



Desarrollo de pasta de china vitrificada con materia prima nacional

David Ernesto Muñoz Molina

Informe de práctica presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Químico

Asesores:

Ing. Catalina Jiménez Sánchez

PhD. Jorge Ómar Gil Posada

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Química

Medellín, Antioquia, Colombia

2021

Cita	Muñoz Molina [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] D. E. Muñoz Molina, “Desarrollo de pasta de china vitrificada con materia prima nacional”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Química, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2021.



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: Jhon Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Lina María González Rodríguez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Contenido

Resumen	4
1. Introducción	4
2. Objetivos	5
3. Marco Teórico	6
4. Metodología	9
5. Análisis de resultados.....	13
6. Conclusiones	24
7. Referencias	24

Resumen

Se desarrolló una pasta de china vitrificada con material 100% nacional para la manufactura de artefactos sanitarios. Su reformulación sustituye el 4.5% de material importado utilizado actualmente en la planta por las arcillas ML y MA; asegurando los requerimientos y condiciones de los procesos establecidos por la planta, además de eliminar la dependencia y sobrecostos a la importación de materia prima. La inclusión de estas arcillas favorece principalmente la formación y desempeño en colaje de la pasta, obteniendo una pasta homogénea, formadora, estable, plástica, resistente y ligeramente tixotrópica. Esto logra se empleando el *solver* organizacional y evaluando el desempeño de las arcillas individualmente y su aporte en la recta de la pasta. Inicialmente, se evaluaron diferentes recetas a escala de laboratorio y sus resultados fueron comparados con la pasta unificada actual de la planta. Se selecciona la pasta PGN-12, como la alternativa para sustituir la pasta actual de producción con una reducción de costos del 10% y cumpliendo los compromisos de calidad, productividad y garantizando que el producto terminado cumpla con los estándares de calidad establecidos por planta SW – GR.

1. Introducción

Colcerámica S.A.S comenzó sus operaciones en el municipio de Girardota (Antioquia) en 1964, bajo el nombre de Manufacturas de Cerámica S.A, la cual se dedicó a la producción de artefactos sanitarios y baldosa cerámica. Desde este momento, la producción de porcelana sanitaria se realiza con la elaboración de pasta de china vitrificada (VC). Aunque en la manufactura de artefactos sanitarios prevalece la pasta (VC), recientemente la empresa ha incluido la tecnología de *Fine Fireclay* (FFC) buscando satisfacer las nuevas tendencias arquitectónicas complejas y de alto valor agregado. Actualmente, la compañía se ubica como la empresa latinoamericana más importante en la producción de cerámica sanitaria, según la reconocida Revista Italiana *Ceramic World Review*.

Debido a la coyuntura actual en el contexto global, sumado a los altos costos de importación y buscando la reducir la dependencia de material importado, se decide reformular la pasta VC con material 100% nacional. De esta manera, el desarrollo de este proyecto tiene implicaciones en la

mejora del proceso de elaboración de la pasta (VC) y su formulación busca incluir material nacional, de tal forma que se logre garantizar el continuo abastecimiento de la materia prima e independencia de material importado y además permita alcanzar una reducción de los costos de producción.

Esta formulación debe lograr que la pasta mejore las condiciones actuales de producción en su velocidad de formación y desempeño en colaje; buscando obtener una pasta homogénea, formadora, estable y que minimice la generación de defectos en las piezas producidas. Para esto es necesario comenzar con la caracterización de cada material según la mineralogía de su procedencia y por medio de la medición de sus propiedades físico-cerámicas, se encuentre la receta óptima y reología adecuada para su desempeño en colaje. Adicionalmente, se debe realizar una búsqueda bibliográfica sobre las características y propiedades de los aditivos y de las materias primas a emplear: arcillas, caolines, feldespatos, entre otros. Para la formulación de la receta se hace uso del *solver* organizacional y del conocimiento técnico.

Una vez realizada la caracterización de los materiales para la formulación de la pasta *vitreos china* (VC), se realizan diferentes ensayos de ensamble de pasta para analizar su velocidad de formación y propiedades físico-cerámicas a nivel de laboratorio, buscando que el producto terminado cumpla con los estándares de calidad establecidos por la empresa para ser comercializado. En conjunción, se evalúa esta reformulación de pasta en ensayos semiindustriales para cada una de las tecnologías de la planta SW – GR, garantizando los compromisos de calidad, productividad y costos.

2. Objetivos

Objetivo general:

- Evaluar técnica y económicamente el desarrollo de una pasta de china vitrificada con materia prima nacional, mejorando el desempeño en colaje y su velocidad de formación.

Objetivos específicos:

- Caracterizar las materias primas empleadas en la formulación de la pasta (VC).
- Realizar ensayos a escala de laboratorio empleando material nacional para alcanzar las condiciones óptimas del proceso y de la pasta.
- Evaluar las propiedades físico-cerámicas de la pasta elaborada.
- Estimar un ahorro en el costo de producción de la pasta desarrollada.
- Verificar que la pasta y el producto terminado cumpla con los estándares de calidad establecidos por planta SW – GR.

3. Marco Teórico

El desarrollo industrial de una pasta de china vitrificada para la manufactura de artefactos sanitarios contiene arcilla, caolín y feldespatos. Las arcillas constituyen la principal materia prima y provienen de la descomposición de rocas feldespáticas, abundantes en la corteza terrestre. En este sentido, su estructura interna, composición química y características físicas y mineralógicas, varían ampliamente, incluso en un mismo depósito arcilloso [3]. Por esta razón, la caracterización de las arcillas es importante para controlar la calidad y evaluar la influencia de sus propiedades en los productos cerámicos.

De acuerdo con la mineralogía del material, resulta complejo obtener el aporte en su totalidad de las propiedades físicas que debe cumplir la pasta cerámica, por esto es necesario realizar mezclas de diferentes materiales plásticos y magros dependiendo de su composición química y tamaño de partícula (DTP); buscando conseguir condiciones reológicas adecuadas para la formulación de la pasta sanitaria [1]. Industrialmente, una receta típica de pasta sanitaria contiene diferentes tipos de materiales que cumplen una función específica; las arcillas y caolines, son materiales de grano fino, de aspecto terroso, que aportan plasticidad a la pasta; los materiales magros, como feldespatos y arenas, se encargan de dar cuerpo y firmeza a las piezas, para así juntos dar características al producto terminado de plasticidad, resistencia en crudo y quema, vitrificación y control de expansión térmica [2].

La distribución de tamaño de partícula (DTP) origina y controla el empaquetamiento de las suspensiones cerámicas, el cual dicta el desempeño y comportamiento reológico de las pastas en un proceso. Generalmente, las arcillas y caolines que no contienen partículas excesivamente pequeñas aumentan el cociente de formación del grueso, mientras que el material no-plástico (cuarzo, feldespato, etc) de la pasta, para un porcentaje de partículas finas contribuye a la velocidad de vertido y reduce la densidad aparente del contramolde [4].

Otra prueba clave a evaluar es el índice de azul de metileno (IAM) para cada material, que está relacionado con la capacidad de intercambio catiónico, que se define como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH [5]. Esto puede relacionarse con la capacidad higroscópica, plasticidad y % de finos de un material. Un alto % de agua retenida, implica formación de piezas muy blandas y/o plásticas y en consecuencia la aparición de grietas en el proceso de secado. Adicionalmente, esta prueba logra determinar la presencia de material orgánico principalmente en las arcillas; esto favorece las características reológicas de la pasta y la resistencia en crudo y quema [4]. De esta manera, la correcta elección de las materias primas facilita la producción de pastas plásticas y de vertido rápido para la manufactura de artefactos sanitarios resistentes. Sin embargo, debe existir un equilibrio entre la velocidad de vertido y su plasticidad para maximizar la producción de piezas libres de grietas.

Por otro lado, la dispersión de las materias primas se realiza en húmedo, agregando aditivos que favorezcan la unión y/o separación de las partículas y con esto controlar la estabilidad de la suspensión y prevenir la aglomeración de los materiales. Estas sustancias químicas son conocidas como floculantes y defloculantes, y presentan comportamientos contrarios. Los floculantes, favorecen la velocidad de formación de las pastas y los defloculantes, mantienen las partículas en suspensión, reduciendo la viscosidad y aumentando la fluidez.

En adición, es necesario disponer de una pasta cerámica fluida y estable, que facilite el llenado de los moldes de yeso o resina (de acuerdo con cada tecnología) y a su vez al drenado de exceso de pasta. Por otra parte, su comportamiento de reológico debe ser ligeramente tixotrópico y ser lo más densa posible para prevenir la sedimentación, aumentar el cociente de formación del grueso de las paredes del molde y reducir la contracción durante el secado por la retención de agua en la

pasta [4]. Normalmente, la viscosidad y densidad de la pasta para la fabricación de productos sanitarios se encuentra entre 1000 a 1200 cP y 1780 a 1850 g/l, respectivamente.

La pasta de china vitrificada (VC) es un material sin fase precocida, siendo todas sus materias primas sin tratamiento térmico previo y de grano supremamente fino (arcillas y caolines, en conjunción con feldespatos y arenas cuarzosas finamente molidas, típicamente a residuos sobre malla 270 inferiores a 5%).

Técnicamente, se puede definir la pasta (VC) como un composite de baja absorción de agua ($\leq 0,5\%$), de contenido de vidrio (~ 60 vol%) embebiendo cristales de mullita y cuarzo residual, con una porosidad cerrada menor al 12 vol%. El alto contenido de vidrio bien formulado, el control de la porosidad cerrada y el reforzamiento con los cristales de mullita y cuarzo, es responsable de la baja absorción y de su buena resistencia mecánica (≥ 550 Kg/cm²). Este material, producido típicamente a partir de mezclas finas de arcillas y caolines plásticos, y de feldespatos y cuarzo finamente molidos, se desarrolla a temperaturas de maduración de $\sim 1220^\circ\text{C}$, en hornos entre las 10 y 22 horas. Por la naturaleza de las materias primas usadas en su fabricación y por el alto nivel de vidrio producido, la china vitrificada presenta altas contracciones en crudo (de 2,0% a 3,0%) y quema (de 8,0% a 9,0%), con contracciones totales entre 10% y 11,5%, así como alta deformación pirolástica ($17 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-1} - 22 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-1}$). De esta manera, este tipo de pasta se emplea para la producción de la mayoría de los artículos sanitarios como inodoros, lavamanos, pedestales y urinarios, entre otros, por su baja absorción de agua, buena resistencia a la flexión y su excelente acople pasta-esmalte.

Para que la pasta se encuentre en las condiciones óptimas para el colaje, se deben garantizar primero los parámetros reológicos y característicos de la pasta, como lo es su densidad, viscosidad, tixotropía, cantidad de aditivos, entre otros. En adicción, se debe determinar el tiempo necesario de la pasta para formar una pieza, cumplir con las propiedades físico-cerámicas establecidas por planta SW-GR; alcanzando los estándares de calidad, reduciendo costos y maximizando la productividad de los procesos.

4. Metodología

En pro de alcanzar los objetivos propuestos del proyecto se plantearon y realizaron las siguientes actividades:

4.1. Reconocimiento de las etapas del proceso de elaboración de la pasta y su producto terminado en la planta de SW – GR: Para entender el proceso de elaboración de la pasta y su producto terminado fue necesario realizar el reconocimiento de las etapas del proceso desde la recepción de la materia, la elaboración de la pasta, el colaje, secado, esmaltado y cocción de la pieza final.

4.2. Inducción en preparaciones de pasta de SW – GR: fue necesario conocer y entender el proceso empleado para el ensamble de la pasta y ser replicado a escala de laboratorio.

4.3. Revisión bibliográfica: se requirió consultar información concerniente a el proceso de elaboración de la pasta de china vitrificada (VC), propiedades fisicoquímicas, distribución de tamaño de partícula (DTP), índice de azul de metileno (IAM) y composición y comportamiento de los materiales (arcillas, caolines, feldespatos, etc.) y aditivos químicos.

4.4. Caracterización de la materia prima a emplear: se realizaron periódicamente los análisis de (DTP) y (IAM) para comprender el comportamiento reológico de los materiales, distribución de tamaño de partícula y sus propiedades físico-cerámicas.

4.5. Realización de ensayos de pasta de china vitrificada con materiales nacionales: se formularon diferentes recetas necesarias para el ensamble de pasta, empleando el *solver* organizacional y el conocimiento técnico; teniendo presente las especificaciones, requerimientos y condiciones de operación de la planta SW-GR.

4.5.1. Materiales y procedimientos:

A continuación, se mencionan cada una de las etapas realizadas para la formulación de la pasta *vitruos china*.

- **Simulación de composiciones para el ensamble de pasta:** empleando el *solver* organizacional y el conocimiento técnico, se simularon diferentes composiciones de materiales plásticos y no plásticos para el ensamble de pasta, de acuerdo con los parámetros y condiciones de operación establecidas por la planta.
- **Preparación de las arcillas en suspensión:** se realiza la dispersión de los materiales de forma continua durante 1 h a 1000 rpm para determinada densidad; adicionando los aditivos (como carbonato de sodio, silicato de sodio y polímeros) para favorecer la dispersión. Las condiciones reológicas fueron evaluadas empleando un viscosímetro de Brookfield y se ajustaron hasta alcanzar la viscosidad establecida de la suspensión (también conocida como *Blend*).
- **Tamizado en malla 140:** para eliminar el exceso material no desintegrado y residuos sin interés, se tamiza la suspensión utilizando un vibrotamiz con malla #140.
- **Ensamble de pasta:** se adiciona el material no plástico a la suspensión de arcillas para una densidad y viscosidad deseada. La dispersión de este material se realiza a 600 rpm durante 40 min adicionando aditivos para controlar su reología.
- **Añejamiento de la pasta:** para evaluar la pasta formulada fue necesario dejarla estabilizar durante 3 días.
- **Evaluar su comportamiento reológico y densidad:** para analizar la velocidad de formación de la pasta es necesario revisar su comportamiento reológico y densidad. En caso tal que la pasta no cumpla con requerimientos, se debe ajustar adicionando química y/o agua.

- **Velocidad de formación:** se realiza el vaciado de la pasta en un molde de yeso durante 2 h de acuerdo con la Fig 1. A los 60 min de vaciada, se voltea el molde de forma vertical como se muestra en la Fig 2 para determinar la calidad de drenado (o escurrida) y tiempo de secado de la película exterior de la pasta.



Fig 1. Vaciado de la pasta.



Fig 2. Drenado de la pasta.

Después del drenado de la pasta, la prueba finaliza en los próximos 60 min y se evalúa la formación de espesor, dureza (medida con un durómetro) y trabajabilidad (medida cualitativa de la consistencia y apariencia) como se muestra en la Fig 3.



Fig 3. Rodaja para medición de espesor y dureza.

- **Propiedades físico-cerámicas en crudo y quema:** se realiza el llenado de pasta en un molde de yeso para la formación de probetas como se muestra en la Fig 4 y se deja en consolidación durante 1 hora.



Fig 4. Llenado del molde.



Fig 5. Probetas para pruebas físico-cerámicas (de izquierda a derecha, resistencia, deformación y contracción).

Posteriormente, se desmoldean las probetas e inmediatamente se hace una marca para evaluar la contracción de la pasta durante su secado y cocción (Fig 5).

El secado de las piezas se realiza en una estufa a 100°C durante 8 horas. Al finalizar este proceso, se realizan las pruebas de resistencia a la flexión (empleando un flexómetro) y de contracción (utilizando un vernier) en crudo.

Adicionalmente, se realizan las pruebas de resistencia a la flexión, contracción, deformación pirolástica y absorción de agua en quema (después de realizar el proceso de cocción en el horno a 1200 °C).

- **Ensayo semiindustrial:** se realiza ensayos semiindustriales de la pasta PGN-12 para todas las tecnologías de la planta SW-GR.

4.6. Preparación de informes y socialización de resultados: se prepararon informes periódicamente y se socializaron los resultados obtenidos para cada uno de los ensambles realizados, teniendo en cuenta los objetivos del proyecto.

4.7. Exposición de los objetivos, alcance y resultados del proyecto: se da a conocer los resultados obtenidos del proyecto a la Organización Corona y la Universidad de Antioquia.

Adicionalmente, todos los métodos de medición y verificación se hicieron de acuerdo con la Norma Colombia NTC 920:2011 y el código ASME 112.19.2-2008/CSA B45.1-08. En general, todos los recursos empleados para el desarrollo de este proyecto son provistos por la Organización Corona, como materias primas, métodos y equipos de medición, etc.

5. Análisis de resultados

Actualmente, la pasta *vitruos china* está compuesta de 49% de material no-plástico y de 51% plástico, siendo 4.5% correspondiente a materia prima importada. Por lo tanto, los ensayos realizados se hicieron buscando eliminar la independencia de material importado, para esto se reformula la receta de la pasta y se introducen las arcillas MA y ML.

A continuación, se muestra la caracterización y desempeño de cada una de las arcillas, su velocidad de formación y propiedades físico-cerámicas.

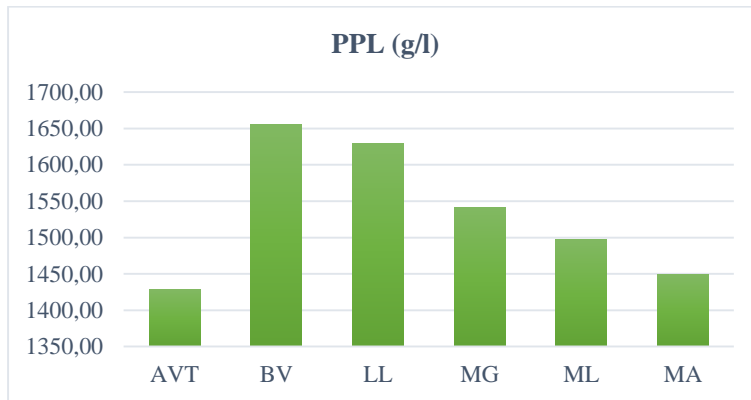
- **Velocidad de formación**

La velocidad de formación implica evaluar el comportamiento de la arcilla en colaje a una densidad y viscosidad determinada. Esta prueba evalúa el espesor formado de la arcilla, tiempo de secado, dureza y su trabajabilidad, principalmente.

Con la finalidad de optimizar la densidad de la arcilla en suspensión, se evalúa la concentración de vertido de arcilla, que corresponde a la máxima cantidad de material seco que permite ser

dispersado complemente a una viscosidad de 500 cP [4]. A continuación, en la gráfica 1 se muestran las densidades de trabajo para cada una de las arcillas.

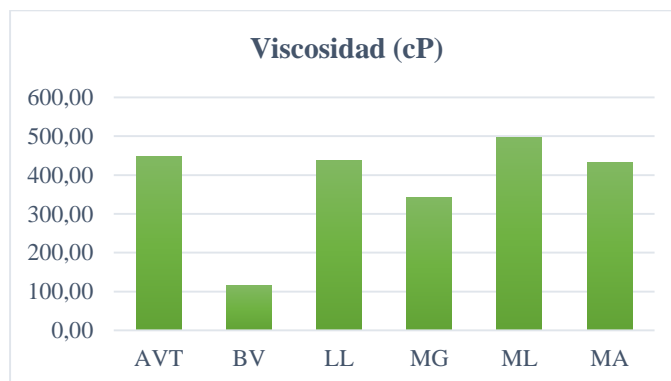
Gráfica 1. Densidad de trabajo para cada arcilla.



Tenemos que la arcilla BV posee la mayor densidad en suspensión, en cambio el caolín AVT presenta la más baja densidad. El alto contenido de sólidos en la suspensión, aumenta las colisiones e interacciones entre las partículas y esto se ve reflejado en el incremento de su viscosidad. En contrario, la baja densidad de las arcillas significa mayor % de agua retenida y esto aumenta la contracción en secado. Por lo tanto, controlar y minimizar la contracción en secado es importante para evitar la formación de grietas o rajaduras en la pieza cerámica.

Paralelamente, la condición reológica de las arcillas es un aspecto clave en el desarrollo de la pasta cerámica, puesto que debe ser ligeramente tixotrópica y estable en el tiempo. En conjunción, en la gráfica 2 y 3 se presenta el comportamiento reológico de las arcillas.

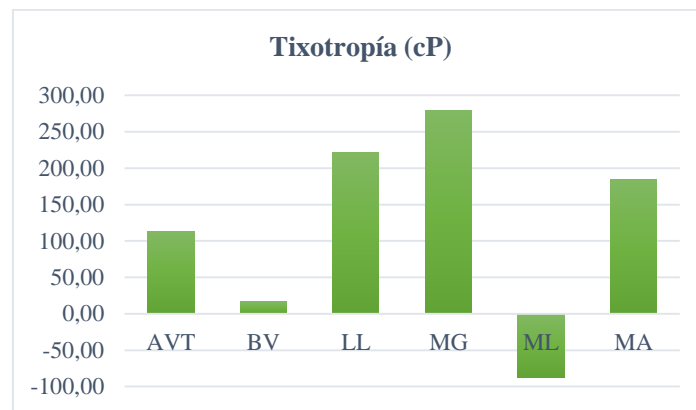
Gráfica 2. Viscosidad de trabajo para cada arcilla.



Encontramos que para la mayoría de las arcillas su viscosidad de trabajo se encuentra entre 400 y 500 cP. En cambio, la arcilla BV, presenta una viscosidad levemente superior a 100 cP, lo que corresponde a una arcilla de mayor fluidez, estable y con alto grado de repulsión entre las partículas.

Por otra parte, la tixotropía es un aspecto clave para la formación del grueso en el colaje de pasta sanitaria. Principalmente, se busca el aporte ligeramente tixotrópico de las arcillas para conseguir aumentar el cociente de formación.

Gráfica 3. Tixotrópica para cada una de las arcillas.



De acuerdo con los resultados obtenidos, tenemos que las arcillas que aportan tixotropía a la suspensión son LL y MG. En contraste con ML que reduce la tixotropía. El comportamiento de ML significa que es una arcilla que permanece estable en el tiempo sin aumentar de viscosidad.

Por lo tanto, teniendo en cuenta nuestro de interés de conseguir una suspensión con la máxima cantidad de sólidos y ligeramente tixotrópica, se debe aumentar la composición de las arcillas BV, LL y caolín AVT.

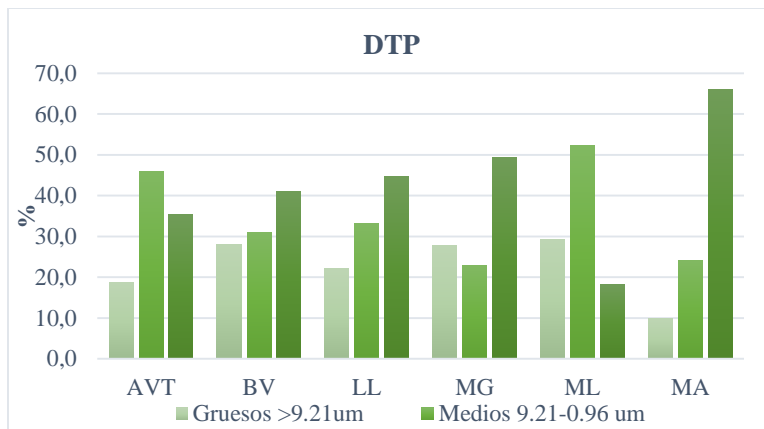
- **Granulometría**

Según la granulometría de una arcilla, cuando se presenta un equilibrio entre finos, medios y gruesos, existe un mayor empaquetamiento de las partículas (disminuye la sección de poros y aumenta el contacto entre las partículas) por lo tanto, esto se ve reflejado en el incremento de la

dureza de la pasta en colaje y en sus propiedades físico-mecánicas (resistencia a la flexión, absorción de agua, porosidad, etc.)

A continuación, se muestra la distribución de tamaño de partícula (DTP) de los materiales plásticos.

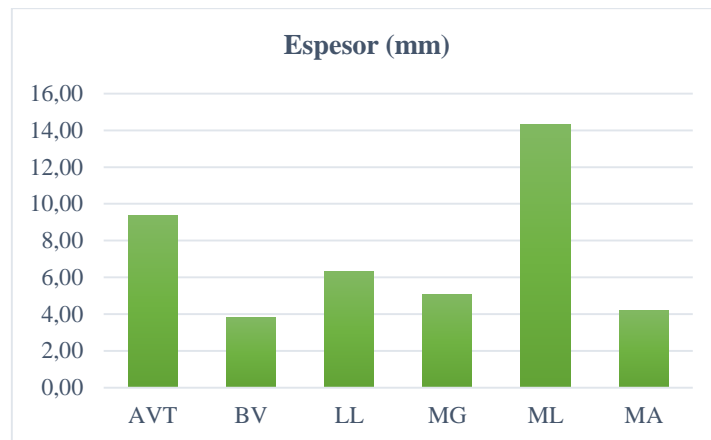
Gráfica 4. Distribución de tamaño de partícula.



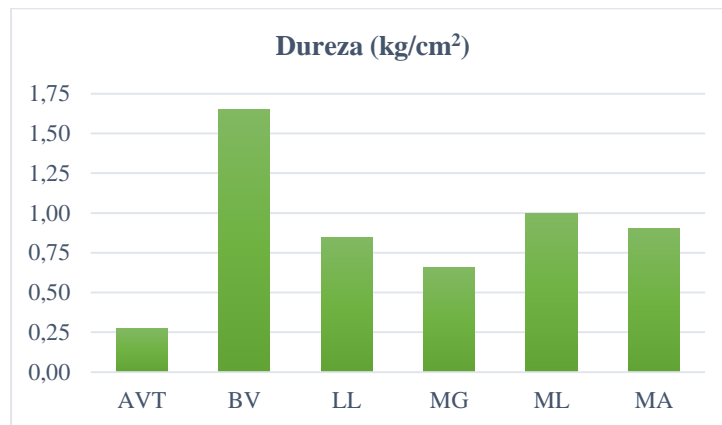
A partir de los resultados representados en la gráfica 4, la arcilla BV presenta mayor equilibrio entre su distribución de tamaño de partícula lo cual logra mayor fluidez (baja de viscosidad) y facilidad de defloculación. Adicionalmente, favorece la dureza en colaje, la resistencia a la flexión y compresión en crudo y quema. Sin embargo, un buen empaquetamiento ocasiona también un bajo espesor de formación. En contraste, el alto % de medios y gruesos de la arcilla ML aumenta el espesor de la pasta.

Por otro lado, la arcilla MA presenta más del 60% de finos lo que da respuesta a una baja formación de espesor y comportamiento plástico. Esto puede comprobarse con la prueba de índice de azul de metileno (gráfica 7).

El espesor formado de las arcillas está relacionado de acuerdo con su granulometría, encontramos que la arcilla ML presenta mayor espesor de formación (>14 mm) debido a su alto % de medios y gruesos. En cambio, para las arcillas BV y MA su formación es menor de 4 mm, esto se relaciona principalmente por su buen empaquetamiento y % alto porcentaje de finos (mayor a 40%).

Gráfica 5. Espesores de formación.

En la gráfica 6, se presenta otro parámetro importante medido en la evaluación de la velocidad de formación es la dureza de la arcilla.

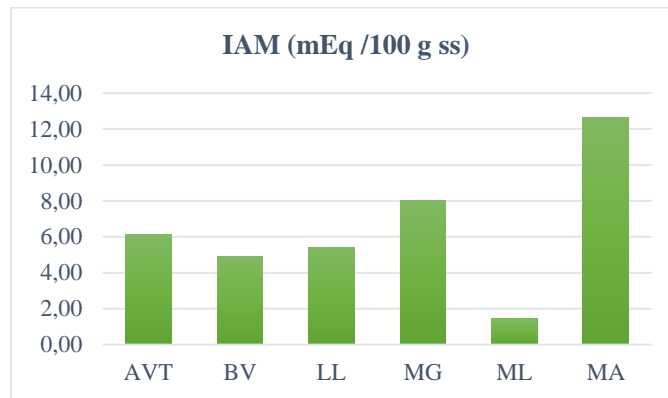
Gráfica 6. Dureza medida en colaje.

Efectivamente, la arcilla BV presenta mayor dureza entre las arcillas debido a su buen empaquetamiento y baja viscosidad. En cambio, el caolín AVT presenta menor dureza. De esa manera, las arcillas ML y AVT favorecen el espesor y BV la dureza de la suspensión de arcillas (conocida como *Blend*).

- **Índice de azul de metileno (IAM)**

De acuerdo con los resultados mostrados anteriormente y la gráfica 7, se comprueba que efectivamente la arcilla MA presenta mayor plasticidad y % de finos. En comparación con la arcilla ML, se observa menor IAM debido a su cantidad de finos (<20%).

Gráfica 7. Índice de azul de metileno para cada arcilla



Adicionalmente, el IAM de la arcilla MA representa alto contenido de material orgánico, aportando resistencia a la flexión en la pasta.

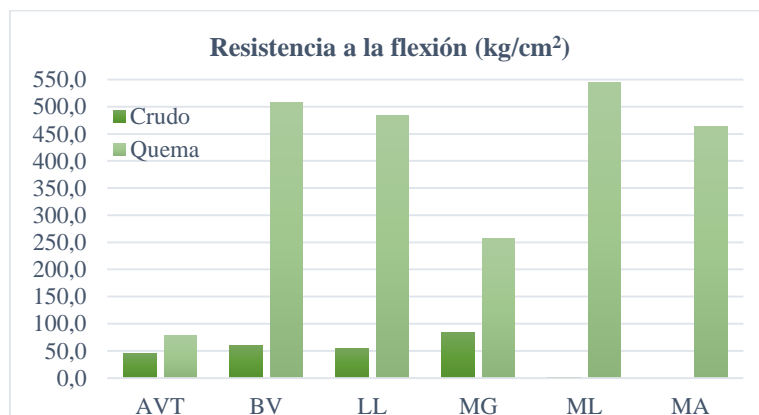
- **Propiedades físico-cerámicas**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de contracción y resistencia en crudo y quema.

De la gráfica 8, se obtiene que las arcillas con mayor contracción son MA, ML y el caolín AVT. Esto se debe principalmente a su baja densidad de trabajo, alta plasticidad y % de agua retenida, de modo que, cuando comienza su proceso de secado y cocción, la cantidad de agua presente se evapora, favoreciendo la contracción.

Gráfica 8. Contracción en crudo y total para cada una de las arcillas.

Por otra parte, las arcillas con mayor concentración de sólidos en la suspensión presentan menor contracción, debido a que la cantidad de agua presente es mucho menor. Por lo tanto, controlar y minimizar la contracción es necesario para evitar la formación de grietas o rajaduras en las piezas formadas.

Gráfica 9. Resistencia en crudo y quema para cada una de las arcillas.

Otro parámetro importante en la formulación de pasta es la resistencia a la flexión. De acuerdo con el desempeño de las arcillas individualmente, se tiene que el aporte a la resistencia puede darse por la presencia de BV y LL, principalmente. Teniendo en cuenta, que la especificación de la pasta unificada requiere una resistencia superior a 15 y 550 kg/cm² en crudo y quema, respectivamente. Adicionalmente, el aporte del caolín contribuye a la vitrificación y carácter refractario, coloración clara y resistencia mecánica en la pasta con la presencia de caolinita.

De esta manera, las arcillas que favorecen principalmente estas propiedades físico-cerámicas son BV, LL y MG, debido a su menor contracción y alta resistencia. Esto permite cumplir con los requerimientos y especificaciones de los procesos, evitando las rajaduras y dando resistencia a las piezas formadas, para su manipulación en todas las etapas de producción y en el producto final.

- **Ensamble de pasta**

En la tabla 1, se muestra la reducción de costos y las composiciones de material plástico y no plástico de la pasta actual y de las evaluadas.

TABLA I
REDUCCIÓN DE COSTOS Y COMPOSICIONES DE LA PASTA ACTUAL Y DE LAS EVALUADAS

Material	ACTUAL	PGN-3	PGN-5	PGN-11	PGN-12
Reducción de costos (%)	0	8.7	8.1	12	10
Plástico importado (%)	4.5	0	0	0	0
Plástico nacional (%)	46.5	55.5	54.5	52	54
No plástico (%)	49	44.5	45.5	48	46

Todas las recetas de pasta se formularon con una reducción de costos mayor a 8% comparada con la actual. Existe un incremento del 2% en la reducción de costos (entre la pasta PNG-11 y 12), lo cual está relacionado con el aumento de material plástico en la pasta.

Cabe destacar, que las condiciones del proceso de la pasta varían de acuerdo con los requerimientos de cada tecnología. En este caso, la evaluación de las pastas se realiza comparándola con la tecnología de pasta unificada. A continuación, se muestra la densidad y los parámetros reológicos de las pastas desarrolladas.

TABLA II
CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LAS PASTAS ACTUAL Y ENSAMBLADAS

Parámetro	ACTUAL	PGN-3	PGN-5	PGN-11	PGN-12
Peso/litro (g/l)	1794,7	1801	1795	1801,7	1799,8
Viscosidad (cP)	1140	692	632	772	1124
Tixotropía (cP)	308	324	204	384	328
ΔV_{60} (cP)	2760	7320	5220	6600	3600

De la tabla II, observamos que las pasta PGN-3 y 5 se evaluaron relativamente defloculadas (viscosidad menor a 700 cP) y manteniendo la densidad de las pastas alrededor de 1800 g/l. La estrategia de desarrollar pastas defloculadas se realiza con la finalidad alcanzar mayor fluidez, sin embargo, con esto se limita alcanzar el espesor requerido. Por lo tanto, se determina evaluar el desempeño partiendo de las condiciones actuales. Adicionalmente, la pasta PNG-5 presenta menor tixotropía lo cual desfavorece el espesor formado, en cambio la mayor formación de espesor se presenta con la PGN-11, debido a su alta tixotropía y $\Delta V60$ que corresponde a la gelificación de la pasta (evolución de la pasta en 60 min).

A las mismas condiciones de proceso de las pastas, se evalúa su velocidad de formación. En la tabla III, se presentan los resultados obtenidos.

TABLA III
VELOCIDAD DE FORMACIÓN PARA CADA UNA DE LAS PASTAS

Parámetro	ACTUAL	PGN-3	PGN-5	PGN-11	PGN-12
Tiempo de secado (s)	308	305	290	296	310
Espesor húmedo (mm)	8,28	8,47	7,56	8,61	8,51
Agua retenida (%)	19,2	18,8	18,7	19,1	19,4
Firmeza	Firme 3	Firme 1	Firme 1	Firme 3	Firme 1
Plasticidad	Plástica 3	Corta 3	Corta 1	Corta 1	Plástica 3
Dureza (kg/cm ²)	1,1	2,4	1,8	1,5	1,1

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla III, efectivamente la viscosidad afecta la formación de la pasta y el % porcentaje de agua retenida. Adicionalmente, las pastas defloculadas logran alcanzar una dureza mayor a 1.5 kg/cm². En contraste, con la pasta actual y PGN-12, son pastas floculadas (mayor a 1100 cP) por lo tanto su % de agua retenida es mayor y esto se ve reflejado en una menor dureza y trabajabilidad relativamente firme y plástica. Por otro lado, el bajo espesor formado (menor de 8 mm) de la pasta PNG-5 puede relacionarse con su menor tixotropía (alrededor de 200 cP).

Adicionalmente, el % porcentaje de material no plástico en la pasta disminuye la plasticidad del *Blend*, reduciendo la contracción para evitar la formación de rajadas y aportando resistencia en crudo. De esta manera, con la presencia del material fundente (como feldespatos y cuarzo) se forma la

masa vítrea en la cocción y con esto reduce la porosidad (absorción de agua menor a 0.03%) y favorece la compacidad de la masa cerámica.

En adición, las pastas desarrolladas deben cumplir con las especificaciones establecidas por la planta. De esta manera, en la tabla IV, se presenta la evaluación de las propiedades físico-cerámicas para cada una de las pastas.

TABLA IV
ESPECIFICACIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS-CERÁMICAS DE LAS PASTAS EVALUADAS

Especificaciones GR		ACTUAL	PGN-3	PGN-5	PGN-11	PGN-12
MOR crudo (kg/cm ²)	> 15	27,05	27,50	31,80	25,70	31,2
MOR quema (kg/cm ²)	> 550	611,53	534,80	496,70	587,70	577,2
Contracción crudo (%)	< 2,8	2,60	2,10	2,60	2,00	2,5
Contracción total (%)	< 11	10,41	10,00	9,80	10,40	10,5
Deformación pirolástica (cm ⁻¹)	17 - 19	18,3	20	17,3	23,5	19,1
Absorción de agua (%)	< 0,13	0,04	0,01	0,05	0,04	0,03

En general, la principal diferencia entre las pastas evaluadas radica en la resistencia después de la cocción. Particularmente para la PGN-3 y 5 se encuentran por fuera de las especificaciones establecidas. En cambio, para las pastas PGN-11 y 12 se asegura que logran cumplir la mayor cantidad de especificaciones. Para disminuir la deformación pirolástica de la pasta PGN-11, se reduce en 2% la composición de material no-plásticos y esta disminución se ve reflejada en un aumento para la reducción de costos, es decir, que el aumento de material plástico en la pasta PGN-12 (comparada con la PGN-11), incrementa los costos de producción.

Finalmente, de acuerdo los resultados anteriormente mostrados, se decide evaluar la pasta PGN-12 en ensayos semiindustriales. Su elección se realiza teniendo en cuenta la disminución en un 10% de los costos de producción y asegurando las condiciones y requerimientos de cada una de las tecnologías y especificaciones establecidas por la planta.

- **Evaluación de la pasta en ensayos semiindustriales**

La evaluación de la pasta se realiza en todas las tecnologías de la planta SW-GR. En general, se percibe una pasta firme y plástica, homogénea, estable, con buen escurrido, sin problemas en el secado. Adicionalmente, las variables de máquina y de proceso, como temperatura de la pasta,

tiempo de formación, espesor formado, consolidación, firmeza y humedad al desmoldeo permanecen constantes durante los ensayos realizados.

A continuación, en la tabla V y VI, se presentan los defectos en crudo y quema para las piezas formadas de en la tecnología TCI. De acuerdo con la tabla V, debido a la manipulación y desmoldeo de las piezas, se logra una disminución de los defectos en crudo asociados a la raja y golpe. Estos defectos son ocasionados por la liberación de las piezas de los moldes de yeso y por su manipulación en la continuidad de los procesos de manufactura. Adicionalmente, se reducen por la buena resistencia y plasticidad de la pasta.

TABLA V
DEFECTOS EN CRUDO

Defecto en crudo (%)	Actual	Ensayo 1	Ensayo 2
Raja	2,2	1,4	1,0
Deformado	0,2	0,1	0,3
Daño molde	0,2	0,1	0,4
Golpe	1,0	0,8	0,8

De igual manera, los defectos asociados a la quema resultan después de las etapas de esmaltado y cocción de la pieza cerámica. En general, los % de defectos en quema se encuentran por debajo o incluso cercano a los actuales de la producción.

TABLA VI
DEFECTOS EN QUEMA.

Defecto en quema (%)	Actual	Ensayo 1	Ensayo 2
Raja	2,4	1,6	2,2
Golpe	1,5	0,5	1,4
Cráter	2,0	2,0	1,7
Granos esmaltados	0,8	0,2	0,7
Saltado	0,8	0,7	0,8

6. Conclusiones

La pasta *vitreous china* PGN-12 se presenta como una alternativa para conseguir mejorar las condiciones actuales de desempeño en colaje y de velocidad de formación, incluyendo en su formulación materia prima nacional; con esto se logra alcanzar la independencia del material importado y favorecer una reducción de costos del 10% asociados a su producción. La pasta desarrollada garantiza el cumplimiento de las propiedades físico-cerámicas y satisface los requerimientos de operación y variables de proceso para la manufactura de los productos sanitarios en la planta SW-GR. En adicción, es necesario continuar con los ensayos semiindustriales para consolidar esta iniciativa.

7. Referencias

- [1] Lázaro García, Alberto. REOLOGÍA DE MATERIALES CERÁMICOS, Ciencias aplicadas e informática.
- [2] Morales Gueto, Juan. TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES CERÁMICOS. Consejería de Educación. Comunidad de Madrid. Días de Santos. 2005.
- [3] Artesanías de Colombia S.A. (s. f.). Referencial Nacional de Cerámica. Artesanías de Colombia. Recuperado 19 de febrero de 2021, de <https://repositorio.artesaniasdecolombia.com.co/bitstream/001/2783/1/INST-D%202013.%20189.pdf>
- [4] SACMI, A. E. D. T. C. (2004). Tecnología cerámica aplicada. Castellón de la Plana: Faenza Editrice Ibérica.
- [5] García, N. A., Ibarra, J., & López, C. (2013). Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander. *Épsilon*, 20, 101-119.