

EVALUACIÓN DE DOS PROCESOS ALTERNATIVOS DE MOLIENDA DE UN ESMALTE CERÁMICO UTILIZADO EN VAJILLAS

Díaz, C.C.H.; Coelho A.C.V.

Laboratório de Matérias Primas Particuladas e Sólidos Não-Metálicos LMPSol-USP

Av. Professor Luciano Gualberto, travessa 3, 380 – 05508-900 São Paulo, SP

cricahe@usp.br

Resumen

El presente trabajo evalúa el proceso actual de molienda de un esmalte cerámico, el cual se procesa por medio de un molino rotatorio en 15 horas aproximadamente, teniendo en cuenta que la mayoría de los componentes son premolidos y arcillas y que su porcentaje de frita es relativamente bajo. Lo que se pretende con este trabajo es disminuir el tiempo de molienda. Se evaluaron dos métodos alternativos de molienda para dicho esmalte. El primer método, es un ensayo a nivel semi-industrial en un molino rotatorio, cambiando los tamaños y las cantidades de cuerpos moledores. El segundo método, es un ensayo a nivel industrial, donde la primera parte es realizada en un molino rotatorio y la otra parte en un molino de agitación (stirred mill). Con el fin de tener un adecuado seguimiento a cada molienda, se obtuvieron muestras cada dos horas y se le realizó análisis DTP láser, residuo sobre la malla US Standard No. 325 (44µm) y medida de la densidad.

Palabras claves: Esmaltes cerámicos, molienda, DTP (Distribución de tamaño de partícula).

INTRODUCCIÓN

Un esmalte es un recubrimiento cerámico madurado al estado vidrioso sobre un artículo cerámico o metálico (1). Es decir, un esmalte es vidrio sobre un sustrato, por esta razón vidrio y esmalte son términos íntimamente relacionados y se pueden utilizar las propiedades de los vidrios para describir un esmalte (2) (3).

Las materias primas de un esmalte pueden estar en forma de polvo o puestas en suspensión que posteriormente será aplicada por diferentes técnicas (pulverizado, inmersión, cortina, etc.) y fundido sobre un soporte cerámico o metálico. (4).

Los esmaltes utilizados en la industria cerámica que contienen cierto porcentaje de frita en su composición, necesitan un agente suspensionante, que además ayuda a la plasticidad, ya que cuando se está fabricando la suspensión, las fritas tienden a precipitarse debido a su naturaleza vítrea. Pero estos agentes suspensionantes, que generalmente son arcillas, necesitan de los aditivos para cumplir adecuadamente su papel en la suspensión, permitiendo trabajar

a la mayor concentración de sólidos posible.

Todo lo anterior implica cambios en las propiedades reológicas de las suspensiones, lo que afecta el tiempo de la molienda; además se debe tener en cuenta que la frita es un componente tenaz y difícil de moler (vidrio) y por consiguiente un esmalte con mayor porcentaje de ésta, se demorará un tiempo considerable en la molienda.

Las variables más importantes en el procesamiento de un esmalte son: tipos de materias primas, la cantidad de sólidos secos de la suspensión, la densidad de la suspensión, el tamaño y cantidad de los medios moledores, velocidad de rotación del molino y tiempo de molienda. La correcta combinación de las anteriores variables favorece a que el procesamiento de un esmalte se realice de la forma más eficiente, buscando un equilibrio entre las propiedades del esmalte y el consumo energético.

La molienda no será efectiva si en el interior del molino hay un líquido de baja densidad y alta fluidez, tanto por reducción del espacio efectivo como

por el efecto de colchón que ejercería el agua, por esta razón la densidad debe ser lo suficientemente alta para asegurar una óptima molienda (5). Por otra parte se ha de tener en cuenta la fluidez del líquido resultante ya que debe mantener una consistencia de masa líquida, pero sin tener una viscosidad excesiva, para evitar que absorba energía y que se pegue a las paredes del molino, bloqueando una parte de las bolas.

Una alimentación o un producto grueso requieren predominancia de bolas de gran diámetro y a la inversa, alimentación o producto fino requieren bolas más pequeñas. Cuanto más pequeño el tamaño del medio de molienda, más eficiente y económica es la operación de molienda, debido a que un medio mas pequeño provee una mayor área superficial. Por consiguiente, la clave es el empaquetamiento del lecho de bolas y su entrega de energía. Al seleccionar el tamaño mínimo de bola, debe considerarse que las bolas pequeñas se desgastan más rápido (6).

Teniendo en cuenta que la primera parte de la molienda se produce por impactos, si las bolas son pequeñas los impactos serán de escasa

contundencia, pero se llegan a tamaños más finos en el producto (7), lo que es determinante en su comportamiento reológico, debido a una mayor influencia de las propiedades superficiales, que afectan la aglomeración, dispersión, así como el esfuerzo de cedencia de las suspensiones (8). Si se escogen todas de gran tamaño quedará mucho espacio entre cada bola y la molienda tampoco será efectiva. El tamaño recomendado de los cuerpos moledores es 50% con un tamaño intermedio, 25% con un tamaño superior y otro 25% con un tamaño inferior. En el interior del molino debe quedar espacio suficiente que permita una buena molienda, teniendo en cuenta que para molienda en húmedo el molino está lleno alrededor del 80% debido a la carga del material (20% - 30%), bolas (30%) y agua (25%) (9).

El objetivo de este trabajo es evaluar dos procesos alternativos de molienda para un esmalte, variando por un lado la cantidad y tamaño de los cuerpos moledores. Por otra parte, variando el tipo de molino usado. La posible aplicación o no de esos procesos alternativos de molienda por parte de la empresa, estará condicionada a la logística implementada en la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

El esmalte utilizado en este estudio tiene varios componentes entre los cuales se encuentran: arenas, arcillas, feldespato, dolomita, wollastonita y frita (sólo el 7%). Los insumos o materias primas para fabricar el esmalte son procesados en la misma empresa.

Los equipos utilizados en este trabajo fueron: Analizador de DTP láser MALVERN 45000, para conocer la distribución del tamaño de partículas de cada una de las suspensiones. Picnómetro y Malla US Standard No 325, para medir la densidad y posteriormente el residuo sobre esa malla. Molino rotatorio Sacmi de 630 litros y Molino rotatorio Sacmi de 8600 litros, ambos con forro de sílex y con bolas de alúmina sinterizada como medios moledores y Molino de agitación marca Netzsch LME – 100K de 150 litros, este molino tiene un eje agitador provisto de varios discos de molienda recubiertos de poliuretano, los medios moledores son perlas de Silicato de Zirconio, con un tamaño variable de 1,2 a 1,7 mm. La metodología usada en este trabajo fue la siguiente.

En la primera parte, se utilizó el molino semindustrial con capacidad de 630 Litros, y se estudió la molienda con tres distribuciones de tamaño de bolas (DTB).

La primera distribución de tamaño de bolas (DTB1) corresponde a una distribución de 5 tamaños (1.75", 1.5", 1.25", 1" y 0.75") y es similar a la distribución utilizada en el molino industrial de 8600 Litros. La DTB2, corresponde a una distribución de 4 tamaños (1.5", 1.25", 1" y 0.75") y finalmente la DTB3 corresponde a una distribución de 3 tamaños (1.25", 1" y 0.75"). En la segunda parte del trabajo, se realizó otra molienda del esmalte, una parte fue en el molino rotatorio a nivel industrial y otra parte en el molino de agitación. Con el fin de tener un adecuado seguimiento de cada molienda, se obtuvieron muestras cada dos horas y se le realizó análisis DTP láser, residuo +325 (porcentaje de sólidos secos en un volumen determinado) y medida de la densidad. Para las muestras que cumplieron los parámetros de entrega (residuo +325 < 1% y flotabilidad por hidrómetro), fue realizada una prueba de inspección en quema.

Tabla 1. Algunos parámetros de molienda para las distribuciones de bola utilizadas. (F.E.: Factor de empaquetamiento o de llenado de las bolas)

DTB 1 (5 tamaños)		DTB 2 (4 tamaños)		DTB 3 (3 tamaños)	
Peso bolas: 751Kg	Volumen bolas: 208.6L (33.1% del molino)	Peso bolas: 610Kg	Volumen bolas: 169.4L (26.9% del molino)	Peso bolas: 667Kg	Volumen bolas: 185.3L (29.4% del molino)
F.E. 0.604	Volumen aire entre bolas: 137 L (21.7% del molino)	F.E. 0.600	Volumen aire entre bolas: 113 L (17.9% del molino)	F.E. 0.586	Volumen aire entre bolas: 131 L (20.8% del molino)
Volumen aparente de las bolas: 54.8% del molino		Volumen aparente de las bolas: 44.8% del molino		Volumen aparente de las bolas: 50.2 % del molino	
Tiempo de molienda: 15 horas		Tiempo de molienda: 11.5 horas		Tiempo de molienda: 7 horas	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 presenta varios parámetros de molienda para las diferentes distribuciones de bola utilizadas. En esta tabla se puede ver que la molienda que demoró menos tiempo, fue la molienda con DTB3, es decir, con sólo 3 tamaños. La figura 1, muestra la evolución de la molienda a través del residuo +325 para las diferentes distribuciones de bola utilizadas.

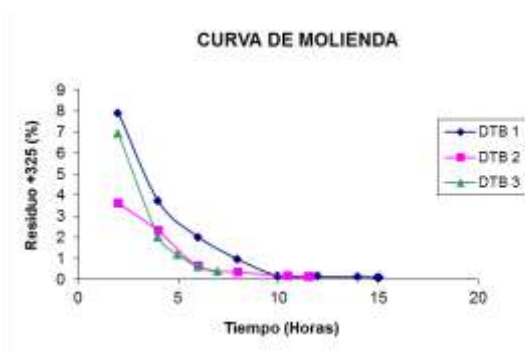


Figura 1. Evolución de la molienda a través del residuo +325, para las diferentes distribuciones de bola utilizadas

La curva de molienda tiene básicamente dos zonas bien diferenciadas, la primera parte de la molienda es rápida y se debe a los impactos de las bolas grandes con el material a moler. La segunda parte de la molienda es más lenta y se da cuando ya ha transcurrido cierto tiempo y el mecanismo de disminución del tamaño de partícula ya no es por fractura, sino por abrasión y rozamiento de las bolas finas con el material a moler. La distribución de bolas para moler un material debe tener en cuenta cual es la DTP final que se requiere, con base a esto se puede variar la cantidad de bolas gruesas, intermedias o finas, que favorezcan determinada zona de la curva de molienda y ésta se complete a un menor tiempo. Pero se debe tener

cuidado de no cambiar la DTP al aumentar o disminuir la cantidad de bolas de diferentes tamaños.

En la figura 1 también se puede observar que la curva de molienda que más se parece a la que se realiza en la planta (DTB 1), es la molienda que se realizó con la DTB 3, ésta tiene una pendiente más pronunciada, lo que significa que la molienda es más rápida en esa primera parte. Aunque con la DTB 2, se redujo el tiempo de molienda de 15 a 11 horas, no es una disminución tan significativa. Como se puede observar en la figura 1, la curva con DBT 2 tiene una menor pendiente en la parte inicial. Cabe mencionar que todas las muestras de las diferentes moliendas, cumplieron con los parámetros: Hidrómetro, residuo y quema. Es decir, aunque el tiempo de molienda varía, las especificaciones finales de los esmaltes cumplen los parámetros establecidos.

En las figuras 2, 3 y 4 se muestran los DTP láser de las diferentes moliendas para las respectivas distribuciones de bolas utilizadas. No se representan los resultados de forma matemática, con las funciones de Gates Gaudin Schuhmann o de Rosin-Rammler, ya que estas funciones lo que hacen es

tratar de linealizar la gráfica, lo anterior es muy perjudicial a la hora de analizar el tamaño de las partículas de un esmalte, ya que las partículas finas o coloidales tienen gran influencia sobre las propiedades reológicas de los esmaltes y con estos modelos lo que se hace es una generalización que no permite conocer con certeza el tamaño de las partículas más finas.

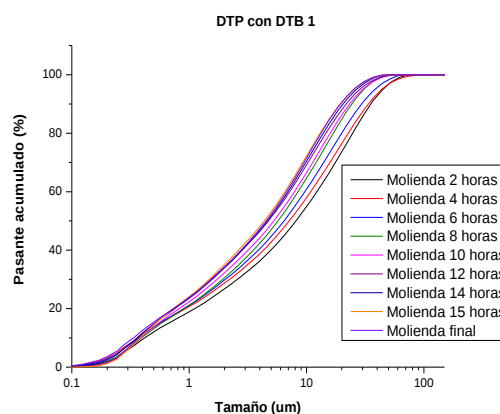


Figura 2. DTP obtenidas con la distribución de bola 1

En la figura 2 se puede observar que la molienda del esmalte con la DTB 1 en las primeras 8 horas se da en forma progresiva, pues las curvas de las moliendas se van corriendo hacia la izquierda en rangos considerables. Después de las 8 horas de molienda, los desplazamientos de las curvas se hacen menos notorios, lo que confirma que la molienda es rápida en la primera parte, pero a medida que pasa el tiempo, la molienda de las partículas

finas se hace muy lenta debido a la distribución de bola utilizada.

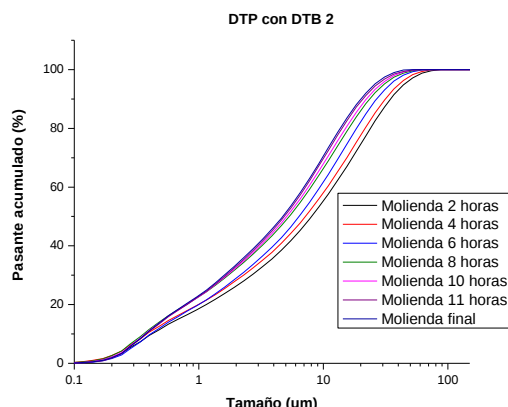


Figura 3. DTP obtenidas con la distribución de bola 2

En la figura 3 se puede observar que la molienda del esmalte con la DTB 2 es muy similar a la obtenida con la DTB 1, las primeras 8 horas se da en forma progresiva, pero después de este tiempo la molienda de las partículas finas se hace muy lenta debido a la distribución de bola utilizada.

En la figura 4 se puede observar que la molienda del esmalte con la DTB 3 es considerablemente diferente a las obtenidas con la DTB 1 y DTB 2, ya que se da una molienda muy rápida al inicio y debido a la cantidad de bolas de menor tamaño, la molienda de las partículas finas se hace a una mayor velocidad que en los casos anteriores. Con lo que se alcanzan las

propiedades del esmalte en un menor tiempo de procesamiento.

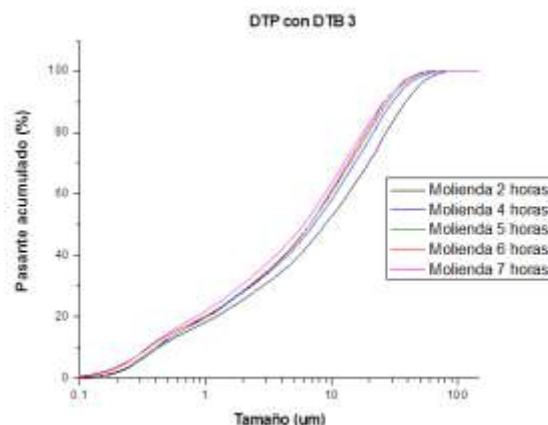


Figura 4. DTP obtenidas con la distribución de bola 3

La segunda parte del trabajo fue el ensayo a nivel industrial. Lo primero que se realizó fue una molienda del esmalte en el molino de 8600 litros, para corroborar que los datos, obtenidos escala piloto (molino de 630 litros) con una distribución de bola normal (DTB1), efectivamente concordaban.

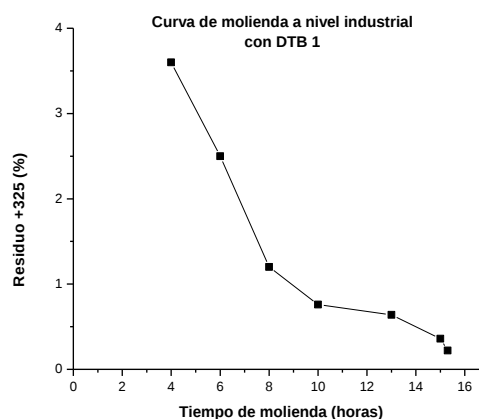


Figura 5. Curva de molienda a nivel industrial con DBT 1

Esta molienda duró 15 horas y cumplió con las especificaciones mencionadas anteriormente, figura 5. Con lo que se comprueba que la molienda a escala piloto representa lo que pasa a nivel industrial.

Se debe tener en cuenta que en el molino a nivel industrial se procesan varias referencias de esmaltes, algunas en cantidad similar al esmalte estudiado en este trabajo. Por esta razón no se puede cambiar toda la distribución de bola del molino por la distribución que dio mejor resultado a escala piloto, que fue la DTB 3. Si se realizan estos cambios, la molienda de las otras referencias de esmaltes podría variar. Teniendo en cuenta lo anterior se trabajó con la DTB normal del molino (DTB 1) por un período determinado, el cual se decidió con base a los resultados obtenidos a escala piloto y posteriormente se procesó por el molino de agitación o de perlas (stirred mill).

En la figura 6 se puede observar que el material con un tiempo de molienda de 6 horas en un molino rotatorio y posteriormente procesado por el molino de agitación, aprovecha las ventajas de cada uno de los molinos utilizados, porque la primera parte de

la molienda es rápida en un molino rotatorio, posteriormente entre las 6 y las 8 horas se vuelve muy lenta porque el mecanismo de molienda de las partículas ya no es por impacto sino por abrasión. Ahí es donde el molino de agitación juega un papel importante, en la parte de la molienda de las partículas finas y en la figura 6, se puede observar el gran cambio o disminución del tamaño de partícula que puede lograr el molino de agitación.

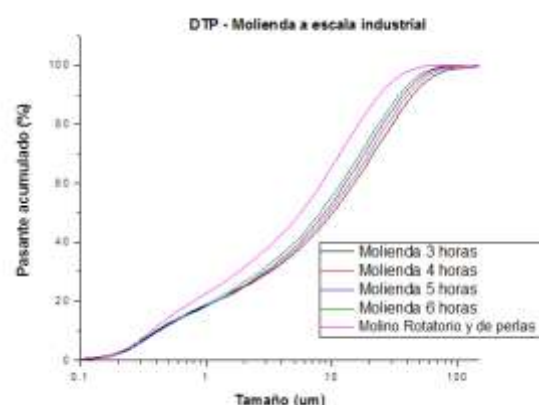


Figura 6. Curva de molienda a nivel industrial con molino rotatorio y de agitación



Figura 7. DTP de las diferentes moliendas realizadas

En la figura 7 se puede observar que para los diferentes métodos de molienda empleados en este trabajo, la fracción coloidal, partículas aproximadamente con tamaño de 2 μm , permanece constante hasta casi el 30% del acumulado pasante. La curva con DTB1 Y DTB2 tienen una mayor pendiente, esto es una distribución estrecha, o sea que las partículas tienen un tamaño similar o con pocas variaciones. La pendiente de DTB3 y la del molino rotatorio y de perlas son menores, o sea tiene una distribución de tamaños más amplia, lo que favorece a una mejor organización de las partículas entre ellas. Una posible razón por la cual el esmalte fue procesado con un menor tiempo con la DTB3 y con el molino rotatorio y de perlas, es que los tamaños de partículas alcanzados mantienen una cantidad de partículas coloidales considerables y además tienen varios tamaños de partículas, que pueden ser mejor empaquetadas unas entre otras.

Para todas las moliendas se realizaron medidas de la densidad cada dos horas, estos valores variaban entre 1740 g/l a 1760 g/l y no se observó ninguna relación entre las variaciones y el tiempo de molienda.

El equipo de mantenimiento de la empresa ha realizado estudios energéticos con analizadores de redes sobre los molinos. Gracias a esos estudios se sabe que el molino rotatorio utilizado a nivel industrial consume 31 kW y el molino de agitación 35.5 kW, éste molino trabaja de manera continua y demora aproximadamente 2 horas en procesar el material proveniente del molino rotatorio.

Con el anterior trabajo se logró reducir el consumo energético de 465 kWh a 257 kWh para cada lote y en la planta se realizan aproximadamente 16 lotes mensuales, lo que equivaldría un ahorro energético de 3328 kWh mensual, si este método fuera implementado.

CONCLUSIONES

A escala piloto se logró establecer una distribución de bola de tres tamaños capaz de disminuir el tiempo de molienda del esmalte de 15 a 7 horas. Esto representa una disminución del 53% del tiempo de molienda. A nivel industrial se logró reducir el tiempo de molienda de 15 a 8 horas, por medio de la molienda en un molino rotatorio y posteriormente en un molino de

agitación (stirred mill). Teniendo en cuenta que no se podía cambiar toda la DTB, porque posiblemente cambiaría las características de las otras referencias de esmaltes que se procesan en este mismo molino rotatorio.

De este esmalte se procesan aproximadamente 100 toneladas por mes. Con los ensayos a nivel industrial se logró reducir 47 % del tiempo de molienda lo que implica un ahorro energético mensual de 3328 kWh. Además esta disminución en el tiempo del proceso, favorece a disminuir inventarios y permite tener un mejor tiempo de respuesta frente a los pedidos del cliente.

Las moliendas con DTB3 y con el molino rotatorio y el de agitación, tuvieron una disminución considerable en el tiempo de procesamiento, esto posiblemente se debe a una buena combinación entre la cantidad de partículas coloidales y una distribución amplia de varios tamaños de partícula, las cuales se acomodan mejor.

BIBLIOGRAFIA

- (1) PÉREZ, E. A. Apuntes de esmaltes y colores cerámicos. Castellón: Instituto de Formación Profesional nº 2 de Castellón, Cerámica Industrial, 1991, p. 14 – 16.
- (2) REED, J.S.; Principles of Ceramics Processing, second edition. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1995, p. 612.
- (3) CARTER, C.B.; NORTON M.G. Ceramic materials science and engineering. New York: Springer, 2007, p. 379 - 396.
- (4) BORMANS, P. Ceramics are more than clay alone. Cambridge: Cambridge International Science Publishing, 2004, p. 178 – 200.
- (5) FUNK, J.E.; DINGER, D.R. Predictive process control of crowded particulate suspensions applied to ceramic manufacturing. Norwell: Kluwer academic publishers, 1994, p. 373 – 394.
- (6) BOUSO, J.L.; Rocas y Minerales, 392, 2004, p. 40-52.

(7) CORREA, A. M.; Estudio de los procesos de clasificación y molienda como métodos de optimización de la producción de materiales, 2009, 175p. Tesis (Maestría en Ingeniería Química) - Grupo Procesos Fisicoquímicos Aplicados, Universidad de Antioquia, Medellín.

(8) YUE J.; KLEIN B.; Influence of rheology on the performance of horizontal stirred mills, Minerals Engineering 17, 2004, p. 1169 – 1177.

(9) FERRARI, R.; Hand book for ball mil grinding. Cannara: Faenza 1985, p. 65 – 80.

EVALUATION OF TWO ALTERNATIVE GRINDING METHODS OF A GLAZE USED IN TABLEWARE

ABSTRACT

This paper evaluate the current process of grinding a glaze, this is processed in a ball mill in 15 hours approximately, taking into account that the most of raw materials are pre-milling materials and clays; moreover, the content of frit is relatively low (7%). The aim of paper is decrease the grinding time. It was evaluated two different methods to reach that. The first one is a pilot scale test in a ball mill, changing the size and quantities of balls. The second method is an industrial test; the first part was done in a ball mill and the other part in a stirred mill. With the purpose of have a proper follow of each grinding, it were taken samples in periods of two hours and were done particle size laser analyses, residue above US Standard Mesh No. 325 (44µm) and measurement of density.

Keywords: Glaze, grinding, Particle size analyses (PSA)