

Caracterización Hidrométrica de las Arcillas Utilizadas en la Fabricación de Productos Cerámicos en Ocaña, Norte de Santander

Hydrometric Characterization of the Clays Used in the Manufacture of Ceramic Products in Ocaña, Norte de Santander

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.05>

Artículo de investigación. Fecha de Recepción: 27 de noviembre de 2016. Fecha de Aceptación: 18 de diciembre de 2016

Ricardo Andrés García León

Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña (Colombia)
ragarcial@ufpso.edu.co

Rafael Bolívar León

Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia)
rbolivarl@unipamplona.edu.co

Para citar este artículo:

R.A. García León, R. Bolívar León, "Caracterización hidrométrica de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos cerámicos en Ocaña, Norte de Santander" INGE CUC, vol. 13, no. 1, pp. XX-XX, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.05>

Resumen--En el presente trabajo se realizó la caracterización física por hidrometría de las arcillas utilizadas en una de las empresas dedicadas a la fabricación de bloques H-10 en Ocaña, Norte de Santander, mediante la ejecución de ensayos con los que se determinaron los porcentajes de arenas, limos y arcillas; los cuales fueron ubicados en el diagrama de Winkler para identificar los tipos de arcillas existentes según su textura, el tipo de producto que se puede fabricar y de esta manera formular la pasta de material cerámico. Los resultados obtenidos demuestran que las arcillas utilizadas actualmente por la empresa se encuentran en los índices mínimos para la elaboración de bloques, por lo que se plantea la adición de otras arcillas con las cuales se alcance el nivel adecuado de calidad con la que cumplan los requerimientos establecidos por las normas actuales vigentes. Todo esto con la finalidad de optimizar la pasta de producción, productos (Bloque H-10), los recursos ambientales y económicos de la empresa.

Palabras claves--Bloques H-10, Hidrometría, Mezclado, Cerámica, Ladrillera.

Abstract-- In the present article the physical characterization by hydrometry of the clays used in one of the companies dedicated to the manufacture of blocks H-10 in Ocaña, North of Santander, was carried out by means of the execution of tests with which the percentages of arenas, Limos and clays; Villages are located in the Winkler diagram to identify the types of clays according to their texture, the type of product that can be made and in this way formulate the ceramic paste. The results obtained show that the clays currently used by the company are in the minimum indexes for the elaboration of blocks, reason why the addition of other clays with which the adequate level of quality with which the Requirements Established by current standards. All in order to optimize production pulp, products (Block H-10), environmental and economic resources of the company.

Key Words--Blocks H-10, Hydrometry, Mixed, Ceramic, Brick.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en Colombia, muchas de las empresas dedicadas a la producción de bloques H-10 no cumplen con los estándares adecuados de calidad en porcentajes admisibles de seguridad basados en la norma NTC 4017 y 4205. Se supone que esto ocurre debido a que durante la etapa de mezclado del proceso productivo no se está realizando la composición óptima de material cerámico, que según análisis realizados por investigadores, la arcilla debe poseer la plasticidad apropiada que se logra durante este proceso de mezclado y amasado [1],[2],[3]. Adicionalmente, en varias de las empresas el proceso productivo se realiza de forma rudimentaria en algunas etapas, lo que no garantiza la efectividad en el proceso.

Las arcillas se consideran como un mineral que está constituido principalmente, por una mezcla de aluminosilicatos cristalinos, a los que se denominan minerales arcillosos, de otros silicatos y minerales de hierro, calcio, titanio, etc., los cuales están acompañados frecuentemente por materia orgánica [4].

La materia prima (La arcilla) en la mayoría de las fábricas, se encuentra ubicada en los patios de las ladrilleras y es utilizada en el proceso de mezclado sin tener en cuenta las proporciones químicas y características de las arcillas mediante técnicas experimentales de laboratorio, a este hecho se le adiciona a que el proceso se realiza manualmente y no existe ninguna verificación técnica que permita obtener el producto con la calidad necesaria, lo cual en caso de hacerse, le permitiría optimizar la productividad, minimizar costos y desperdicios.

Por lo anterior, las arcillas se pueden caracterizar a nivel laboratorio por granulometría, hidrometría, límites de Atterberg y determinación composición química, la difracción de rayos X, análisis térmicos y gravimétricos diferenciales, como los análisis más importantes [5], [6].

El proceso cerámico se compone principalmente de tres etapas, que son: preparación de la pasta cerámica, moldeo de la pieza y cocción. En la primera etapa del proceso se modifica la composición y la plasticidad de la arcilla con el fin de obtener una pasta cerámica homogénea, luego se moldea según la forma deseada, presión o extrusión. Una vez, se ha obtenido la pieza moldeada se procede al secado controlando la velocidad de evaporación de agua con el fin de evitar defectos en el producto. Posteriormente, se somete al proceso de cocción con el fin de disminuir la porosidad, aumentar la densidad y la resistencia mecánica [12], [13], [14].

El proceso productivo es manejado en tres medidas estratégicas: la explotación minera, la transformación de la arcilla y la comercialización del producto final. Una de las etapas definitivas de este proceso es la cocción, realizada en los hornos. Para su ejecución, el horno pasa por tres etapas: precalentamiento, quema y enfriamiento; deben controlarse en forma correcta, con la finalidad de obtener productos con defectos mínimos y reducir el impacto ambiental [15].

De acuerdo a su capacidad de producción y desarrollo tecnológico las industrias ladrilleras se han clasificado en chircalles, ladrilleras pequeñas, medianas y grandes. Por lo general, estas industrias mantienen el proceso productivo como se puede observar en la figura 1.

En su mayoría las arcillas se destinan a la industria cerámica de la construcción, un 90 % de la producción se dedica preferentemente a la fabricación de materiales de construcción y agregados, por lo que sólo un 10 % se dedica a otras industrias (fabricación de papel, caucho, pinturas, absorbentes, decolorantes, arenas de moldeo, productos químicos y farmacéuticos, agricultura, etc.) [17], [18].

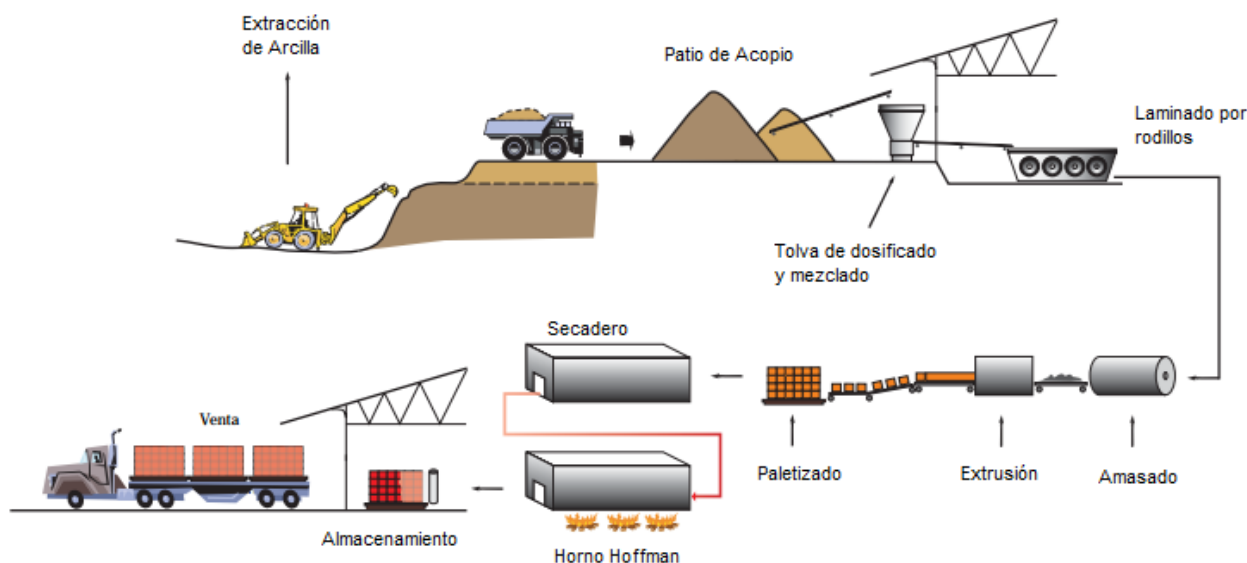


Fig. 1. Esquema de fabricación del bloque. Fuente: [16]

Estos materiales, usados a nivel de la construcción y otros procesos industriales, pueden ser clasificados atendiendo a multitud de parámetros; así, las minas que contienen minerales arcillosos en su composición pueden ser clasificados dependiendo de su mineralogía, composición química, origen geológico, propiedades físicas, utilización industrial, comportamiento geotécnico, entre otras clasificaciones, pero siendo la más común y la más conocida la clasificación mineralógica, entre las que podemos encontrar, según su estructura molecular, arcillas de tipo caolín, illita y montmorillonita [19].

Para el caso particular de la región Santandereana en Colombia, varias arcillas fueron caracterizadas química, mineralógica, granulométrica, plástica y térmicamente tres arcillas que fueron denominadas "Cascajo" (C), "Roja" (R) y "Amarilla" (A), también obtuvieron mezclas cerámicas aptas para la fabricación de ladrillos y tejas, sin tener en cuenta la capacidad de la empresa para producir los productos con las modificaciones propuestas. Por esta razón, en esta fase de la investigación nos centraremos en la determinación de las variables del proceso productivo y de esta manera proceder experimentalmente con las caracterizaciones de la arcilla a nivel laboratorio [10], [11].

En el área Norte Santandereana existe gran diversidad de productos que se pueden fabricar con esta materia prima, Colombia en estos momentos no es una gran potencia en fabricación industrial de productos a base de arcillas, sin importar que en los suelos exista una gran abundancia de arcillas óptimas. Pero en esta región existe gran variedad de yacimientos naturales; pero a pesar de esto, es un departamento cuya exportación de materiales a base de arcilla no superan el 5,7% del total de las exportaciones a nivel regional, representando para la economía del departamento aproximadamente 13,7 millones de dólares a Julio de 2013; y teniendo en cuenta que estas cifras, en relación con materiales para la construcción, sólo se ve reflejada para el municipio de Cúcuta y su área metropolitana, pues es el único municipio que posee PYMES en lo referente a fabricación de materiales arcillosos [20], [21].

Generalmente, se utilizan tres componentes que desempeñan papeles importantes en la optimización del rendimiento de las propiedades finales de los bloques y materiales cerámicos. El primer componente es la arcilla, por lo que su plasticidad facilita la estructura del producto, mientras que el segundo es el feldespato o alúmina (Al_2O_3) que se utiliza para fundente y la tercera es el sílice (SiO_2) que se utiliza como un material de relleno y estabilizador [22], [6]. Estas composiciones se determinan mediante la composición química, la cual es la base de la clasificación moderna de los minerales y la aproximación de las mezclas con los diagramas ternarios [23], [24], [7], que para el caso de muchas fábricas productoras de bloques o ladrillos no tienen en cuenta las proporciones de cada uno de estos componentes químicos.

II. METODOLOGÍA

El área de estudio comprende una de las empresas automatizadas en la provincia de Ocaña Norte de Santander, la cual fabrica aproximadamente 24000 bloques diarios en donde se genera una pérdida de productos que aproximadamente alcanza el 8% de desperdicios diarios.

En la actualidad en el diseño de mezcla de experimentos, se deben evaluar los resultados de un primer lote de prueba como muestra, el cual se pueda usar como base o punto de partida para realizar ajustes de las proporciones y mezclas de arcilla hasta que se alcancen las propiedades requeridas. Sin embargo, este método para la optimización del rendimiento de la cerámica tarda mucho tiempo y puede no ser capaz de revelar la composición óptima real. Es por esta razón, que existe una metodología utilizando técnicas matemáticas y estadísticas específicas para el diseño de mezcla experimentos, en la cual se definen las propiedades deseadas y se establece una mezcla óptima empleando un número mínimo de experimentos [7], [8]. El desarrollo de este método implica experimentos variando las proporciones de componentes de un producto a partir del análisis de los cambios en las propiedades. Para iniciar con dicho procedimiento que hace parte de la segunda fase de la investigación, se deben evaluar inicialmente las variables del proceso productivo en cada una de las etapas con la finalidad de tener una visión más amplia acerca de las malas prácticas realizadas actualmente por la empresa [9].

En cuanto a las características morfológicas o dimensionales del bloque H-10, se establecen como largo, ancho, altura del piso a la pieza, espesor y peso, relacionadas en la Figura 2.

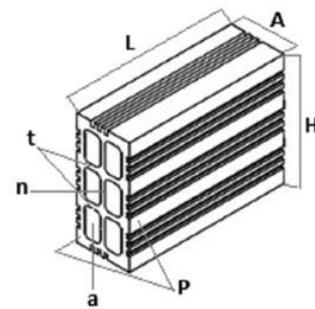


Fig. 2. Dimensiones del Bloque H-10. Fuente: [25]

De dónde, L= largo; A= ancho; H= alto; P= espesor más pequeño de las paredes; T= espesor más pequeño de los tabiques; N= espesor del nervio.

Las dimensiones los bloques H-10 oscilan dependiendo la tecnología utilizada por la empresa y para el caso del bloque de seis huecos que es el más común, los valores de largo varían entre 28,00 y 30,50 cm, y los valores del ancho entre 9,64 y 10,46 cm [25].

Teniendo en cuenta lo anterior, se aplicaron ensayos no destructivos, los cuales son muy importantes en los controles de calidad, pero para el caso de las arcillas se tienen en cuenta ensayos de laboratorio como los más importantes: Hidrometría, porcentajes humedad, retenido sobre tamiz, etc. Las cuales son validadas con las normas técnicas colombianas como lo son la NTC 4205, NTC 4017 y otras establecidas por Invias (INV).

Las muestras recolectadas fueron analizadas teniendo en cuenta las normas Invias (INV) y las normas técnicas colombiana (NTC); las cuales definen los procedimientos para encontrar las propiedades físicas de las arcillas entre las que resaltan: Distribución del tamaño de partícula, hidrometría, plasticidad, contracción lineal, entre otras [26].

En las especificaciones de las normas, deben ser consideradas las características físicas de los diferentes suelos arcillosos que se emplean en la fabricación de Bloques, con la finalidad de mejorar la calidad de las piezas, debido a que mediante ensayos no destructivos se pueden optimizar las características tecnológicas del producto final.

Para la transformación de la materia prima utilizada en la fabricación de los bloques H-10 se tuvieron en cuenta las siguientes características:

- La materia prima es extraída con retroexcavadora lo que facilita la explotación y homogeneidad, luego es aglomerada en los patios, la cual dura aproximadamente 6 meses en añejamiento.
- La empresa cuenta con terrenos de explotación propios, lo que asegura las reservas y la continuidad en las características del producto final.
- La empresa cuenta con un proceso continuo y tecnificado en el proceso de transformación de la materia prima hasta el producto parcial.
- La empresa realiza algunos ensayos de resistencia mecánica a variaciones en la pasta dependiendo del lote que se toma por semestres.
- La planta cuenta con un horno Hoffman con proceso de combustión a base de carbón mineral con inyección por medio de carbojet, con lo que se obtienen temperaturas aproximadas de hasta 1200°C.

El proceso de recolección de las muestras y análisis de la información se realizó teniendo en cuenta el siguiente figura 3:

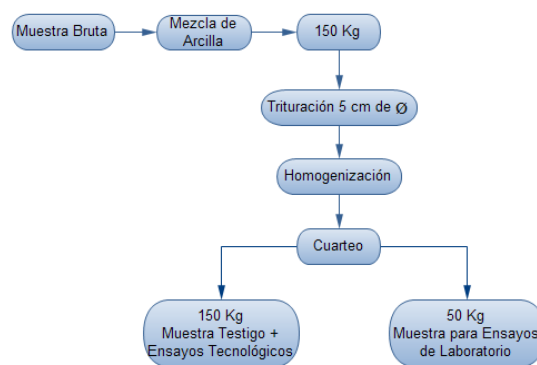


Fig. 3. Proceso de extracción de la muestra. Fuente: Autores

Los procedimientos realizados en los análisis de laboratorio para las muestras seleccionadas fueron los siguientes:

- ✓ **Retenido sobre tamiz:** Se tomaron 50 gramos de muestra los cuales fueron secados posteriormente en la estufa a temperatura constante por dos horas, luego de pasarlo por un tamiz No 230 según el método establecido por la empresa [27]. En el cual se determina el tamaño de las partículas presentes en la mezcla en su mayoría como arenas.
- ✓ **Análisis granulométrico por hidrómetro:** El análisis se realizará siguiendo la metodología propuesta por la norma INV E-124-1 “Análisis granulométrico por medio del hidrómetro” y la norma ASTM D422 [28] [29]. La muestra se pasa por malla N° 200 para obtener 50 gramos de muestra tamizada y seca, a esta se le adicionan 200 mililitros de agua y 50 mililitros de Hexametáfosfato (agente defloculante). La suspensión resultante se deja reposar durante un tiempo mínimo de 1 hora. La mezcla se transfiere a una agitadora eléctrica, esta se dispersa de 5 a 10 minutos. La dispersión así obtenida se transfiere al hidrómetro y se afora a 1000 mililitros, se agita durante 60 segundos y se deja reposar. Este análisis se realizó teniendo en cuenta el procedimiento especificado por la empresa. Esta prueba se efectúa con la finalidad de conocer la clasificación de la muestra en sus porcentajes de arenas, limos y arcillas

De donde:

- Wi = Peso Inicial
- Li = Lectura Inicial del Hidrómetro
- Ti = Temperatura Inicial del fluido
- Lf = Lectura Final del Hidrómetro
- Tf = Temperatura Final del fluido

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado, se dará a conocer los resultados luego de la recolección e identificación de cada muestra según la veta de arcilla, en la siguiente tabla se detalla el nombre de la muestra y su identificación:

MUESTRAS de la Ladrillera Objeto de Estudio		
Identificación		Observaciones
Muestra #1	# 1-1	Arcilla roja oscura + clara
	# 1-2	
	# 1-3	
Muestra #2	# 2-1	Arcilla roja oscura + oscura
	# 2-2	
	# 2-3	
Muestra #3	# 3-1	Arcilla verde
	# 3-2	
	# 3-3	
Muestra #4	# 4-1	Arcilla verde + roja
	# 4-2	
	# 4-3	
Muestra #5	# 5-1	Arcilla gris
	# 5-2	
	# 5-3	

Tabla 1. Muestras de las vetas de arcillas recolectadas en la ladrillera Objeto de estudio. Fuente: Autores

MUESTRAS de las Zonas Cercanas		
Identificación		Observaciones
Muestra #7	#7-PP	Ladrillera Artesanal de la Zona Aledaña
	#7-AB	
	#7-AR	
Muestra #8	#8-PP	Ladrillera Artesanal de la Zona Hatillo
	#8-AB	
	#8-AR	
Muestra #9	#9-PP	Ladrillera Artesanal de la Zona Hatillo
	#9-AB	
	#9-AR	

Tabla 2. Muestras de las vetas de arcillas recolectadas en las Zonas Cercanas. Fuente: Autores

Los resultados de los ensayos realizados se detallan a continuación:

RETENIDO SOBRE TAMIZ			
Arcillas de la ladrillera Objeto de estudio			
Muestra	Wi	Wf	% Arena
# 1	50 Gr	24 Gr	48
# 2	50 Gr	26 Gr	52
# 3	50 Gr	19 Gr	38
# 4	50 Gr	23 Gr	46
# 5	50 Gr	22 Gr	44

Tabla 3. Retenido sobre Tamiz. Datos Ladrillera Objeto de estudio. Fuente: El autor

RETENIDO SOBRE TAMIZ			
Arcillas de las Zonas Cercanas			
Muestra	Wi	Wf	% Arena
#7 - PP	50 Gr	16 Gr	32
#7 - AB	50 Gr	31 Gr	62
#7 - AR	50 Gr	2 Gr	4
#8 - PP	50 Gr	18 Gr	36
#8 - AB	50 Gr	18 Gr	36
#8 - AR	50 Gr	5 Gr	10
#9 - PP	50 Gr	17 Gr	34
#9 - AB	50 Gr	15 Gr	30
#9 - AR	50 Gr	2 Gr	4

Tabla 4. Retenido sobre Tamiz. Datos zonas aledañas. Fuente: Autores

En las tablas 3 y 4, se evidencia la presencia de arcillas arenosas en la ladrillera objeto de estudio, caso contrario ocurre en las zonas cercanas, de las cuales se tomó una muestra, en donde se encontraron limos casi al 80%, muestras de las que se evidenció el bajo porcentaje de arcillas por lo que no existe una relación en porcentaje (Arena-Arcilla-Limo) importante en la formulación de la pasta idónea.

Luego de obtener las lecturas iniciales y finales en el hidrómetro, estos datos son almacenados en una tabla de Excel, la cual arroja los porcentajes de Arena - Limo y Arcilla, según el método establecido por la empresa.

Los datos obtenidos en las tablas 6 y 8, son graficados en el diagrama de Winkler con la ayuda del software TripLop de uso gratuito, en donde se ubicarán los puntos para caracterizar las muestras según el tipo de suelo y de esta manera poder clasificar las arcillas y por ende comprobar si son aptas o no para la producción actual que se realiza en la ladrillera. En el diagrama de productos según Winkler se puede clasificar el material según los porcentajes que establezca la hidrometría, como lo muestra la tabla 5.

CLASE DE MATERIAL	ARENA%	LIMO%	ARCILLA%
Arena	80-100	0-20	0-20
Franco - Arenoso	50-80	0-30	0-20
Franco	30-50	30-50	0-20
Franco - Limoso	0-50	50-80	0-20
Limoso	0-20	80-100	0-20
Franco - Arcilloso - Arenoso	50-80	0-30	20-30
Franco - Arcilloso	20-50	20-50	20-30
Franco - Arcilloso - Limoso	0-30	50-80	20-30
Arcillo - Arenoso	50-70	0-20	30-50
Arcillosos - Limoso	0-20	50-70	30-50
Arcilloso	0-50	0-50	30-10

Tabla 5. Porcentajes (Arena-Limo-Arcilla) del diagrama del Winkler. Fuente: [30].

Los siguientes diagramas se pueden traspasar, con la finalidad de verificar en que zona se encuentra, tipo de textura y tipo de producto.

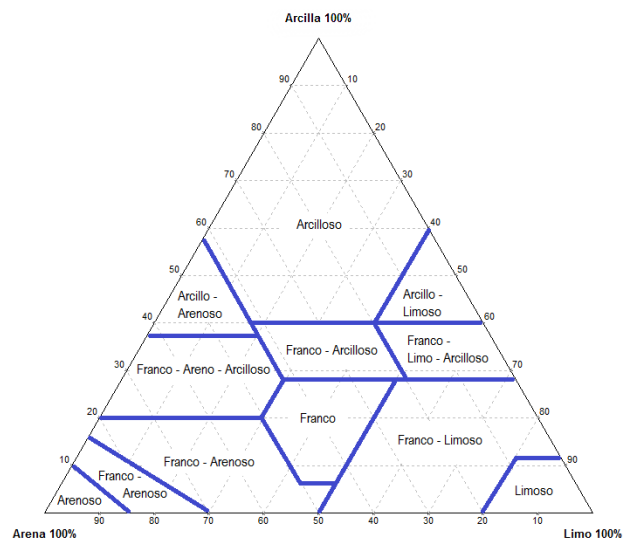


Fig. 4. Diagrama de Winkler para tipos de textura. Fuente: [31]

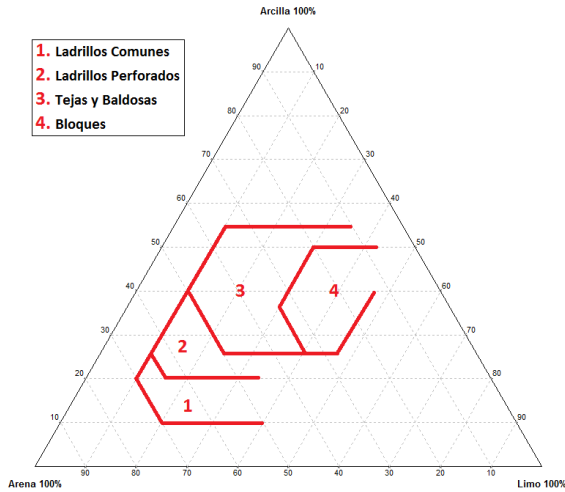


Fig. 5. Diagrama de Winkler para zonas de tipo de producto. Fuente: [31]

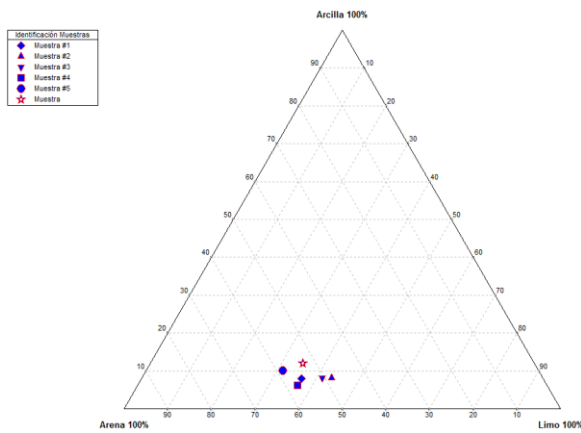


Fig. 6. Graficas de los puntos en el diagrama de Winkler de las arcillas de la empresa. Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta la figura 6, para poder fabricar productos cerámicos de mampostería, los porcentajes de arenas limos y arcillas deben encontrarse dentro del siguiente rango para conseguir una mezcla óptima:

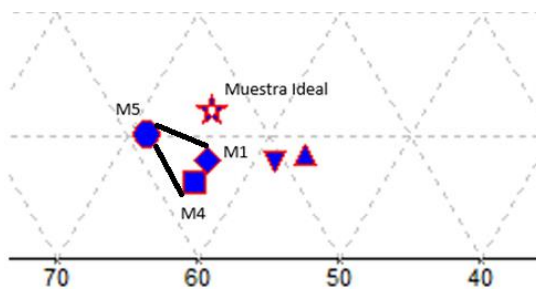


Fig. 7. Detalle de la posible zona óptima para la fabricación de productos cerámicos. Fuente: Autores.

La figura anterior, representa que las muestras 1, 4 y 5 poseen las condiciones para fabricar productos según lo establecido en la tabla 5, adicionando también una de las arcillas de las zonas aledañas. Además, teniendo en cuenta la figura 4, se valida que las muestras pertenecen a un suelo franco-arcilloso-limoso, para la producción de ladrillos comunes como lo muestra la figura 5. Estas afirmaciones

se pueden validar con otros ensayos de laboratorio como los físicos cerámicos completos, los cuales demandan de más tiempo y dinero.

A continuación se presenta la tabla 6 que se llevó a cabo en el software TripLop de uso gratuito, en el cual se detallan los resultados obtenidos de la hidrometría en el diagrama ternario:

	Sample	A: Arcilla	B: Arena	C: Limo	Symbol
1	Muestra #1	8.0000	56.0000	37.0000	◆
2	Muestra #2	8.0000	48.0000	43.0000	▲
3	Muestra #3	8.0000	50.0000	41.0000	▼
4	Muestra #4	6.0000	56.0000	36.0000	■
5	Muestra #5	10.0000	58.0000	31.0000	●
6	Muestra	12.0000	53.0000	35.0000	★

Tabla 6. Datos Hidrometría de las arcillas de la empresa. Fuente: Autores.

El mismo software TripLop, realiza el análisis estadístico en correlación a los puntos graficados, como se puede observar en la siguiente tabla 7:

n	Number of points:	6
A axis	Arcilla 100%	
Range:	6,00 - 12,00	
Mean:	8,67	
Standard deviation:	2,07	
Standard error:	0,84	
B axis	Arena 100%	
Range:	48,00 - 58,00	
Mean:	53,50	
Standard deviation:	3,89	
Standard error:	1,59	
C axis	Limo 100%	
Range:	31,00 - 43,00	
Mean:	37,17	
Standard deviation:	4,31	
Standard error:	1,76	

Tabla 7. Análisis estadístico de los datos graficados de las arcillas de la empresa. Fuente: Autores

A continuación en la figura 8, en donde se representan los resultados de las muestras seleccionadas para las zonas aledañas:

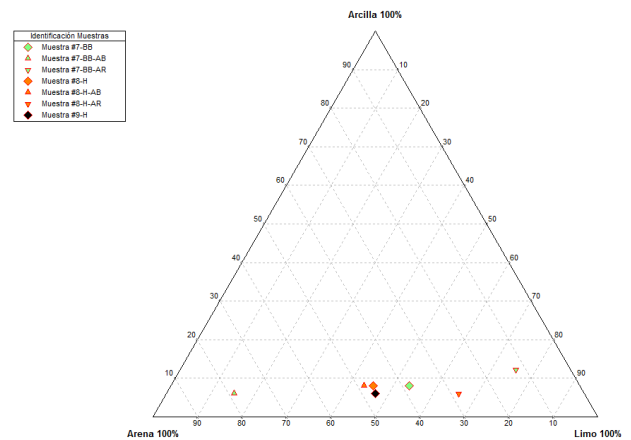


Fig. 8. Graficas de los puntos en el diagrama de Winkler de las arcillas cercanas. Fuente: Autores.

En la siguiente tabla 8 se presentan los datos en cada una de las proporciones de la mezcla analizada:

	Sample	A: Arcilla	B: Arena	C: Limo	Symbol
1	Muestra #7-BB	8.0000	38.0000	53.0000	◆
2	Muestra #7-BB-AB	6.0000	78.0000	15.0000	▲
3	Muestra #7-BB-AR	12.0000	12.0000	74.0000	▼
4	Muestra #8-H	8.0000	46.0000	45.0000	◆
5	Muestra #8-H-AB	8.0000	48.0000	43.0000	▲
6	Muestra #8-H-AR	6.0000	28.0000	65.0000	▼
7	Muestra #9-H	6.0000	46.0000	46.0000	◆

Tabla 8. Datos Hidrometría de las arcillas cercanas. Fuente: Autores.

n	Number of points:	7
△	A axis	Arcilla 100%
✂	Range:	6,00 - 12,00
ⓧ	Mean:	7,71
S	Standard deviation:	2,14
ⓧ	Standard error:	0,81
△	B axis	Arena 100%
✂	Range:	12,00 - 78,00
ⓧ	Mean:	42,29
S	Standard deviation:	20,31
ⓧ	Standard error:	7,68
△	C axis	Limo 100%
✂	Range:	15,00 - 74,00
ⓧ	Mean:	48,71
S	Standard deviation:	18,77
ⓧ	Standard error:	7,09

Tabla 9. Análisis estadístico de los datos graficados de las arcillas de la empresa. Fuente: Autores.

Los análisis estadísticos presentes en las tablas reflejan la correlación entre los datos, lo que es de gran importancia al momento de seleccionar y formular la pasta idónea en próximas investigaciones, además de formular un diseño de experimentos adecuados con los softwares especializados.

Las anteriores tablas demuestran que las arcillas que se forman en la zona son altamente limosas, debido a la constitución geológica del algodonal, lo que dificulta en algunas ocasiones las propiedades de los productos al momento de ser fabricado.

Se realizó un diseño experimental 2^K centroide, utilizando el software Stargrafics Centurion, teniendo en cuenta las muestras 1 y 5, de lo que resulto la siguiente tabla 10:

MEZCLAS	ARCILLA A	ARCILLA B	% Arena	% Limo	% Arcilla	MEZCLA DE ARCILLA
1	100	0	58	31	10	Pura
2	0	100	56	37	8	Pura
3	90	10	57,8	31,6	9,8	Combinada
4	10	90	56,2	36,4	8,2	Combinada
5	80	20	57,6	32,2	9,6	Combinada
6	20	80	56,4	35,8	8,4	Combinada
7	70	30	57,4	32,8	9,4	Combinada
8	30	70	56,6	35,2	8,6	Combinada
9	60	40	57,2	33,4	9,2	Combinada
10	40	60	56,8	34,6	8,8	Combinada
11	50	50	57	34	9	Combinada

Tabla 10. Diseño de experimentos para la formulación de la mezcla. Fuente: Autores.

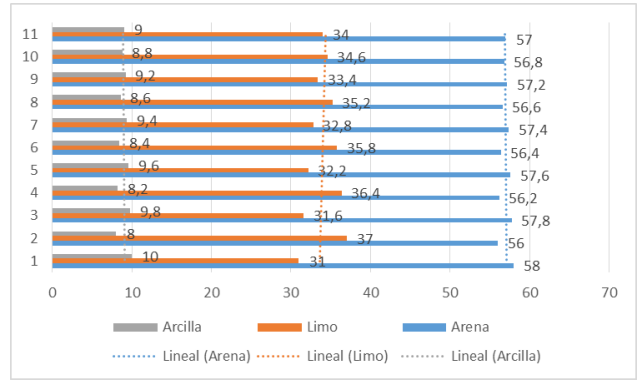


Fig. 9. Tendencias de los resultados del análisis experimental. Fuente: Autores.

De la figura anterior, se determinó que la mejor posible mezcla estaría en el rango de 57 % Arena 34% de Limo y 9 % de Arcilla. Cálculos que se desarrollaron para las arcillas existentes en la empresa objeto de estudio.

IV. CONCLUSIONES

El seguimiento de las normas indicadas permitió la validación de los datos obtenidos en los análisis de laboratorio con lo que se pudo establecer que el equipo de medición tenía un margen de error del 10%.

Para poder formular la mezcla óptima de arcilla, esta debe poseer una composición de (12 % Arcilla – 53 % Arena – 35% Limo). Y según los análisis hidrométricos realizados ningún tipo de arcilla caracterizada posee estos porcentajes de limo. Por lo cual se hace necesaria la búsqueda de una composición mineralógica que contenga dichos porcentajes.

Una combinación (Arena – Limo – Arcilla), podría ser (60 % Arena – 32% Limo – 8 % Arcilla), y de esta manera realizar un seguimiento para verificar la calidad de los bloques o productos de mampostería para la construcción.

El material blanco grisáceo presente en las muestras, posee una granulometría óptima, por lo cual es clasificado como material individual; es de anotar que sobre los residuos se observan granos que parecen ser feldespatos por lo que este material podría tener buena gresificación en el proceso de cocción.

Se espera en próximos trabajos, realizar otros ensayos no destructivos en los cuales se puedan ver reflejadas más características de las arcillas; tales como DRX, FRX, índice de plasticidad, etc. y de esta manera poder formular una pasta cerámica idónea. Además de definir por medio de microscopía de fuerza atómica la topografía de las partículas a nivel microscópico.

El diseño de experimentos resulta de gran utilidad para definir opciones de mezclas de acuerdo con las composiciones de arenas, limos y arcillas de cada una de las mina, que al pasar del tiempo estas varían sus propiedades mineralógicas.

FINANCIACIÓN

Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación “Determinación de la mezcla optima de arcilla para el mejoramiento de la calidad del bloque H-10 en la industria cerámica”, financiado por “Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña” con código: 158-08-021, realizado en el grupo de investigación INGAP. Fecha de inicio: 07/2016, Fecha de finalización: 07/2017.

REFERENCIAS

- [1] F. Alvarez Blanco, “Lección 3. Propiedades de las arcillas,” *Universidad de Oviedo*, 2005. [Online]. Available: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion3.PropiedadesArcillas.pdf.
- [2] C. Hernando, H. Sandoval, J. Carolina, G. Cristancho, Ó. Eduardo, and P. Naranjo, “Caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio,” *Rev. Fac. Ing. UPTC.*, vol. 21, no. 32, pp. 21–40, 2012.
- [3] L. Duitama, C. Espitia, and J. Mojica, “Composición Mineralógica Y Química De Las Arcillas Empleadas Para Cerámica Roja En Las Zonas De Medellín,” *Rev. Acad. Colomb.*, no. 34, pp. 555–564, 2004.
- [4] I. Bernal, H. M. Cabeza, J. Espitia, J. Mojica, and J. Quintero, “Análisis próximo de arcillas para cerámica,” *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, vol. XXVII, no. 105, pp. 569–578, 2003.
- [5] R. S. Macedo, R. R. Menezes, G. A. Neves, and H. C. Ferreira, “Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha,” *Ceramica*, vol. 54, no. 332, pp. 411–417, 2008.
- [6] S. N. Monteiro and C. M. F. Vieira, “Influence of firing temperature on the ceramic properties of clays from Campos dos Goytacazes, Brazil,” *Appl. Clay Sci.*, vol. 27, no. 3–4, pp. 229–234, 2004.
- [7] M. Lassinantti Gualtieri, M. Romagnoli, and A. F. Gualtieri, “Influence of body composition on the technological properties and mineralogy of stoneware: A DOE and mineralogical-microstructural study,” *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 31, no. 5, pp. 673–685, 2011.
- [8] R. R. Menezes, H. G. M. Neto, L. N. L. Santana, H. L. Lira, H. S. Ferreira, and G. A. Neves, “Optimization of wastes content in ceramic tiles using statistical design of mixture experiments,” *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 28, no. 16, pp. 3027–3039, 2008.
- [9] M. Coronado, A. M. Segadães, and A. Andrés, “Combining mixture design of experiments with phase diagrams in the evaluation of structural ceramics containing foundry by-products,” *Appl. Clay Sci.*, vol. 101, pp. 390–400, Nov. 2014.
- [10] J. D. S. Amado, P. Y. M. Villafrales, and E. M. C. Tuta, “Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander,” *DYNA*, vol. 78, no. 167, pp. 50–58, 2011.
- [11] N. Afanador, A. Carolina, I. Jaime, C. Alberto, and L. Durán, “Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander,” *Epsilon*, vol. 20, no. ISSN 1692–1259, pp. 101–119, 2013.
- [12] R. P. J. E. Muñoz Meneses R. A., Muñoz Chaves J.A., Mancilla P, “Caracterización fisicoquímica de arcillas del municipio de Guapi- costa pacífica caucana (Colombiana),” *Química*, vol. 31, pp. 537–544, 2007.
- [13] J. Barranzuela, *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región piura*. 2014.
- [14] S. A. Jácome Manzano, *Evaluación termodinámica del proceso de cocción y análisis de gases en hornos a cielo abierto y Hoffman en Ocaña*, Universida. Ocaña: Repositorio ufps, 2012.
- [15] R. A. García León, E. Flórez Solano, and M. A. Acosta Pérez, “Análisis estructural de una máquina prensadora para producción de ladrillo macizo para las pequeñas industrias artesanales de materiales cerámicos en Ocaña Norte de Santander y en la región,” *Rev. Colomb. Tecnol. Av.*, vol. 1, no. 1692–7257, p. 7, 2015.
- [16] O. Riojas Castillo and N. E. Rodríguez Montaña, “Características de hornos para productos cerámicos del Parque Minero Industrial El,” *Con-Ciencias*, 2004.
- [17] M. G. R. Emilia and Suárez Barrios, “Las arcillas (propiedades y usos),” *Univ. Complut. (Madrid); Univ. Salamanca*, p. 25, 2004.
- [18] E. Velasco Sánchez, M. Sánchez Lozano, R. Peral Orts, and G. AME, *Libro de artículos del XXI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica*, Universita. Elche. España, 2016.
- [19] L. A. Díaz Rodríguez and R. Torrecillas, “Arcillas cerámicas: Una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones,” *Bol. la Soc. Esp. Ceram. y Vidr.*, vol. 41, no. 5, pp. 459–470, 2002.
- [20] FEDESARROLLO, “La Minería En Colombia: Impacto Socioeconómico y Fiscal,” *Rev. Psychol.*, vol. 17, no. 2, pp. 46–55, 2012.
- [21] G. P. Montoya rivas and R. Montoya rivas, “Caracterización del sector cerámico tradicional del valle de Aburrá y los riesgos profesionales latentes en su proceso productivo,” *Lámpsakos*, vol. 12, pp. 34–42, 2014.
- [22] E. Kamseu, C. Leonelli, D. N. Boccaccini, P. Veronesi, P. Miselli, G. Pellacani, and U. C. Melo, “Characterisation of porcelain compositions using two china clays from Cameroon,” *Ceram. Int.*, vol. 33, no. 5, pp. 851–857, 2007.
- [23] J. A. Junkes, M. A. Carvalho, A. M. Segades, and D. Hotza, “Ceramic tile formulations from industrial waste,” *InterCeram Int. Ceram. Rev.*, vol. 60, no. 1, pp. 36–41, 2011.
- [24] Y. Q. Martinez, “Caracterización fisicoquímica de cuarzo en el municipio de la playa de belén (Norte de Santander),” *Univ. Fr. paula santander ocaña*, p. 84, 2012.
- [25] S. Rozo Rincón, J. Sánchez Molina, and D. Alvarez Rozo, “Propiedades físico mecánicas de bloques H10 fabricados en el área metropolitana de Cúcuta,” *Cencia e Ing. Neogranadina*, vol. 24, no. 1, pp. 67–78, 2014.
- [26] ICONTEC, “Norma Técnica Colombiana NTC 2401. Arcillas grasas para la industria de la cerámica,” 1987.

[27] J. Sánchez Molina, J. A. Orozco Cacique, and L. Peñaloza Isidro, "Evaluación de mezclas de arcillas para la fabricación de ladrillos refractarios que sirvan para la reconversión tecnológica de los hornos utilizados en Norte de Santander," *Rev. Investig. - Univ. del Quindío*, vol. 26, no. 1, pp. 57–64, 2014.

[28] ASTM D422-63, "Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils," *ASTM Int.*, vol. 63, 2007.

[29] INV E-124, "Análisis Granulométrico por medio de Hidrómetro," pp. 1–20, 2013.

[30] A. Fernández Martínez, C. J. Sánchez, J. Parras, and A. Acosta, "Caracterización Tecnológica de las materias primas Cerámicas de la Sagrada (Toledo)," *Geogaceta*, vol. 3, no. 0213683X, p. 4, 1996.ñ

[31] L. Mintec Ceramic, "Resultados Caracterización Tecnológica de Materias Primas Honduras y Desarrollo de Nuevas Alternativas de Pastas de Producción", 2015.