

PASTAS CERÁMICAS

Composición y propiedades generales de las pastas

Todos los productos cuyo moldeado se produce antes de la cocción necesitan que sus materias primas se engloben en un todo uno moldeable. Este todo uno es una "pasta". La característica fundamental y común a todas ellas es su comportamiento plástico.

Atendiendo a las características del moldeado pueden definirse dos tipos de proceso: Aquellos en los que las características de la pasta se alteran durante la toma de forma y aquellos en los que no se registra ningún cambio sustancial. El colado de barbotinas pertenece al primer grupo: la succión del molde cambia radicalmente la proporción de agua para dar un cuerpo con una viscosidad mucho más elevada que la de la barbotina. El prensado y la extrusión, dentro de los límites normales, no alteran la proporción de agua en la pasta y pueden clasificarse dentro del segundo grupo. Pero sea como sea el moldeado, e incluso en aquellos procesos en los que no puede definirse claramente un cambio de forma, el comportamiento tanto de la pasta base como del moldeado dependen del comportamiento plástico de la mezcla inicial: de la "Plasticidad".

TABLA I

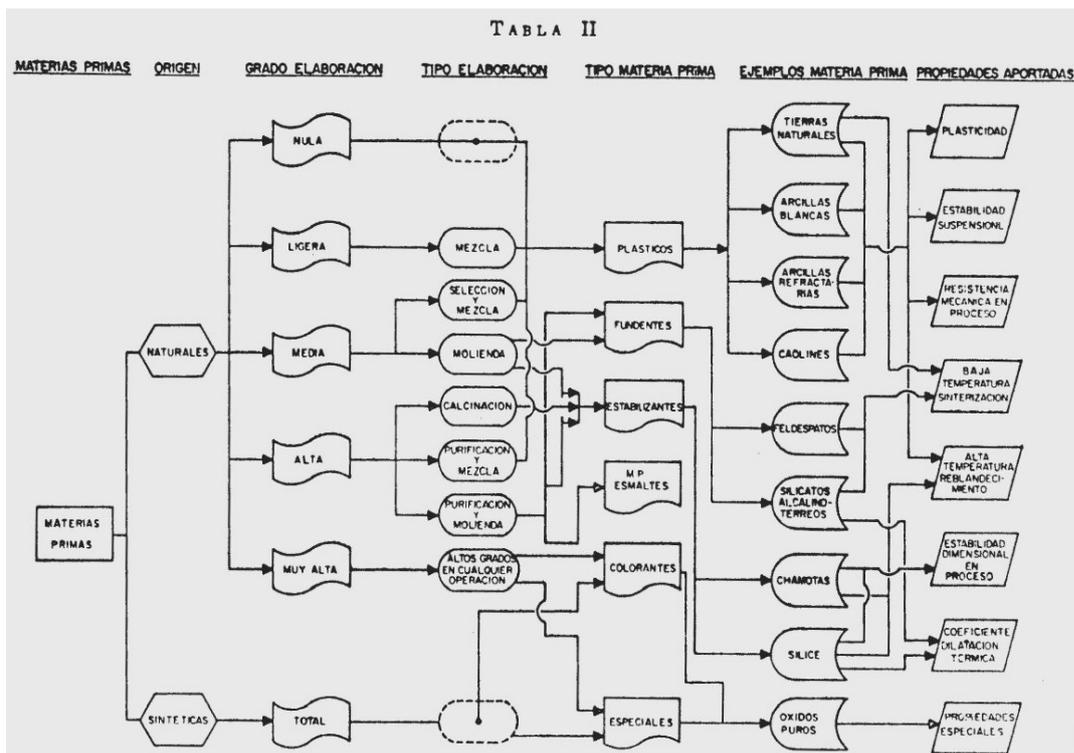
	Momento del moldeado	Tipo de moldeado	Particularidades	Productos típicos
PRODUCTOS CERÁMICOS	Antes de la cocción	Manual	Torneado Moldeado	Cerámica Artística
		Extrusión	Únicamente	Ladrillos Bovedillas
			Y prensado	Tejas
			Y mecanizado	Cerámica de mesa Porcelana eléctrica
		Prensado	Normal	Gres Azulejos Refractarios
			Isostático	Piezas especiales
	Colado	De barbotinas	Gres Vajilla Lozas en general Sanitario	
	Durante la cocción	Prensado en caliente	Polvos no plásticos	Productos especiales
	Después de la cocción	Colado en fundido Prensado Soplado Laminado	En estado líquido más o menos viscoso	Refractarios Vidrio

Los moldeados cerámicos deben su resistencia en crudo a la presencia de la fracción arcillosa y las reacciones durante la cocción se ven altamente favorecidas por el tamaño extremadamente pequeño de las partículas de los materiales plásticos.

En el caso más general, una pasta cerámica tiene dos clases de componentes principales y una serie de aditivos que modifican las propiedades de la pasta acabada, según las exigencias del moldeo. Las dos clases de materia prima son las aportadoras de plasticidad y las fundentes. En algunos casos en los que la fusibilidad requerida no es muy alta y el color del bizcocho no es fundamental, pueden encontrarse tierras arcillosas, que al mismo tiempo que presentan la plasticidad requerida, funden o sinterizan a las temperaturas usadas en el proceso, lo suficiente como para poder servir de materia prima única.

Volviendo al caso más general, las materias primas que aportan plasticidad suelen ser arcillas caoliníticas y caolines elaborados mientras la fusibilidad la aportan minerales del tipo feldespatos.

De una manera simplista puede explicarse la sinterización como la cementación de partículas infusibles por un vidrio. De aquí puede deducirse que la cantidad de vidrio formado debe ser suficiente. Como en una composición normal de porcelana el único elemento formador de redes vitrificables es la sílice, es necesaria la presencia de una cantidad mínima de SiO_2 en la composición, el déficit relativo en este compuesto de arcillas y feldespatos se compensa introduciendo en la fórmula una cantidad determinada de cuarzo.



Las materias primas plásticas no sólo proporcionan las propiedades de moldeo y la estabilidad de las suspensiones, también influyen de modo muy importante en los valores de la resistencia mecánica de las piezas secas, la porosidad tanto en crudo como en cocido e incluso de la resistencia mecánica de las piezas cocidas.

La resistencia en seco se ha considerado tradicionalmente como una aportación única de los materiales plásticos. Efectivamente, en una primera consideración se observa que las resistencias en seco individuales de las distintas materias primas varían de 90 a 20 kp/cm² para las arcillas, de 10 a 2 kp/cm² para los caolines y son nulas para los materiales no plásticos ya que no tienen poder auto-aglomerante alguno. Según estos datos la resistencia en seco será mayor cuanto más alta sea la proporción de arcilla en la pasta. Hasta cierto punto esto es verdad, es decir, dada una pasta determinada con componentes plásticos y no plásticos en proporciones significativas ambos, un incremento de plásticos produce un aumento de la resistencia en seco. Del mismo modo el cambio de un componente plástico de baja resistencia por otro de más alta resistencia también produce un incremento del valor de esta variable. En cambio se dan hechos reales como el siguiente: una pasta elaborada con una arcilla de resistencia media 60 kp/cm², y un caolín de 9 kp/cm², da una mezcla de 55 kp/cm² de resistencia media en vez de los 34 kp/cm² esperables.

TABLA III

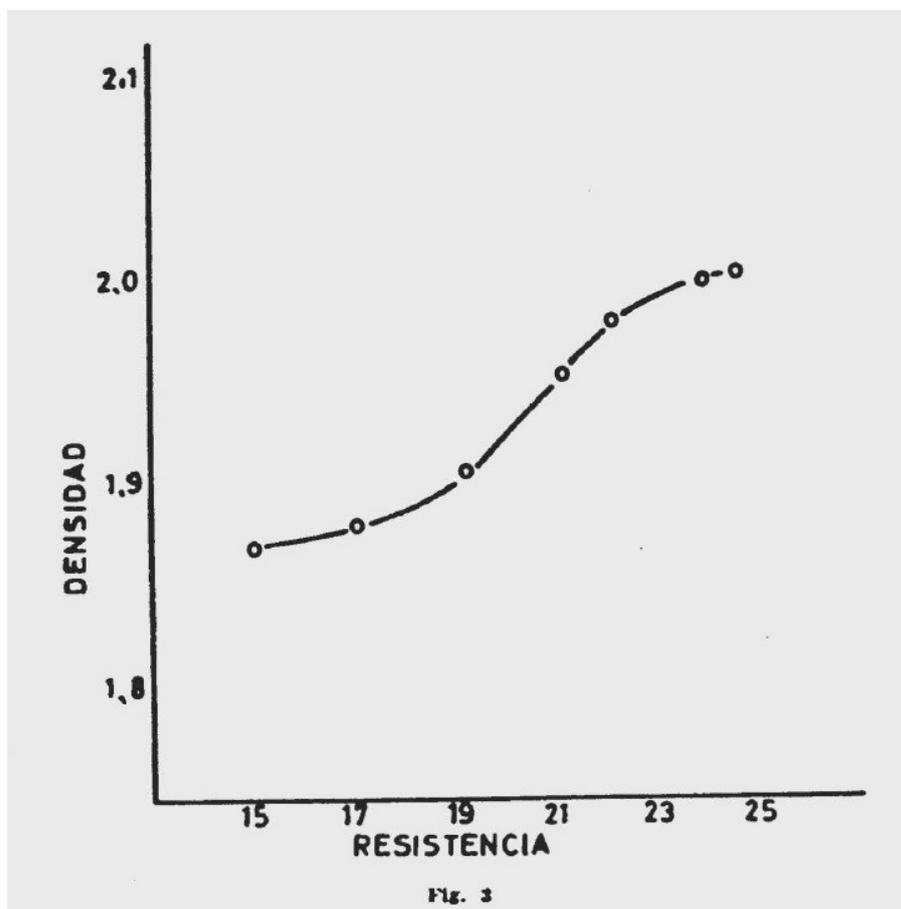
Mezcla N.º	Arcilla %	Caolín %	Feldes-pato %	Sílice %	Densidad probetas	Resistencia real kp/cm ²	Resistencia esperable kp/cm ²
1	100	—	—	—	1,76	60	60
2	—	100	—	—	1,23	0	9
3	—	—	100	—	—	Nula	Nula
4	—	—	—	100	—	Nula	Nula
5	50	50	—	—	1,60	55	34,5
6	25	25	—	50	?	39	17,2
7	25	25	40	10	1,72	30	17,2
8	25	25	30	20	1,79	32	17,2

Si la mezcla incluye sílice en forma de cuarzo molido en proporciones iguales de plásticos y sílice la resistencia obtenida es de 39 kp/cm² en vez de los 27 kp/cm² esperables. Por último si los no plásticos en la mezcla están representados por feldes-pato y cuarzo de granulometrías similares en proporciones 40/10 la resistencia es de 30 kp/cm².

Todos estos datos y algunos más se han resumido en la tabla III, observándose la particularidad de que las resistencias son siempre más altas de lo que correspondería a una actuación lineal de cada elemento en la mezcla.

En primera aproximación, estos valores más elevados de la resistencia pueden explicarse en función de las compacidades alcanzadas en las probetas que, para un método común de elaboración, es función de la granulometría de la mezcla.

En la figura 3 se han representado las resistencias a la compresión y las densidades de una mezcla única compactada con energías crecientes: La correlación, aunque no lineal, es evidente.



Naturalmente la resistencia mecánica no depende sólo de la compacidad alcanzada, también influye notablemente el poder conglomerante de los componentes, se incrementa la resistencia de un producto conformado a partir de una masa plástica aumentando la cantidad de "plásticos" en presencia. Este efecto puede estudiarse también en la Tabla III comparando las columnas de densidades y resistencias: cuanta más arcilla más resistencia.

Uno de los métodos prácticos de aproximarse a las características ideales requeridas para una pasta cerámica es jugar con la

proporción de materiales plásticos y materiales no plásticos en la fórmula.

Esto es posible en las que podríamos llamar fórmulas "completas" en las que figuran al menos un componente de alta plasticidad y otro de baja plasticidad entre los primeros y una materia prima no plástica y fundente y otra no plástica y no fundente; éste es el esquema de una pasta normal compuesta por arcilla, caolín, feldespato y sílice. Un aumento de los no plásticos puede compensarse aumentando la arcilla y disminuyendo el caolín para mantener la plasticidad. La fusibilidad se mantiene jugando con las proporciones relativas de feldespato y cuarzo.

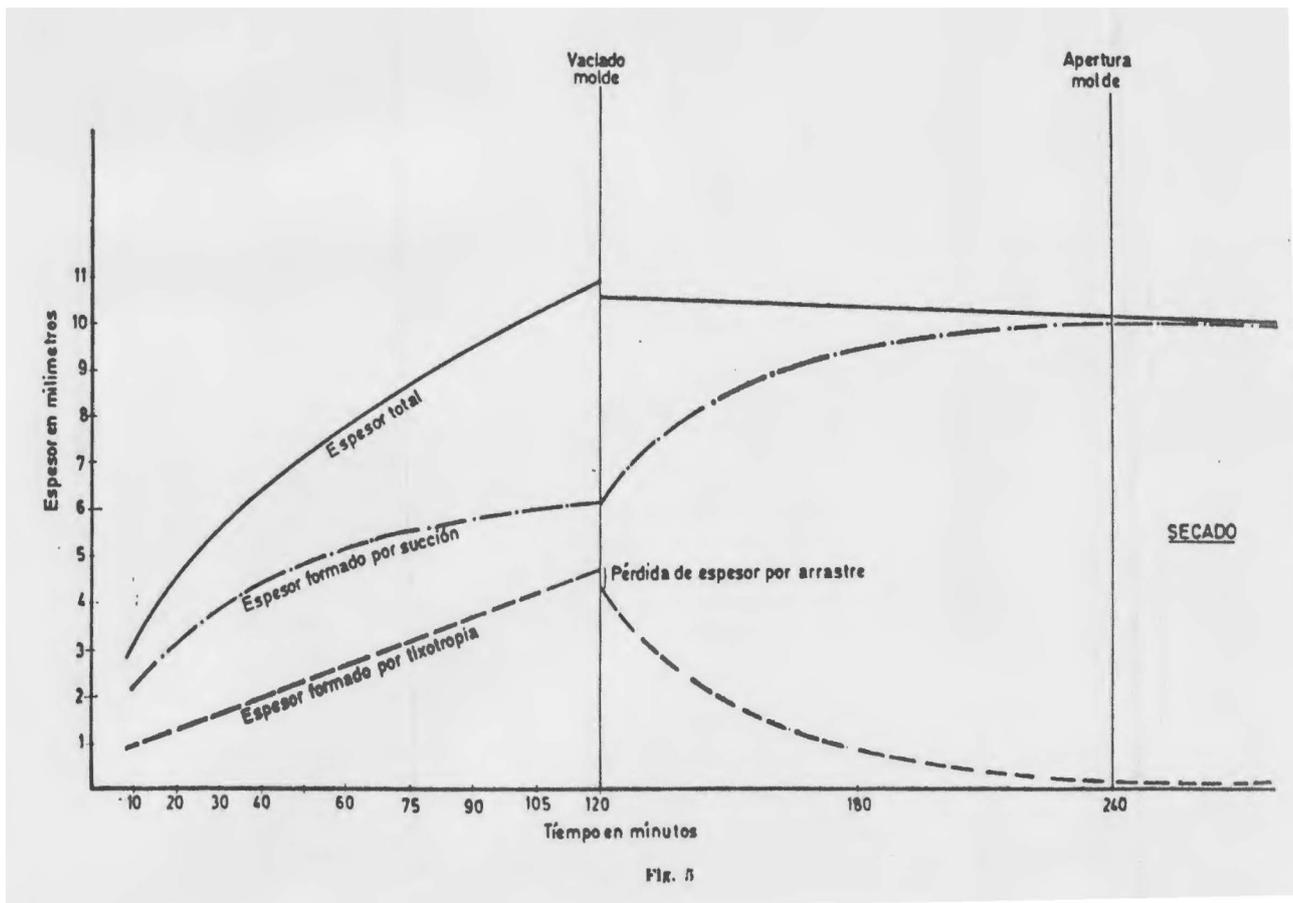
En las pastas de fórmula "completa" la proporción de plásticos/no plásticos se mueve poco alrededor del 50/50, pero una variación del 1% puede ser muy importante por la modificación de granulometría que supone.

El caso de los productos colados

El proceso más complicado es el de colado. No solamente se produce un secado sin retracción (mientras la pieza está en el molde) como en el prensado, o una conjunción de tres fases de secado como en los productos extruidos con alta humedad, sino que la conformación de la pieza producida por la energía de succión del molde es en sí un proceso mucho más complicado, que da como resultado inicial un moldeado con un elevado contenido en agua, por encima del 30%, y con una textura no uniforme.

Las peculiares condiciones del moldeo por colado se han esquematizado en la figura 5.

En el momento de entrar en contacto barbotina y molde se produce una succión por parte de éste que da lugar a un depósito de materia sólida con más o menos agua ocluida. La velocidad de formación de este depósito decrece con el tiempo, pues él mismo se opone a la penetración del agua en el molde. En la figura 5 este mecanismo corresponde a la línea de trazos y puntos.



Al mismo tiempo, debido al aumento de densidad en las inmediaciones de la pared formada y posiblemente a una emigración de iones SO_4 floculantes, desde el molde hacia la barbotina, y favorecido el fenómeno por el estado de reposo, se produce una estructura tixotrópica que crece también con el tiempo de colada. En la figura 5 este mecanismo se ha representado con línea de trazos.

El espesor total sigue aproximadamente una ley de formación $E = K \cdot \sqrt{t}$. Si se toma t en minutos, K suele tener valores comprendidos entre 1 y 2.

En la figura 5 la suma de los fenómenos que ocurren durante el colado se ha representado en forma de línea continua.

El espesor formado por cada mecanismo depende de las características de la barbotina y la preponderancia de uno u otro está relacionada con el método y la intensidad de la defloculación.

No puede decirse que sea más favorable el colado de barbotinas de baja tixotropía, que lógicamente forman casi todo el espesor por el mecanismo que hemos llamado "de succión". El vaciado de los moldes se produce ciertamente con mayor facilidad pero, en general, los espesores totales formados son inferiores y las características de secado de los colados obtenidos -"demasiado

secos"- pueden dar lugar a pérdidas importantes que no se muestran más que como grietas de cocción, sobre todo en piezas grandes o de formas complicadas.

En un momento determinado, marcado en la figura 5, para 120 minutos, con una línea vertical, se produce el vaciado del molde. La formación de estructura tixotrópica no sólo se detiene sino que una parte de ella se destruye en el acto por arrastre. Este fenómeno está indicado en forma de escalón brusco en las líneas que representan, en dicha figura, el espesor total formado y el espesor de estructura tixotrópica.

Como la succión del molde continúa en tanto se mantiene el contacto de la pieza con él, el espesor formado por tixotropía evoluciona perdiendo agua, hacia la forma "de succión". Esta segunda fase del proceso de colado recibe normalmente el nombre de "tirado". En ella se produce una contracción difícil de medir, que en cierto sentido es una contracción de secado. Este fenómeno también está representado en la figura 5: el "espesor tixotrópico" va desapareciendo cada vez más lentamente y el "espesor de succión" va aumentando del mismo modo. Al mismo tiempo se produce una pérdida del espesor total debido a la aproximación entre partículas sólidas que se produce durante el fenómeno descrito.

Durante el "tirado" se incrementa la resistencia mecánica de la pieza. Cuando ésta alcanza un valor suficiente el molde se abre y la pieza se extrae en una secuencia más o menos rápida.

El tiempo de tirado se determina empíricamente y pueden producirse problemas si no es el apropiado: Si es corto dará piezas con menos resistencia de la necesaria, o si es demasiado largo, dará piezas agrietadas por contracciones impedidas por el molde.

Una vez fuera del molde sigue un proceso de secado normal con una fase de pérdida de agua acompañada de contracción y otra con pérdida de agua sin cambios de volumen, según los mecanismos normales.

Es una experiencia común en las fábricas que trabajan por colado que las barbotinas más defloculadas necesitan más tiempo de permanencia en el molde. La velocidad con que se forma "pared" es menor cuanto mayor es la cantidad de defloculante utilizado.

Todos estos efectos pueden explicarse por la estabilización de las pastas producida por la defloculación, que hace más lento el proceso de "deshidratación" de la barbotina y que precisamente esta lentitud del proceso permite un mejor acomodo de las partículas que crea una estructura más resistente y con menos agua ocluida.

En todo lo explicado sobre el colado de barbotinas se ha supuesto que el molde de yeso era ideal. Todos los efectos y defectos atribuibles a unas propiedades inadecuadas de la barbotina pueden atribuirse y proceder de un molde de yeso incorrecto.

Los moldes de yeso muy duro tienen una porosidad muy baja. La succión del agua es muy lenta y pueden dar lugar a bajas velocidades de formación de pared. Los colados aunque finos no presentan apenas estructura tixotrópica, los interiores quedan limpios y sin escurriduras.

Cuando el yeso es blando, su porosidad es alta. La succión ejercida sobre el agua de la barbotina es muy violenta; lo normal en este tipo de moldes es que se formen espesores grandes con una preponderancia de la estructura tixotrópica.

Naturalmente el resultado del colado depende de igual modo de las propiedades de la barbotina y del molde. No se pueden establecer las características ideales de una ignorando al otro. La mejora de los resultados de una producción debe realizarse forzosamente trabajando en ambos campos.

Una barbotina sobredefloculada, sin tixotropía, con una baja velocidad de formación de pared irá mejor con moldes blandos. Una barbotina muy tixotrópica irá mejor con moldes poco porosos. Todos estos fenómenos se han resumido en la tabla VIII.

TABLA VIII
El producto colado en función de barbotina y molde

	Molde duro poco poroso	Medio	Molde blando gran porosidad
Barbotina sobredefloculada sin tixotropía	Espesor muy fino Muy duro Muy limpio	Fino Duro Limpio	Medio Dureza aceptable Algo tixotrópico
Correctamente defloculada (media)	Espesor fino Duro Limpio	Medio Dureza aceptable Algo tixotrópico	Gran espesor Blando Sucio
Poco defloculada tixotropía alta	Espesor medio Dureza aceptable Algo tixotrópico	Gran espesor Blando Sucio	Gran espesor Muy blando Muy sucio

Como los moldes sufren un desgaste mecánico importante por choques, roces, limpiezas, etc, la tendencia normal es a hacerlos más duros, entre otras cosas porque las operaciones de pulido de una pieza colada en un molde con poco desgaste son muy inferiores a las necesarias en una pieza colada en un molde viejo o desgastado.

Los moldes de yeso duro tienen además la ventaja de que pueden realizarse con paredes más finas. La disminución de peso en los moldes es una importante mejora en cualquier proceso industrial, pero no la única. Los moldes de pared más fina se recuperan mejor, es decir, pierden antes el agua absorbida durante el colado ya que la cantidad total de agua almacenada es inferior y el gradiente de humedades en el interior de la pared más acusado.

La dureza del molde está relacionada con la proporción yeso-agua utilizable. La dureza superficial va acompañada por otras propiedades, y así a menor agua de amasado son superiores todas las resistencias de tipo mecánico y la densidad, e inferior la absorción de agua.

El yeso utilizado en la industria cerámica es el llamado hemihidrato, cuya fórmula química corresponde a $\text{SiO}_4\text{Ca} \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ que a su vez se presenta en dos formas cristalinas, una de mayor energía interna llamada hemihidrato β y otra más estable, mejor cristalizada, llamada hemihidrato α .

Desde el punto de vista de los moldes para cerámica la diferencia más importante entre ambas clases de hemihidrato está en la cantidad de agua necesaria para conseguir una consistencia apropiada en la masa. Mientras los yesos fundamentalmente compuestos de hemihidrato β necesitan de 80 a 90 ml de agua por cada 100 g de yeso, los ricos en hemihidrato α pueden amasarse con 30 ó 40 ml de agua por 100 g de yeso, e incluso se producen yesos especiales trabajables con 23 ó 25 ml.

Si se piensa que la reacción química de fraguado: $\text{SiO}_4\text{Ca} \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ no consume más allá de 18,6 g de agua por 100 g de yeso y que el resto del agua sobrante debe eliminarse en el secado posterior del molde dejando un volumen de poros igual a su propio volumen, pueden explicarse todos los fenómenos anteriormente descritos.

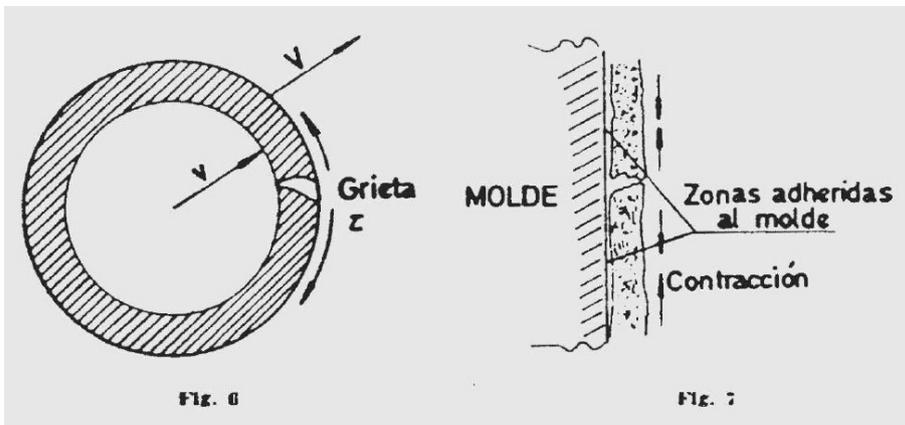
En la cerámica colada debe jugarse con la proporción de ambos hemihidratos de forma que se obtengan moldes de una resistencia suficiente con una porosidad también suficiente. Normalmente, y sin más valor que el de una orientación, suelen utilizarse yesos que den una consistencia de trabajo buena con 60 ó 70 ml de agua por 100 g de yeso.

Productos finales

Hay dos momentos críticos en la producción de cerámica en los que la formulación de las pastas influye de forma muy notable. El primero es el secado. El segundo es la primera fase de la cocción.

Durante el secado de las piezas moldeadas en húmedo se producen unos cambios dimensionales de una magnitud suficiente como para producir una nucleación de grietas si se dan contracciones diferenciales importantes. De aquí la importancia de realizar un secado cuidadoso.

Supongamos una bola de materia plástica como la de la figura 6, que se seca; si la velocidad de emigración del agua de la superficie al medio ambiente " v " es mayor que la de emigración del núcleo húmedo a la superficie " v' ", se creará una capa exterior más seca, que ha contraído más, y que se encontrará sometida a tensiones que deforman esta superficie mientras está en estado plástico y que causan grietas cuando, en estado rígido, se supera la resistencia mecánica del material.



De aquí la importancia de utilizar pastas que tengan contracciones de secado bajas y resistencias altas en seco.

En el caso de los productos colados, que en general son huecos y cuya parte interior permanece plástica durante mucho más tiempo que la exterior, el mecanismo de formación o nucleación de grietas es distinto. Aquí las tensiones se crean por adherencia al molde de yeso. Si la contracción es lenta, como ocurre cuando la aportación de agua del interior a la superficie es importante, o de otro modo, cuando el interior tiene un espesor suficiente formado por tixotropía, se desprende la pieza del molde antes de que se supere su resistencia mecánica, o bien la contracción general de la pieza se produce cuando la superficie tiene una plasticidad residual suficiente como para admitir aún ligeras deformaciones; en estos casos no se producen grietas.

Cuando las pastas son poco plásticas o por otras circunstancias, como una defloculación exagerada o un contenido demasiado alto de coloides orgánicos, se produce un endurecimiento muy rápido de la pared tirada, la contracción de secado puede dar lugar a la formación de microfisuras que en su mayoría se sueldan en procesos posteriores, pero aquellas que no lo hacen producen un incremento

notable del número de roturas durante la cocción. Este fenómeno se ha esquematizado en la figura 7.

Durante las primeras fases de la cocción de la mayor parte de la cerámica industrial, es decir, por debajo de los 550-600°C se pierde una parte importantísima de la resistencia mecánica en seco y, al mismo tiempo, la combustión de las materias orgánicas y la deshidratación de los minerales arcillosos provocan los mayores cambios físicos en la naturaleza de la pieza. En este momento se produce otra nucleación de grietas y el crecimiento de las nucleadas durante el secado. Si el calentamiento ha sido muy rápido y las diferencias de temperatura entre partes de la misma pieza son importantes, se generan grandes tensiones que dan lugar a un tipo de grietas conocido generalmente con el nombre de "grietas de precalentamiento" que no van a cesar de crecer en el resto de la cocción y que presentan en los productos acabados un aspecto característico.

Resulta muy favorable que los cambios en la estructura física de la pieza sean los mínimos. Por ejemplo que la contracción durante esta fase sea pequeña y que la porosidad resulte también poco aumentada. La variación de estas dos propiedades depende fundamentalmente de la formulación original de la pasta: cuanto menos material arcilloso en la fórmula, menor es la cantidad de agua que se desprende. Cuanto menor el contenido en materia orgánica, menor es el incremento de porosidad producido por su combustión; y cuanto más compacta es la estructura, menores son los movimientos de contracción posibles.

En la zona de "gran fuego" tanto la deformación de las piezas como el crecimiento de las grietas o su reabsorción dependen del acierto tenido al formular la composición en óxidos. En el caso de las pastas interesa que se forme poco líquido y muy bien repartido, es decir, que la composición total establecida esté lejos de los eutécticos posibles a la temperatura de cocción elegida. Normalmente esto se consigue utilizando proporciones de alúmina altas que a su vez tienen la ventaja de permitir contenidos altos de arcilla en la pasta cruda y dar líquidos muy viscosos en estado fundido. Cuando se utilizan temperaturas altas de cocción los altos contenidos en alúmina también proporcionan mayores resistencias mecánicas al posibilitar la formación de mullita.



Teoría de la defloculación

En el apartado anterior ya hemos visto algunos aspectos sobre la elaboración de piezas cerámicas en molde de escayola. En este

apartado vamos a completar la información con la teoría relativa a los defloculantes.

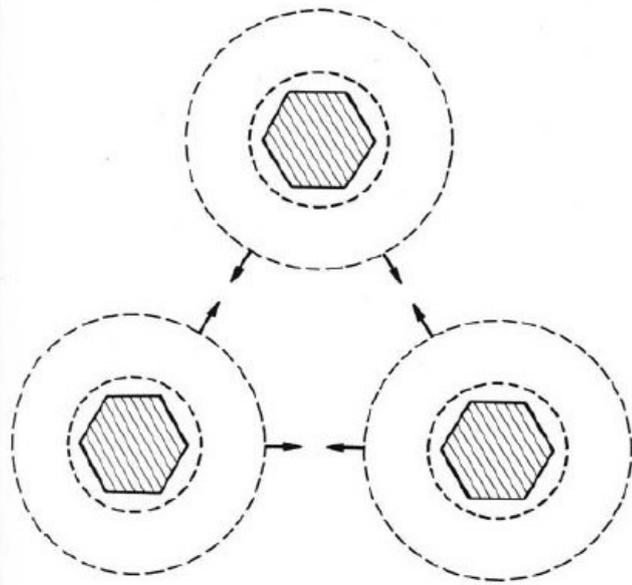
Las arcillas, que suelen constituir alrededor del 50% de cualquier pasta cerámica, tienden a agregarse y a decantar cuando forman una suspensión en agua. Esto se debe a que los enlaces químicos de los bordes de las láminas de arcilla están rotos, por lo que estas se atraen entre sí. Es posible alterar este estado natural de la arcilla mediante la defloculación.

La **defloculación** es la acción de dispersar las pequeñas partículas de arcilla en una barbotina de manera que dicha barbotina se haga más fluida. Las barbotinas utilizadas para colar en molde se defloculan para conseguir una densidad elevada, es decir, una proporción elevada de arcilla, pero manteniendo una fluidez suficiente para cubrir toda la superficie del molde.

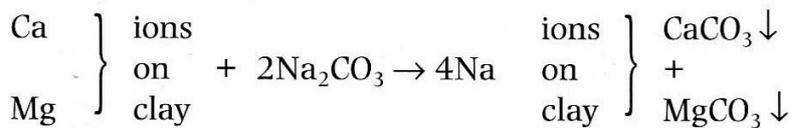
La defloculación se logra añadiendo al agua de la suspensión cantidades adecuadas de sustancias alcalinas solubles denominadas *defloculantes*. Estos intercambian sus iones con los de las partículas de arcilla de modo que todas las partículas de arcilla alcanzan una carga electrostática equivalente. En tal estado, las partículas de arcilla se repelen entre si y no se agregan. Sin importar lo cercanas que se encuentren empaquetadas, hay una fuerza de repulsión entre ellas que actúa como lubricante.

De este modo puede elaborarse una barbotina con una fluidez suficientemente elevada para llenar todos los recovecos del molde pero con una cantidad de agua bastante menor. Como orientación, podríamos decir que gracias al uso de defloculantes podemos rebajar la cantidad necesaria de agua en la barbotina, para una fluidez similar, al 50%. Aunque las cantidades son muy variables y dependen de cada arcilla. De hecho hay algunas arcillas sobre las que los defloculantes no hacen apenas efecto.

En términos generales, la defloculación consiste en la formación de cargas electrostáticas sobre las partículas de arcilla. Cada partícula tiene dos capas: la capa interna es negativa y la externa positiva. Cuando se comprimen las partículas, la capa exterior tiene la propiedad de repeler capas idénticas en otras partículas como se muestra en el diagrama.



El principio de la defloculación es reemplazar los pequeños iones de las capas por otros más potentes y, si es posible, incrementar su número. De este modo, el comportamiento global de la arcilla se modifica. Una posible ecuación para este proceso podría ser:



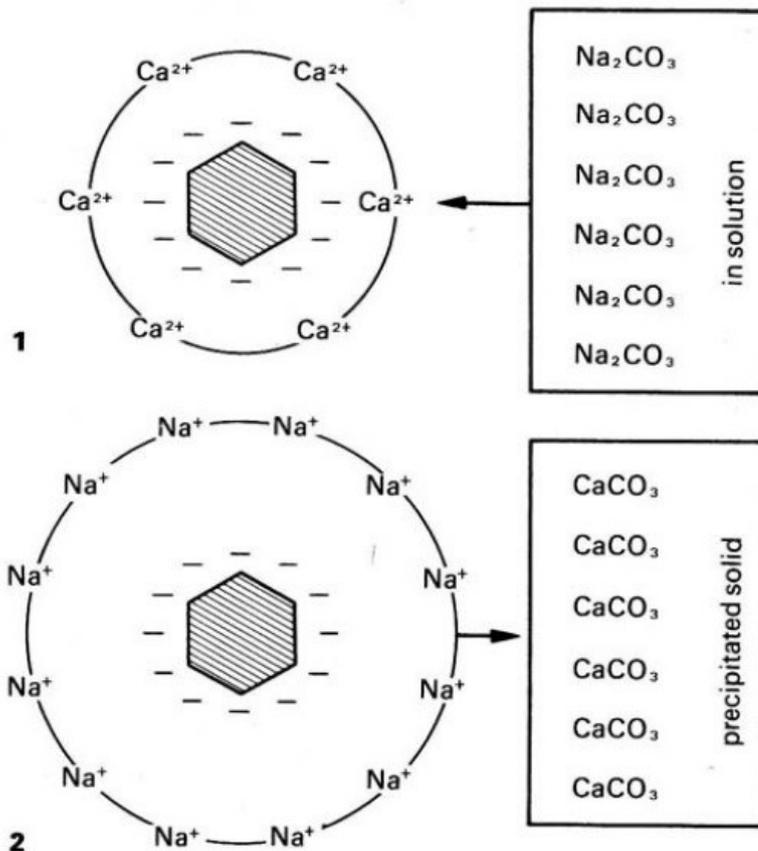
Aquí el carbonato de sodio, que es soluble, se utiliza para provocar el **intercambio iónico**. Los iones de calcio y magnesio toman el ion carbonato y precipitan como los compuestos insolubles carbonato de calcio y carbonato de magnesio.

Así que el **defloculante** es un material que se añade a las suspensiones de arcilla para aumentar su fluidez. El aumento de fluidez sin pérdida de densidad es ventajoso en el proceso de colada en molde. El defloculante crea fluidez incrementando las fuerzas electrostáticas de repulsión entre las partículas de arcilla de forma que estas se repelan entre sí. De este modo las partículas, en lugar de agregarse, se repelen y deslizan unas sobre otras incluso aunque el número de partículas en suspensión sea elevado. Se dice que las partículas están en estado de "dispersión" o "defloculación".

Los defloculantes son de dos tipos: el tipo catión alcalino y el tipo polianión. Es práctica habitual utilizar una combinación de ambos tipos porque, aunque su acción sobre la fluidez es igual, tienen otros efectos que los diferencian. El más importante de ellos está relacionado con la tixotropía.

Un defloculante de tipo catión alcalino promueve el intercambio catiónico entre él mismo y la partícula de arcilla. El nuevo catión incrementa el potencial zeta de la partícula (ver más adelante). Por ejemplo, el carbonato de sodio reemplaza cada catión de calcio en la partícula de arcilla con dos cationes de sodio. Ocurre lo mismo con los cationes de magnesio. El catión desplazado de calcio se une al radical carbonato para formar carbonato de calcio. Este, al ser insoluble, precipita y queda en suspensión como partícula sólida en la barbotina.

De esta forma, la partícula de arcilla forma una capa externa de cationes de sodio que tiene una gran *barrera de repulsión*. Las figuras de abajo lo muestran gráficamente. La fuerza repulsiva es grande y repele a las partículas. La ecuación es: $\text{Ca (arcilla)} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na (arcilla)} + \text{CaCO}_3\downarrow$

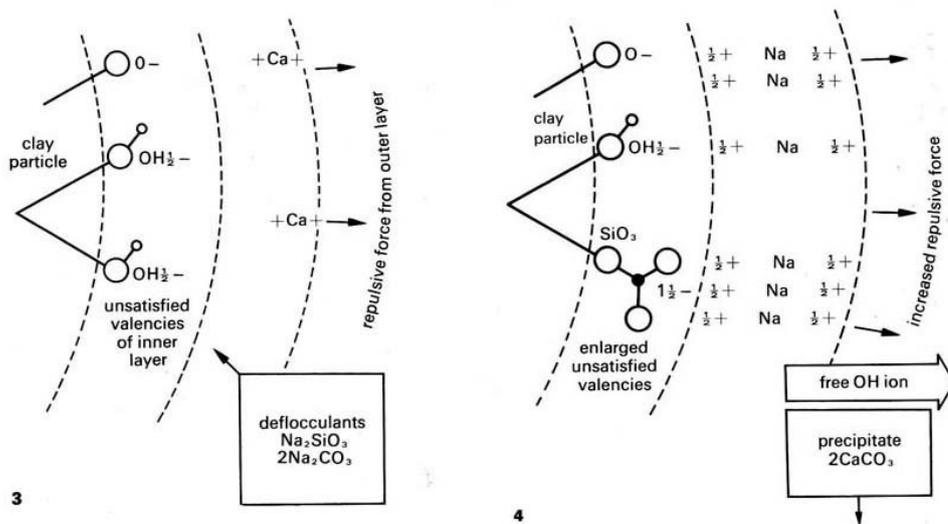


Ejemplos de defloculantes de tipo catión alcalino son el carbonato de sodio, carbonato de potasio, hidróxido de sodio y oxalato de sodio.

Hay un límite en el efecto defloculante que puede alcanzarse por intercambio catiónico. El efecto completo se logra cuando todos los cationes intercambiables se han reemplazado por otros de mayor alcance en su barrera de repulsión. En este momento una barbotina está totalmente defloculada y el potencial zeta de la arcilla

alcanza su valor máximo. La adición de más cationes alcalinos tiene efecto floculante, es decir, el efecto opuesto. Los cationes adicionales se apiñan en el sistema de doble capa llenando el hueco de la barrera de repulsión. El efecto es reducir el potencial zeta. Esta superpoblación de cationes que se produce al añadir excesivo defloculante alcalino se denomina "salting-out" o "over-doping".

El defloculante polianiónico alcanza un resultado similar aunque por un camino ligeramente distinto. El tipo polianiónico suministra cationes para la capa externa (como el defloculante catiónico) pero también se introduce en la capa interna. Aquí la mitad del defloculante polianiónico reemplaza aniones en la partícula de arcilla. Es un intercambio aniónico efectivo en términos de defloculación porque los polianiones de diversas cargas negativas reemplazan los simples grupos hidroxilo con carga negativa unitaria. El resultado global es que la carga negativa aumenta y, por ello, hay lugar adicional para los cationes en la capa exterior. Así, la carga de la capa externa es mayor y el potencial zeta también. El intercambio se representa en los gráficos siguientes:



Ejemplos de defloculantes de tipo polianiónico son el silicato de sodio, polifosfato de sodio, poliacrilato de sodio y tanato de sodio.

De nuevo, existe un límite en el efecto defloculante que puede alcanzarse. Sin embargo, el efecto de "over-doping" no es tan drástico. Una vez que se ha alcanzado el efecto óptimo, mayores adiciones de defloculante polianiónico solo sirve para llenar la doble capa con aniones. Esta adición tiene poco efecto en la efectividad de la capa exterior de cationes ya que afecta poco al valor del potencial zeta, a no ser que se añada un gran exceso. Claramente, el efecto no es tan drástico como el sobredopaje con

cationes alcalinos. De hecho, con frecuencia aparece el efecto de protección por el cual el relleno de la doble capa por aniones contrarresta el exceso de cationes. Así, el exceso de un defloculante aniónico proporciona cierta protección contra el "over-doping".

Un equilibrio entre dos defloculantes podría dar mayor control sobre la defloculación. La elección más común del ceramista al preparar barbotina para colar es el carbonato de sodio para el intercambio catiónico y el silicato de sodio para los intercambios catiónicos e iónicos. Cualquiera precipitado entre ambos es inocuo para la suspensión y durante la cocción.

El carbonato de sodio ofrece una efectiva y progresiva defloculación pero con poco efecto sobre la tixotropía. El silicato de sodio ofrece igualmente una defloculación progresiva pero acompañada de una reducción de la tixotropía. Cierta tixotropía es adecuada para una barbotina para moldes por lo que es beneficioso un balance entre los dos defloculantes.

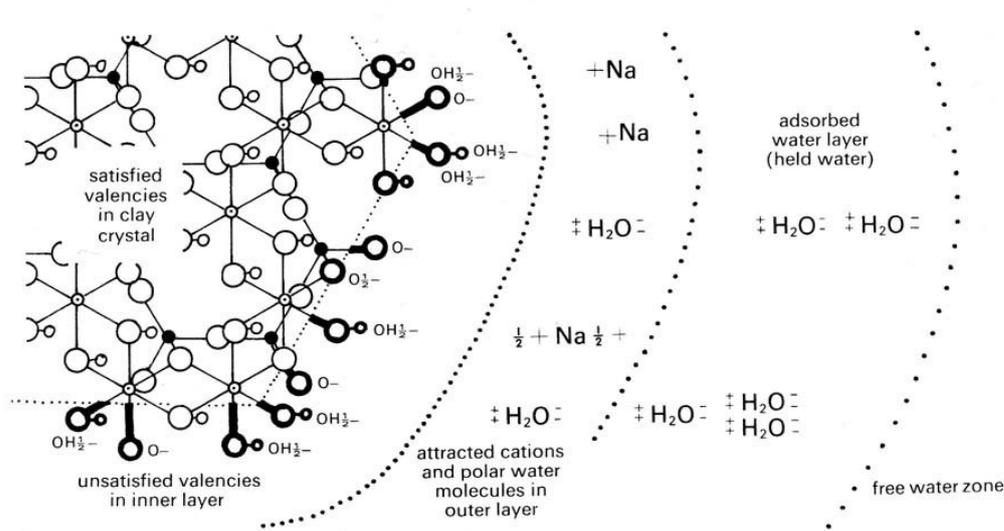
Las materias primas defloculantes solo hacen efecto si hay suficiente agua para disolverlas y, así, poner en juego los iones para el intercambio. También es necesario que la suspensión en cuestión sea de tamaño coloidal. Por tanto las arcillas, sobre todo las de granulometría más fina como arcillas de bola y bentonitas, ofrecen buenos resultados, pero otros materiales como, por ejemplo, los feldspatos apenas muestran ningún efecto. Algunas materias primas seleccionadas en granulometría muy fina, como el silicato de zirconio, pueden presentar cierta reacción favorable y otras, como el cuarzo, no son afectadas por los defloculantes pero sí por los floculantes. De modo que es necesario partir de una suspensión coloidal para deflocular y el defloculante debe ser una solución, aunque este debe ser calculado y pesado como sólido.

En los párrafos anteriores se han mencionado algunos conceptos sin aclarar mucho su significado como, por ejemplo, la doble capa que se forma alrededor de las partículas de arcilla, o el potencial zeta. Vamos a verlos ahora con más detalle.

La **teoría de la doble capa** describe las cargas electrostáticas sobre las partículas coloidales de arcilla, por las cuales estas se repelen entre sí y no sedimentan de la suspensión. La teoría contempla los enlaces superficiales (finales) de la red cristalina de la arcilla.

Un cristal de arcilla es una hoja continua en la cual los átomos cumplen los requerimientos de valencia de los átomos adyacentes a ambos lados. De esto se deduce que en los límites del cristal habrá valencias sin equilibrar. Esto se conoce como *teoría del*

enlace roto y se acepta que las partículas del límite son iones de oxígeno y grupos hidroxilo (O^{2-} y OH^-). Esta carga sin equilibrar es, por tanto, negativa. Esta es la capa interna según se muestra en el diagrama.



La capa externa de la doble capa debe tener entonces carga positiva. Ver el diagrama. Esta formada por cationes de sodio, potasio, calcio y magnesio (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}) y también moléculas de agua. Esta es la zona donde se enlaza la capa de agua. Las moléculas de agua, aunque neutras con las dos cargas negativas requeridas por el oxígeno satisfechas por las dos cargas de los dos átomos de hidrógeno, tienen polaridad como pequeños imanes. Por ello se orientan hacia la arcilla, con los polos positivos hacia dentro.

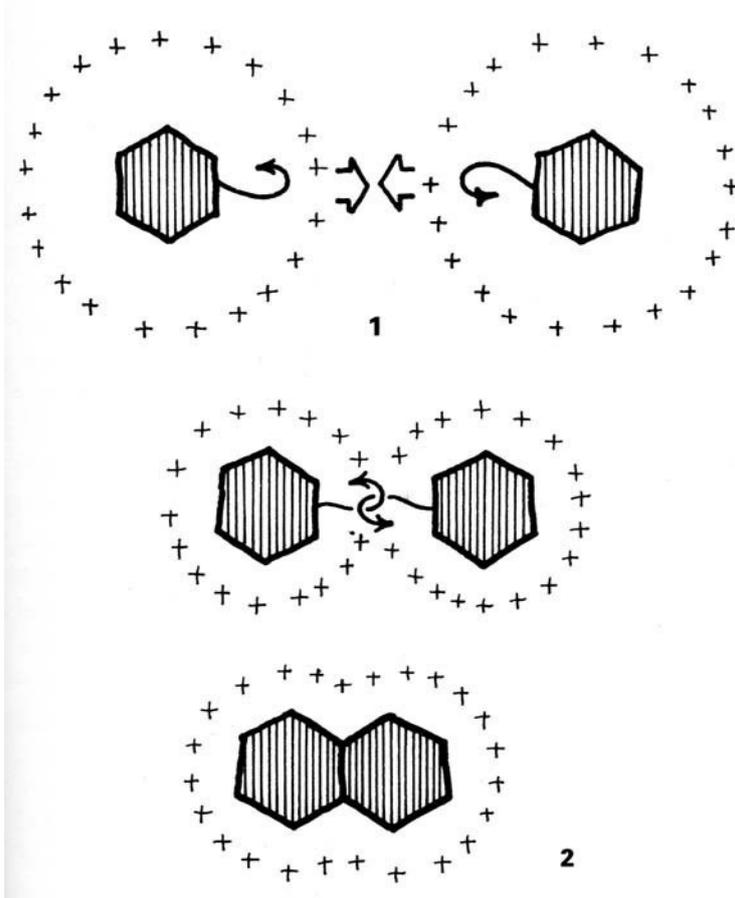
Aunque la capa externa contiene diferentes elementos, las arcillas tienden a formar la capa externa con un elemento predominante. Lo más común es que este elemento sea el calcio. El elemento predominante confiere a la arcilla un carácter propio en términos de plasticidad y comportamiento en suspensión. La razón es que los cationes de esos diferentes elementos tienen distintas distancias para sus barreras de repulsión. Esta característica se mide como energía latente para repeler cargas similares (ver *potencial zeta*, a continuación).

Sin embargo, los cationes que forman las capas pueden ser rápidamente sustituidos por otros de diferentes características. Esto se logra introduciendo los cationes adecuados en la suspensión. El proceso se conoce como intercambio catiónico y ocurre en la defloculación de las barbotinas para colar.

El **Potencial zeta** es una medida de la capacidad de una partícula coloidal para repeler otras partículas similares mediante carga

electrostática. El potencial se mide en milivoltios y depende del tamaño de las dos capas que rodean la partícula de arcilla.

La capa externa está compuesta de partículas positivas, y si esta capa está a distancia suficiente de la partícula de arcilla, entonces no llega a haber enlace entre las partículas. Estas se repelen entre sí antes de que las fuerzas de atracción ligen las partículas, como se ve en la figura.



Si la denominada *barrera de repulsión* (stand-off distance) de la capa exterior es pequeña, el potencial zeta será bajo. Las partículas de arcilla serán capaces de unirse mediante sus enlaces sin completar y formarán partículas mayores. En este caso las fuerzas atractivas entre las partículas vencen a las fuerzas repulsivas de la capa exterior.

El potencial zeta es importante al estudiar las barbotinas para colar. La barrera de repulsión aumenta al introducir los cationes adecuados, cuyo equilibrio se logra con una barrera mayor. En tales casos ocurre la sustitución de unos cationes por otros con el resultado de una capa externa más extensa, y la suspensión queda defloculada de modo que las partículas ya no se unen entre sí sino que se deslizan debido a las fuerzas repulsivas. El resultado observable es que la fluidez de la suspensión aumenta vistosamente.

En toda esta discusión se habla mucho sobre fluidez o viscosidad, y también hemos contado algo sobre las **fuerzas de atracción o repulsión** que provocan estos fenómenos en las suspensiones coloidales. Estas fuerzas de atracción son las siguientes:

1. La atracción entre cargas negativas y positivas resultado de las valencias insatisfechas de los enlaces rotos en los bordes de la red cristalina. Las partículas coloidales también presentan, a veces, una ligera polaridad que es suficiente para orientar las partículas y aumentar su atracción.
2. Fuerzas de atracción de Van der Waals, que son causadas por el movimiento electrónico de las partículas que forman la red cristalina. Cuando se da cierta coordinación en dichos movimientos, se produce una atracción neta.
3. La fuerza de gravedad, que tiende a unir las partículas que están en contacto o casi en contacto, más que a separarlas.

El resultado conjunto de estas fuerzas es que las partículas coloidales de arcilla en una suspensión tienden a atraerse entre sí. De este modo, se forman los *flóculos* que son el primer estado de agregación. El siguiente estado es la formación de grumos, denominados agregados, que pueden verse a simple vista. En este estado hay sedimentación por gravedad.

Las fuerzas de atracción son pequeñas y pueden ser superadas por fuerzas repulsivas. Esto sucede cuando todas las partículas poseen una carga positiva adecuada. Entonces se produce una dispersión en lugar de una agrupación. Con los electrolitos adecuados en el agua de la suspensión se logra este efecto.



Barbotinas para colado

La **tixotropía** es la propiedad de las barbotinas de variar su fluidez al reposar; después de un tiempo de reposo las barbotinas se vuelven más viscosas. También es la capacidad de una arcilla mojada para mantener una forma dada.

Todas las suspensiones de arcilla (barbotinas) tienen esta propiedad que es el resultado del establecimiento de enlaces entre las partículas debido a las fuerzas de atracción. La tixotropía comienza a notarse tan pronto como la barbotina entra en reposo. Esto muchas veces pasa desapercibido, pero algunas barbotinas y vidriados contienen arcillas que muestran una pronunciada tixotropía si se dejan unos días en reposo. En un principio, parece que es necesario añadir más agua a la suspensión pero basta con agitarla lo suficiente para que recupere su fluidez original.

Las barbotinas o vidriados en suspensión que presentan gran tixotropía, con frecuencia son consecuencia de ciertas sustancias disueltas en el agua de la suspensión. El óxido y carbonato de magnesio, algunas fritas alcalinas, y la mayoría de las cenizas de madera son responsables de tal fenómeno.

Cantidades excesivas de álcalis en la suspensión, normalmente acaban con la tixotropía. Por ello, al preparar barbotinas para colar suele buscarse un equilibrio entre fluidez y tixotropía. La tixotropía es una propiedad valiosa en las barbotinas para colar ya que permite que la colada recién formada en el molde mantenga la forma mientras permanece con exceso de agua. Una tixotropía excesiva, en cambio, es perjudicial, ya que podría dificultar el vaciado de la barbotina del molde.

Los dos defloculantes más comunes en las barbotinas para colar son el carbonato y el silicato de sodio. Con ambos se logran barbotinas de elevada fluidez, pero el carbonato de sodio tiene poco efecto sobre la tixotropía natural de la arcilla mientras que el silicato la destruye. La tixotropía adecuada para la barbotina, por tanto, se alcanzará con la proporción adecuada entre los dos defloculantes.

Las barbotinas de vidriado floculadas suelen ser tixotrópicas. La floculación de las partículas de arcilla, que provoca un aumento de la viscosidad, también aumenta la tixotropía. Es una propiedad valiosa cuando necesitamos formar una capa de vidriado de mayor grosor sin que este escurra pared abajo. Esta propiedad es especialmente útil sobre bizcochos no porosos. Si nos pasamos con el floculante, la tixotropía del vidriado puede ser excesiva. Este defecto tiene la consecuencia de no formar una capa suave y uniforme aunque el vidriado este recién aplicado y todavía húmedo. Para corregirlo podríamos añadir una ligera cantidad de silicato de sodio. Algunos floculantes son el vinagre, ácido clorhídrico (HCl), cloruro de calcio (CaCl_2) o sulfato de calcio (CaSO_4

La **fluidez** es la propiedad de los líquidos de moverse libremente sin el impedimento de la fricción. La fricción se ejerce entre partículas o moléculas adyacentes del líquido. El término se emplea en la descripción de barbotinas, por ejemplo, las barbotinas defloculadas para colar en molde de escayola; o para describir los vidriados que se escurren al fundirse en el horno. Lo opuesto de la fluidez es la viscosidad.

Al hablar técnicamente, es práctica común usar el término "fluidez" en barbotinas y otras suspensiones, pero hablar de los vidriados fundidos en términos de "viscosidad". Por tanto, una barbotina rígida se describirá como de baja fluidez mientras que

un vidriado rígido en la fusión se describirá como de gran viscosidad.

La fluidez se mide en función de la viscosidad, es decir, se mide la dificultad al deslizamiento que provocan las partículas entre sí. La unidad de medida para la viscosidad es el "poise". Los valores de viscosidad permiten calcular la fluidez, cuya unidad es el "rhe", mediante $rhe = 1/poise$. Una suspensión relativamente fluida, como una barbotina de vidriado, podría tener una viscosidad de 2 poise, o 0.5 rhe. Una barbotina rígida podría tener una fluidez de 0.002, que es una magnitud muy baja. El agua tiene una fluidez de 100 rhe.

Las arcillas plásticas y las sustancias pulverulentas humedecidas que se utilizan para vidriados, tienen viscosidad elevada porque las partículas constituyentes presentan bastante fricción entre sí. Sus viscosidades son alrededor de un millón de veces superior a la del agua. Por ello, cuando añadimos agua, esta constituye un efectivo lubricante que mejora el deslizamiento entre las partículas. La arcilla blanda y fácil de modelar contiene más agua que la arcilla rígida. La arcilla con una cantidad excesiva de agua se vuelve tan blanda que ya no es capaz de resistir la acción de la gravedad. En este estado ya es una barbotina. Del mismo modo una suspensión de vidriado muy aguada será muy fluida y dará una capa muy fina, mientras que otra con poca agua dará capa gruesa y será como una pasta.

Técnicamente se considera que todos esos estados con diferente fluidez pueden medirse en función inversa a la fricción ejercida entre sus partículas constituyentes.

Hay diferentes factores que tienen influencia en la fluidez de una suspensión. Estos son: el tamaño de partícula y, en menor medida, la forma de esta; la respuesta de las partículas a las fuerzas electrostáticas; la densidad; y la fluidez del medio dispersivo. Como este último suele ser agua, despreciaremos las diferencias entre diferentes aguas independientemente de la temperatura. El factor densidad lo aceptamos directamente. Las suspensiones de alta densidad, es decir, las suspensiones pesadas, son menos fluidas que las suspensiones de baja densidad. El tamaño de partícula y las fuerzas electrostáticas requieren una consideración mayor.

Tamaño de partícula. Considerando primero el tamaño de partícula, uno se da cuenta de que si la fricción es proporcional a la superficie de las partículas, las partículas más finas presentan mayor fricción global. Si un terrón de materia se rompe en dos partes, estas presentan dos superficies nuevas, además de las que ya existían, mientras que el peso y volumen total no cambian. El

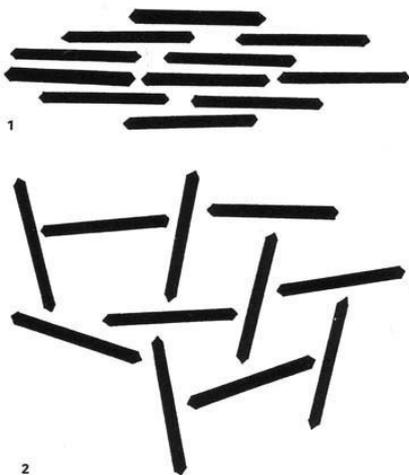
área superficial se ha incrementado, aproximadamente, un 25%. Este incremento del área superficial sigue aumentando si las partículas se rompen progresivamente hasta convertirse en polvo. El área llega a ser de proporciones asombrosas. Una cucharadita de polvo ultrafino podría tener un área superficial doble que el área de todas las páginas de este libro.

Una suspensión de material fino requiere mayor cantidad de agua que otra suspensión equivalente de material más grueso. Esta diferencia es mensurable con distintos minerales que han sido triturados a diferentes tamaños de partícula. También puede ser apreciable con minerales supuestamente iguales de proveedores diferentes. Es especialmente notorio cuando dos arcillas están implicadas.

Una barbotina hecha con arcilla de bola necesita una cantidad de agua casi doble que otra barbotina de caolín con la misma fluidez. Las partículas de arcilla de bola, en promedio, tienen un área que es la quinta parte del área de las partículas de caolín y, por tanto, presentan un mayor área superficial total.

Fuerzas electrostáticas. Al considerar las fuerzas electrostáticas, nos encontramos con otro fenómeno que tiene gran influencia sobre la fluidez. Para comprender el fenómeno hay que considerar la manera como se apilan las partículas de arcilla y relacionarlo con la fricción entre partículas.

Las partículas o cristales de arcilla son como platos hexagonales planos. Si estos platos reposan cara contra cara, o uno sobre otro, es posible colocar muchos más en un volumen determinado de agua que si reposan formando ángulos unos respecto a otros. Estas dos situaciones pueden imaginarse como una baraja de cartas recogida o una baraja de cartas formando casitas. Ver la siguiente figura:



Las partículas pequeñas tienden a atraerse entre si para formar partículas mayores. Este efecto se superpone al movimiento propio de la suspensión. Si logramos que las partículas de arcilla se repelen entre si en lugar de atraerse, entonces lograremos una suspensión más fluida.

Combinando el efecto de fricción baja (repulsión) con el de las cartas recogidas es posible crear una barbotina con alto contenido de arcilla y, al mismo tiempo, de alta fluidez. Tal barbotina es necesaria para el proceso de colado en moldes de escayola y se logra alterando las fuerzas electrostáticas. Esto es la defloculación.

Al dar fuertes cargas electrostáticas a las partículas, estas se repelen entre si y solapan las fuerzas mutuas de atracción. Estas cargas están concentradas en los bordes de las partículas planas de arcilla y la zona de repulsión es, en realidad, pequeña. Sin embargo, el efecto de las cargas crea una zona en forma de ocho donde las partículas se repelen entre si, como se muestra en la figura siguiente.



Las zonas de repulsión provocan que las partículas no entren en contacto y, por tanto, no haya fricción que disminuya la fluidez. Incluso con alta concentración de partículas -lo que hay en una barbotina que tiene una proporción elevada de arcilla respecto al agua-- las partículas se repelen entre si. En esta situación se colocan en la posición más equilibrada, que es la de cartas recogidas. Una barbotina en este estado se dice que está defloculada.

Lo opuesto a la situación que acabamos de describir es una combinación de alta fricción (atracción y rozamiento físico) y estructura de casas. Esto forma una barbotina viscosa con porosidad abierta. Tal barbotina está floculada.

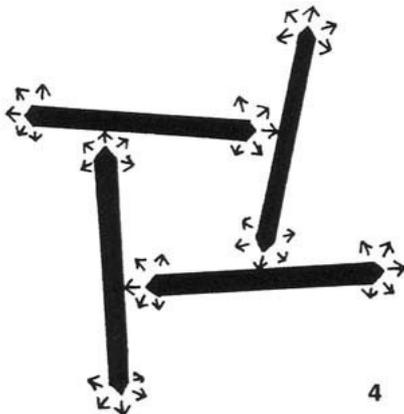
Esta situación se precisa cuando es necesario secar la barbotina para obtener una arcilla plástica. La permeabilidad que aportan los poros permite que el agua salga por absorción sobre una superficie porosa o presionando sobre un filtro. También, una

suspensión de vidrioado floclada que contenga arcilla se secará más rápido que otra sin floclar. Lograremos una capa de vidrioado más gruesa sobre bizcochos de baja porosidad y, además, las sustancias pesadas como como cuarzo y bisilicato de plomo se mantendrán mejor en suspensión, en vez de decantar rápidamente. La bentonita, que es una arcilla coloidal, se usa mucho con este fin, para lo que se floclula con cloruro de calcio.

A tamaño coloidal, la fricción entre las partículas es sobre todo por atracción electrostática entre cargas opuestas. Sin embargo, también se dan fenómenos de fuerzas de Van der Waals entre cargas iguales, atracción gravitacional y otros.

Pero para lograr una barbotina de baja fluidez, hay que reducir la fuerza de las cargas que producen repulsión entre las partículas. Las fuerzas de fricción mencionadas arriba pueden provocar atracción entre partículas vecinas.

Cuando la fuerza de la carga electrostática se reduce observamos que las caras planas de las partículas de arcilla tienen una carga neutra o ligeramente negativa, mientras que los bordes tienen carga positiva. Por lo tanto, hay atracción entre las caras y los bordes, como se ilustra en la siguiente figura. Con esta carga escasa en los bordes el efecto de repulsión es insuficiente para provocar el efecto de la figura 3.



La decisión de que haya una carga grande o pequeña es influida por la presencia de electrolitos. Estos son materiales solubles, típicamente sustancias alcalinas y ácidas aunque, para evitar confusión, las describiremos mejor como defloclulantes y floclulantes. No todos los álcalis y ácidos dan un resultado satisfactorio y permanente. Los mejores defloclulantes son el silicato sódico y el carbonato sódico utilizándolos combinados. Los mejores floclulantes son el cloruro de calcio, ácido hidrocloreídrico, vinagre, sulfato de calcio y sulfato de magnesio.

Las barbotinas con alto contenido coloidal, por ejemplo arcillas de bola, reaccionan drásticamente con los electrolitos. Si se defloculan completamente, serán muy fluidas y parecerán como resbaladizas. No sedimentarán e impedirán el secado superficial de la arcilla pues, ya esté en contacto con un sólido absorbente o con aire, porque se forma una capa compacta e impermeable a través de la cual el agua no puede escapar.

Si la misma barbotina se flocula, las partículas se atraen entre sí formando flóculos, los cuales se agregan alcanzando un peso suficiente para sedimentar por gravedad. Una barbotina totalmente defloculada será tan viscosa que no fluirá. Parecerá una arcilla pero sin fuerza, como una gelatina. Será muy permeable, de secado rápido y suave y fácilmente desmenuzable en seco. Es importante darse cuenta de que los procesos aquí descritos se llevan a cabo sin variar la densidad de la suspensión, es decir la cantidad de agua y arcilla permanecen invariables.

Utilizando algunas arcillas coloidales junto a electrolitos es posible ajustar la fluidez de barbotinas y suspensiones de vidriado manteniendo el control de la densidad.

En el proceso de colado cerámico, la barbotina se vierte en un molde de escayola poroso y vuelve a verterse fuera del molde cuando se ha formado una pared de grosor adecuado sobre la superficie del molde. La pieza hueca resultante se seca, repasan las rebabas, se bizcocha, etc., hasta dejarla terminada

Hay cinco requisitos para una barbotina de colada:

1. Debe contener todos los ingredientes necesarios para formar un buen cuerpo cerámico tras la cocción.
2. Debe ser lo suficientemente fluida para que al verterse en el molde rellene todos los espacios huecos de este.
3. Debe ser capaz de reproducir con precisión la figura del molde.
4. Debe ser suficientemente permeable para que según se va formando la pared sobre la superficie del molde, el agua pase por dicha pared hacia el molde para que se forme una pieza con el grosor suficiente.
5. Una pieza recién hecha, aunque húmeda, debe ser capaz de mantener la forma hasta que se seque, como lo haría cualquier arcilla.

Estos requisitos se logran de la manera siguiente:

- La barbotina debe contener unos cuantos minerales. Al menos deben utilizarse dos arcillas para lograr una pasta equilibrada. Debería haber algún feldespato que actúe como fundente viscoso; el cuarzo es recomendable porque aporta

blancura y dureza; la arena o chamota puede aportar textura y resistencia; y la cristobalita mejora la adherencia del vidriado. Es necesario seguir una secuencia precisa en la preparación de la barbotina para lograr un buen resultado.

- La fluidez puede alcanzarse mediante una cantidad suficiente de agua pero tal cantidad de agua va a empapar demasiado el molde. La práctica habitual es añadir defloculantes que permiten barbotinas fluidas manteniendo una densidad suficiente. Un litro de barbotina defloculada debería pesar entre 1·7 y 1·9 Kg y mantener la fluidez. Una barbotina igualmente fluida pero preparada sin la ayuda de defloculantes no alcanzará dicho peso, sino, a lo sumo, unos 1·45 Kg por litro.

- Es inútil tener una barbotina fluida si esta se compone de partículas demasiado gruesas. La mayoría de la barbotina debería pasar por un tamiz de malla 120. Puede tolerarse cierta fracción de material grueso como la chamota, pero que pase por un tamiz de malla 60. Un exceso de material grueso decantaría durante el proceso de colada resultando una composición poco uniforme.

- La mayoría de las arcillas naturales son permeables. Sin embargo, al deflocularlas, estas mismas arcillas se vuelvan impermeables. Se debe lograr un equilibrio entre la arcilla natural y la defloculada para que tenga una permeabilidad adecuada. La permeabilidad de la barbotina también mejora gracias a las sustancias no arcillosas de la receta. Un cuerpo permeable también seca más deprisa, lo cual es una ventaja apreciable en caso de que la producción sea elevada.

- Una suspensión se vuelve rígida cuando reposa un rato. Este fenómeno es característico de las suspensiones de arcillas y algunas otras suspensiones (tixotropía). La propiedad la destruyen algunos defloculantes pero no todos. Es habitual conseguir un equilibrio utilizando dos defloculantes.

Preparación de la barbotina. Veremos que una barbotina para colar es un compromiso entre varios factores. Aunque partamos de una aproximación científica, la práctica en el taller consistirá a la fuerza en una serie de pruebas y errores, se ensaya y se ajusta el resultado. Para encontrar la barbotina ideal para la propia producción, primero debemos decidir el tipo de producción que queremos y establecer la receta para el cuerpo cerámico. Un litro de barbotina con la consistencia de una crema espesa, con proporción conocida de materia seca y agua, podría valer como punto de partida. Es conveniente omitir en esta fase el uso de material grueso como la chamota.

La barbotina se deflocula progresivamente mediante una mezcla de defloculante compuesta por:

silicato sódico	30 ml
carbonato sódico	30g
agua caliente	60ml

La cantidad de esta mezcla, que se va añadiendo en cada paso de la prueba, debe ser medida con precisión. Con cada adición de defloculante la barbotina debe agitarse a fondo. Después se vierte en una copa Ford y se mide el tiempo de caída.

Los resultados de esta prueba nos muestran el tiempo que tarda en vaciarse la barbotina de la copa Ford para las distintas cantidades añadidas de defloculante.

No será necesario elaborar un gráfico a no ser que se haya obtenido un gran número de pruebas. En este caso, el gráfico nos ayudará a encontrar la proporción adecuada de defloculante con precisión. Un exceso de defloculante provocará que el efecto de este se invierta. Habría que remarcar que no debe buscarse una defloculación completa porque entonces se destruye la permeabilidad y la barbotina no resulta adecuada para el molde. De nuevo, un gráfico ayuda a encontrar el punto adecuado y su proporción de defloculante.

Una vez que se ha encontrado una barbotina con buenas propiedades se escribe una receta manteniendo las proporciones encontradas entre las diferentes materias primas, incluyendo el defloculante.

Ajuste de la barbotina para colar en molde. Cierta número de defectos pueden surgir en la preparación de piezas por colada en molde de escayola que requieren diagnóstico y medidas correctoras. Las cantidades de los ajustes suelen ser pequeñas. Los defectos y sus correspondientes ajustes se enumeran a continuación:

•*La superficie interna de la pieza no es uniforme y presenta formaciones y desniveles*

La tixotropía de la barbotina es insuficiente. Debería reducirse el silicato de sodio y, si es necesario, aumentar el carbonato de sodio. Mover un poco la barbotina en el molde antes del vaciado también podría ayudar.

•*Piezas torcidas*

Se ha desmoldeado la pieza demasiado pronto.

•*Piezas deformadas*

Se ha desmoldeado demasiado tarde.

La pieza se ha liberado de una zona del molde pero ha permanecido adherida a otra, quizás debido a la posición en que se coloca el molde.

El secado no ha sido uniforme.

•*La pieza es blanda y se deforma al manipularla*

El tiempo en el molde ha sido excesivo debido a que el molde estaba húmedo o a que la barbotina contenía demasiada agua e insuficiente silicato de sodio.

También, si la barbotina se ha defloculado al máximo, se produce una capa impermeable que prolonga el tiempo de formación de pared y produce piezas blandas. En este caso hay que rebajar ambos defloculantes.

•*Agujeros de alfiler en la superficie de la pieza de la cara en contacto con el molde*

La barbotina tiene una fluidez insuficiente y/o contiene burbujas de aire. El agua y/o los defloculantes deben aumentarse.

La barbotina no cae al molde con suficiente fuerza para "mojar" las paredes del mismo. Habría que revolverla con fuerza.

•*Marcas horizontales en la pieza*

La barbotina se vierte en el molde muy despacio o con pausas. Hay que llenar el molde deprisa.

•*La pieza es frágil en dureza de cuero y durante las diferentes etapas del secado*

La tixotropía es demasiado baja de manera que la pieza no llega a compactar adecuadamente o la fuerza del secado es tan grande que provoca fragilidad en la pieza. En ambos casos debería disminuirse el silicato de sodio.

•*Brillos o manchas que provocan decoloración en la pieza acabada*

La decoloración se debe a un área de diferente composición que se produce cuando la barbotina entra en contacto con la pared del molde. En ese momento, si el molde es muy poroso, una fina capa de barbotina se separa en arcilla y materia no arcillosa. La presión de la barbotina al golpear la pared puede reducirse vertiendo la barbotina de alguna forma más indirecta.

Bibliografía

- 1.- Pastas cerámicas, Enrique Gippini
- 2.- The Potter's Dictionary, F. y J. Hamer. Fifth edition, A&C Black y University of Pennsylvania Press, 2012