

Caracterización de las arcillas del norte del Cauca, Colombia enclave para la optimización del proceso productivo de la industria ladrillera

Characterization of clays of northern Cauca, Colombia enclave for optimizing the production process of the brick industry

Ruben Enrique Garcés Aguilar,^a Wilson Noe Garcés Aguilar^a

^aUniversidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

^bCorporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia

Recibido: 05/08/2016; revisado: 27/11/2016; aceptado: 21/04/2017

R. E. Garcés Aguila, W. N. Garcés Aguilar: Caracterización de las arcillas del norte del Cauca, Colombia enclave para la optimización del proceso productivo de la industria Ladrillera. *Jou.Cie.Ing.* **9** (1): 24-31, 2017. ISSN 2145-2628, e-ISSN 2539-066X.

Resumen

El panorama de la industria ladrillera Colombiana y en especial la del norte del Cauca se ha caracterizado en las últimas dos décadas por la tecnificación, maximización de la productividad y búsqueda de la excelencia en la calidad, en el mercado de la construcción y comercialización de productos tales como ladrillos estructurales, calados, pisos y molduras, que tienen como materia prima la arcilla.

El artículo presenta el estudio de la arcilla utilizada en el norte del departamento del Cauca para la producción de ladrillos, enchapes, calados, molduras, tejas y pisos, mediante el análisis de la composición química, características estructurales y comportamiento térmico-diferencial. A manera de caso específico se presenta el mapeo productivo de la zona de secado y el producto ladrillo estructural 12x21x29, para presentar la valoración de dos sistemas de secado, con el fin de conocer y prever reacciones generadoras de defectos, tales como fisuras y fracturas de materiales durante el proceso productivo y producto final. Llegando a la conclusión que se debe re-diseñar el proceso productivo desde el sistema de secado, dado que este es crucial para la optimización del proceso productivo en la industria ladrillera norte caucana.

Palabras Claves: Industria ladrillera, optimización, arcilla, proceso productivo, secado.

Abstract

The panorama of the industry Colombian brickyard and especially that of the North of the Cauca has been characterized in the last two decades by the modernization, maximization of the productivity and search of the excellence in the quality, on the market of the construction and commercialization of such products as structural, soaked bricks, floors and moldings, which take the clay as a raw material.

The article presents the study of the clay used in the north of the department of the Cauca for the production of bricks, plate, frets, moldings, tiles and floors, by means of the analysis of the chemical composition, structural characteristics and thermal - differential behavior.

Like specific case the productive mapeo of the zone appears of dried and the product structural brick 12x21x29, to present the valuation of two systems of dried, in order reactions know and to foresee generators of faults, such as fissures and fractures of materials during the productive process and final product. Coming to the conclusion that must re-design the productive process from the system of dried, provided that this one is crucial for the optimization of the productive process in the industry brickyard north caucana.

Keywords: Industry brickyard, optimization, clay, productive process, dried, dampness.

1. Introducción

La industria ladrillera toma impulso en Colombia a partir del estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo en 1968 [1]. No obstante en el Cauca, ya desde comienzos del siglo XX, en especial sobre la década de 1950 se tenía conocimiento de los grandes yacimientos de arcillas en el norte del Cauca [2]. Sobre la década de 1980 se registran estudios mineralógicos de arcillas en el Departamento del Cauca [3], permitiendo evidenciar las bondades de las arcillas del Departamento. En el norte del Cauca la primer ladrillera industrial se registra en el año de 1966 [2], pero es en las décadas del 1980 y 1990 cuando se asientan ladrilleras industriales que hoy son protagonistas en el norte del Cauca.

La arcilla es un agregado de origen mineral, compuesto esencialmente de silicatos hidratados de alúmina [4], resultante de la descomposición usualmente atmosférica de rocas silicosas y luminosas, esencialmente feldespatos que comúnmente se encuentran acompañados de otros minerales como hierro, calcio, magnesio y titanio [5].

Estructuralmente la arcilla se encuentra constituida por láminas de tetraedros de SiO_4 y octaedros de AlO_6 . La combinación de estas láminas forma diferentes tipos de estructuras arcillosas que a su vez dan origen a paquetes, que al combinarse generan las placas de mineral arcilloso. Por tal motivo, no se encontraran dos arcillas que se comporten igual y trabajen de la misma manera, de allí, que el encargado de la fabricación debe poseer conocimientos prácticos y sencillos acerca del material con que se va a trabajar.

El génesis de la producción es el pudrimiento y maduración de la arcilla, proceso natural que licita espacio de almacenamiento por un periodo de 6 ± 1 mes y una adecuada programación en tiempos de producción, esto genera ventajas en la extracción de humedad y compactación atmosférica, logrando un conformado óptimo que omite la dosificación de adictivos con una arcilla de menor porcentaje de humedad retenida, un proceso más limpio y de bajo costo.

En las etapas posteriores desde la preparación de la pasta cerámica, conformado de la pieza, secado y cocción, existen variables endógenas independientes y dependientes, tales como temperatura, tiempo de exposición y humedad respectivamente que deben identificarse como tal y controlarse mediante rangos o límites de control.

Se realizó el estudio en dos momentos; la caracterización de la materia prima por medio de límites de Atterberg, fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X, termogravimetría, su primera derivada y análisis térmico diferencial. En el segundo momento se evaluaron las condiciones del sistema de secado, mediante un mapeo productivo in situ durante 12 meses en empresas ubicadas en el norte del Cauca, Colombia.

2. Métodos y materiales

La clasificación del tipo de arcilla se realizó por medio de límites de atterberg, seguido del análisis de la composición química, características estructurales y comportamiento térmico-diferencial, utilizando respectivamente aparato de Casagrande, análisis de fluorescencia de rayos X (FRX), difracción de rayos X (DRX), termogravimetría, su primera derivada y análisis térmico diferencial (TG/TGD/ATD).

Paralelo al estudio físico-químico se realizó un muestreo de producción en los sistemas de secado, el primero con ventiladores estáticos, tipo Keller [6] y el segundo llamado de flujo continuo con ventiladores en movimiento; sistema realizado en base a los estudios aquí mostrados, según propuesta y puesta en marcha en la empresa donde se tomaron las muestras.

El mapeo productivo se llevó a cabo desde la mena de extracción hasta el proceso de cocción en 5 empresas ubicadas en el norte del departamento del Cauca, focalizando para este estudio en particular en los sistemas de secado artificial, donde la toma de datos se realizó en una de estas empresas y expresando el volumen de producción y muestras tomadas en porcentajes, para salvaguardar la identidad de la empresa, salvo algunos datos que comparten en común algunas de estas empresas como lo son la unidad

de ladrillo específico puesto en las arañas o vagones para cámara de secado.

Debido al empirismo en el control de variables gracias a la diversificación en la oferta y por ende en la producción, es fin último de este artículo mostrar a partir de las curvas humedad retenida vs tiempo de la zona de secado en dos sistemas diferentes, argumentado desde la caracterización físico-química la identificación de variables y las modificaciones a realizar para reducir el porcentaje de pérdida de material, energía, trabajo, costos que estos atribuyen y quizás reducir el empirismo.

2.1. Caracterización de materia prima

Para la realización de los ensayos de laboratorio se utilizó arcilla de la zona de envejecimiento o depósito de la empresa ubicada en el nororiente del Cauca, Colombia.

Los límites de Atterberg se utilizaron para categorizar el tipo de arcilla según su plasticidad [6], por medio del límite líquido, plástico e índice de plasticidad según procedimientos descritos en la Norma Técnica Colombiana 1493, correspondiente a la norma ASTM D4318 [7] desarrollándose en el laboratorio de suelos de la escuela de ingeniería civil de la Universidad el Valle, Cali, Colombia, con base a 4 muestras tomadas para cada límite.

La fluorescencia de Rayo X (FRX) se realizó para conocer los óxidos presentes y el porcentaje de los mismos. Se tomó una muestra en polvo obtenida por medio de la exposición previa de la arcilla en horno a 100°C durante 24 horas, para posteriormente pulverizarla con un mortero.

Para el análisis por FRX se contrató el Servicio Geológico Colombiano - SGC, anteriormente INGEOMINAS sede Bogotá, el cual uso un analizador Niton XLP-522, con fuentes de radiación de Cd-199(14mCi) y un detector semiconductor de Si-Li.

La Difracción de Rayos X (DRX) se realizó en tres condiciones distintas, tanto para conocer los minerales presentes, como para atribuir las características cristaloquímicas de la arcilla durante los cambios térmicos en el proceso productivo. La muestra en polvo de este ensayo sigue los mismos pasos que en FRX; Para este análisis se contrató al servicio del Servicio Geológico Colombiano - SGC-anteriormente INGEOMINAS sede Cali, quien utilizo un equipo RIGAKU Rint 2200, de tubos de rayos X de Cobre, con velocidad de escaneo 5grados/min, Paso 0,0020 grados, Rango 2,0 a 70,0 grados, Voltaje 40Kv y Amperaje

30mA.

En tanto la termogravimetría y su primera derivada (TG/TGD) fueron utilizadas para determinar la pérdida o ganancia de masa que experimenta la muestra sólida al ser sometida a la acción de temperatura.

El análisis térmico diferencial (ATD) determino las reacciones endotérmicas y exotérmicas correspondientes a cambios de energía térmica o cambios de entalpía del material arcilloso al tratarse térmicamente [8]. Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de corrosión de la Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle, Cali, Colombia, utilizando 10,4380 mg de arcilla en polvo en presencia de aire, en un rango de temperaturas de 25°C a 1100°C en un analizador térmico diferencial SDT Q600 de TA Instruments.

2.2. Mapeo productivo

La valoración de los sistemas de secado se realizaron por medio de ensayos destructivos durante 12 meses; Para las pruebas de humedad retenida y contracción, con toma del 5 % de la producción del ladrillo estructural 12x21x29 (ver figura 1) por cada día de la semana en que se produjera; Los sistemas de secado artificial tuvieron las condiciones experienciales de producción con temperatura del aire de 89 ± 2°C para el secado tipo Keller y 93 ± 2°C para el secado de flujo continuo, contando con rieles de desplazamiento para las arañas o vagones donde se deposita el material a ingresar en un ratio de 80 ± 15 minutos, con tiempo total de exposición en cámara de 24 ± 2 horas.

Producto	Dimensiones (cm)	Peso (Und/Kg)	Rendimiento por m ²
 Estructural 12x21x29	Largo	29,0	7 / m ²
	Ancho	12,0	
	Alto	21,0	

Figura 1. Ladrillo estructural usado para muestra.

El sistema de secado tipo Keller [9], cuenta con ventiladores axiales estáticos, con corriente de circulación de aire caliente por la parte inferior, extracción por la parte superior y es alimentado por quema de carbón mineral en roca.

El segundo sistema de secado de “flujo continuo” cuenta con ventiladores axiales desplazables en la horizontal y en paralelo de las arañas, con alimentación

de aire caliente por la parte superior y extracción por la horizontal, es alimentado por quema de carbón mineral pulverizado.

La humedad retenida se tomó pesando 1000 gr por unidad de ladrillo de la zona baja, media y alta del vagón durante cada hora de recorrido, restándole el pesaje de este al estar expuesto por 2 horas a 1000°C en una mufla eléctrica independiente para cada muestra. De esta manera se tomaron datos para graficar Humedad retenida (%) vs tiempo (hrs). Sumado a esto se evaluó la pérdida de humedad total en cámara, tomando como referencia la humedad al entrar vs la humedad de salida del total de muestra tomada, obteniendo un diagrama de cajas diferencial entre sistemas.

La contracción en cámara se obtuvo utilizando un indentador rectangular de 11x1 cm, con el cual se marcaban las dos caras laterales del ladrillo, midiéndolo cada hora con ayuda de un pie de rey, registrando a su vez la diferencia entre el peso del ladrillo al ingresar y el actual de cada hora. Con lo anterior se registraron datos para graficar Contracción (%) vs Pérdida de peso (%) o curva de Bigot [6].

3. Resultados

Como característica general, la arcilla de la mena de extracción presenta un color gris con algunas franjas de color rojo, al palpar su textura denota una cantidad baja de arena y hace prever una alta plasticidad.

A continuación se relacionan los resultados de los diferentes ensayos realizados atendiendo a las diferentes normas que especifican su aplicación.

3.1. Límites de Atterberg

Siguiendo las normas NTC 1493, ASTM D4318 y la metodología descrita se obtuvo el límite líquido, límite plástico e Índice de plasticidad (ver tabla 1 y figura 2).

Límite	%
Límite líquido	81.7
Límite plástico	17.8
Índice de plasticidad	63.9

Tabla 1: Límites de Atterberg para Arcilla de estudio.

De acuerdo a los resultados de límite líquido e índice de plasticidad y según el sistema unificado de

clasificación de suelos (USCS) [5, 6, 10, 11], la arcilla estudiada se clasifica como tipo CH o arcilla de alta plasticidad según diagrama de Casagrande (ver figura 3).

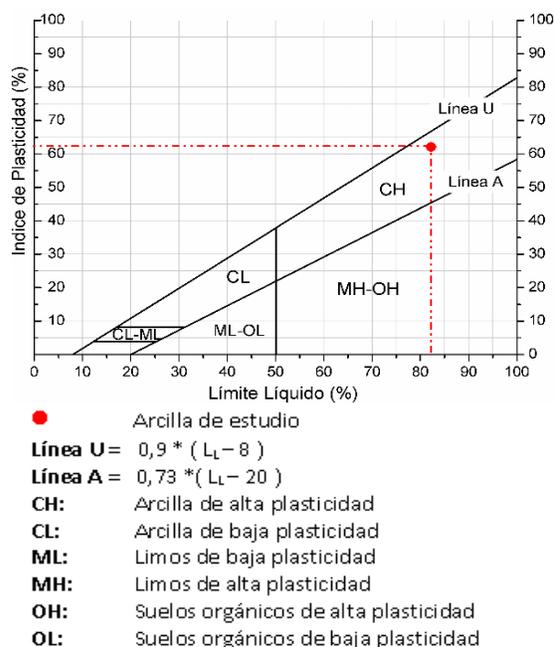


Figura 2. Carta de flujo para Límite Líquido.

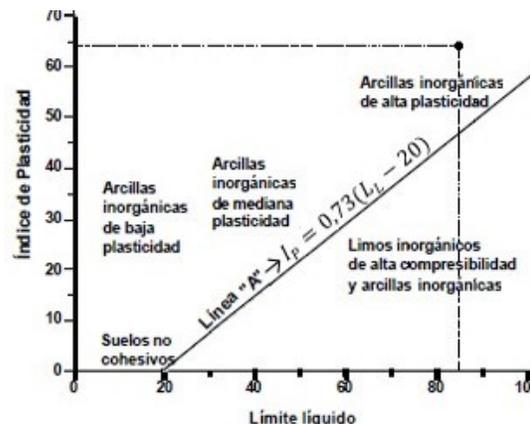


Figura 3. Diagrama de Casagrande para la muestra estudiada.

3.2. Fluorescencia de Rayos X (FRX)

Como resultado de la composición química y los sedimentos arcillosos presentes (ver Tabla 2), se destaca el alto porcentaje de componentes de Si, Fe

y Ti necesarios para la industria cerámica, resaltando las impurezas del 6,71 % refiriéndose al porcentaje de pérdida por calcinación de material orgánico, el 8,39 % de compuestos de Hierro que se distribuyen en parte a la clorita-esméctica mineral que promueve la expansión-compresión en los procesos térmicos y del 1,58 % de Potasio que se le atribuye la presencia del catión K+ quien favorece la pérdida de agua a temperaturas altas [12], generando pérdidas de peso bruscas y potencialmente fisuración o rotura de piezas.

Compuesto de	Estequiometría	% masa
Silicio	SiO_2	53.69
Aluminio	Al_2O_3	18.05
Hierro	Fe_2O_3	8.39
Magnesio	MgO	2.78
Calcio	CaO	2.54
Sodio	Na_2O	2.05
Potasio	K_2O	1.58
Titanio	TiO_2	1.03
Humedad a 105°C		1.97
Perdidas por calcinación de 105°C a 1000°C		6.71

Tabla 2: Composición química resultado de la FRX.

3.3. Difracción de Rayos X (DRX)

Los resultados cualitativos de la DRX se presentan a partir de la arcilla orientada o polvo sin atacar (Ver Tabla 3) y los difractogramas bajo tres condiciones expuestas (ver figura 4):

1. Arcilla pulverizada en tamiz No. 200 (Arcilla orientada)
2. Arcilla atacada por Etilenglicol, para disociar enlaces y promover fases que son expansivas al calor. (Arcilla E.G.)
3. Arcilla calentada a 500 °C, para observar el comportamiento cristalino. (Arcilla 500 °C).

La arcilla orientada muestra un difractograma normal, la arcilla con etilenglicol permite disociar enlaces y promover fases expansivas al calor, por último la arcilla calentada a 500°C muestra el comportamiento cristalino.

En el difractograma de arcilla orientada, se le atribuye a la clorita-esméctica interestratificada iniciar el

mayor pico en $2\theta = 6,04^\circ$ con intensidad = 860 seguida de dos picos en $2\theta = 8,84^\circ$ e intensidad = 267 donde es la illita la fase que se encarga de esta absorción de rayos X y en $2\theta = 12,36^\circ$ e intensidad = 342 donde la caolinita es la encargada de dicho pico.

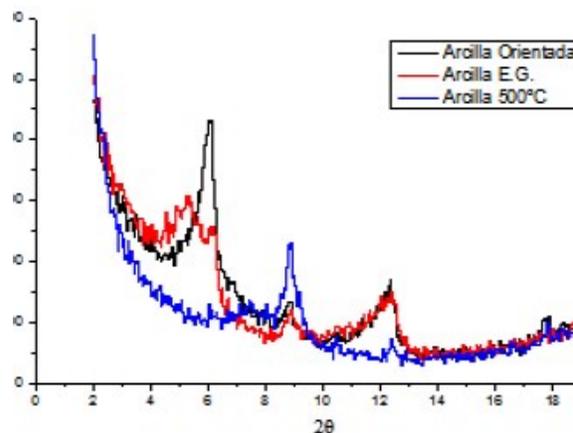


Figura 4. Difractograma en las condiciones expuestas.

Mineral	Composición	Abundancia
Cuarzo	SiO_2	+++
Feldespato (ND)	$(Ca, Na)AlSi_3O_8$	++
Caolinita (ND)	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	+++
Clorita (ND)	————	+
Mica (ND)	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$	+
Esméctica (ND)	————	++
Vermiculita (ND)	————	+
Clorita-Esméctica Interestratificada	————	++
Yeso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	+
Anfibol (ND)	————	+
Rutilo	TiO_2	*

Tabla 3: Análisis Mineralógico del polvo de arcilla. ++++ Abundante (>40 %), +++ Común (20-40 %), ++ Pobre (10-20 %), + Escaso (3-10 %), * Trazas (<3 %), Dudoso, ND No Determinada.

Los datos anteriores se consideraron por la ubicación de sus picos más que por su intensidad, indicando que los minerales arcillosos de esta muestra están constituidos principalmente, por aluminosilicatos hidratados con presencia de impurezas tales como Na,

Fe, K, Ca, que reiteran los resultados químico obtenido con FRX.

Por otra parte, el uso del etilenglicol produce el reemplazo del agua interlaminar en la arcilla, provocando la separación de dos fases, la clorita pasa a su punto, al igual que la esmectica; Esto se evidencia en $2\theta \approx 5,32^\circ$ con intensidad ≈ 613 y $2\theta \approx 6,2^\circ$ con intensidad ≈ 514 respectivamente (ver figura 3), continuando un desarrollo similar a la arcilla orientada en bandas superiores a $2\theta > 6^\circ$. En tanto el comportamiento de la arcilla calentada a 500°C muestra la desaparición del pico entre $4 < 2\theta < 6,5$ debido a la disociación del enlace clorita-esmectica, mientras aparece un pico en $2\theta = 8,88$ e intensidad ≈ 459 atribuida a la esmectica deshidratada.

3.4. Termogravimetría, su primera derivada y análisis térmico diferencial (TG/TGD/ATD)

Para el análisis del efecto térmico en la arcilla utilizada en el nororiente del Cauca, en temperaturas que durante su proceso productivo se presenta tanto en la zona de secado como de cocción, se debe tener presente que los cambios de estado, pérdida de agua adsorbida o absorbida sugieren procesos endotérmicos, por el contrario los procesos exotérmicos se deben a la oxidación, combustión de material orgánico, recristalización y deshidroxilación de los filosilicatos [8].

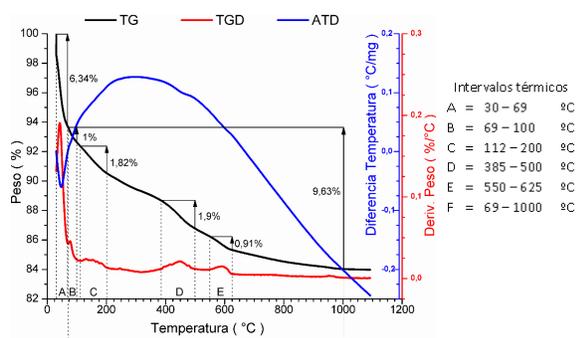


Figura 5. Termogravimetría, su primera derivada y análisis térmico diferencial (TG/TGD/ATD).

Los resultados de este análisis, se categorizaron en 5 intervalos térmicos (ver figura 5). Donde el termograma TGD denota descomposiciones multietapas y efectos termogravimétricos identificados por los cambios de pendiente en la curva TGD, acompañados por una pérdida de peso en los intervalos A, B, C, D y E de 6,34%, 1%, 1,82%, 1,9% y 0,91% respectivamente,

con velocidad media de pérdida de masa por grado centígrado de 0,0136. Evidenciándose una estabilidad en pérdida de peso a temperaturas mayores a 100°C debidas a la tendencia horizontal de las curvas TG y TGD, con velocidad de pérdida de masa inferior a 0,0023 %/°C.

En tanto la curva ATD denota un proceso endotérmico en el intervalo A, atribuido al consumo de energía para la liberación en forma de vapor del agua superficial con pérdida de peso del 6,34% y un gran proceso exotérmico [13] en el intervalo F, donde se pierde el 9,63% de peso según curva TG acusados a la deshidroxilación de la clorita-esmectica, la deshidratación de minerales hidratados como la esmectica hasta los 200°C [10], el yeso hasta los 385°C y terminando con la expulsión del agua intercapa y expansión en las partículas de la vermiculita hasta los 500°C [14], momento en el que inicia la descomposición de la caolinita, deshidroxilación del resto de filosilicatos e inicio de la recristalización de cuarzo-alfa a cuarzo-beta.

Las reacciones y cambios cristalográficos del intervalo A y B tienen cabida durante el proceso de secado artificial que contempla temperaturas máximas de 100°C donde los cationes de Na^+ , K^+ , Mg^{2+} o Ca^+ resultante de la sustitución isomorfa del mineral favorecen la capacidad de absorber agua, potenciando la propiedad higroscópica de la arcilla la cual al salir de la cámara de secado o dentro de esta según la instalación de la misma, sucede la rehidratación que aunque leve genera una deshidratación brusca al entrar al proceso de cocción donde se llevan a cabo los comportamientos restantes hasta los 950°C que tiene como máximo la Temperatura en Horno.

3.5. Mapeo Productivo

Las variables del sistemas de secado (ver tabla 3.5) difieren en la temperatura debido a las condiciones del material de quema; Carbón en roca y carbón pulverizado, al igual que por los ventiladores estáticos y en movimiento para el sistema Keller y flujo continuo respectivamente. Los resultados de humedad retenida para los dos sistemas de secado (ver figura 7), evidencian que el secado natural previo al artificial entrega en promedio ladrillos estructurales con humedad retenida del 21,5%; en tanto se marca la efectividad del sistema de flujo continuo al alcanzar en 15 horas el 3,3% de humedad en comparación del 4,8% del sistema Keller, siendo este punto un momento en el cual el comportamiento de la curva tiende a la horizontal

con un máximo obtenido durante las 24 horas de 2,7 % y 4,4 % respectivamente.

	Sistema Keller	Sistema de Flujo Continuo
Min	2,98	2,3
Max	7,01	4,99
Media	5,03	3,88
Desviación Estandar	1,1932	0,6442
Percertil 1	3,96	3,37
Percertil 2	5,03	3,88
Percertil 3	5,94	4,43
Percertil 4	6,98	4,98

Tabla 4: Análisis estadístico de humedad retenida de productos al salir de los sistemas de secado.

Para sustentar dicha afirmación el análisis de humedad retenida del ladrillo al salir en los sistema de secado (ver figura 6 y tabla 3.5) denota humedades retenidas entre un 2,3 % y 4,99 %, con 75 % de los casos en 4,43 % para el sistema de flujo continuo, que comparado con el sistema Keller con rangos mínimos y máximos de 2,98 % y 7,01 % respectivamente y 5,94 % de humedad retenida en el 75 % de los casos; indicando según diagrama de cajas una gran dispersión en las humedades de salida del sistema Keller, diferente a la condensación de los mismos en el sistema de flujo continuo. Cabe aclarar que estos datos son para 24 ± 2 hrs de exposición en cámara y que según la figura 7, se puede obtener en menor tiempo mejores humedades retenidas para el sistema de flujo continuo. Calificándolo como el sistema que mejor % de humedad proporciona para el proceso de cocción.

	Sistema Keller	Sistema de Flujo Continuo
Temp. Aire (°C)	89 ± 2	93 ± 2
Ratio de ingreso (min/vagón)	89 ± 15	89 ± 15
Tiempo de exposición (hr)	24 ± 2	24 ± 2

Tabla 5: Variables de los sistemas de secado.

Pues aun cuando la propiedad higroscópica de la arcilla asegura una reabsorción de humedad, el menor margen de humedad retenida compensa dicho proceso

natural y dichas unidades serían menos propensas a presentar fisuras o roturas en temperaturas mayores donde se llevan a cabo los procesos de deshidroxilación, deshidratación y descomposición cristalina expuestas en el análisis TG/TGD/ATD.

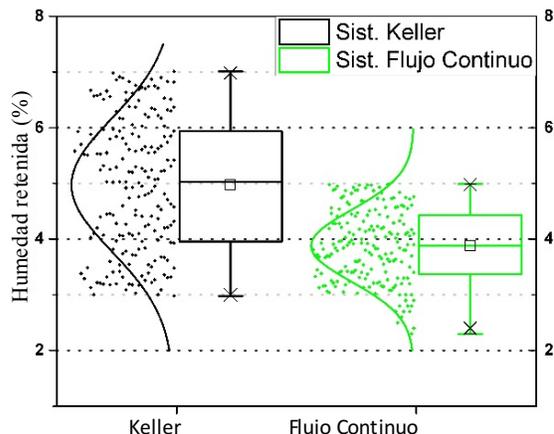


Figura 6. Diagrama de cajas comparativo entre los sistemas de secado.

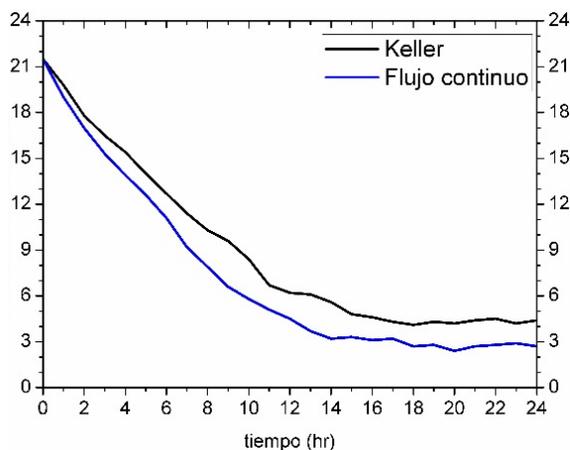


Figura 7. Humedad retenida durante 24 horas.

En tanto la evaluación de la contracción vs pérdida de peso (ver figura 8) para los sistema de secado muestra un comportamiento similar con un máximo de contracción de 8,7 y 8,09 % para el sistema Keller y flujo continuo respectivamente, aproximándose a la pérdida teórica del 7,37 % mostrada en la curva TG.

Lo que se debe resaltar son los rangos de contracción 2,8-5,1 % y 5,5-8,3 % para el sistema de flujo continuo evidenciando una mayor velocidad de contracción y pérdida de peso en las reacciones de extracción del agua superficial, donde no se altera la integridad del ladrillo,

pues no se presentan fisuras, ni roturas. Indicando así que esta arcilla de alta plasticidad es apta para el rango de temperaturas usadas, pero bajo las condiciones de circulación de aire presentes en este sistema.

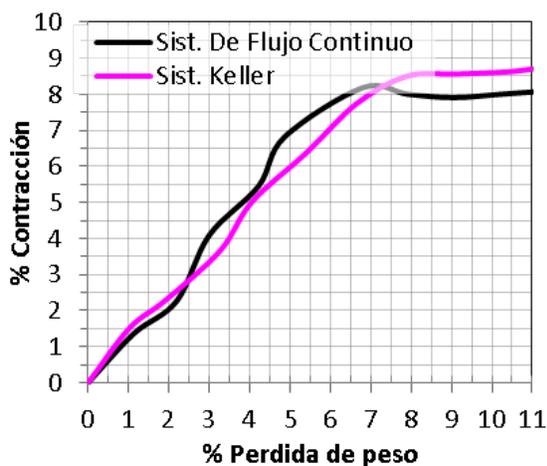


Figura 8. Curva de Bigot para los sistemas de flujo continuo y Keller.

4. Conclusiones

Debido al comportamiento de la arcilla en los ensayos de caracterización, se concluye que la arcilla de alta plasticidad utilizada es apta para el procesamiento en la industria ladrillera como materia prima para la elaboración de piezas cerámicas de construcción. Debido tanto a los porcentajes de Aluminio, Silicio y sus fases cristalinas presentes en los ensayos FRX Y DRX.

Sustentado además por el comportamiento en el tratamiento térmico TG/TGD/ATD donde la velocidad de pérdida de peso de la arcilla licita exposiciones adecuadas en cámara de secado para promover las reacciones térmicas de manera mesurada, para no generar contracción-expansión debidas a la absorción natural de agua de este tipo de arcilla.

En tanto, el mapeo productivo denota una diferencia comparativa en tiempo de secado vs humedad retenida, donde se favorece al secado de flujo continuo, tanto en la eficiencia de pérdida de humedad como en la velocidad de producción, proyectando una producción rápida y con mejores resultados para la alimentación del horno.

Por otro lado, el sistema Keller presenta un rango más amplio de humedades de salida y es esto lo que genera producciones con más o menos productos fisurados o con roturas en la quema en horno y es esto lo que se debe mejorar en la industria ladrillera Caucana, ya sea invirtiendo en el sistema de flujo continuo, asegurando una inyección y dispersión de calor similar a este o evaluando un cambio o dosificación de la arcilla utilizada para compensar el comportamiento en este proceso.

Se sintetiza además que siendo la arcilla de alta plasticidad la más difícil de trabajar en cuanto extracción de humedad se refiere según literatura. Es el sistema de flujo continuo el óptimo para esta clase de arcilla y es tarea de investigaciones próximas, evaluar el comportamiento de este en arcillas menos plásticas, con el fin último de mejorar el proceso productivo y validar este sistema de inyección y dispersión de calor.

Referencias

- [1] O. G. Arango and D. F. Gomez, *Ladrillos de Arcilla. Estudios de Factibilidad*. Bogotá: Banco Interamericano de Desarrollo, 1968.
- [2] "La mampostería prefabricada," *Terracota*, vol. 1, no. 9, 2003.
- [3] J. de Dios Varela, A. Orrego, and G. Cobaleda, "Arcillas caolínicas del departamento del cauca," *Geología Colombiana*, vol. 16, pp. 53–64, 2012.
- [4] "Ntc 4051," tech. rep., ICONTEC, 2005.
- [5] G. Demetrio, *Arcilla y Ladrillos*. Morato, 1977.
- [6] A. C. Lopez, *Introducción a la mecánica de suelos*. 1983.
- [7] A. S. f. T. Materials, "Astm d4318-05-standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils," tech. rep., 2005.
- [8] E. Sánchez, A. Barba, C. Feliu, J. García, F. Ginés, V. Sanz, and V. Beltrán, "Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas," *Castellón, Espanha: Instituto de Tecnología Cerámica-AICE/ITC.*, 1997.
- [9] A. I. Avgustinik, *Cerámica*. Reverté, 1983.
- [10] M. F. y. P. M. Carretero, *Mineralogía aplicada*. Mineralogía aplicada. Salud y medio ambiente, 2007.
- [11] J. M. A. Martín, *Introducción a la ciencia de materiales: técnicas de preparación y caracterización*, vol. 20. Editorial CSIC-CSIC Press, 1993.
- [12] D. W. Ming and F. A. Mumpton, *Natural Zeolites' 93: occurrence, properties, use*. International Committee on Natural Zeolites, 1995.
- [13] R. C. MacKenzie, *Differential thermal analysis*. Academic Press, 1970.
- [14] C. P. García García, "Algunos análisis físico-químicos para la identificación de los minerales componente de una arcilla," tech. rep., Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, 1997.