

PL1 - DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE ABSORCIÓN CAPILAR DE AGUA, DE LA ABSORCIÓN POR INMERSIÓN TOTAL Y DE LA CURVA DE SECADO

A. Elena Charola y Marcela L. Cedrola

Metodología:

La curva de absorción capilar se realiza colocando muestras de forma cúbica (5 x 5 x 5 cm) en un contenedor que tiene un fondo de agua, de manera que sólo puedan absorber el agua por una de las caras (la inferior que está en contacto con el líquido). Las muestras se pesan a intervalos de tiempo crecientes y los resultados se grafican. De ellos se obtiene el coeficiente de absorción capilar.

Una vez que se llega al máximo de absorción la muestra se sumerge totalmente en agua y, a las 24 horas de inmersión total, se pesa. De la cantidad total de agua absorbida por la muestra se puede calcular su porosidad aparente.

Luego de pesada la muestra, se deja al aire en una bandeja y se vuelve a pesar a intervalos crecientes. Los datos se grafican y se puede obtener la velocidad de secado y el contenido crítico de agua.

Materiales a utilizar:

Cuba plástica, de fondo plano, con tapa, de unos 60 x 30 x 15 cm;

3 muestras cúbicas (5 x 5 x 5 cm) de cada material a ensayar;

Balanza (Sens. 0,01 g);

Agua destilada;

Varillas de vidrio;

Cronómetro y reloj;

Calculadora.

Principio:

El agua penetra en los materiales porosos por capilaridad, es decir, porque los poros tienden a “absorber” el agua. Cuando más finos los poros, más absorbentes son. Pero al ser finos, sólo puede entrar una cantidad relativamente escasa de agua. Por el contrario, poros más anchos, absorben menos pero, al ser anchos, en ellos puede penetrar más agua.

Cómo el agua es uno de los factores más relevantes en el deterioro de materiales, es importante conocer el comportamiento del material con relación al líquido. Sobre todo, cuando es preciso usar distintos materiales que deben estar en contacto, tal como la piedra y el mortero, pues si tienen comportamientos muy diferentes, un material se deteriorará mucho más rápido que el otro. Por lo tanto, es deseable que el comportamiento entre ellos sea lo más similar posible, de manera que sean compatibles frente a este agente de deterioro.

Las curvas de absorción capilar de agua y las de secado serán diferentes dependiendo de la porosidad total del material y del tipo de poros (diámetro del poro) y de la cantidad de poros de cada diámetro presente. La porosidad total del material se puede estimar sencillamente por la cantidad total de agua que absorbe el material luego de estar inmerso en agua por 24 horas.



Procedimientos:

Curva de absorción capilar

En la cuba plástica se ponen unas varillas de vidrio que servirán de soporte a las muestras. Se agrega suficiente agua destilada para que apenas sobrepase el diámetro de las varillas (aprox. 1mm).

Las muestras a medir se numeran con un lápiz o con una incisión que las identifique, se pesan, (en un cuaderno se anotan los pesos de cada una) y se colocan sobre las varillas de vidrio, de modo que la cara inferior apenas esté tocando el agua, y se toma el tiempo que corresponderá al tiempo “cero”. Se tapa la cuba y a los 3 minutos se sacan las muestras, una por vez, se le seca el exceso de agua con un papel absorbente, y se pesan, anotando el peso y el tiempo exacto al cual se realiza la medición para cada muestra.

Es conveniente preparar una tabla (ver: Tabla 1) a fin de anotar el tiempo y el peso correspondiente a cada medición y, luego, calcular los siguientes datos: el tiempo transcurrido (tanto en minutos como en segundos), la raíz cuadrada del tiempo expresado en segundos, la diferencia de peso y la diferencia de peso por área de absorción.

Tabla 1. Tabla para tomar nota de los datos necesarios para graficar la curva de absorción capilar.

Hora real	Tiempo (min)	Raíz cuadrada T (min ^{1/2})	Peso (g)	Dif. Peso (g)	Dif. Peso/área (g/cm ²)
10.30	0	0	250	0	0
10.33	3	1,73	255	5	0,20
*****	****	*****	*****	*****	*****

La *hora real*, es la hora a la cual se realiza la medición. Por ejemplo, el tiempo “cero” corresponde al momento en que colocó la muestra en la cuba. El peso correspondiente es el peso de la muestra seca.

El *tiempo transcurrido* es la diferencia de tiempo desde el inicio del ensayo expresado en minutos, y luego como la raíz cuadrada de minutos.

El *peso* es el valor medido en gramos, correspondiente al tiempo en que se realizó la medición.

La diferencia de peso se calcula con respecto al peso inicial (el peso seco). Como la absorción sólo ocurre por una cara del cubo, se debe dividir por la superficie de esta cara. En el caso que el cubo sea de 5 x 5 x 5 cm, la superficie de cada cara es de 25 cm². Las medidas de peso se deben espaciar de acuerdo a la velocidad de absorción del material. Para una primera curva, se pueden tomar los pesos a los siguientes tiempos: 0, 3, 5, 8, 11, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120 y 180 minutos; y luego a las 4, 5 y 6 horas.

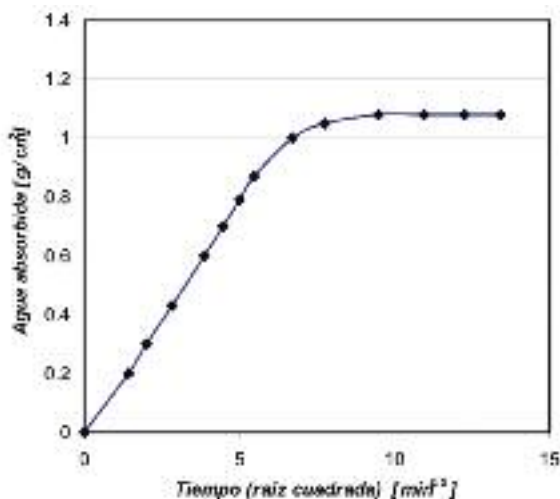
A medida que se obtienen los datos, conviene ir graficándolos como “diferencia de peso/área de absorción” (ordenada, eje y) en función de la “raíz cuadrada del tiempo” (abscisa, eje x).

Cuando el material se va saturando de agua absorbe cada vez más lentamente y la curva llega a un valor límite y casi no absorbe más. Esto indica el fin del ensayo y la muestra, luego de una última pesada, se sumerge totalmente en agua en otra cuba (2º ensayo).

En general el gráfico tiene la forma que se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Curva modelo de absorción capilar de agua.



Expresión de los resultados:

Aparte de la tabla de resultados y el gráfico, se puede calcular el coeficiente de absorción capilar del material que corresponde a la parte recta inicial de la curva. El coeficiente se puede obtener directamente con una calculadora con funciones matemáticas, o simplemente tomando el cociente entre la diferencia entre dos medidas de tiempo y los correspondientes valores de peso. En la curva de ejemplo, se podría tomar la diferencia entre el valor inicial y el correspondiente al punto cercano a los 5 min^{1/2}. Los valores son: 0,79 g/cm² y 5 min^{1/2}. Haciendo el cociente de estos valores obtenemos:

$$\text{Coeficiente de absorción capilar} = 0,16 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$$

Porosidad aparente de la muestra por inmersión total

Luego de la última pesada, la probeta que ha llegado a su punto límite de absorción por capilaridad se sumerge totalmente en agua destilada y se deja por 24 horas. A las 24 horas, se saca, se le elimina cuidadosamente el exceso de agua mediante un papel absorbente y se vuelve a pesar.

La porosidad aparente se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Porosidad aparente \%} = (\text{Peso 24 h} - \text{Peso seco}) \times 100 / \text{Peso seco}$$

Curva de secado

Una vez pesada la muestra que se ha sacado luego de estar 24 horas sumergida en agua, se deja en la balanza por la primera media hora, para su secado. Periódicamente se toma nota de los pesos, y los tiempos a los cuales se hace la lectura deben determinarse experimentalmente.

Cuando la variación de peso disminuye, la muestra se puede sacar del plato de la balanza y colocarla en una bandeja. Se continúa tomando el peso de la muestra hasta que este llegue a su valor original o cerca de él.

Nuevamente se prepara una tabla (Tabla 2) para anotar los valores que se miden. La tabla debe indicar los siguientes valores:



Tabla 2. Tabla para tomar nota de los datos necesarios para graficar la curva de secado.

Hora real	Tiempo transcurr (h)	Peso muestra (g)	Peso agua (g)	Contenido agua (g/cm ³)
0	0	Peso 24 h	P 24h-P seco	P agua/ 125
.....

La *hora real*, es la hora a la cual se realiza la medición. Por ejemplo, el tiempo “cero” corresponde al momento en que colocó la muestra en la cuba. El peso correspondiente es el peso de la muestra húmeda.

El *tiempo transcurrido* es la diferencia de tiempo desde el inicio del ensayo expresado en horas.

El *peso muestra* es el valor en gramos medido, correspondiente al tiempo en que se realizó la medición. Al tiempo “cero” corresponde el peso de la muestra saturada en agua luego de las 24 horas de inmersión, expresado en gramos.

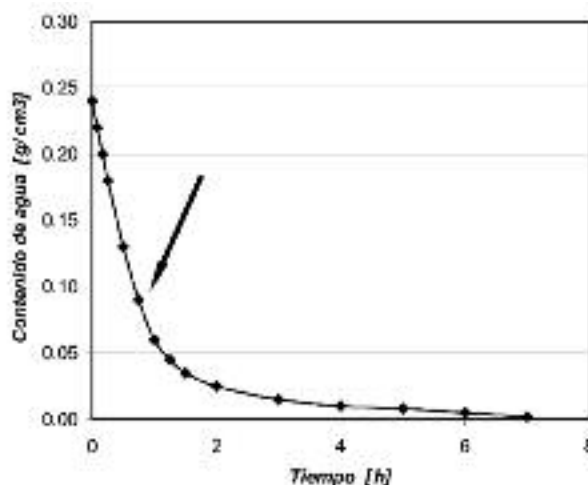
El *peso de agua* es la diferencia del peso de la muestra húmeda menos el de la muestra seca.

El *contenido de agua* es el peso de agua dividido por el volumen de la muestra que lo contiene. Se divide el peso de agua en gramos por el volumen, en este caso 125 cm³, y para expresarlo en kg/m³ se lo multiplica por 1000, el factor que resulta de convertir las unidades.

Las medidas se deben espaciar de acuerdo a la velocidad de secado. Al iniciarse el secado conviene dejar la muestra directamente sobre la balanza y hacer lecturas a intervalos regulares, dependiendo de la rapidez con que cambia el peso. Si no es muy rápido, se toman medidas cada 5 minutos y luego cada 10 minutos, hasta que el peso se estabilice. Conviene ir graficando los datos a medida que se obtienen.

La forma general del gráfico es la que se muestra en la Figura 2:

Figura 2. Típica curva de secado. La flecha señala el punto de inflexión de la curva correspondiente al contenido crítico de agua del material bajo las condiciones de secado.



Expresión de los resultados:

Del gráfico se puede obtener el punto de “*contenido crítico de agua*” que es un concepto importante, pues indica el valor por encima del cual se encuentra agua “líquida” dentro del material, lo que implica que puede haber transporte de sales solubles y eventual formación de eflorescencias. Por debajo de ese valor el agua



está como vapor o absorbida al material. El *contenido crítico de agua* se encuentra en el punto en el que la curva cambia de pendiente, y está indicado en el gráfico anterior con una flecha.

En ese ejemplo, el contenido crítico se encuentra entre los puntos 0,08 y 0,10 g/cm³, de modo que se puede estimar en 0,09 g/cm³.

Ejemplo 1

Aplicación del protocolo a las variedades de asperón rojo y de la piedra itacurú.

Materiales

La arenisca utilizada en las construcciones de las Misiones, el asperón rojo, aparece en varias gradaciones, desde la variedad más dura, cuarcita, a las más blandas, genéricamente llamadas ortocuarcita. Estas pueden ser masivas o tener más tendencia a deslaminarse, en cuyo caso se las llama “lajas”.

La otra piedra utilizada es la llamada itacurú, conteniendo un alto porcentaje de minerales de hierro.

Para el experimento se utilizaron muestras cortadas en cubo (4 x 4 x 4 cm) de tres tipos de asperón rojo (ortocuarcita) que fueron llamadas: dura, semi-dura y blanda, y una muestra de itacurú

Curvas de absorción capilar

Figura E1. Curvas de absorción de muestras de piedras usadas en la Misión de San Ignacio Miní.

Los coeficientes de absorción capilar obtenidos de las curvas y la porosidad de las piedras obtenidas por inmersión total durante 24 horas, se presentan a continuación en la Tabla E1.

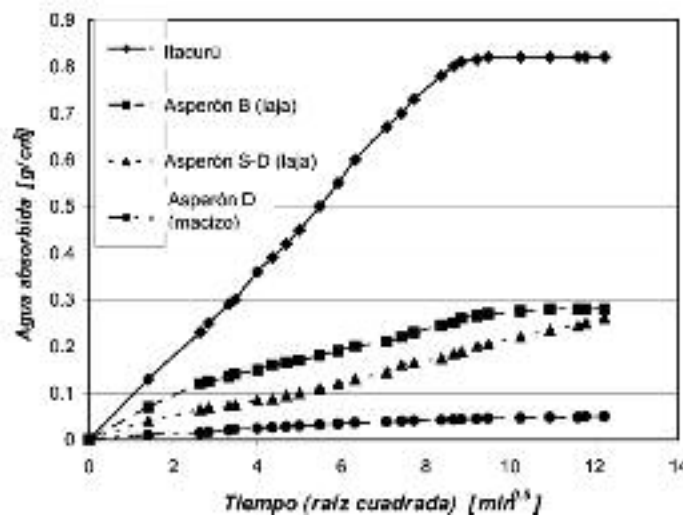
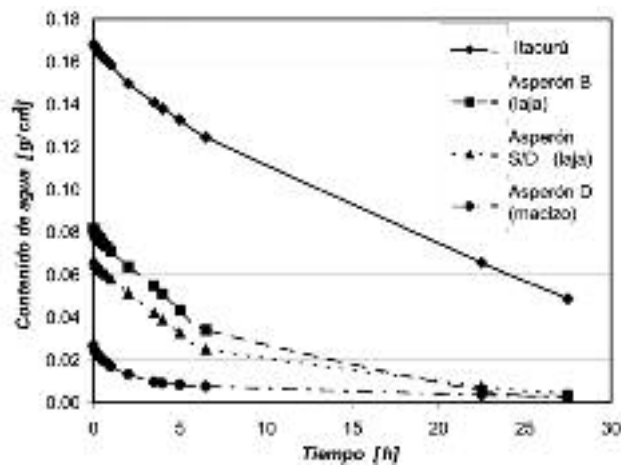


Tabla E1. Coeficiente de absorción capilar y porosidad para las distintas piedras.

Piedra	Coefficiente de absorción capilar (g/cm ² .min ^{1/2})	Porosidad (%)
Asperón duro (macizo)	0,006	1
Asperón semi-duro (laja)	0,02	3,3
Asperón blanda (laja)	0,04	3,5
Itacurú	0,09	9

Curvas de secado

Figura E2. Curvas de secado de las muestras de piedra de San Ignacio Mini.



El contenido crítico de agua se puede estimar de las curvas y los valores se presentan en la Tabla E2.

Tabla E2. Contenido crítico de agua estimado del gráfico.

Piedra	Contenido crítico de agua (g/cm ³)
Asperón duro (macizo)	0,015
Asperón semi-duro (laja)	0,03
Asperón blando (laja)	0,04
Itacurú	0,15

Ejemplo 2

Datos obtenidos de las curvas de absorción capilar de agua, de la inmersión total y de las curvas de secado de las formulaciones de mortero ensayadas.

Los morteros que fueron ensayados dieron los valores indicados en la siguiente Tabla, y sirven para ilustrar la importancia que tiene la correcta formulación de ellos.

Tabla E3. Valores obtenidos para los distintos morteros ensayados.

Mortero 1:3	Coef. abs. capilar (g/cm ² .min ^{1/2})	Porosidad (%)	Cont. crit. agua (g/cm ³)
Cal apagada: arena	0,162	13,7	0,22
Cal apagada: piedra molida	0,132	14,6	0,25
Cal apagada: tierra roja	0,131	27,1	0,35
Cal común: arena	0,173	11,2	0,23
Cal común: piedra molida	0,203	14,1	0,25
Cal común: tierra roja	0,134	23,8	0,33
Cemento: arena	0,047	6,1	0,10
Cemento: piedra molida	0,087	13,4	0,18
Cemento: tierra roja	0,238	23,2	0,36

