

7. ABSORCIÓN DE AGUA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA Y POR CAPILARIDAD EN MATERIALES CERÁMICOS DE CONSTRUCCIÓN

7.1. Objetivos docentes

Introducirse en los ensayos que requiere un material cerámico de construcción para la realización de su ficha técnica.

7.2. Objetivo del trabajo práctico

Determinar la absorción de agua a presión atmosférica y el coeficiente de absorción de agua por capilaridad de materiales cerámicos de construcción (hormigón, cerámica blanca, roja (arcilla cocida), piedra natural y piedra artificial).

7.3. Fundamento teórico

Materiales cerámicos de construcción

Los cerámicos son todos aquellos materiales sólidos inorgánicos no metálicos. Aunque la cerámica es un producto fabricado por el hombre, las rocas y minerales no metálicos que forman la corteza terrestre son también materiales cerámicos en cuanto a su naturaleza y propiedades.

Los materiales cerámicos se utilizan abundantemente en la construcción de viviendas, edificios y todo tipo de obras civiles. En la cerámica de construcción se distingue la cerámica roja (ladrillos y tejas), la blanca (sanitarios y piezas especiales) y los productos para revestimientos (baldosas y azulejos). También se utilizan abundantemente piezas de hormigón de cemento Portland y de piedra artificial, así como los vidrios planos y toda una serie de productos más especializados. Las materias primas necesarias para la fabricación de todos estos materiales (arcillas, arenas y áridos) y la piedra natural son ejemplos de materiales cerámicos de origen natural que se utilizan en construcción.

La industria cerámica tiene una gran importancia económica en España (1,2% del PIB en 2002), así como la actividad minera relacionada con los materiales de construcción (0,99% del PIB en 2002). En los últimos años la tendencia ha sido ascendente, situándonos como segundo productor mundial de baldosas y azulejos detrás de China, y ocupando también uno de los primeros puestos mundiales en la producción y elaboración de rocas ornamentales. La comarca del mármol de Macael (Almería) es una zona muy activa en la extracción y elaboración de piedra natural, mientras que la industria azulejera se sitúa principalmente en la provincia de Castellón.

Los materiales de construcción deben ser resistentes y duraderos. Sin embargo, en el medio ambiente hay agentes agresivos que erosionan, corroen y degradan los materiales cerámicos de construcción. Uno de los agentes más peligrosos es el agua, que combinada con las sustancias que disuelve (sales, ácidos y bases) y con los cambios de temperatura se convierte en uno de los peores enemigos para la durabilidad de los materiales cerámicos de construcción.

El agua penetra fácilmente por los poros y grietas de pequeño tamaño, bien directamente o ayudada por la capilaridad. En algunos materiales el agua produce un aumento de volumen que trae consigo el mismo tipo de problemas que la dilatación térmica diferencial (ver práctica 4). Además, en su recorrido por el interior del material, el agua disuelve y arrastra las sales solubles aumentando la porosidad original y creando depósitos de sales en lugares no deseados. Una vez que contiene sales o ácidos (lluvia ácida) el agua se vuelve aún más corrosiva.

El agua corriente produce también erosión mecánica, como también hacen los ciclos de hielo-deshielo cuando se combina la presencia del agua en los poros y grietas con los cambios cíclicos de temperatura. El agua es además el elemento indispensable para el desarrollo de organismos vivos que agravan la erosión, así como para que se produzcan algunas reacciones químicas corrosivas.

Por todo esto, en las fichas técnicas de los materiales cerámicos de construcción siempre se incluyen uno o varios parámetros relacionados con la absorción de agua.

El coeficiente de absorción de agua es el porcentaje que aumenta el peso de una probeta del material cuando se satura con agua. Para cada tipo de material de construcción existe un ensayo normalizado que regula su determinación.

El coeficiente de absorción se puede determinar por inmersión total o bien por capilaridad. En este último caso también se denomina coeficiente de capilaridad. Los ensayos de capilaridad se requieren siempre que los materiales que van a colocar total o parcialmente enterrados o en contacto directo con agua. Existen materiales que son anisotrópicos en cuanto a la absorción de agua por capilaridad, en cuyo caso hay que realizar el ensayo con probetas cortadas en las diferentes direcciones de interés.

Normativa al respecto

Existe una variedad de normas relacionadas con la absorción de agua en materiales cerámicos de construcción, mencionamos aquí algunas que usaremos en esta práctica.

Para los productos de piedra natural:

UNE-EN 13755:2002 y UNE-EN 13755:2002/AC:2004 "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica"

UNE-EN 1925:1999 "Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad"

Para las piezas de arcilla cocida:

UNE 67027:1984 “Ladrillos de arcilla cocida: Determinación de la absorción de agua”

67031:1985 “Ladrillos de arcilla cocida: Ensayo de succión” (No vigente en 2007)

Esta última norma ha dejado de estar vigente, pasando a realizarse el ensayo de capilaridad para las piezas de arcilla cocida siguiendo la norma:

UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1 "Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería"

Las normas para piedra natural y arcilla cocida en inmersión son muy similares. En el caso de capilaridad difieren un poco, ya que en el caso de la piedra natural se calcula *el coeficiente de absorción de agua por capilaridad* realizando pesadas a distintos intervalos durante un periodo largo de tiempo (hasta varios días), mientras que para la arcilla cocida lo que se determina es la *tasa inicial de absorción de agua por capilaridad*, realizando una única medida al minuto de estar en contacto con el agua.

En esta práctica se utilizarán muestras tanto de piedra natural como de arcilla cocida, y se seguirán preferentemente los procedimientos descritos en las normas para la piedra natural.

7.4. Material e instrumental necesarios

Probetas de distintos materiales cerámicos de construcción con tamaños normalizados

Baño de agua para capilaridad (nivelado horizontalmente con una rejilla metálica en el interior para depositar las muestras de modo que queden sumergidas en el agua 3 mm)

Baño de agua para inmersión (nivelado y con rejilla metálica en el interior sobre la que se pueda alcanzar una altura de agua de al menos 10 cm)

Cronómetro

Balanza de sensibilidad 0.01 g

Papel secante

Paño húmedo

Estufa hasta 110 °C y desecador

7.5. Protocolo para la realización práctica

1- Condiciones de las muestras (probetas)

La forma y dimensiones que indica la norma para las probetas de piedra natural para el ensayo de capilaridad es de un cubo de lado entre 70 y 50 mm o un cilindro recto de entre 70 y 50 mm de diámetro y de altura. Para la inmersión las probetas pueden ser iguales a las anteriores o de otras geometrías siempre que tengan un volumen

total mínimo de 60 cm^3 y la relación entre su área superficial y el volumen esté comprendida entre 0.10 y 0.20 mm^{-1} . Las muestras deben tener al menos una cara no pulida, que será por donde se sumerja, colocándose la cara pulida preferentemente de forma vertical.

Las piezas de arcilla cocida se ensayarán por piezas completas.

Además, las probetas de piedra natural deben secarse a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ y las de arcilla cocida a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta masa constante, y luego enfriarse hasta temperatura ambiente en un desecador. Las probetas que se proporcionan ya han sido convenientemente secadas.

Según norma se deben ensayar 6 probetas de cada material (la norma anulada indica sólo 3 piezas para los ladrillos, pero en la nueva norma se aumenta el número a 6). Por limitaciones de tiempo, en esta práctica se ensayarán en todos los casos 3 probetas de cada material por inmersión y sólo una por capilaridad.

2- Medidas de las dimensiones de las probetas:

Con las manos limpias y libres de grasa, pesa cuatro probetas de cada material en la balanza de sensibilidad 0.01g . A esta masa de la probeta seca la llamamos m_d .

Las probetas ya estarán marcadas con algunas letras o número para que las puedas identificar a lo largo de todo el ensayo.

Seguidamente mide sus dimensiones con ayuda de un calibre. Realiza al menos dos medidas en lugares diferentes para determinar la longitud de cada uno de los lados del prisma.

En el ensayo por capilaridad necesitarás conocer con gran precisión el área de la cara sumergida (cualquiera de las caras no pulidas siempre que la cara no pulida quede vertical).

3- Absorción de agua por inmersión:

Vierte agua en uno de los baños hasta que llegue al nivel de la rejilla metálica.

Coloca tres probetas de cada material en posición vertical sobre la rejilla, de modo que las caras pulidas o con esmaltes queden verticales y que estén separadas unas de otras al menos 15 mm .

Añade agua del grifo hasta que cubra las probetas por la mitad (aproximadamente a la mitad de las de menor altura).

A los 45 minutos (la norma indica 60 minutos) añade un poco más de agua hasta que cubrir las tres cuartas partes de las probetas más bajas.

Al final de la sesión (la norma indica a las 2 horas) añade agua hasta que todas las probetas queden bajo una capa de agua de unos 3 cm .

En la siguiente sesión de prácticas, se determinará la masa de la probeta saturada con agua (m_s).

4- Absorción de agua por capilaridad:

Vierte agua del grifo en el baño justo hasta el borde superior del alambre más grueso y elevado de la rejilla. De este modo habrá unos 3 mm de agua sobre los alambres más finos que se encuentran en un plano inferior.

Humedece un paño o trozo de papel secante y colócalo horizontalmente sobre la poyada. Coloca un papel absorbente sobre la balanza de sensibilidad 0.01 g y tálala. Coloca cerca el cuaderno y bolígrafo para anotar lo más rápidamente el resultado de las pesadas, y pon a cero el cronómetro.

Cuando todo esté preparado, introduce la probeta con una cara no pulida sumergida 3 mm en agua y en ese instante pon en marcha el cronómetro.

Pasado 1 minuto, saca la probeta del agua, sécala ligeramente apoyándola sobre el papel o paño húmedo y pésala en la balanza. Devuélvela al agua lo más rápidamente posible ya que el tiempo del ensayo sigue corriendo.

Así sucesivamente debes realizar al menos 7 medidas a diferentes tiempos: 1, 3, 5, 10, 15, 30 y 60 minutos.

Las probetas no deben mojarse por otro sitio que no sea por la cara sumergida. Ten cuidado de no salpicar o chocar unas con otras al manipularlas para realizar las pesadas.

Cuando la primera de las probetas se haya pesado a los 5 minutos, se puede comenzar a realizar el ensayo con la probeta del otro material.

Anota la hora exacta en la que se acaba la última medida del día con cada probeta, ya que en la siguiente sesión de prácticas se realizará una última pesada de la probeta saturada de agua por capilaridad y se anotará el tiempo al cual se realiza esta medida contado desde el comienzo del ensayo.

5- Finalización de la práctica y limpieza del material:

En la siguiente sesión de prácticas se determinará la masa de las tres probetas del ensayo de inmersión saturadas con agua (m_s). Para ello, humedece un paño y colócalo sobre la poyada, saca la probeta del baño con las manos libre de grasa y seca el exceso de agua depositándola sobre el paño por todas sus caras. Una vez seca, realiza la pesada colocándola sobre la balanza de 0.01 g previamente tarada con un papel de filtro.

También se realizará la última pesada (m_s) del ensayo de capilaridad anotando el tiempo que ha transcurrido desde el inicio del ensayo.

Una vez realizadas todas las pesadas, lleva las probetas a la estufa para secar. Saca la rejilla metálica y tira el agua de los baños en el fregadero. Si quedan restos,

enujálalos ligeramente con agua del grifo. Déjalo todo escurriendo en tu lugar de trabajo sobre papeles de filtro.

6- Cálculo de resultados en inmersión:

La norma indica que el coeficiente de absorción de agua a presión atmosférica por inmersión (A) en porcentaje en peso se calcula como

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} 100$$

y la incertidumbre asociada a esta medida (según norma) es del 0.1%.

El valor del coeficiente de absorción de agua para el material se dará como la media aritmética de todos los valores determinados. Si la dispersión de las medidas es superior al 0.1% se toma la dispersión como incertidumbre.

7- Cálculo de resultados de capilaridad:

Con las masas y tiempos medidos, hay que determinar en primer lugar la masa de agua absorbida por unidad de área sumergida (g/m^2) y la raíz cuadrada del tiempo en segundos ($\text{s}^{1/2}$).

Seguidamente se hace una representación gráfica de la masa de agua absorbida por unidad de área frente a la raíz cuadrada del tiempo.

En los casos que la primera parte de la gráfica (tiempos cortos) tenga un comportamiento lineal, esto es, cuando el coeficiente de correlación lineal es superior a 0.90 cuando hay al menos 5 medidas en línea recta o a 0.95 cuando hay sólo 4, el coeficiente de absorción de agua por capilaridad (C) es la pendiente de dicha recta.

En los casos en que el comportamiento no sea lineal, es más apropiado hacer un ajuste exponencial tal, y como se describe a título informativo en la norma UNE-EN 1925:1999.

Calcula también el coeficiente de absorción de agua por capilaridad basándose en la masa de la probeta saturada utilizando la siguiente expresión

$$C_s = \frac{m_s - m_d}{A\sqrt{t_f}} 10^6 \quad (\text{g m}^{-2}\text{s}^{-1/2})$$

La norma indica que la incertidumbre de la medida es del orden de $1 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1/2}$.

Para la pieza de arcilla cocida, calcula además la *tasa inicial* de absorción de agua por capilaridad utilizando los datos de $t = 1$ minuto

$$C_{ini} = \frac{m_{1\text{min}} - m_d}{A t} 10^3 \quad (\text{kg m}^{-2}\text{min}^{-1})$$

La incertidumbre según norma será de $0.1 \text{ kg m}^{-2} \text{ min}^{-1}$.

7.6. Claves para el informe

- Tipos de muestras utilizadas en el ensayo de absorción de agua por inmersión y en el de absorción de agua por capilaridad
- Forma y dimensiones principales de las probetas.
- Volumen total y superficie total. Superficie de la base de la probeta en el caso de capilaridad. ¿Cumplen las probetas las condiciones que indica la norma?
- Resultados del ensayo por inmersión:
 - Tabla de datos con las masas y tiempos a los que se han medido
 - Coefficiente de absorción de agua por inmersión ($A \pm \Delta A$) para cada una de las probetas y para el material ensayado.
- Resultados del ensayo por capilaridad:
 - Tabla de datos con tiempos, raíz cuadrada del tiempo ($s^{1/2}$), masas, y masa de agua absorbida por unidad de área sumergida (g/m^2).
 - Representación gráfica de la masa de agua absorbida por unidad de área frente a la raíz cuadrada del tiempo. En una gráfica se incluyen todos los puntos medidos, y si es necesario se amplía en otra gráfica la parte de tiempos más cortos (1 a 60 minutos).
 - Ajuste lineal de la primera parte lineal del gráfico, con determinación de la pendiente y el error asociado mediante el ajuste por mínimos cuadrados.
 - Coefficiente de absorción de agua por capilaridad ($C \pm \Delta C$).
 - Coefficiente de absorción de agua por capilaridad utilizando el dato de la probeta saturada con agua ($C_s \pm \Delta C_s$).
 - Tasa inicial de absorción de agua de la pieza de arcilla cocida ($C_{ini} \pm \Delta C_{ini}$)
- Comparación de los dos coeficientes de absorción de agua por capilaridad que se han calculado para la piedra natural. Comenta a que pueden deberse las posibles discrepancias.
- Comparación de los coeficientes de absorción de los diferentes materiales. Si los dos materiales tienen una densidad última del sólido similar ¿cuál de ellos será más poroso? (Ver la práctica nº 3 para una introducción a la porosidad)