

**LA INTERPRETRACIÓN DE LOS ENSAYOS DE
CARACTERIZACIÓN DE LA PIEDRA NATURAL, EN EL
MARCO DE LA NUEVA NORMATIVA EUROPEA**

F. López G.-Mesones

Profesor Titular

E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid. UPM.

RESUMEN

El nuevo marco normativo europeo (CEN) para la piedra natural, constituye una eficaz herramienta de trabajo para los profesionales de la arquitectura en orden a dimensionar adecuadamente este noble material de construcción.

En este artículo se desarrolla y justifica la idea de que no existen piedras buenas o malas sino piedras bien o mal utilizadas, como premisa de partida a la hora de utilizar un material determinado.

Se describe también de forma esquemática los distintos tipos de ensayos que se deben de realizar según las posibles aplicaciones de la piedra y se definen los criterios de diseño o dimensionamiento mas importantes para una correcta utilización del producto como material de construcción.

1. INTRODUCCIÓN

La correcta utilización de la piedra natural, al igual que otros materiales de construcción requiere, sobre todo, de un cuadro normativo real, contrastado en el tiempo y sencillo en su aplicación.

Esta idea, aparentemente simple, resulta en la realidad, difícil de llevar a la práctica, ante la ausencia, en general, de ese cuadro normativo eficaz al que los profesionales puedan recurrir.

El desarrollo de las normas europeas, que después de muchos años de andadura parece que está llegando a su fin, puede constituir esa herramienta de trabajo para los profesionales, que tanto se necesita.

El cuadro normativo europeo, se desarrolla en dos ámbitos o niveles; el de los procedimientos de ensayo, definidos en normas específicas y el de las especificaciones o requerimientos que deben de cumplir los materiales según los usos a los que se van a destinar, por medio de las denominadas normas de producto algunas de las cuales adquieren el rango de normas armonizadas.

En este último grupo, se incluyen las siguientes:

- Especificaciones para bloques en bruto
- Especificaciones para tableros en basto
- Especificaciones para placas de revestimiento
- Especificaciones para plaquetas
- Especificaciones para baldosas para suelos y escaleras
- Especificaciones para piedras dimensionadas
- Requerimientos y métodos de ensayo de baldosas para pavimentos exteriores
- Requerimientos y métodos de ensayo para bordillos
- Requerimientos y métodos de ensayo para adoquines
- Productos de pizarra para tejados discontinuos y revestimientos

Parte 1. Especificaciones

Parte 2. Métodos de ensayo

- Especificaciones para unidades de mampostería

Algunas de estas normas ya están publicadas y se espera que antes de un año, también lo estén el resto.

Hasta ahora la piedra natural se ha venido utilizando mayoritariamente, de manera mas bien intuitiva o quizás en base a experiencias locales, mas o menos eficaces, pero carentes en cualquier caso de un planteamiento tecnológico global.

Este nuevo planteamiento global, supone tres tipos de consideraciones: el conocimiento de las propiedades de la piedra, mediante ensayos; el establecimiento de procedimientos para el control del proceso de fabricación, de tal manera que se puedan garantizar **estadísticamente** unos valores característicos de las propiedades del producto; y por último una definición de los

Roberto Villas Boas, Benjamin Calvo y Carlos Peiter, Editores

procedimientos de muestreo para la recepción en obra y los criterios de aceptación o rechazo de los lotes.

El nuevo marco normativo **exige** al fabricante el establecimiento de un **sistema de autocontrol** en fábrica que le permita facilitar a sus clientes valores de los parámetros que definen sus características, garantizados por el propio sistema.

Lógicamente todos estos requerimientos serán obligatorios si se desea vender el producto con le **marca CE**.

Planteado así el problema, la opción para el Arquitecto resulta muy sencilla: **exigir esta marca de calidad** para la piedra seleccionada en su proyecto arquitectónico, como garantía de unos valores característicos representativos.

Evidentemente, este nuevo enfoque, no va a crear nada más que beneficios a largo plazo a todas las partes implicadas.

A los fabricantes les va a permitir conocer a fondo las propiedades de sus productos y su significado, y hacer una selección adecuada a las condiciones de uso del material, de tal manera que las reclamaciones por fallo, se verán reducidas considerablemente.

A los **arquitectos y proyectistas** en general que van a disponer de esos parámetros característicos, garantizados estadísticamente, que se necesitan para dimensionar la piedra correctamente y todo ello amparado por un marco normativo de carácter oficial.

Por último a los **usuarios**, que son los que en definitiva pagan el coste del material colocado en el inmueble del que son propietarios y que han adquirido, en muchos casos, merced al ahorro de toda una vida.

2. EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PIEDRA NATURAL

Aunque de todos es conocida la existencia, en los diferentes países, de grupos de normas para la piedra natural, en la realidad sus contenidos resultan poco útiles para una aplicación práctica, por carecer de especificaciones reales, pero sobre todo, por ignorarse, en la mayoría de los casos, la relación entre el significado de los ensayos,

y las solicitaciones reales a las que el material va a estar sometido en una obra arquitectónica.

Estas relaciones, cuando se conocen suficientemente, amplían enormemente la utilización de un material de construcción pues se trataría, en definitiva, de calcular las **secciones** correctas de las piezas, cualquiera que sea su calidad, para que soporten la cuantía de las solicitaciones que sobre ellas actúan.

Si se tiene en cuenta que de las dos dimensiones que constituyen una sección, una de ellas está definida por el proyectista según criterios estéticos o de diseño, el problema se reduce a la **determinación del espesor**.

Surge pues la idea básica y general que se debe de tener siempre en cuenta a la hora de utilizar la piedra natural:

**NO HAY PIEDRAS BUENAS O MALAS
SINOPIEDRAS BIEN O MAL UTILIZADAS**

Se pueden citar algunos ejemplos.

Un primer caso, se refiere al ensayo de resistencia a la flexión como característica de diseño de un producto acabado (p.e. un pavimento).

La resistencia a la flexión o módulo de rotura constituye un parámetro característico de un material determinado y poco nos aporta de su aptitud o no, como pavimento por el que van a circular por ejemplo peatones, bicicletas, o esporádicamente, vehículos ligeros de reparto.

En realidad la incógnita que se plantea es la determinación espesor "e" de la piedra, en base a las cargas de tráfico (P) que se van a transmitir (conocidas), de las dimensiones correspondientes al formato elegido por el proyectista (longitud L y anchura W), y del módulo de flexión (R) del material.

Todos estos parámetros están relacionados entre si por medio de la ecuación de equilibrio de momentos de una viga simplemente apoyada, sometida a una carga centrada, cuya expresión, en la que se incluye un factor de seguridad $F=1,6$ frente a la carga de rotura, es la siguiente:

Roberto Villas Boas, Benjamin Calvo y Carlos Peiter, Editores

$$e = \sqrt{\frac{2.400 \cdot L \cdot P}{R \cdot W}} \quad (\text{según EN 1341})$$

El problema se reduce entonces a dimensionar la piedra con el espesor adecuado según la cuantía de los diferentes parámetros que intervienen en la expresión anterior.

Un segundo ejemplo podría ser al comportamiento del material frente al hielo. Un tipo de piedra determinado puede tener un buen comportamiento, con un espesor determinado, en una zona como Madrid donde se producen heladas esporádicas y no ser apta, con el mismo espesor, para un emplazamiento de alta montaña.

A su vez, la degradación de la piedra depende del tiempo que esté expuesta a la acción de las heladas, o lo que es lo mismo de la vida que deseemos alcance la construcción que se está realizando. Hoy en día se construye frecuentemente a horizontes de 50 años, o incluso inferiores.

También una piedra colocada en un emplazamiento concreto, puede ser a lo mejor utilizada como aplacado de un edificio y no ser adecuada como pavimento exterior, o afinando algo más, podría ser aceptable para su colocación en una pared vertical (exterior), y no serlo en una cornisa, o en el zócalo o basamento de la misma pared, pues las condiciones de saturación del material son diferentes.

Se puede concluir pues, que la durabilidad o estabilidad de una piedra frente al hielo, está relacionada con la ubicación geográfica de la obra (**condiciones ambientales**), su posición relativa dentro de la propia obra (**condiciones de saturación**) y de **la vida útil** del material que se introduce como un dato de proyecto.

Estos tres conceptos están relacionados entre si y con el número de ciclos a realizar en el laboratorio como se verá mas adelante.

Una vez realizados en el laboratorio los ciclos necesarios, se obtiene un material degradado con unas propiedades resistentes inferiores a las que tenía antes del ensayo, que se utilizarán para el cálculo de los espesores de la piedra.

Esta pérdida de resistencia implica, lógicamente, un mayor espesor de las piezas utilizadas para poder resistir las sollicitaciones mecánicas a que van a estar sometidas.

En definitiva el problema de la acción del hielo, se resuelve proporcionando a la piedra un mayor espesor.

Un tercer y último ejemplo que se puede citar, está relacionado con la resistencia al deslizamiento de un pavimento de piedra natural, aspecto este de gran importancia por constituir uno de los requisitos esenciales de la Directiva Europea de Productos de Construcción (89/106 CE).

El ensayo, determina por medio de un parámetro denominado USRV (Unpolish Skid Resistance Value), que representa la energía absorbida por un péndulo provisto de una zapata de goma en su extremo, que desliza una longitud determinada por el pavimento.

El valor que está previsto como aceptable en la norma europea para que el pavimento sea seguro, es de $USRV \geq 35$ pudiendo exigirse en alguna circunstancia, como sería el caso de suelos en rampa, un $USRV \geq 45$. Este valor por si mismo, no tiene ningún significado, si no se relaciona con la textura o acabado superficial de la piedra.

Es decir una piedra, para poder ser utilizada como pavimento, deberá tener un acabado superficial tal que proporcione la rugosidad necesaria para que cumpla con la especificación indicada.

Estos tres casos que se han citado constituyen un claro ejemplo demostrativo de la idea básica citada anteriormente de que **no hay piedras buenas o malas, sino piedras bien o mal utilizadas.**

3. LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN SEGÚN EL CUADRO NORMATIVO EUROPEO

Se facilita a continuación, de forma muy sucinta, una serie de criterios y recomendaciones que pueden ayudar a una mejor utilización de este material.

Roberto Villas Boas, Benjamin Calvo y Carlos Peiter, Editores

• *Con carácter general*

El suministrador indicará las tolerancias dimensionales de los materiales, con un nivel de confianza del 95 %.

Así mismo se facilitará la clasificación petrográfica en todos los casos, ya que se originan a veces litigios legales, como consecuencia de incluir en los pliegos de condiciones de los proyectos, denominaciones de las piedras que no se corresponden con su denominación petrográfica.

• *Pavimentos.*

Absorción y Peso específico aparente
Resistencia a la flexión
Resistencia al desgaste
Resistencia al deslizamiento
Resistencia al hielo (solo en exteriores)
Resistencia al impacto
Absorción Capilar

• *Para elementos de mampostería*

Resistencia a la compresión simple.
Absorción y Peso específico aparente.
Resistencia a la flexión.
Resistencia al hielo.
Absorción Capilar.

• *Revestimientos o aplacados*

Absorción y Peso específico aparente
Resistencia a la flexión
Resistencia al hielo (solo en exteriores)
Resistencia al impacto
Absorción Capilar
Resistencia al anclaje (solo si se utilizan anclajes)

• *En el caso de rocas ígnea (granitos etc) o Mármoles*

Se deberá facilitar el resultado del ensayo de choque térmico, como comprobación de que no existe riesgo de manchas de oxidación en el caso de roca ígnea o de que no se produce descohesión granular o cambios de color en el caso de los mármoles.

• *Pizarras de techar.*

Resistencia a flexión en dos direcciones ortogonales

Espesor de una placa individual.

Espesor medio de pizarras las embaladas

Contenido en carbonatos

Resistencia al SO₂

Resistencia al choque térmico

Contenido en carbono elemental

Escuadrado

Planeidad.

4. EL DIMENSIONADO DE LAS PIEDRAS

4.1. Pavimentos exteriores

4.1.1. Cálculo del espesor

Se utiliza la expresión :

$$e = \sqrt{\frac{2.400 \cdot L \cdot p}{R \cdot W}}$$

L. Longitud de la placa en mm.

W. Anchura de la placa en mm.

R. Módulo de rotura en MPa.

e. Espesor en mm.

Carga de rotura (KN) requerida, según tabla de usos.

p (KN)	Usos
No requiere	Decoración
0,75	Baldosas sobre mortero. Áreas peatonales
3,5	Áreas peatonales y para bicicletas. Jardines y balconadas
6,0	Accesos ocasionales de coches, vehículos ligeros y motocicletas. Entradas de garajes
9,0	Aceras, áreas comerciales, con paso ocasional de vehículos de emergencia o transporte
14,0	Áreas peatonales, utilizadas frecuentemente por vehículos pesados
25,0	Carreteras, calles y gasolineras

Fuente: Norma EN 1341

4.1.2. Resistencia a las heladas

Se describe a continuación un procedimiento para determinar el número de ciclos que hay que realizar en el laboratorio para reproducir las condiciones reales de daño por hielo que se originan en la naturaleza.

Para ello se parte de la definición de Índice de hielo, I_g , dado por la expresión:

$$I_g = \frac{\sum_0^{360-30} T(-5)}{30}$$

Donde, $\sum_0^{360-30} T(-5)$ representa la suma de las temperaturas mínimas diarias por debajo de 5° bajo cero, durante un periodo de 30 años, y que pueden obtenerse fácilmente, de las series meteorológicas proporcionadas por los organismos nacionales correspondientes.

La expresión anterior representaría por lo tanto el daño por hielo originado en un emplazamiento durante un año.

Al cabo de "n" años el daño por hielo sería:

Daño por hielo en un emplazamiento después de n años

$$\frac{\sum_0^{360 \cdot 30} T(-5)}{30} n \text{ ó } I_g \cdot n$$

En el laboratorio el daño por hielo después de realizar N ciclos con una temperatura de -12° (condiciones de la norma de ensayo) se puede definir por medio de la expresión:

$$N \cdot 12$$

Igualando ambas expresiones se tiene:

$$N = \frac{I_g \cdot n}{12} \text{ en condiciones de saturación.}$$

En otras condiciones, la expresión anterior se transforma en:

$$N = \frac{I_g \cdot n}{12} \cdot k \text{ (López.F.1992)}$$

Siendo K un factor de saturación cuyos valores son los siguientes:

Tabla 1 - Valores de K

k	Condiciones de saturación
1	Pavimentos exteriores, Fuentes, Pilastras
0,8	Chimeneas, Zócalos, Molduras, Áreas con riesgo de salpicaduras en paredes verticales
0,4	Aplacados de paredes verticales sujetas con mortero, Tracerías Cornisas, Petos
0,1	Fachadas aplacadas sin ventilar, Paredes verticales de mampostería, Ménsulas de balcón.
0,05	Fachadas trasventiladas

Fuente: Elaboración propia

Al final de los N ciclos se determinará la resistencia a flexión del material, o el valor de la resistencia al anclaje o la resistencia a la compresión. Estos valores constituyen entonces valores de referencia para determinar el espesor de las piezas que se desea dimensionar.

4.1.3. Resistencia a la abrasión (Método Capón).

El resultado del ensayo determina la anchura de la huella producida por un disco que roza con el aporte de un abrasivo contra el material un número determinado de vueltas definido en la norma.

Se puede adoptar la siguiente interpretación del resultado del ensayo:

Usos	Anchura máxima de la huella en (mm)
Individual	26 mm
Normal	23 m
Colectivo intenso y lento	20 mm
Colectivo intenso y rápido	18 mm

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Resistencia al deslizamiento

USRV \geq 35 en condiciones normales.

URSV \geq 40 en condiciones de pendiente(Elaboración propia)

4.1.5. Absorción de agua a la presión atmosférica

En pavimentos en interior con tráfico intenso, se recomienda que la absorción sea inferior a 0,5% por razones de limpieza.

(Elaboración propia)

4.2. Revestimientos

4.2.1.- Cálculo del espesor de las piezas

El espesor del aplacado está determinado por la expresión

$$e = \sqrt{\frac{6.m}{100\sigma}}$$

Siendo m el momento máximo que se origina entre puntos de anclaje y σ la resistencia a flexión.

4.2.3. Resistencia al anclaje (Según EN 13364)

Con caracter general:

$$R_a \geq 500 N \quad \text{y} \quad R_a \geq 1,3P$$

Siendo P el peso de la pieza.

De manera concreta la resistencia al anclaje se relaciona con las dimensiones de las piezas y con la presión/succión de viento por medio de la expresión:

$$R_a = P.L.W.F/n$$

Siendo P los esfuerzos de viento.

L y W la longitud y anchura de las piezas.

F un factor de seguridad que puede llegar a alcanzar valores de hasta F=8

n el nº de anclajes por pieza.

4.2.4. Resistencia a las heladas

Se tendrá en cuenta lo indicado con anterioridad en el apartado correspondiente a los pavimentos.

4.3. Mampostería

4.3.2.-Densidad aparente

Como parámetro de cálculo del peso de la fábrica.

4.3.3. Compresión simple

Como parámetro para el cálculo de la fábrica, aunque se aconseja sea superior a 10MPa. Se determinará el **valor característico** con criterios estadísticos :

$$\sigma_{ck} = \bar{\sigma}_c - k S_{n-1}$$

4.3.4.-Porosidad abierta

Con carácter general, la porosidad de las piedras deberá ser inferior a P ≤ 50% (Elaboración propia).

4.3.5. Resistencia al hielo

Se tendrá en consideración lo indicado en el apartado de pavimentos

5. OTROS ENSAYOS DE ALTERABILIDAD SEGÚN EL TIPO DE PIEDRA

5.1. Choque Térmico

Se realizará este ensayo en rocas de tipo granito para determinar si el material oxida o no.

También se aplica para determinar si los Mármoles sufren el conocido fenómeno de descohesión granular, originado por la anisotropía de la calcita.

5.2. Cristalización de sales

Se determina la pérdida de masa después de realizar 15 ciclos de inmersión en una solución de sulfato sódico y posterior secado en estufa.

Es un ensayo adecuado para estimar la durabilidad de las rocas calcáreas en atmósferas contaminadas.

5.3. Inmersión en ácido sulfúrico

Se determina la alteración que se origina en el material, al sumergirlo en una disolución de ácido sulfúrico. Se aplica en las areniscas.

5.4. Coeficiente de saturación

Únicamente se determina en calizas y areniscas de elevada porosidad. Constituye un índice de alterabilidad de la roca

5.5. Ensayo de SO₂

Fundamentalmente en pizarras. Eventualmente en otras piedras si se colocan en una atmósfera muy contaminada.

5.6. Cámara de niebla salina

Es un ensayo adecuado para determinar la alterabilidad de granitos preferentemente, en zonas costeras con fuertes vientos.

5.7. Absorción de agua por capilaridad

Para todo tipo de piedra, en Mampostería y Revestimientos exteriores en zonas de zócalo.

El Coeficiente de capilaridad debe de ser inferior a $100\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{0,5}$ en estas aplicaciones (Elaboración propia).

6. LAS PIZARRAS DE TECHAR

La nueva norma europea sobre pizarras de techar, nace bajo el epígrafe UNE-EN 12326 y ha sido elaborada por el subcomité CEN TC128/SC8.

Se estructura en dos partes:

UNE-EN 12326-1. Especificaciones de producto

UNE-EN 12326-2. Métodos de ensayo

6.1. Los contenidos de las normas

Para evaluar el producto “Pizarras de techar”, se considera necesario, realizar los siguientes ensayos de caracterización:

- Controles dimensionales
 - Longitud y anchura
 - Rectitud de los bordes
 - Escuadrado
 - Desviación de la planeidad
- Espesores
 - Espesor de la pizarra individual
 - Espesor de la pizarra embalada
- Resistencia a la flexión
- Ensayo de Absorción de agua
- Ensayo Hielo/deshielo
- Contenido en carbono no carbonático (carbono elemental)
- Contenido en Carbonatos
- Exposición al Dióxido de Azufre

Roberto Villas Boas, Benjamin Calvo y Carlos Peiter, Editores

- Ensayo de ciclo Térmico
- Examen petrográfico

6.2. Interpretación de los ensayos

Del análisis de los resultados obtenidos en los ensayos anteriores, se deberá obtener el dimensionamiento adecuado de las placas de pizarra.

En este sentido, se definen dos conceptos nuevos en las pizarras de techar, como son el "espesor individual básico" y el "espesor individual", cuyo significado sería el siguiente:

Espesor individual básico: Depende de la resistencia a la flexión de la pizarra, de sus dimensiones y de las condiciones climáticas.

Viene dado por la expresión:

$$e_b = k \sqrt{\frac{L}{R}}$$

siendo:

k: un factor climático que para el caso de España, se toma $k = 1,2$.

L: la dimensión de la placa, perpendicular a la cual se realiza el ensayo de flexión.

R: resultado de la resistencia a flexión en la dirección indicada.

A partir del espesor básico, se obtienen el espesor mínimo individual e_m de una placa de pizarra, según sea su contenido en carbonatos y el resultado del ensayo de SO₂, de acuerdo con el siguiente cuadro.

C _a CO ₃	SO ₂	e _m
≤5%	S ₁	e _m = e _b
	S ₂	e _m = e _b + 5%
	S ₃	e _m ≥ 8mm
> 5% y ≤ 20%	S ₁	e _m = e _b + 5%
	S ₂	e _m = e _b + 10%
	S ₃	e _m ≥ 8 mm

Fuente: EN 12326

En las pizarras con más de un 20% de carbonatos, hay que realizar un ensayo especial de valoración, que no se trata en esta conferencia, por no considerarlo de interés, ya que en la mayoría de las pizarras, el contenido en carbonatos están afortunadamente muy alejado de este valor.

En cualquier caso, el espesor mínimo, será siempre mayor de 2mm.

Cuando el valor de la absorción es superior al 0,6%, se deberán someter las pizarras a un ensayo de hielo/deshielo de 100 ciclos y comprobar después, que nos se ha producido pérdida apreciable de resistencia a flexión.

El contenido en carbono elemental, debe de ser inferior al 3%, según la norma y constituye una determinación, cuya aportación a la calidad de la pizarra (dentro de estos límites) es bastante dudosa.

Por último, el ensayo de choque térmico, tampoco contiene una especificación excluyente del material, salvo que se produzcan roturas o exfoliaciones, lo que no suele ocurrir normalmente. Las oxidaciones se admiten, incluso si producen chorreo, o también cuando los metálicos puedan provocar perforaciones por oxidación en la placa, siempre que se realice una colocación adecuada del material en la cubierta.