

## Determinación de la velocidad de colado de una barbotina

### Colado

La técnica de colado se emplea para el conformado de objetos que tienen formas complejas, como figuras decorativas de porcelana, material para uso técnico o de laboratorio, sanitarios para el baño, etc.

Se trata de una técnica relativamente simple y económica, que consiste en introducir la pasta en barbotina, en un molde poroso que absorbe una cantidad de agua considerable y provoca su endurecimiento sobre las paredes del molde de manera que se va formando alrededor del mismo una pared de material con cierta consistencia, pero a medida que se va formando más capa de material o pared alrededor del molde, el agua encuentra más resistencia para atravesarla y el proceso se ralentiza.

### Técnicas de colado.

Según el tipo de figura y de molde, se pueden aplicar las siguientes técnicas de colado:

- **Colado hueco.** Se realiza el colado por gravedad de una barbotina cerámica en un molde poroso y posteriormente, cuando el espesor de pared es el adecuado, se procede al vaciado de la barbotina sobrante, dejando secar la pieza resultante y desmoldándola a continuación. Es de utilidad para formar paredes delgadas y uniformes.
- **Colado macizo.** Colado, por gravedad o a presión, de barbotinas cerámicas en moldes porosos, de escayola o polímeros, hasta conseguir que el espesor de pared formada llene todo el molde, procediendo a continuación a la extracción de la pieza, tras un previo secado en el caso de colado por gravedad. Se emplea para formar paredes gruesas e irregulares.

Durante mucho tiempo, el colado se realizó empleando exclusivamente moldes de escayola por lo que en adelante esta técnica será denominada como "*colado tradicional*". Sin embargo, el empleo de moldes de yesos especiales y de resinas microporosas ha hecho posible la fabricación de moldes de alta resistencia mecánica que permiten el colado a media o alta presión.

El colado puede hacerse de manera manual (figura 1) o automática (figura 2).



Figura 1. Colado manual.



Figura 2. Colado automático.

### VARIABLES DE PROCESO.

La formación de una pared endurecida en el interior del molde poroso ocurre porque éste tiene la capacidad de absorber el agua que contiene la barbotina. Por tanto, variables como la velocidad a la que se forme esta pared o sus características físicas, como su espesor, compacidad o resistencia mecánica depende de variables del flujo de entrada, es decir, variables de la barbotina y de las características de los moldes. Naturalmente, en el caso del colado a presión, también dependerá también de la presión de colado.

En la siguiente tabla tienes una relación de las principales variables de la operación de proceso y de las características del producto de salida, es decir, del producto conformado.

Variables de la barbotina.	Variables de la máquina.	Características de la pieza conformada.
Contenido en sólidos o densidad. Comportamiento reológico. Plasticidad de la composición. Distribución granulométrica.	Porosidad del molde. Tiempo de colado. Presión de colado.	Densidad aparente. Porosidad o compactación. Espesor de la pared. Resistencia a la flexión en verde y en seco.

### Variables de la barbotina.

Las pastas para colado se preparan en estado de barbotina, por lo que las propiedades a controlar en las pastas para colado serán:

- **Plasticidad.** La plasticidad de la pasta influye en la velocidad de formación de la pared, de manera que cuanto mayor es la plasticidad menor es el espesor que se obtiene. También influye en la resistencia mecánica del producto seco, de manera que, a mayor plasticidad, mayor resistencia mecánica.

Sin embargo, altas plasticidades dificultan la desfloculación de la barbotina y hacen que esta tenga un comportamiento tixotrópico, es decir, que aumente su viscosidad con el reposo, lo cual dificultará tanto el proceso de formación de la pared como el vaciado del molde.

- **Viscosidad.** La viscosidad de la barbotina influye en el llenado y en el vaciado del molde, y sobre todo en el proceso de formación de la pared. Pastas con elevada viscosidad forman paredes gruesas de baja resistencia. Una viscosidad elevada aumenta el riesgo de aparición de burbujas de aire en las paredes.

Puedes disminuir la viscosidad de la pasta sin alterar su densidad y su contenido en sólidos adicionando desfloculantes como mezclas de carbonato sódico y silicato sódico. Es preferible que las adiciones disueltas en agua y en proporciones que no superen el 0,8 % de los sólidos de la pasta. Si usas moldes de escayola, no emplees polifosfatos como desfloculantes, ya que atacan la escayola.

- **Tixotropía.** La tixotropía puede definirse como el aumento de la viscosidad de una suspensión con el tiempo de reposo, por lo que es un comportamiento que no es deseable en barbotinas para colado, ya que dificulta la formación de una pared resistente y el llenado vaciado de los moldes.
- **Densidad.** La densidad de la barbotina (o su contenido en sólidos) define su relación entre sólidos y agua. Es un parámetro importante, ya que influye en el tiempo de colado, y por tanto en la producción en las líneas de colado.

La densidad influye también en el comportamiento reológico de la barbotina, es decir en su viscosidad y tixotropía.

- **Granulometría.** La distribución de los tamaños de las partículas influye en el comportamiento reológico y en el comportamiento plástico de la pasta. Influye en la compactación de la pared obtenida en el colado, en su secado y en la velocidad de reacción en el proceso de cocción.



Figura 3. Llenado del molde.

### Variables de los moldes y del proceso.

En líneas generales, el proceso de conformado por colado sucede como sigue: el agua contenida en la barbotina de colado pasa al molde poroso, por capilaridad, de forma que la pasta que se encuentra junto a la pared pierde suficiente agua para convertirse en una masa consistente. El flujo continúa, con lo que el espesor de la pared formada aumenta mientras que el molde se humedece aún más. La velocidad de crecimiento del espesor de la pared disminuye con el tiempo debido a la cada vez mayor resistencia que encuentra el agua para difundirse a través de una capa de espesor cada vez mayor y a que la succión de la escayola va atenuándose conforme va aumentando su contenido en agua.

Se deduce de lo anterior, que las principales variables relacionadas con el proceso y el molde serán:

- **Porosidad del molde.** Has visto que el proceso de succión depende del diámetro de los poros del molde, de manera que cuanto menor sea este mayor será la presión de succión. En la práctica en los moldes, tanto de escayola como de resinas microporosas no existen capilares sencillos, sino estructuras porosas resultantes, en el caso de las escayolas, de la deshidratación del sulfato cálcico. Los capilares son, por tanto, irregulares de forma que incluso se comunican entre sí. Se deduce que los moldes deben estar completamente secos, ya que la humedad que puedan contener se traduce, a efectos prácticos, en una reducción de porosidad, ya que el agua ocupa los poros.

- **Tiempo de colado.** El espesor consolidado de los productos obtenidos por colado en moldes porosos ( $e$ ) es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo de colado ( $t$ ). La constante de proporcionalidad se calcula de manera empírica y depende de la porosidad del molde, de las características de la barbotina y de la composición de la pasta.

$$e = k \cdot \sqrt{t}$$

El tiempo de colado necesario para obtener un espesor de pared determinado puede determinarse representando el espesor al cuadrado frente al tiempo para diferentes tiempos de colado, ya que, como puedes deducir fácilmente, la relación entre espesor al cuadrado y tiempo es lineal (figura 4).

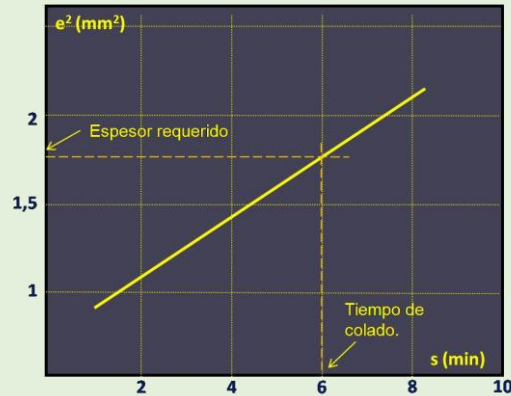


Figura 4. Relación entre espesor al cuadrado y tiempo de colado.

Has de tener en cuenta que las partículas finas de arcilla son planas y tienen tendencia a disponerse paralelamente a la superficie del molde, formando una capa compacta que se denomina “piel de colada” que tiene una cierta impermeabilidad y que retrasa la formación de pared. Este efecto se acentúa en pastas de tamaño de partícula muy pequeño.

- **Presión de colado** (sólo colado a presión). La presión sobre la barbotina en el interior del molde poroso aumenta la velocidad a la que se forma la pared, por lo que disminuye el tiempo de colado. Esto se traduce en un aumento de la productividad en los procesos de colado a presión.

#### Realización del ensayo.

Para realizar este ensayo, es necesario elaborar previamente tres moldes de un pequeño vaso cilíndrico de 4 cm de diámetro y 6 cm de altura. Los vasos deben elaborarse simultáneamente con la misma escayola, con la finalidad de asegurar que los moldes tengan la misma porosidad.

- Primero rellena cada uno de los moldes, que deben estar totalmente secos, con la barbotina previamente agitada a 250 rpm durante 10 minutos.
- Espera el tiempo necesario a que se forme la capa (generalmente se realizan tres ensayos independientes, a 3, 6 y 9 minutos).
- Elimina la barbotina sobrante por vertido y coloca los moldes invertidos sobre la estufa para facilitar el secado. Obtendrás tres pequeños vasos de diferentes espesores (figura 6).



Figura 5. Probetas obtenidas a diferentes tiempos de colado.  
Fotografía: Maite Larena.

- Deja secar las probetas totalmente (si es necesario las introduces en la estufa una vez desmoldadas) y mides el espesor de la capa formada. Toma 7 u 8 medidas y calcula la media de los valores obtenidos (figura 6).



Figura 6. Medida del espesor de cada una de las probetas.  
Fotografía: Maite Larena.

- Representa el espesor (mm) al cuadrado en el eje de ordenadas frente al tiempo (minutos) en el eje de abscisas, para cada valor del tiempo de formación de capa (3, 6 y 9 minutos). **La pendiente de la recta obtenida será la velocidad de formación de capa o velocidad de colado** (figura 7).

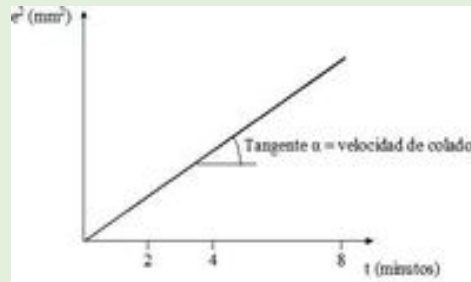


Figura 6. Medida experimental de la velocidad de formación de pared

- Debes indicar el contenido en sólidos de la barbotina y la temperatura a la cual has realizado el ensayo, ya que son dos factores que influyen en el resultado.