmersión de las probetas en la solución salina.

En líneas generales, se observó que las muestras de «piedra de Laspra» procedentes de afloramientos, evidenciaron una pérdida de material mucho menor en relación a la muestra proveniente del Claustro. En la Tabla III se exhiben los valores obtenidos al término del ensayo.

La evolución gráfica del ensayo, a lo largo de los ciclos, puede verse en la Fig. 4.

Como puede observarse, la muestra de «piedra de

Laspra», más resistente a los ensayos de cristalización de sales, resultó ser la correspondiente a la extraída de la cantera del Cristo de las Cadenas, cuya pérdida de material fue prácticamente insignificante. Próxima a ésta se sitúa la de Picu Sierra; siendo la muestra más vulnerable a este tipo de agente deteriorante, la perteneciente al Monumento, con una pérdida de material, progresiva, que supone, a los diez ciclos, alrededor de una cuarta parte de su peso inicial en seco.

VALORACIÓN DE LOS ENSAYOS: CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en los ensayos de alterabilidad efectuados sobre probetas de la «piedra de Laspra», se deduce que, los de humedad-sequedad y heladicidad proporcionan resultados muy parecidos, para el mismo número de ciclos (30). En ambos casos los valores de pérdida de material —tomados como índice de su alterabilidad potencial a los cambios hídricos y al hielo— son, en términos absolutos, bajos y, comparativamente, análogos.

Los resultados del ensayo de cristalización de sales muestran, por otra parte, que los efectos destructivos de las sales pueden ser significati-

TABLA III.—Pérdida de material por cristalización de sales

Muestras	Porcentaje medio de pérdida de material (en peso)
Picu Sierra	4,23 %
Cristo de las Cadenas	0,94 %
Claustro Bajo	25,63 %

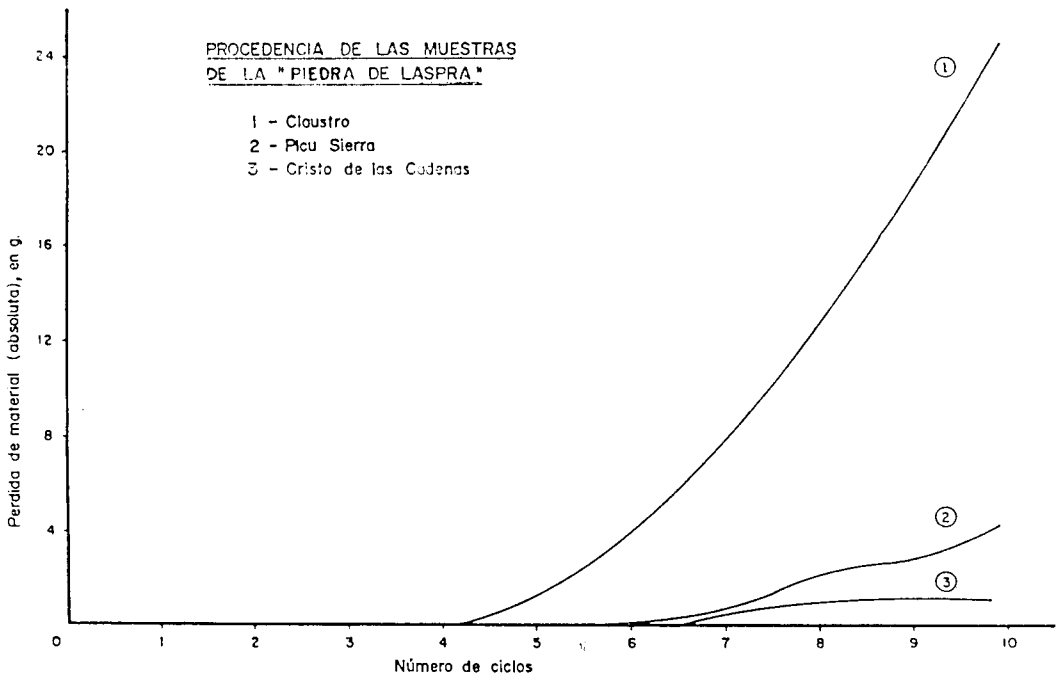


Fig. 4.—Evolución de la pérdida de material de la piedra de Laspra, a lo largo del ensayo de cristalización de sales (Peso inicial de las probetas, en seco, entre 70-90 g.).

vamente superiores a los dos ensayos antedichos, aún con un menor número de ciclos (10). Vistos los porcentajes de pérdida de material, este ensayo representa, en relación al de heladicidad, una «intensificación» de sus efectos deteriorantes del orden de 9,7 veces más, como promedio (11,1 para las muestras del Picu Sierra; 9,4 para las del Cristo de las Cadenas; y 8,6 para la del Claustro Bajo).

En los tres ensayos realizados se observa, asimismo, que la muestra perteneciente al Monumento es la que, proporcionalmente, presenta siempre mayores pérdidas de material, al final de los distintos ciclos a los que fue sometida. Este incremento de desgaste es del orden de 34 veces más, en comparación con los materiales extraídos de los afloramientos geológicos, en el ensayo de humedad-sequedad; de 12,5 en el ensayo de heladicidad; y de cerca de 10 en el ensayo de cristalización de sales. De ello se deduce que, con respecto a las muestras «sanas» de «piedra de Laspra» (cantera), la «alterada» (Claustro Bajo) es más sensible que éstas a las fluctuaciones o cambios en el contenido en humedad; siendo las diferencias observadas, en cuanto a los efectos disruptivos del hielo, algo menores en ambos tipos de muestras, aunque mayores, globalmente, por lo que a sus valores absolutos se refiere.

Las muestras correspondientes a los aflora-

mientos, tanto las del Picu Sierra como las del Cristo de las Cadenas, presentan comportamientos de alterabilidad semejantes, salvo pequeñas diferencias razonables dentro de la dispersión propia de este tipo de ensayos. Puede decirse, en líneas generales, que la «piedra de Laspra» de dicha procedencia es un material rocoso homogéneo que, en principio, resiste bastante bien tanto las fluctuaciones del contenido en agua, como la acción de las heladas. En este sentido, pues, no puede considerarse, de acuerdo con los parámetros críticos y criterios más comúnmente establecidos en la caracterización física de las piedras de construcción, como una roca «heladiza». No obstante, se ha podido verificar por el ensayo de cristalización de sales (el cual, como se ha dicho, puede contemplarse como un ensayo de «envejecimiento artificial acelerado») que la acción del hielo no es en absoluto irrelevante a medio y largo plazo; antes bien, puede llegar a ser, en el transcurso del tiempo y tras repetidos ciclos alternantes de hielo-deshielo, netamente perjudicial de cara a la durabilidad y conservación de esta piedra; sobre todo, en el material ya ubicado en el Monumento, y que, por estar en la actualidad, en un estado de deterioración más avanzado, es también más vulnerable a este tipo de agente alterante, y, por tanto, más proclive a estas formas de alteración física.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias por la subvención de este trabajo, enmarcado dentro del Proyecto de Investigación

titulado: «Claustro Bajo de la Catedral de Oviedo: Valoración del estado de alteración de sus materiales pétreos».

BIBLIOGRAFIA

- Esbert, R. M. y Marcos, R. M. (1983).—*Las piedras de la catedral de Oviedo y su deterioración*. Publ. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias. Gráficas Summa. 147 pp. Oviedo.
- , Ordaz, J., Alonso, F. J. y Valdeón, L., (1984).—Influencia de las características petrográficas en la durabilidad de materiales arenisicosos utilizados en los monumentos. *Actas I Congreso Español de Geología*, 2, 921-931, Segovia (España).
- Gerard, R. (1978).—Trois méthodes d'essai de gelivité récemment normalisées en Belgique. *Proc. of the Int. Symp. on Deterioration and Protection of Stone Monuments*, 1 (3.2), 18, París.
- Niesel, K. (1978).—L'évolution de la diminution de la masse comme base par l'évaluation de l'essai de cristallisation. *Proc. of the Int. Symp. on Deterioration and Protection of Stone Monuments*. 1 (3.5), 16. París.
- Ordaz, J. (1983).—Características físicas y alterabilidad de las piedras de Villamayor (Salamanca). *Materiales de Construcción*. 190-191, 85-95.
- Price, C. A. (1978).—The use of the sodium sulphate crystallisation test for determining the weathering resistance of untreated stone. *Proc. of the Int. Symp. on Deterioration and Protection of Stone Monuments*. 1 (3.6), 23. París.
- Vos, B. H. (1976).—Water absorption and drying of materials. *The Conservation of Stone*, I. *Proc. of the Int. Symp.*, pp. 679-694, R. Rossi Manaresi. Bologna (Italia).

