

Mecanismo de secado de los productos cerámicos

Secado natural y secado forzado

En los talleres artesanales y de cerámica artística el secado suele ser una etapa sencilla que consiste solamente en esperar que los productos alcancen, de manera controlada, su humedad de equilibrio en una atmósfera seca. Es lo que se denomina un “**secado natural**”. Aparentemente es una etapa con un bajo riesgo en la mayoría de productos si se toman unas sencillas precauciones. En función del clima, de las condiciones del taller y de las características de la pieza esta operación puede durar varios días e incluso semanas.

A nivel industrial, sin embargo, el secado se acelera mediante la aplicación controlada de corrientes de aire caliente con un bajo contenido en humedad. Esto se realiza en equipos o instalaciones de secado y es lo que conocemos como “**secado forzado**”. De una forma esquemática, se puede decir que el secado forzado de los productos cerámicos se realiza mayoritariamente mediante su exposición a una corriente de aire caliente que tiene un bajo contenido en humedad. En muchos secaderos, esta exposición es gradual, de manera que al principio el aire en contacto con los productos húmedos es más frío y a su vez, húmedo, y progresivamente los productos se van encontrando con un aire cada vez más caliente y seco. En la figura 1 tienes dos secaderos de cámara, de funcionamiento intermitente mediante corriente de aire caliente, aptos para talleres artesanales de producción media o alta y en la figura 2 un moderno secadero de rodillos, por aire caliente, empleado en la fabricación de baldosas cerámicas.



Figura 1. Secaderos de cámara.
Fotografía: Rafa Galindo.



Figura 2. Secadero horizontal monocanal para baldosas cerámicas

Fenómenos de transporte durante el secado.

En la figura 3 puedes ver, de manera esquemática, los fenómenos de transporte que tienen lugar durante la operación de secado y en la tabla siguiente tienes una pequeña descripción de estos.

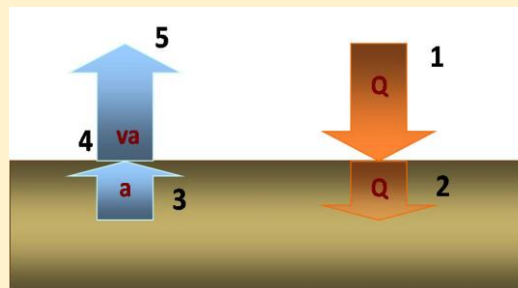


Figura 1. Fenómenos de transporte en el secado de materiales cerámicos.

Número.	Fenómeno de transporte.	Descripción.
1	Transporte de calor de la atmósfera a la superficie del producto, generalmente por convección.	El aire caliente entra en contacto con la superficie de los productos cerámicos.
2	Transporte de calor de la superficie del producto a su interior por conducción.	El calor se transmite hacia el interior del producto cerámico por contacto entre partículas a diferentes temperaturas.
3	Transporte de agua desde el interior del cuerpo cerámico hasta su superficie, por difusión o por capilaridad.	El mecanismo predominante del transporte de agua en el interior del producto húmedo depende de la humedad. Si esta es baja tiene lugar por difusión, en cambio si la humedad es alta el mecanismo predominante es la capilaridad.
4	Cambio de estado del agua, de líquido a gaseoso.	El agua se evapora en la superficie o en el interior del sólido. El lugar donde ocurre la evaporación del agua se denomina superficie de evaporación.
5	Transporte de vapor de agua desde la superficie de evaporación hasta la atmósfera.	El vapor de agua generado por la evaporación del agua líquida contenida en el producto es arrastrado por aire en movimiento.

Etapas de secado.

Pueden entenderse bien las etapas de secado si imaginas un sencillo experimento. Supón que dispones en una cesta metálica de un material cerámico de peso conocido obtenido por extrusión o por alguna otra técnica de conformado en estado plástico, es decir, con una humedad superior al 15 %. La cesta está suspendida de una balanza, lo que te permite calcular el peso del material contenido en cada momento. La cesta se sitúa en el interior de una conducción por la que fluye aire caliente a una temperatura y humedad constantes y también conocidas. Por medio de este dispositivo, que puedes ver esquematizado en la figura 4, puedes medir la humedad del sólido en cada instante y observar su evolución con el tiempo.

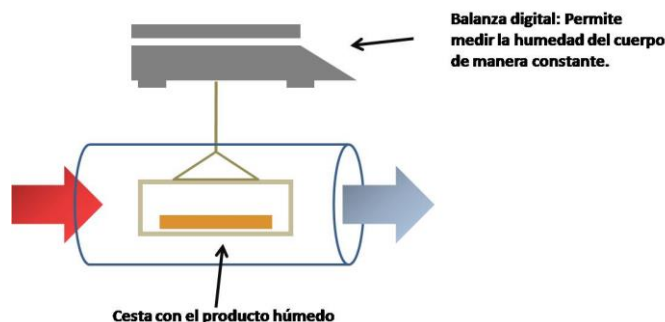


Figura 4. Esquema del dispositivo para la medida de la velocidad de secado.

Los resultados obtenidos se pueden representar gráficamente, obteniéndose una curva como la de la figura 5, en la que en ordenadas se ha representado la humedad del cuerpo y en abscisas el tiempo.

Observa la imagen y verás que, atendiendo al comportamiento del material en el secado, se distinguen claramente tres etapas:

- Una primera etapa, la **etapa I** de la figura, en la que la pendiente de la curva aumenta con el tiempo.
- Una segunda etapa (**etapa II**) en la que la evolución de la humedad con el tiempo sigue una recta descendente. La pendiente es, por tanto, constante.

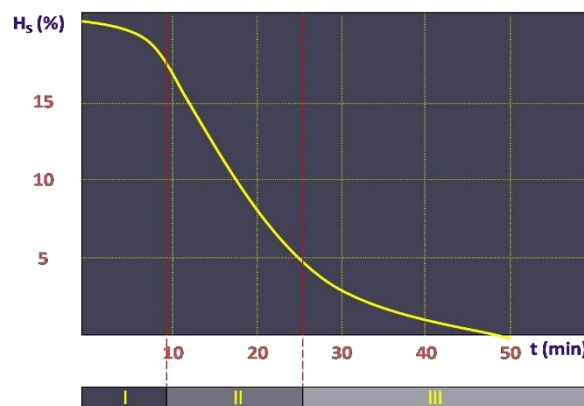


Figura 2. Etapas de secado.

- Una tercera etapa (**etapa III**) en la que los valores de la humedad descienden más lentamente, hasta casi anularse. La pendiente, por tanto, va disminuyendo con el tiempo.

Para definir y estudiar mejor estas etapas vamos a introducir el concepto de **velocidad de secado**. Verás que con este concepto nos resulta más fácil entender este comportamiento.

Se define **velocidad de secado (v_s)** a la masa de agua evaporada por unidad de tiempo y de superficie.

Observa que la velocidad de secado es proporcional a la pendiente de la curva de la gráfica de la figura 5, por lo que la evolución de la velocidad de secado con el tiempo de secado queda como puedes ver en la siguiente gráfica (figura 6) en la que se observan claramente las tres etapas anteriores, por lo que ahora ya podemos referirnos a ellas por sus nombres:

- **Etapa de inducción.** Es de muy corta duración y en ella la velocidad de secado aumenta progresivamente desde el principio, es decir desde el valor 0 hasta la velocidad máxima.
- **Etapa de velocidad de secado constante.** En ella, la humedad del sólido desciende con el tiempo de forma lineal, por lo que su velocidad de secado es constante. En esta etapa, la velocidad de secado es máxima.
- **Etapa de velocidad de secado decreciente.** La pendiente disminuye progresivamente, es decir, la velocidad de secado disminuye a lo largo de esta etapa hasta anularse, cuando el producto alcanza la humedad de equilibrio a las condiciones del aire

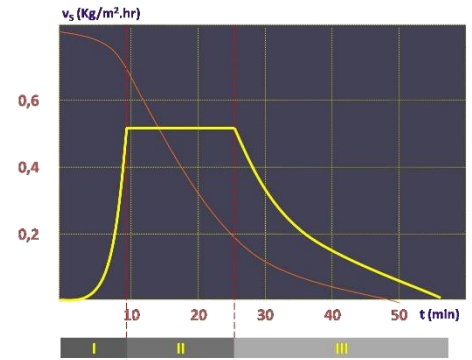


Figura 3. Representación gráfica de la velocidad de secado en función del tiempo.

Los resultados obtenidos los puedes representar en forma gráfica, de manera que obtendrías un resultado semejante al que tienes en la figura 6 en la que en trazo rojo se representa la evolución de la humedad del cuerpo con el tiempo durante el proceso de secado y en trazo amarillo la evolución de la velocidad de secado con el tiempo, que hace más evidente la existencia de tres etapas en el proceso de secado de los materiales cerámicos.

I. Etapa de inducción.

Como ya se ha comentado, esta primera etapa es de muy corta duración y depende del contenido en humedad del producto, siendo más prolongada cuanto mayor sea la humedad. En ella, el material se calienta hasta llegar a la temperatura de trabajo, al tiempo que se inicia la evaporación superficial del agua. Se trata de un período muy corto que transcurre en régimen no estacionario.

II. Etapa de velocidad de secado constante.

Durante este período la humedad del sólido desciende con el tiempo de forma lineal, por lo que su velocidad de secado es constante.

Esta etapa se da en aquellos productos que tienen una elevada humedad, como los obtenidos en estado plástico (torno, moldeado de barro, extrusión, etc.) de manera que presentan una fina película de agua en la superficie. Así pues, el agua se evapora en la superficie, y todo el calor que llega a ella se invierte en dicha evaporación. Al evaporarse el agua, se crea un gradiente de concentraciones en el interior del producto, lo que provoca una migración de agua desde el interior hasta la superficie. Cada molécula evaporada es sustituida por otra que llega desde el interior, por lo que en la superficie se mantiene la película de agua. Por tanto, la velocidad a la que se evapora solo depende de la cantidad de calor que le llegue, y es independiente de las características del cuerpo que se está secado.

Como ves, en esta etapa la superficie del producto que se está secando se comporta como si fuera una superficie líquida en contacto con una corriente de aire caliente. La temperatura del producto permanece constante, ya que, recuerda, todo el calor que le llega se invierte en evaporar el agua.

III. Etapa de velocidad de secado decreciente.

Esta etapa comienza a partir del momento en que no hay en el interior del producto suficiente agua para suplir las moléculas que se van evaporando, y por tanto, la superficie del sólido deja de comportarse como una película de

líquido. La velocidad de secado decrece, ya que cada vez es menor la cantidad de agua presente en el producto. La humedad a la que se realiza este cambio se denomina "**humedad crítica**", y para los productos cerámicos oscila entre el 8 y el 10 %.

En esta etapa pueden identificarse **dos subperíodos**:

- a) **Primer subperíodo:** Corresponde a valores de la humedad próximos al valor crítico. En él algunas zonas de la superficie del producto comienzan a estar prácticamente secas, pero otras aún tienen la película de agua antes citada. La fracción de pieza con superficie mojada continúa secándose con velocidad de secado constante.
- b) **Segundo subperíodo:** Durante el segundo subperíodo toda la superficie de la pieza está prácticamente seca, y la velocidad de secado va disminuyendo hasta llegar a la humedad de equilibrio con las condiciones de secado. Esta velocidad depende de la velocidad a la que se transporte el agua desde el interior del producto hasta la superficie de evaporación y, por tanto, está muy influenciada por la porosidad de la pieza cruda.