



ARTESANIAS DE COLOMBIA S.A.

PROYECTO HORNO PILOTO A CARBON
Informe técnico sobre las arcillas de Ráquira y recomendaciones
para la optimización del proceso cerámico artesanal.

Elaborado por : MARIO H. MENDEZ B.
Químico U.N.

Santa Fe de Bogotá, Marzo 2 de 1.993

**INFORME TECNICO SOBRE LAS ARCILLAS DE RAQUI RA Y
RECOMENDACIONES PARA LA OPTIMIZACION DEL PROCESO CERAMICO
ARTESANAL**

1. Informe técnico sobre los materiales arcillosos.(Ver fichas técnicas).

1.1 Muestra Nº 1. Alto de los venados. Finca Juan Avila. Vereda Farfán.

El análisis granulométrico o físico-mecánico reporta un contenido de arenas de 26%, de limos de 30% y de arcillas (fracción menor de 2 micrometros) del 44%. Su ubicación en el diagrama de textura es hacia el centro en la zona de material arcilloso liviano. Su calificación es de buena distribución granulométrica y es una arcilla básica para la obtención de piezas con buena consolidación estructural (buena resistencia mecánica).

El análisis químico presenta bajo contenido en hierro y alcalinos (sodio, potasio, calcio y magnesio), lo cual hace que sea un material especial para refractarios que posterior a la cocción presenta color crema.

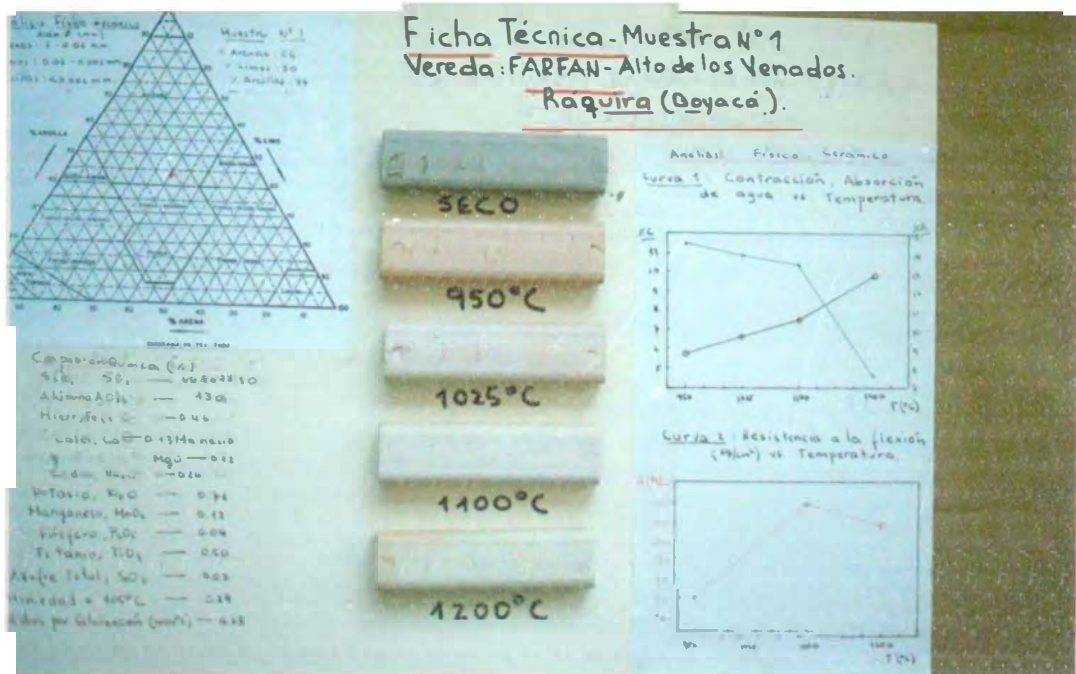
Sus pérdidas por ignición a 1.000°C son bajas (4.63%) lo cual da estabilidad dimensional a los productos por tener bajo contenido de agua de composición y material orgánico. Presentará por lo tanto producción baja de gases en la quema lo que hace que ésta arcilla sea un muy buen soporte para piezas a esmaltar que no se vean afectadas enormemente por la desgasificación en la cocción.

En cuanto al análisis físico-cerámico de la curva de vitrificación :

Contracción, absorción de agua vs Temperatura muestra unas condiciones invariables de las probetas hasta los 1.100°C , a partir de ésta temperatura el porcentaje de contracción de la pieza se incrementa hacia el 10% y el porcentaje de absorción de agua (porosidad) es menor de 15% , en la curva de Resistencia a la flexión vs Temperatura su mejor valor es a 1.100°C .

Esta arcilla es del tipo refractario y se puede individualmente utilizar en porcentaje entre 60 y 80% para mezclas con cuarzo-feldespato y obtener material es tipo gres o porcelana con temperaturas de quema entre 1.200 y 1.250°C . A 1.100°C (temperatura que se pretende en el horno del Centro

Artesana 1) se puede utilizar como arcilla base en porcentajes hasta de 160% mezclada con otras arcillas ya que confiere a las piezas características estructurales excepcionales.

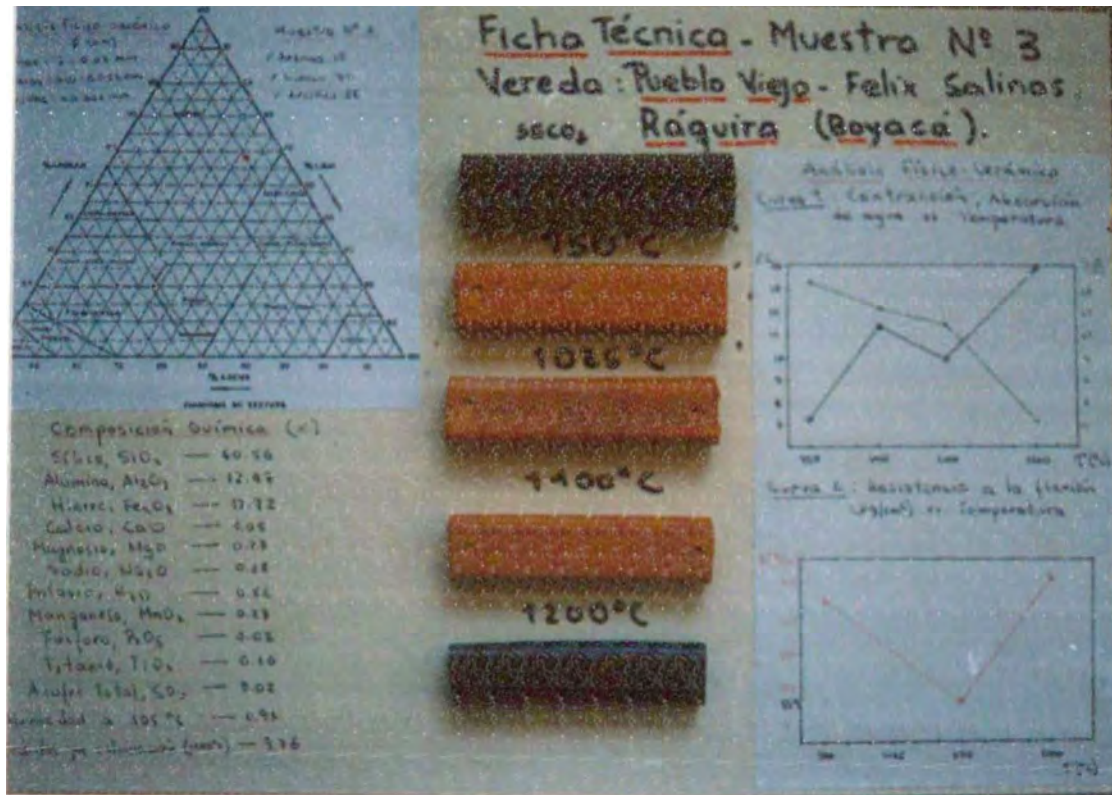


1.2 Muestra N° 3. Finca Felix Salinas. Vereda Pueblo Viejo.

Es una arcilla de alta plasticidad como se demuestra en su análisis granulométrico (58% de fracción arcilla), alto contenido de hierro (12.72%) y pérdidas por ignición altas (9.76%) de acuerdo al análisis químico.

De acuerdo al análisis físico-cerámico a 950°C da una contracción no muy alta (7%), alta absorción de agua (alta porosidad) y buena resistencia mecánica (mayor de 300 Kg/cm). A partir de esta temperatura no se presenta buena estabilidad dimensional, la resistencia a

de la pieza de smi nuye debido a los procesos de desgasificación de la pieza, como se puede ver en crudo presenta un alto contenido de materia orgánica (color oscuro), por lo que con certeza se puede decir que es un material a utilizar para productos típicos para horno de leña o de carbón de temperatura no superior a 950°C.

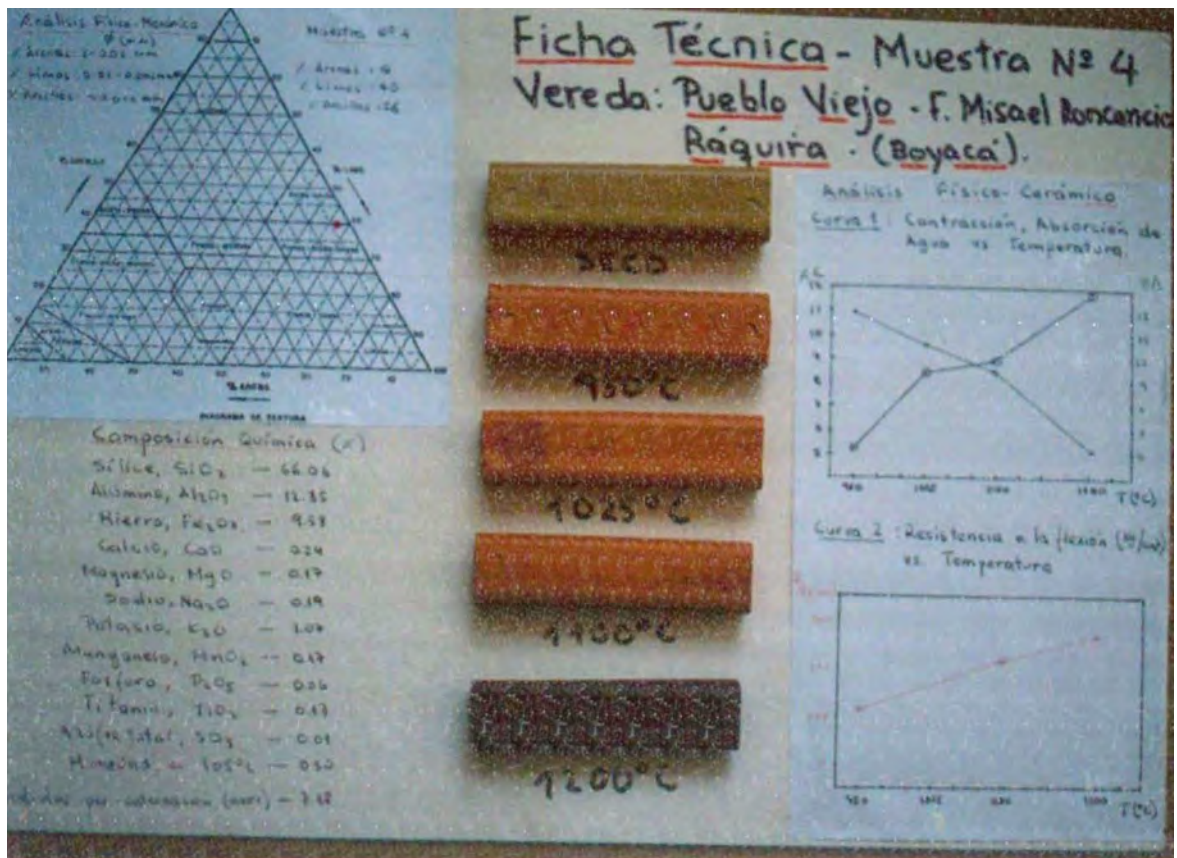


1.3 Muestra N°4 . Finca Misael Roncancio. Vereda Pueblo Viejo.

Este material presenta buena plasticidad, contenido de hierro alto que da color naranja a alta temperatura, no muy alto contenido de materia orgánica y buena estabilidad a temperaturas mayores de 950°C y hasta 1.100°C

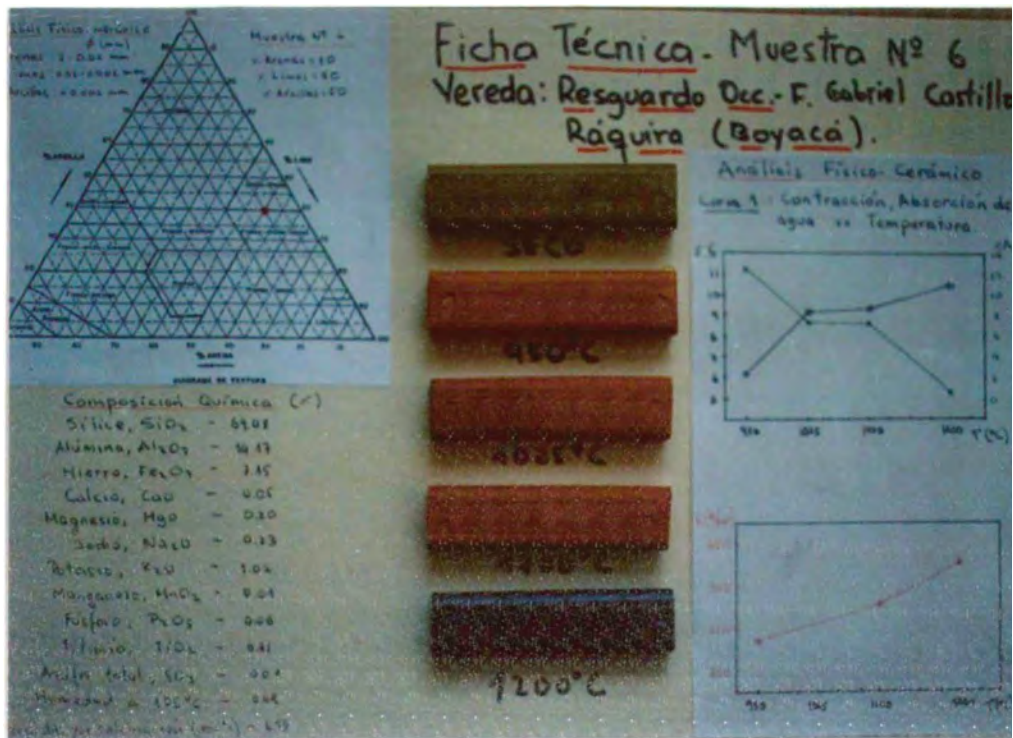
Su valor de resistencia es aceptable a 1.100°C (aprox $200\text{Kg}/\text{cm}$). Esta arcilla presenta características excelentes para trabajos al torno, aunque debe añadirse porcentajes de arena y/o feldespato hasta el 15% y

preferiblemente hacer cocción a 1.100°C . Individualmente debe trabajarse entre 1.000 y 1.100°C



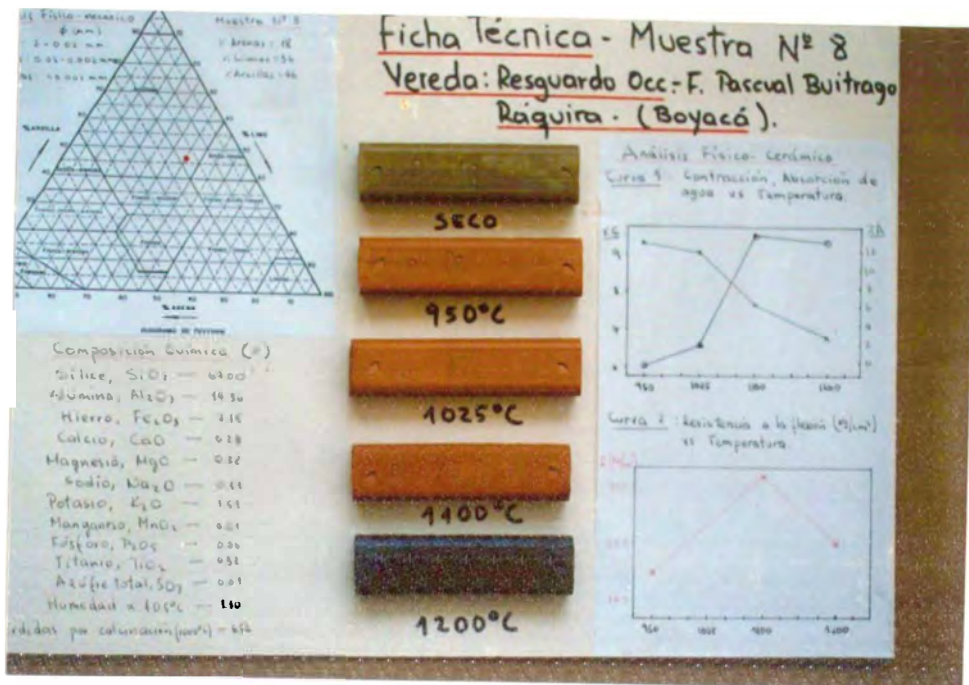
1.4 Muestra N°6. Finca Gabriel Castillo- Vereda Resguardo Occidente.

Es una arcilla con elevada plasticidad, presenta una buena estabilidad dimensional entre los 1.025 y 1.100°C , su resistencia mecánica aumenta favorablemente a partir de 1.000°C . Todas estas arcillas plásticas dan buenas texturas a los productos.



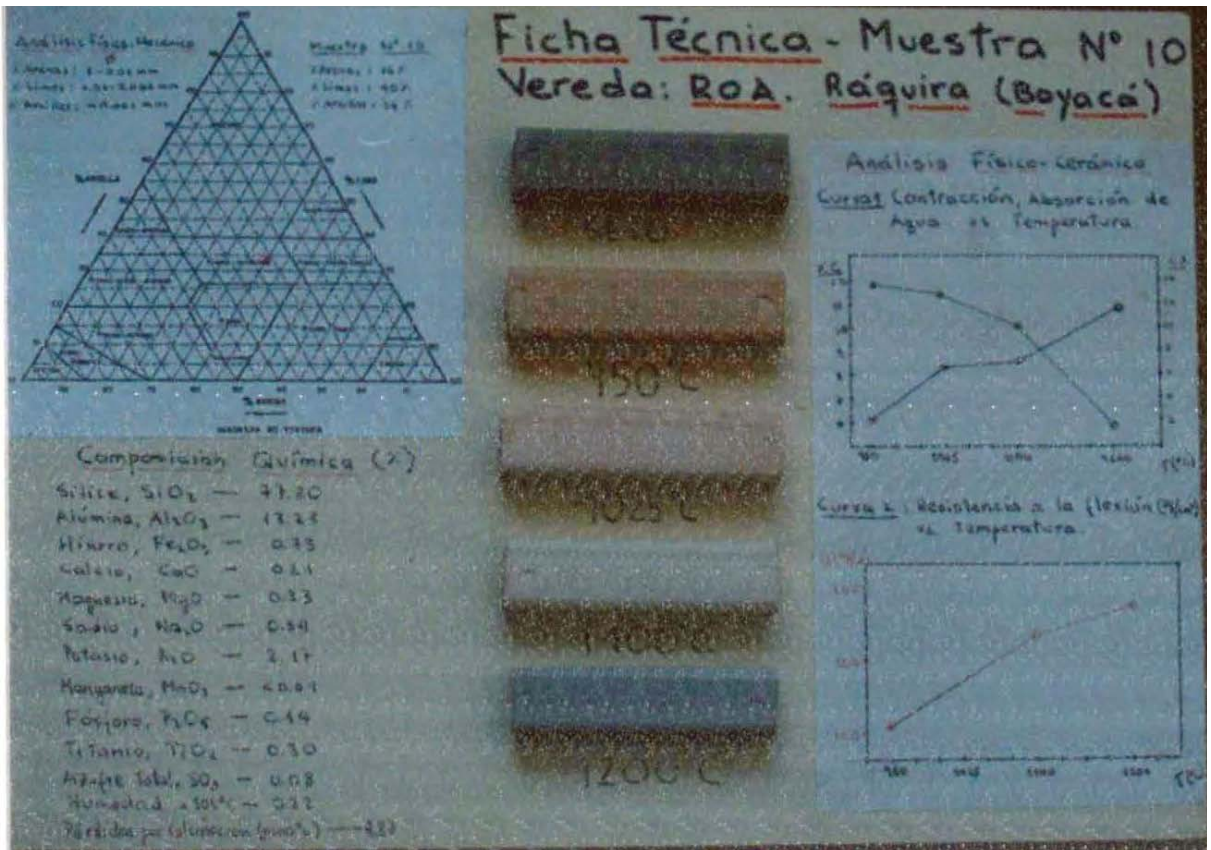
1.5 Muestra N°8. Finca Pascual Buitrago. Vereda Resguardo Occidente.

Es una arcilla muy similar a la anterior, con una composición granulométrica algo más rica en arenas, pero de excelente plasticidad, muy buena resistencia mecánica a 1.100°C, presenta una porosidad menor que la anterior a esta temperatura (5.85% de absorción de agua). La composición química y el comportamiento físico-cerámico de las muestras N° 6 y 8 son ideales para productos tipo "gres rojo vitrificable" como se conocen en la industria. Se les puede hacer adaptaciones en las mezclas agregando cantidades de feldespato en proporciones de hasta 15% para obtener muy buenas pastas a 1.100-1.150°C. Este porcentaje de feldespato y algo de chamote hace que el porcentaje de contracción en la quema disminuya favorablemente. La mezcla con otras arcillas como la N° 1 de Alto de los Venados favorece piezas grandes como la del tradicional "Caballo de Ráquira" y agregando chamote o arena para la elaboración de elementos resistentes al calor como los productos denominados "loza de arena".

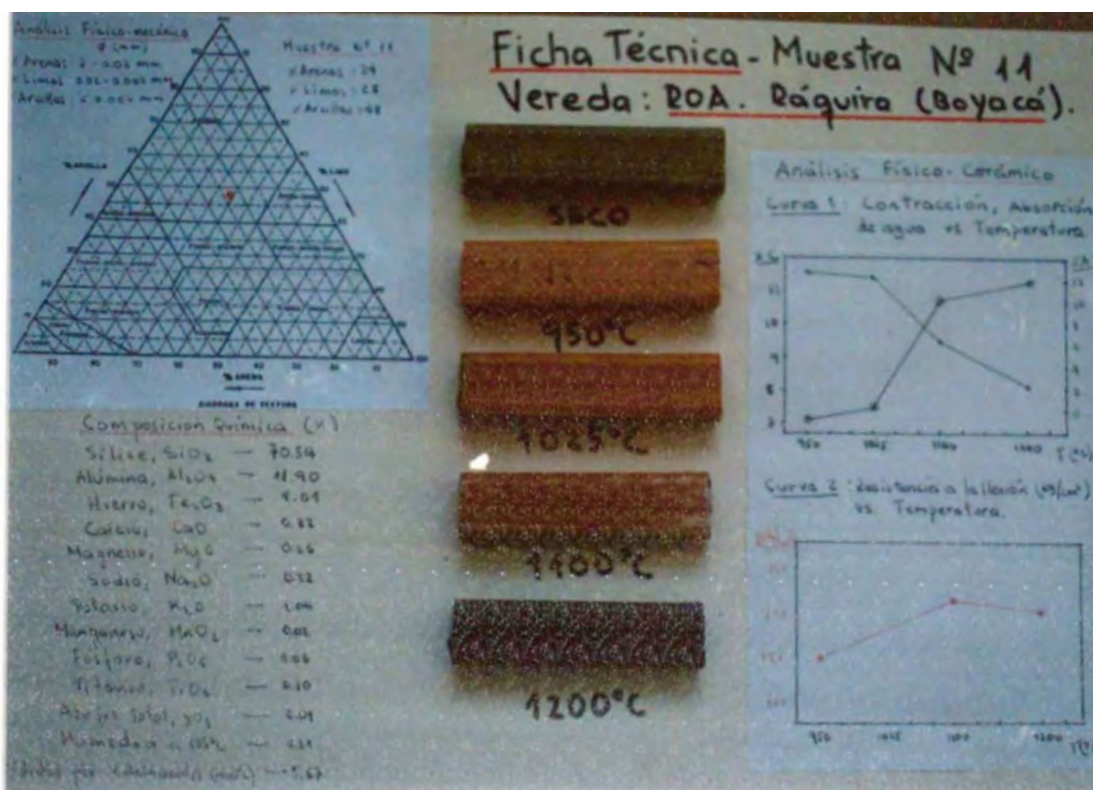


1.6 Muestra N° 10 . Finca Evaristo Rodríguez. Vereda Roa.

Esta arcilla presenta una composición granulométrica más homogénea, en el diagrama de textura se ubica hacia el centro del triángulo de composición, esto la hace una arcilla estructural para las piezas. Su composición química muestra bajo contenido en hierro por lo que tras la cocción la pieza es de color crema; A diferencia de la otra arcilla blanca (N° 1) presenta un contenido de potasio mayor (2.17%) que se debe a la presencia de minerales tipo mica-illita o de feldespato en su fracción más gruesa. Este motivo hace que en la cocción el feldespato funda por encima de 1.100°C, formando un líquido (vidriosa al enfriarse) que sella los poros y hace que la pieza vitrifique mayormente. Lo anterior se puede observar en el análisis físico cerámico en donde por encima de 1.100°C el porcentaje de absorción de agua disminuye de aproximadamente 10% a ser menor del 2% a 1.200°C, aumentándose la resistencia mecánica. Esta arcilla es excelente para piezas de baja porosidad a 1.150-1.250°C agregando feldespato y cuarzo cuando se van a esmaltar piezas tipo gres o porcelanas de baja temperatura.

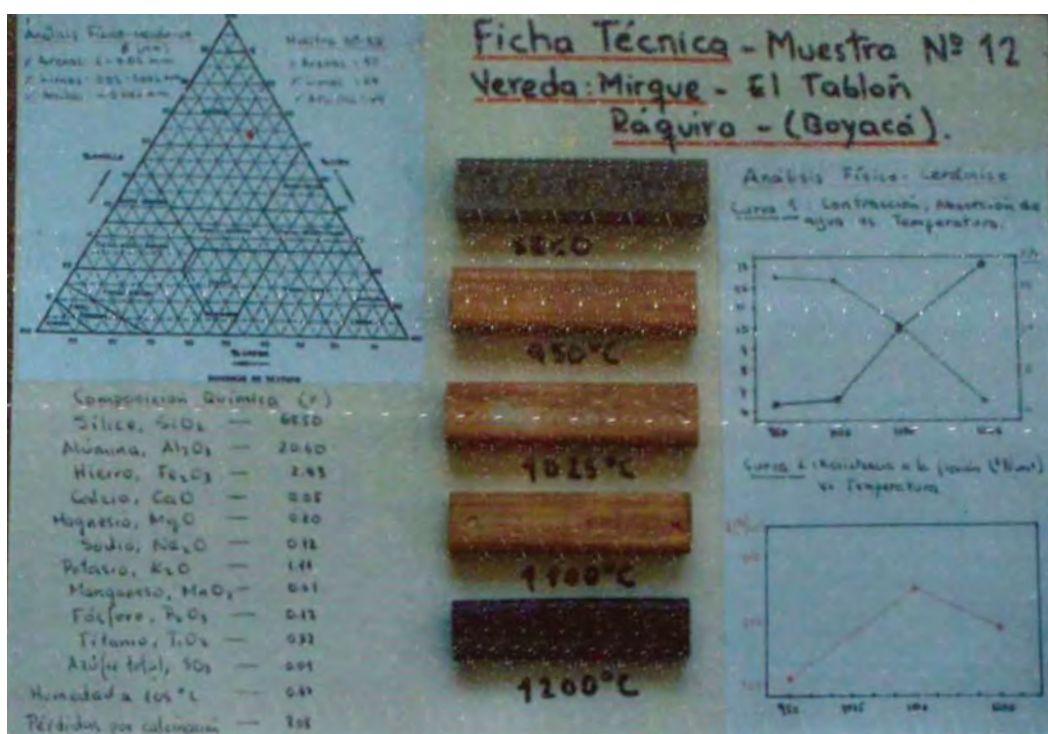


1.7 Muestra N° 11. Finca Evaristo Rodríguez. Vereda de Roa Esta arcilla que se encuentra en el mismo sitio de la anterior presenta una composición granulométrica homogénea, contenido en hierro alto y presenta estabilidad dimensional en la quemada a temperaturas inferiores a 1.025°C. Se mezcla con la arcilla blanca N° 10 para obtener "loza de arena" resistente al fuego, añadiéndole arena.



1.3 Muestra Nº 12. Vereda Mirque. El Tablón.

Es un material de el evada plasticidad (alto porcentaje de arcillas :64%), de estabilidad dimensional a temperaturas menores a 1.025°C con una no muy buena resistencia a la flexión (menor de 200 Kg/cm).



1.9 CONCLUSIONES

Con el estudio realizado sobre las características de los materiales arcillosos encontrados en las principales minas de Ráquira se comprueba que se cuenta con el recurso suficiente para la obtención de pastas para la producción cerámica de excelente calidad.

En general las arcillas base para la preparación de pastas con referencia a la producción urbana son las siguientes :

- Muestra Nº 1. Alto de los Venados.
- Muestra Nº 6. Finca Gabriel Castillo.
- Muestra Nº 8. Finca Pascual Buitrago.

Se escogen éstas tres por sus cualidades y ser las de mejor acceso a su explotación actualmente. También se debe tener en cuenta que en la segunda parte de éste informe se propone una optimización del proceso cerámico bajo unos parámetros de proceso diferentes a los actuales (principalmente la obtención de temperaturas más altas a las actuales y diversificación en la óptima preparación de los materiales por una excelente explotación, trituración, molienda y añejamiento o explotación).

Otro factor decisivo es la preparación que se da a las pastas cerámicas para ser puestas a punto en los diferentes tipos de formación de las piezas

- Por modelado a mano.
- En torno
- Por colado en moldes de yeso.
- Por moldeado de la arcilla amasada en moldes de yeso (materas y otros objetos).

A continuación se acompaña este estudio de materiales con la propuesta técnica para la optimización del proceso.

2. Recomendaciones para la optimización del proceso cerámico

2.1 Preparación indirecta de la arcilla.

Dadas las actuales condiciones de explotación en las minas se recomienda una preparación con una intervención nula de maquinaria.

En esta parte se persiguen tres objetivos :

- Homogenizar la arcilla y compensar las variaciones que pueda presentar la materia prima, asegurando un suministro de características constantes sobre todo en lo que se refiere a la plasticidad y al contenido de humedad.
- Iniciar el proceso de envejecimiento y maduración de la arcilla y, aprovechar la acción física y mecánica de la intemperie (lluvia, hielo, sol, viento) para disgregar las grandes trazas de arcilla recién arrancada.

- Disponer de una reserva en los talleres para independizar la producción de las condiciones meteorológicas, del estado de las vías de acceso a la mina tratando de hacer la homogenización en el periodo más favorable del año, es decir el más seco.

Para lograr los puntos anteriores se recomienda la formación de pilas lechos de homogenización, los cuales se logran depositando el material en capas horizontales las cuales no deben ser muy gruesas, como se ilustra en la figura 1.

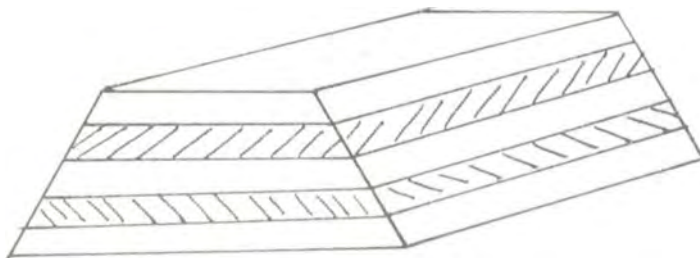


Figura 1

Apilamiento por capas.

Estos lechos se deben hacer en los talleres, en una zona destinada para este fin y después de haber disgregado los trozos de arcilla mediante un piñón u otra herramienta de disgregación manual.

Cuando se vaya a utilizar el material, éste debe ser extraído por ataque lateral abriendo un frente vertical a las diferentes capas.

2.2 Molienda

Se recomienda la molienda por vía seca ya que este sistema asegura la obtención de un porcentaje importante de partículas finas, que se humectan con más facilidad y rapidez, obteniéndose una masa muy homogénea y de mayor plasticidad, todo lo cual se traduce en un mejor acabado y una mayor resistencia mecánica, tanto del material seco como del producto cocido.

El tipo de molino ideal para esta operación es el de martillos que actualmente se tiene en el Centro Artesanal de Ráquir. El material debe ser tamizado por una malla 30 U.S. Standard.

2.3 Puesta a punto de las diferentes pastas

2.3.1 Pasta para formación por colado. Fabricación de Barbotinas.

Objetivo: Obtener la arcilla con una buena fluidez y contenido mínimo de agua (35-50%) para formar piezas por colado mediante la utilización de moldes en escayola (yeso hidratado) de las formas más diversas.

Procedimiento :

- Agregar al recipiente la cantidad de agua necesaria para una cantidad determinada de material sólido. Ejemplo : Por cada 100 g a preparar, 65 g son de material sólido y 35 ml de agua.

- Añadir los defloculantes :

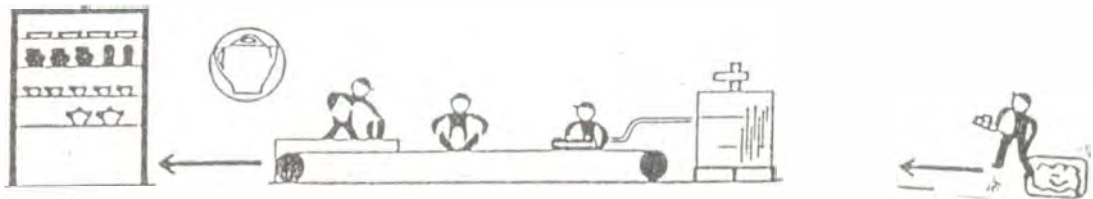
Silicato de sodio: 0.3 - 0.6% con relación a sólidos.

Carbonato de sodio: 0.2 - 0.4% con relación a sólidos.

Normalmente la relación es de tres partes de silicato por una de carbonato.

Ejemplo: para 65 g de material sólido agregamos 0.195 g de silicato de sodio (0.3%) y 0.065 g de carbonato de sodio (0.1%).

- Agitar muy bien el agua con el defloculante.
- Se va agregando el caolín y la arcilla de acuerdo a la pasta a preparar, y posteriormente los material es desgrasantes: Feldespato, cuarzo, etc.



Para el caso de Ráquira se han ensayado las siguientes barhotinas con buenos resultados, por col ado:

Pastas rojas

Arci II a Amari II a	80	70	70
Pascual Feldespato	20	20	30
Cuarzo		10	

Es importante dejar la barbotina en reposo, ya tamizada por malla 80-100, para su desaireación y maduración durante 3-4 días.

Pastas Blancas:

Arcilla Alto de los Venados	80	50	30	50
Feldespato	20	20	30	20
Cuarzo		10		
Caolín		20	40	30

Estas pastas son muy buenas para vajillas hasta temperaturas de 1.100°C (trabajo normal) y para tipo gres blanco hasta 1.200°C, las últimas tres .

2.3.2. Pastas para torno.

De acuerdo a las posibilidades del taller se presentan dos formas diferentes a la tradicional de preparar estas pastas, recalando que actualmente no se logran texturas finas ni piezas con una buena sinterización en la cocción, debido a una forma inadecuada de preparación de la pasta :

a) Vía húmeda:

El objetivo de esta operación es disgregar completamente las partículas gruesas por acción del agua, para después tamizar seleccionando la fracción más fina y obtener pastas en húmedo que de las piezas una textura más

fina y una mejor sinterización en la cocción.

— Inicialmente la arcilla preferiblemente seca, molida y pasada por un tamiz malla 10-12 (2.0-1.7 mm de abertura) se coloca en un recipiente con agua (en un tanque o caneca plástica). El nivel del agua debe estar siempre por encima del material sólido. Se agita continuamente con un agitador mecánico (se puede usar un taladro con una varilla que tenga en el extremo una hélice).

- Después de 3 o 4 días agitando a diferentes intervalos de tiempo se pasa el material por una malla 60, separando (desechando) la fracción gruesa que queda en el tamiz.

- A la fracción fina de arcilla que pasa, se deja sedimentar y se decanta el agua sobrenadante.

- La masa plástica se coloca en una plancha de yeso o simplemente al ambiente hasta que después de absorberse o evaporarse el agua, se llegue a un óptimo de agua de moldeo para trabajar en el torno.

- Se amasa posteriormente la arcilla manualmente o si se cuenta con una extrusora o inyectora en el taller.

Si son arcillas muy plásticas se agregan los desgrasantes después de tamizar por malla 10 o desde el comienzo de la primera agitación. Estos materiales (cuarzo, feldespato, talco) normalmente se consiguen en el mercado tamizados por malla 325, por lo que las pérdidas en éste proceso son nulas o mínimas.

b) Preparación en el molino de bolas.

Esta operación que requiere de un molino de bolas de capacidad variable, tiene por objeto preparar pastas de alto valor tipo gres, porcelana o cerámica de alta elaboración.

- Normalmente se hace una molienda de 4 - 6 horas de los materiales en el molino, cargando por 1 Kg de material seco, 1 L de agua y 1 Kg de bolas de diferente tamaño preferiblemente.

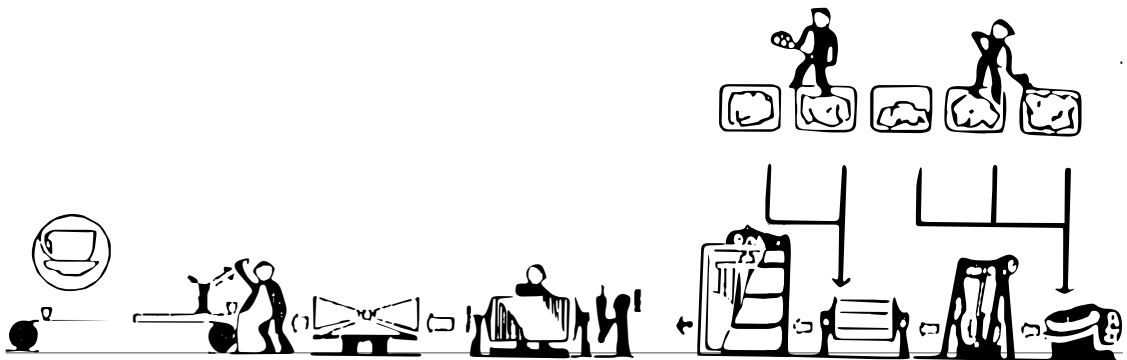
Después de realizar la molienda se tamiza por malla 120 y se deja secar la pasta hasta que se obtenga el agua de moldeo óptimo para el torno. Se amasa para eliminar burbujas de aire.

2.3.3. Pastas para prensado.

Para estas pastas utilizadas a nivel semi-industrial, principalmente para la producción de materas y otros objetos, prensados manualmente sobre moldes de yeso, se recomienda el siguiente procedimiento :

- Trituración primaria y homogenización como se recomiendo en el primer capítulo de este trabajo (preparación indirecta).
- Molienda fina : utilizando molino de martillos o de rulos de una capacidad aproximada a 0.5-4.0 Toneladas/hora dependiendo de la capacidad de proceso instalada en la fábrica o taller .
- Tamizado por malla 10 .
- Humectación y amasado en extrusora con capacidad de 0.4-4.0 Ton./hora. de acuerdo a la capacidad de molienda y de producción total. En estas

amasadoras se puede agregar material desgrasante, como es la rotura o tiesto (que es muy grande en Rá qui ra) mo lida a chamota con granulometría menor a 2mm en molino de martillos tipo Astecnia de capacidad baja (0.3-0.6 Ton./hora) con revestimiento especial de acero al manganeso en los martillos trituradores.



Las principales ventajas de este procedimiento con relación al tradicional (amasado de arcilla desgregada con bueyes) son :

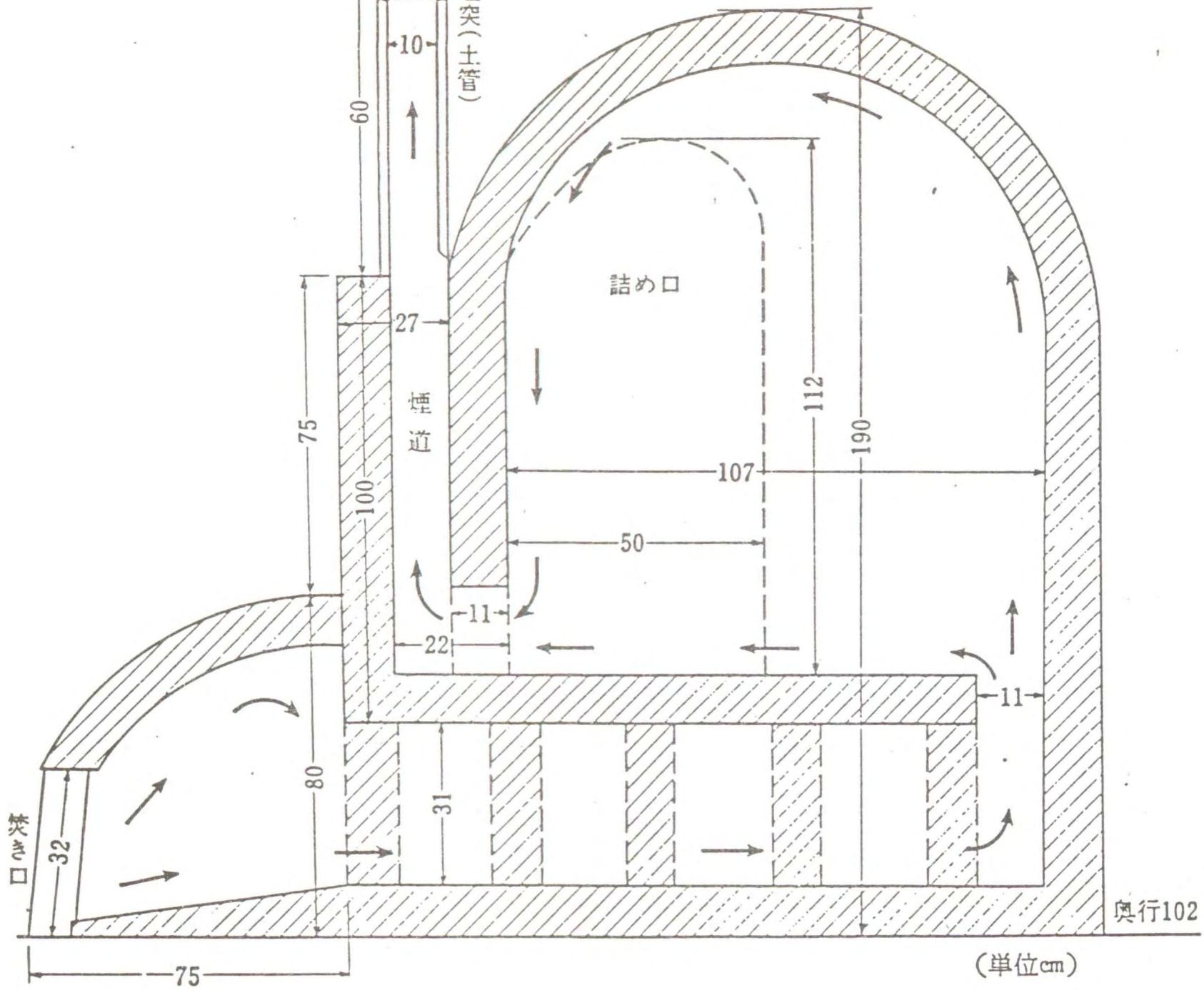
- Obtención de materas y objetos cerámicos de muy buena calidad.
- Reducción del porcentaje de rotura actual.
- Aprovechamiento de la rotura obtenida en pro de la calidad de los productos, ya que la elevada plasticidad de las arcillas de Ráquira (motivo de trizado en el secado y la cocción) hace necesario la utilización de chamota.
- Implantación de mayores capacidades de proceso.
- Organización de los sistemas de producción actuales.
- A mediano plazo, reducción en los costos de producción e incremento del valor agregado en los productos.

- Ampliación y estabilidad en la participación en el mercado nacional e internacional.
- Mayor participación corporativa para los habitantes del municipio.
- Mejor utilización de recursos (materiales, humanos) actuales.

3.0 Optimización del proceso de cocción – Horno piloto del Centro Artesanal.

Las diferencias principales entre los hornos que actualmente existen en Ráquira y el que se construye en el Centro Artesanal, son:

- Mayor aprovechamiento de la capacidad calorífica del carbón (aprox. en 50 a 80%) por diseño adecuado de las hornillas.
- Mayor recorrido del ducto a la chimenea para control de los gases de combustión y acumulación de hollín antes de la salida a la boca de la chimenea, disminuyendo la carga de sólidos sin combustir a la atmósfera.
- Aplicación tecnológica del principio de tiro invertido en el horno por una adecuada distribución de los caños de salida de los gases en la base del horno.
- Economía en el consumo de carbón por un mejor acabado de la obra, con espesores adecuados en la camisa y contorno del horno, desarrollo de la cúpula sin escapes de calor por diseño de ladrillos de cuña y utilización de materiales semi refractarios.
- Control de la curva de quema mediante dos pirómetros ubicados en dos puntos diferentes del horno (contorno y arranque de copa) y mediante un fácil manejo del registro de la chimenea del horno.



奥行102

(単位cm)

- Obtención de temperaturas máximas de trabajo (1.100°C) que garantizan productos de mayor vitrificación y calidades muy superiores a las actuales.
- Fácil manejo de carga - descarga y limpieza del horno.

Para la optimización del proceso de cocción se tienen en cuenta dos aspectos: operativos y técnicos.

El aspecto operativo se refiere básicamente a:

- El cargue del horno se debe hacer apilando los objetos en hileras concéntricas desde la pared del horno hacia el centro y dejando callejones para la circulación y salida de los gases por la parte inferior.
- Para iniciar la cocción el registro de chimenea debe estar abierto apenas en un cuarto de su abertura total para permitir una salida mínima de los gases de combustión y la concentración gradual de calor en el interior del horno.
- Se realiza el caldeo para la salida de la humedad residual de las piezas y permitir la conducción del calor al interior de las mismas sin la producción de descascaramientos, explosiones, corazón negro o reducciones en las mismas. Este caldeo se hace hasta los 300°C.
- Por encima de los 500°C se recomienda abrir el registro para que la presurización sea controlada, abriendo entre 1/2 y 3/4 del registro, y finalmente para llegar hasta 1100° se deja entre 3/4 y la casi totalidad abierto, pues en este punto se tiene el máximo flujo de calor desde la boca del horno hasta la salida de la chimenea.
- El enfriamiento se puede hacer hasta los 600°C de forma rápida pues en este rango el material es muy elástico y no sufre inversiones cristalinas. Entre 600 - 500°C se debe disminuir la tasa de calentamiento para evitar

fisuras por la inversión del cuarzo en la piezas.

- Hasta los 200°C se baja de manera lenta el horno evitando entradas de aire que causen venteado en los objetos cerámicos. A esta temperatura o inclusive superior el hornero debe comenzar a bajar la puerta de entrada del material para el enfriamiento total.

El aspecto técnico se refiere directamente a la curva de quema, la temperatura de maduración de las diferentes pastas y el tiempo de residencia de las piezas en el horno.

Se deben conocer los fenómenos más importantes que ocurren en el cuerpo cerámico durante la cocción, los cuales se pueden resumir así:

- Próximo a los 100°C se produce la eliminación del agua higroscópica del agua residual, si las piezas están mal secadas, absorbida del ambiente o si se han adicionado barnices o vidrados a las piezas.

- Próximo a los 200°C se produce la eliminación del agua ceolítica, cuyas moléculas están ligadas por absorción en la estructura cristalina.

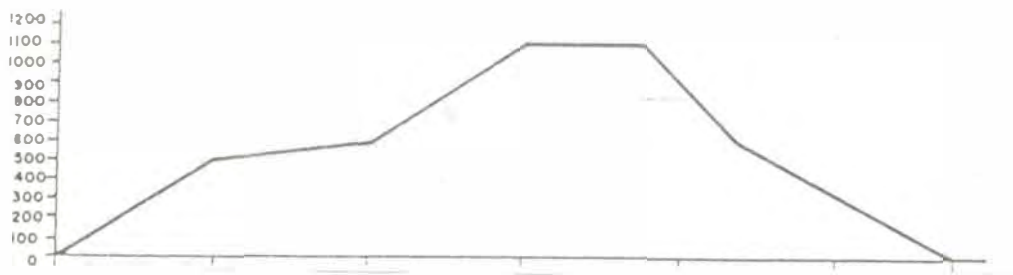
- Entre 350-650°C se produce la combustión de la materia orgánica, que en diversas cantidades puede estar contenida en la arcilla y disociación de sulfatos y sulfuros con liberación de anhídridos sulfurosos.

- Entre 450-650°C, eliminación del agua de constitución y consiguiente destrucción del retículo cristalino.

- A 573°C , transformación alotrópica del cuarzo, determinando un brusco aumento de volumen.

- A partir de 700°C formación de nuevas fases cristalinas constituidas de silicatos y silicoaluminatos complejos.

Para una curva de cocción (T vs tiempo) en el horno piloto se esperan quemas alrededor de 24-36 horas, tiempo que debe optimizarse construido el horno y podemos tener una curva típica como se muestra en la siguiente gráfica:



4.0. Esmaltado.

Como se sabe, en Ráquira actualmente se está vidreando en algunos hornos eléctricos de la zona urbana; se utilizan esmaltes comerciales, con limitación en la gama de colores y costos elevados para la mayoría de los artesanos, además de la falta de conocimiento en la aplicación y correctivos de los defectos del esmaltado. Artesanías de Colombia inició un programa de capacitación con la venida del Señor Junji Tsuboi y que actualmente se transmite a los artesanos a través de cursos que se han programado en el Centro Artesanal. De este último periodo de aplicación se han optimizado algunos esmaltes para diferentes temperaturas los cuales quedan consignados en este informe.

4.1. Esmaltes para 1.020–1.050°C.

- Crema: Base beige mate

1.5% de óxido de
manganeso 0.5% CMC

- Márfil: Base blanca

1.5% de óxido de
manganeso 0.5% de óxido
de hierro
0.5% CMC

- Café: Base transparente

1.0% de óxido de
manganeso 7.0% de óxido
de hierro
0.5% CMC

- Arena: Base transparente
 - 3.0% de óxido de manganeso
 - 1.4% de óxido de hierro
 - 0.5% CMC.
- Terracota: Base transparente
 - 5.0% óxido de hierro
 - 5.0% óxido de manganeso
 - 0.5% CMC.
- Azul de Prusia: Base transparente
 - 0.5% óxido de hierro
 - 1.0% óxido de cobalto
 - 0.5% CMC
- Verde cobre: Base transparente
 - 5.0% óxido de cobre
 - 0.5% CMC

4.2. Esmaltes para 1.100°C.

Se pueden obtener los mismos colores cambiando la base por una más refractaria que sea de la siguiente composición:

Feldespato:	Dolomita:	25%
Oxido de Zinc:		6%
Caolín:		10%
Cuarzo:		2.5%
Esmalte		6.5%
transparente		
o blanco		50% (brillante o mate)

4.3. Esmaltado en hornos a carbón.

Como una propuesta en este proyecto se ha contemplado la posibilidad de producir piezas vidreadas en el horno que actualmente se construye ($T = 1.050-1100^{\circ}\text{C}$). El diagrama de flujo sería el siguiente:



Se fabrican estuches refractarios de la siguiente composición:

50% arcilla blanca

15% talco

10% feldespato

5% cuarzo

20% chamote fino

Estos se pueden hacer por el método de prensado manual que se utiliza actualmente en la fabricación de materas en Ráquira. Estos estuches deben llevar lateralmente varios agujeros para permitir la circulación de gases y las reacciones de oxidación a alta temperatura. Deben ser fabricados de tal manera que se puedan apilar unos encima de otros sin presentarse desniveles que dieran lugar a volcamientos. Como referencia de este proceso se puede tomar el de Carmen de Viboral en Antioquia.

Estos estuches aseguran definitivamente el nulo contacto entre el fuego directo con las piezas vidreadas y su composición refractaria un tiempo de vida útil largo.