

DISEÑO DE UNA PASTA CERÁMICA PARA AISLADORES DE PORCELANA ELÉCTRICA, USANDO UNA ARCILLA DISPERSADA EN UN MOLINO DE BOLAS

González, A. M. S; Toffoli, S. M.

Laboratório de matérias-primas particuladas e sólidos não metálicos LMPSol-USP

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

adrianagonzalez@usp.br

Resumen

En este trabajo se busca definir las condiciones más adecuadas para realizar la dispersión de una arcilla (a la cual nos referiremos como arcilla SF), usada para la fabricación de porcelana eléctrica. El proceso inicial fue la dispersión de la arcilla en suspensión y clasificación por hidrociclón a malla 325 Ty (44µm), con el cual se obtiene un residuo de aproximadamente el 22% del material procesado. Se encontró que con un segundo proceso como la dispersión de la arcilla SF en molino de bolas y tamizado a malla 200 Ty (74 µm), se genera un desperdicio que solo representa el 1%. Fueron realizadas pruebas a nivel de laboratorio y un ensayo semi-industrial en el cual fue evaluada la pasta conteniendo la arcilla molida y tamizada, midiendo principalmente contracción y resistencia mecánica. Mejores resultados fueron obtenidos, además de menores costos en el procesamiento y en la disposición de residuos, convirtiendo al último proceso en un gran atractivo para la empresa.

Palabras claves: *Porcelana eléctrica, dispersión, hidrociclón, molino de bolas, tamizado.*

1. INTRODUCCIÓN

La fabricación de aisladores de porcelana eléctrica para la distribución de energía, es un proceso elaborado que requiere una constante vigilancia de todos los parámetros y variables implicadas, teniendo en cuenta que el producto final debe en lo posible estar por encima de los valores de aceptación que estipulan las diferentes normas de calidad que rigen la elaboración de un aislador eléctrico.

Un aislador eléctrico es una pieza o estructura de material aislante, que tiene por objetivo dar soporte rígido o flexible a conductores eléctricos o equipos, y aislar los mismos de la tierra (1). Todo aislador además de la cualidad fundamental de ser mal conductor de la electricidad, debe tener también un buen desempeño desde el punto de vista mecánico y químico. De esta manera, la elección de los materiales, se hace de acuerdo con el conocimiento de sus propiedades.

La composición de la porcelana eléctrica se basa en una mezcla de feldespato, cuarzo y caolín. La mezcla de estos productos se realiza en proporciones que se establecen por diferentes métodos, el más común es el de diagrama de composición, Figura 1.

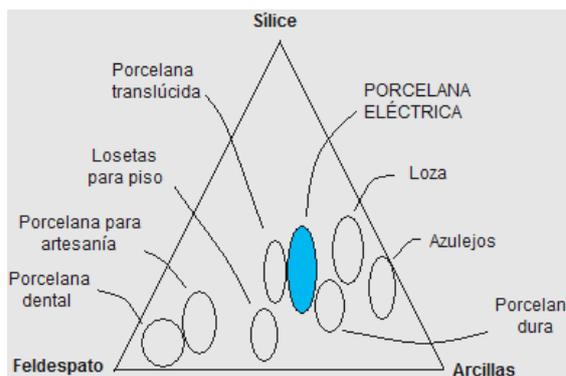


FIGURA 1. Diagrama de composición de fases sílice-arcilla-feldespato (2).

El *feldespato* por ejemplo, se emplea como fundente pues favorece la solubilización de las materias primas y hace que se formen fases líquidas alrededor de las partículas sólidas, a temperaturas menores. El *cuarzo* por su parte, reduce la plasticidad y aumenta la fusibilidad de la mezcla, mientras que el *caolín* permite, en la elaboración de la porcelana, la obtención de su coloración blanca.

En la industria de fabricación de la porcelana eléctrica, las arcillas que son usadas como materias prima normalmente son dispersadas en suspensión de manera individual, y luego de pasar por procesos como el hidrociclado y ferro filtrado, se ensamblan con los demás materiales mencionados anteriormente, y se obtiene la pasta. Con este trabajo lo que se pretende entonces es la implementación de un sistema alternativo para la dispersión para la arcilla SF,

como lo es la dispersión en molino de bolas, debido a que de las arcillas empleadas, ésta es la que presenta mayor porcentaje de residuo en el hidrociclón, viéndose desfavorecida la economía de la empresa y el medio ambiente.

Gracias a un estudio anterior, este residuo que se entiende como aquel material o mezcla de materiales que se considera que no son convenientes incluirlos en el proceso ya sea por su granulometría o por su composición, fue caracterizado y como resultado se encontró que contenía un gran porcentaje de arcilla y arena que a causa de la dispersión en suspensión no se alcanzan a desagrupar completamente todos los aglomerados presentes, pero que con un tratamiento adecuado pueden ser de gran utilidad y convertirse en parte integral de la pasta de porcelana eléctrica.

Es entonces en este punto donde se concentra este trabajo, pues con el proceso actual se está tomando como rechazo un material que es valioso. El alcance del trabajo va desde la preparación de la pasta hasta el producto terminado, haciendo pruebas a escala de laboratorio y a escala semi-industrial, finalizando con las pruebas

de chequeo que aprueban o desaprueban el uso de las piezas. Esto con el fin de hacer un estudio comparativo entre los resultados obtenidos por el método actual de dispersión en suspensión e hidrociclonado y el método propuesto de dispersión en molino de bolas, para determinar si es conveniente hacer uso de este último proceso en la preparación de la arcilla SF.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1 Dispersión de la arcilla SF

Fue realizada la dispersión de la arcilla SF por el método convencional y por el método propuesto. Para el proceso actual (*dispersión en suspensión*) fue tomada en cuenta la carga del material, la velocidad de rotación de las aspas, y el tiempo de dispersión. Posteriormente se realizó el hidrociclonado sobre malla *325 Ty (44 μ m)*. Para el proceso alterno (*dispersión en molino de bolas*) se tuvo en cuenta la carga de los cuerpos moledores, la carga del material, además de la velocidad de rotación del molino y el tiempo de molienda. Posteriormente se realizó el tamizado sobre malla *200 Ty (74 μ m)*.

Fueron llevadas a cabo las pruebas a nivel de laboratorio, donde fueron medidas variables como: *Distribución*

de tamaño de partícula (DTP) y porcentaje de residuo sobre mallas 325 Ty (44µm) y 200 Ty (74µm).

2.2 Pastas ensambladas

Las pastas fueron ensambladas con las arcillas preparadas por los diferentes métodos de dispersión. Luego, para obtener esta pasta en estado plástico se usó una filtro prensa con la cual se logra retirar la mayor cantidad de agua y así obtener una "galleta" que contiene mayor cantidad de sólidos y con la cual, luego de ser desaireada, se realizan las siguientes pruebas: Contracciones de rodajas y Módulo de ruptura (MOR) en crudo y en quema con y sin esmalte.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Arcillas dispersadas

Distribución de tamaño de partícula (DTP)

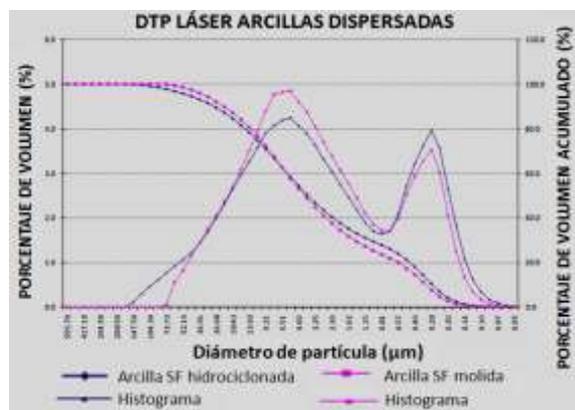


FIGURA 2. Distribución de tamaño de partícula para la arcilla SF hidrociclada y la arcilla SF molida.

TABLA 1. Intervalos de tamaños de las distribuciones de la arcilla SF hidrociclada y de la arcilla SF molida.

CONDICIÓN DE LA ARCILLA SF	GRUESOS	MEDIOS	FINOS
	Fracción > 9.21µm	Fracción entre 9.21 - 0.96 µm	Fracción < 0.96µm
Hidrociclada	29.2	41.5	29.3
Molida	27.8	46.8	25.4

En la figura 2 se puede ver cómo la curva de la arcilla SF molida y tamizada en comparación con la arcilla SF dispersada e hidrociclada, tiene menos porcentaje de partículas en los tamaños finos (menores a 0.96 µm).

Lo anterior, también se puede ver representado en los histogramas donde el pico más alto de la curva correspondiente a la arcilla SF molida, es más elevado en la zona de los tamaños gruesos, concluyendo de esta manera que la arcilla tratada en el molino tiene una granulometría mayor.

Esto era de esperarse pues se pasa de un hidrociclado con un corte de malla 325 Ty (44µm) a un tamizado con malla 200 Ty (74µm). Sin embargo ambas pastas tiene algo en común y es que alrededor del 62% de las partículas son menores a 6.51 µm.

A continuación, en la tabla 2 se ilustran los resultados de algunas pruebas.

TABLA 2. Variables medidas a la arcilla SF hidrociclada y a la arcilla SF molida.

VARIABLE	ARCILLA SF HIDROCIKLONADA	ARCILLA SF MOLIDA
DENSIDAD (Peso/Litro)	1193	1136
VISCOSIDAD (cp)	1556	1100

La viscosidad de la pulpa aumenta con la fineza de las partículas, por lo tanto era de esperarse que la arcilla molida tuviera una viscosidad menor por ser más gruesa, lo que fue comprobado con el análisis de la *Distribución de tamaño de partícula (DTP)*.

Porcentaje de residuo sobre malla 325 Ty (44µm) y 200 Ty (74µm).

En la tabla 3 se presentan los resultados de los porcentajes de residuo medidos.

TABLA 3. Porcentajes de residuo de la arcilla hidrociclada y molida.

VARIABLE	ARCILLA SF HIDROCIKLONADA	ARCILLA SF MOLIDA
RESIDUO SOBRE MALLA 325 Ty (%)	15.4	3.2
RESIDUO SOBRE MALLA 200 Ty (%)	9.6	0.2

Sobre los cuales se pone especial atención pues como se dijo al inicio, una de las ideas principales de este proyecto es generar, gracias a la molienda de la arcilla SF y al tamizado a corte de malla 200 Ty, una menor cantidad de residuo, eliminando de esta manera la producción de lodos

que tantas desventajas traen desde el punto de vista económico y ambiental.

Analizando entonces dichos resultados, para las arcillas procesadas por los distintos métodos y tamizadas a los diferentes cortes de malla, se observa cómo se logra de manera satisfactoria uno de los objetivos propuestos, ya que la diferencia entre los valores de los residuos generados es bastante significativa, favoreciendo el proceso de molienda.

3.2 Pastas ensambladas

Contracción de rodajas



FIGURA 3. Factores de contracción para la pasta ensamblada con la arcilla SF hidrociclada y molida.

Los valores de la figura 3 obtenidos para las contracciones, son un poco mayores para la pasta con la arcilla SF molida. La pequeña diferencia se

puede deber probablemente al cambio en la formulación en la cual se aumenta el porcentaje de la arcilla SF y debido a que estando molida y tamizada a malla 200 Ty contiene más arena, se disminuye un poco el porcentaje de la arena normal. Sin embargo, las diferencias no son muy grandes y ambas están dentro de los rangos normales.

Módulo de ruptura (MOR)

Por ser un poco más gruesa la pasta con la arcilla SF molida y tamizada, sería de esperarse que esta reporte valores de resistencia mecánica más bajos que con la arcilla SF hidrociclada. Sin embargo, su DTP aparentemente no afecta la resistencia mecánica de la pasta pues los resultados que se reportan en la figura 4, son de hecho un poco superiores.

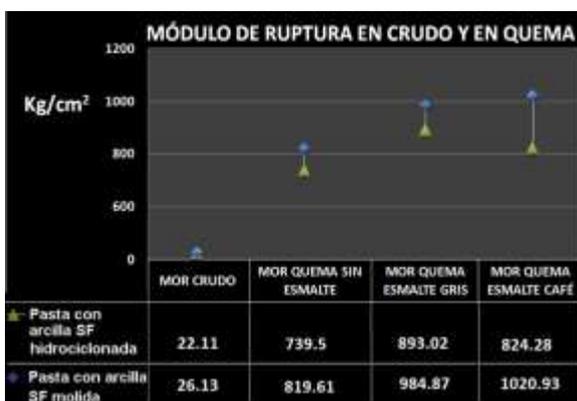


FIGURA 4. Módulo de ruptura en crudo y en quema (con y sin esmalte), para las pastas ensambladas con la arcilla SF.

Durante la cocción, el esmalte se convierte en parte integral de la porcelana mediante un entrelazamiento molecular; de esta manera el esmalte incrementa los parámetros mecánicos de toda la pieza.

Por lo tanto, los valores bajos en MOR quema con esmalte generalmente se atribuyen al hecho de que no haya un acople satisfactorio entre la porcelana y el esmalte. No obstante, al tener en cuenta que en este caso la pasta fue desaireada por medios manuales, estos valores se pueden atribuir a la posible presencia de aire atrapado (poros) en las muestras.

Densidad aparente y porosidad

TABLA 4. Densidad aparente y porosidad de las pastas ensambladas con la arcilla SF.

	PASTA CON SF HIDROCLONADA	PASTA CON SF MOLIDA
DENSIDAD APARENTE Promedio	2.32	2.37
POROSIDAD	Negativa	Negativa

Es posible que la pasta con la arcilla SF molida y tamizada requiera de menor temperatura en el horno y por eso la densidad aparente fue más alta.

En este aspecto se debe tener cuidado porque el exceso de temperatura puede causar que los poros se unan y más grandes, lo que sería desfavorable para la resistencia mecánica de las piezas. El resultado de la porosidad fue negativo para ambas pastas (Tabla 4).

3.3 Prueba semi-industrial

Una vez que se han ajustado todas las variables en las pruebas a escala de laboratorio y los resultados obtenidos han sido satisfactorios, se procede entonces a realizar las pruebas a escala semi-industrial.

Proceso de elaboración del aislador eléctrico

Se conformaron las piezas teniendo un adecuado control sobre las variables que influyen en cada etapa del procesamiento cerámico de modo que permitan obtener piezas con propiedades adecuadas garantizando la reproducibilidad de las mismas.

Para el conformado de un aislador eléctrico, después de la preparación de la pasta, se siguen los siguientes pasos:

-Ferro filtrado: con el fin de retirar de la pasta cantidades importantes de minerales magnéticos.

-Filtro prensado de la pasta: para retirar la mayor cantidad de agua posible.

-Amasado: con la ayuda de una extrusora, se desairea la pasta y ésta sale en forma de rollo, del cual se toman las muestras para hacer los análisis de contracción.

-Conformado: proceso mediante el cual se logra dar la forma adecuada a la pieza.

-Secado de las piezas, Esmaltado y Cocción

A continuación se presenta el seguimiento de las propiedades de la pasta ensamblada con la arcilla SF dispersada e hidrociclada y de la pasta ensamblada con la arcilla SF molida y tamizada, durante el ensayo a nivel semi-industrial.

Contracción de rodajas



FIGURA 5. Contracciones longitudinales de las pastas.

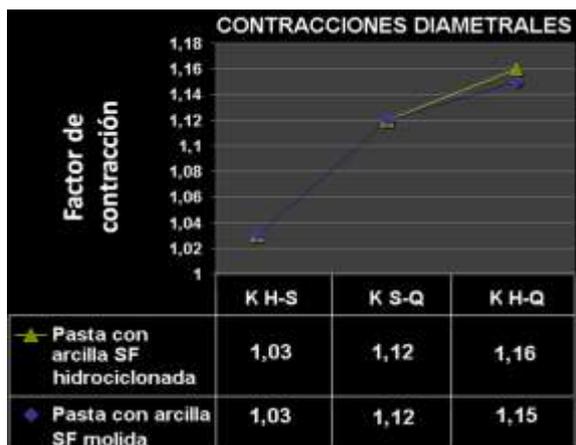


FIGURA 6. Contrações diametrales de las pastas.

En las tablas 5 y 6, se observa que tanto para las contrações longitudinales como para las contrações diametrales se presentaron valores muy similares, sin embargo se ve que algunos factores de contração son menores para la pasta con arcilla SF molida, esto debido a su granulometría más gruesa. Así, estos resultados confirman que la distribución del tamaño de partículas de la arcilla SF molida, influye directamente sobre los factores de contração.

Rotura en crudo

El seguimiento a la rotura en crudo se hace con el fin de verificar que las curvas de secado usadas son las adecuadas para las pastas ensambladas con la arcilla SF procesada por los diferentes métodos.

TABLA 5. Porcentaje de rotura en crudo.

	PASTA CON SF HIDROCIKLONADA	PASTA CON SF MOLIDA
Piezas totales	144	144
Piezas buenas	130	143
Piezas defectuosas	14	1
ROTURA CRUDO (%)	9.72	0.69

Estos resultados demuestran la gran confiabilidad que se puede tener sobre la pasta ensamblada con la arcilla SF molida y tamizada, pues como se puede ver en la tabla 5, los porcentajes de rotura en crudo no superan la reportada para la pasta ensamblada con arcilla SF dispersada e hidrociclada.

Se sigue entonces con el proceso de esmaltado de las piezas, el cual se lleva a cabo por inmersión de la misma en el esmalte durante un tiempo establecido según la viscosidad de este, para obtener así espesores fijos.

Posteriormente se llevan las piezas esmaltadas al horno para la cocción. Para esto es diseñada una curva de calentamiento adecuada para garantizar que todos los procesos físico-químicos que ocurren en el sistema se den de manera controlada

y se alcance la mayor densificación posible de las piezas.

Rotura en quema

El seguimiento a la rotura en quema tiene la misma finalidad anteriormente descrita para la rotura en crudo. Igualmente, de ser superados los porcentajes de rotura normales, es de reconsiderar la curva de cocción usada.

TABLA 6. Porcentaje de rotura en quema.

	PASTA CON SF HIDROCICLONADA	PASTA CON SF MOLIDA
Piezas totales	130	143
Piezas buenas	117	140
Piezas defectuosas	13	3
ROTURA QUEMA (%)	11.1	2.1

Como se puede ver en la tabla 6, los porcentajes de rotura después de quema para la pasta con la arcilla SF molida fueron significativamente menores, lo que nos corrobora que la granulometría resultante de este método de procesamiento aporta mejores resultados a las propiedades de la pasta. Debido a su buen comportamiento a lo largo del ensayo semi industrial, esta pasta es la que genera mayor volumen de producción

y por lo tanto presenta mayor productividad en la empresa.

Pruebas de chequeo

Se realizan las pruebas de rutina implementadas para el producto terminado las cuales tienen como finalidad garantizar la calidad de las piezas. Estas pruebas están regidas por diferentes normas que definen unos parámetros generales que se deben cumplir, para eliminar los productos que han resultado defectuosos o que no cumplen con sus especificaciones. Estas pruebas son: Resistencia mecánica de voladizo o cantiléver, ensayo mecánico de rotura, resistencia eléctrica transversal y prueba electromecánica.

En todas las pruebas, los aisladores de porcelana fabricados con la pasta ensamblada con la arcilla SF molida, presentaron valores medios superiores en comparación con la pasta que contenía la arcilla SF hidrociclada.

4. CONCLUSIONES

La arcilla SF en estudio que se trató con variación en la técnica de preparación, presentó algunas diferencias en los parámetros evaluados tales como tamaño de partícula, viscosidad y comportamiento

reológico. Sin embargo, estas diferencias no se vieron reflejadas en un detrimento de las características de la porcelana eléctrica para la fabricación de los aisladores.

Con el empleo de la dispersión en molino de bolas para la arcilla SF, se consigue un considerable ascenso en el aprovechamiento de esta materia prima ayudando con la preservación del medio ambiente. Además, el método implementado erradica los costos de remoción de lodos mejorando la economía de producción de la empresa.

Con este trabajo se concluye que debido a que la última técnica implementada proporcionó resultados muy positivos en cuanto a las pruebas de laboratorio y en escala semi-industrial, la dispersión de la arcilla SF en molino de bolas se convirtió en una variante tecnológica muy atractiva y probable a ser elegida por la compañía.

5. REFERENCIAS

(1) Norma Venezolana COVENIN. CODELECTRA. "Aisladores de porcelana". Definiciones. 1994. pp.1.

(2) ASKELAND, D. R. "Ciencia e ingeniería de materiales". Universidad de Missouri. Edición 3.

OTRAS REFERENCIAS CONSULTADAS

- AUSTIN, G. L; CONCHA, A. F. "Diseño y simulación de circuitos de molienda y clasificación". Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología. 2004. pp. 315-330.

- Recopilación de trabajos Alfred University, Alfred NY "PASTA". Tomo I. 2008. pp. 1, 132, 143.

- Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. "Tendencias en el conformado de suspensiones cerámicas". 2000. pp. 602.

- FASSBINDER, G. "A new ceramic body concept for high strength HV insulator". Lapp Insulators GmbH & Co.

- MORENO, R. S. "Estudio y preparación de barbotinas de cerámicas técnicas avanzadas oxídicas mediante el molino de atrición". Universidad Autónoma de Barcelona. 2007. pp. 61.

- JONES, J. T; BERARD, M .F. "Ceramics Industrial Processing and Testing". 1972. pp. 14.

- GUEVARA, E. R; FAJARDO, J; MARTÍNEZ, C; SANABRIA D; VIDAL, H. "Prototipado rápido por extrusión de una pasta cerámica en un proceso similar al usado en prototipado por FDM". 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. 2007. pp. 3.

- FORD, R. W. Pergamon Press. "Ceramics Drying". 2007. pp 30.

DESIGN OF A CERAMIC SLIP FOR ELECTRICAL PORCELAIN INSULATORS, USING CLAY DISPERSED IN A BALL MILL.

Abstract

This paper aims to define the most propitious conditions for obtaining the dispersion of clay (which we will refer as SF clay), used in the manufacture of electrical porcelain. The initial process was the dispersion of the clay in suspension and classification by hydrocyclone to 325 Ty (44µm) mesh, whereby is obtained a residue of approximately 22% of the processed material. It was found that, with a second process like the dispersion of the SF clay in a ball mill and sieved it to 200 Ty (74µm) mesh, the generated waste represents only the 1%. It were done tests in laboratory and a semi-industrial test in which was evaluated the slip containing the milled and sieved clay, measurement mainly contraction and mechanical strength. Best results were obtained, in addition to lower costs in the processing and disposal of the waste, making the last process very attractive to the company.

Key words: *Electrical porcelain, dispersion, hydrocyclone, milled, sieved.*