

# Factibilidad en la fabricación de ladrillos no estructurales, a partir del reciclaje de las colillas de cigarrillo

## Practicability in the manufacture of non-structural bricks, from the recycling of cigarette butts

K. Corredor<sup>1\*</sup>, Á.Guzmán \*\*, N.Torres \*\*\*

\* Universidad INCCA de Colombia – Bogotá, COLOMBIA

\*\* Universidad del Valle – Cali, COLOMBIA

\*\*\* Universidad Nacional de Colombia – Bogotá, COLOMBIA

Fecha de Recepción: 06/05/2020

Fecha de Aceptación: 01/09/2020

PAG 232-245

### Abstract

*Cigarette butts are one of the most common waste worldwide. The toxic and non-biodegradable components make cigarette butts a hazardous waste and one of the causes of pollution. This paper presents some of the results of a study on the re-cycling cigarette butts in the manufacture of clay bricks. Four mixtures were made, these include a control clay brick, with a clay content of 100% (LADRICOL 0%) and three additional mixtures incorporating cigarette butts in different percentages by weight (LADRICOL 2.5%, LADRICOL 5.0% and LADRICOL 7.5%). The mixtures were fired at different temperatures and these were tested to determine the physical and mechanical properties of the bricks. The results showed that the samples incorporating 2.5% cigarette butts content and fired at 850 °C are in compliance with the standard normative for this type of product (NTC 4205-2). Furthermore, this brick can improve the environmental quality and can reduce energy consumption during firing, by 19.75%.*

*Keywords: Cigarette butts, clay bricks, physical properties, mechanical properties, energy saved*

### Resumen

Las colillas de cigarrillo son uno de los residuos más comunes a nivel mundial. Sus componentes tóxicos y no biodegradables hacen de este un residuo peligroso y una de las causas de contaminación ambiental. Este artículo presenta los resultados de una investigación en la que se estudió la alternativa de incorporar colillas de cigarrillo en la fabricación de ladrillos de arcilla. Se elaboraron cuatro mezclas dentro de las que se incluye una mezcla patrón con contenido de 100% arcilla (LADRICOL 0%) y tres adicionales con colillas de cigarrillo en diferentes porcentajes en peso (LADRICOL 2,5%, LADRICOL 5% y LADRICOL 7,5%). Estas mezclas fueron cocidas a diferentes temperaturas y se sometieron a los ensayos respectivos para determinar propiedades físicas y mecánicas del producto terminado. Los resultados obtenidos, demostraron que, con la adición de colillas de cigarrillo en un 2,5% y una temperatura óptima de cocción de 850°C, se pueden fabricar ladrillos no estructurales tipo M, cumpliendo con los estándares establecidos en la NTC 4205-2, generando impactos positivos en el medio ambiente y reduciendo el consumo energético durante la cocción del ladrillo, en un 19,75%..

**Palabras clave:** Colillas de cigarrillo, ladrillos de arcilla, propiedades físicas, propiedades mecánicas, ahorro energético

## 1. Introducción

Las colillas de cigarrillo son sin duda, el tipo de residuo más común arrojado a las calles. En la actualidad se consumen aproximadamente a nivel mundial 6 trillones de cigarrillos anuales, de los cuales 4,5 trillones son arrojados al medio ambiente una vez consumidos (De Granada et al., 2016).

Los altos índices de residuos arrojados al suelo y a las fuentes hídricas sin ningún tipo de control, se han convertido en una de las causas de contaminación, no solo por el alto volumen de colillas desechadas sino también por las sustancias tóxicas que se encuentran presentes en estos productos.

Dentro de los materiales que componen los filtros de cigarrillo se encuentra el acetato de celulosa, un material no biodegradable que puede llegar a tardar entre 18 meses a 10 años en descomponerse según las condiciones ambientales a las que se encuentre expuesto y, si bien, los rayos solares pueden romper el filtro en pequeñas piezas, este material nunca desaparece y por el contrario se filtra en el suelo y las fuentes hídricas causando contaminación ambiental (Novotny y Slaughter, 2014) y (Mohajerani et al., 2016).

Además del acetato de celulosa, el cigarrillo se encuentra compuesto por cerca de 4.000 sustancias químicas tales como el amoníaco, óxido de nitrógeno, cianuro de hidrógeno, pesticidas y algunos metales tóxicos como el cadmio y el níquel que hacen parte de los numerosos productos químicos considerados cancerígenos (Castañeda, 2011) y (Monzonis, 2011). Adicionalmente, está compuesto por otras sustancias tóxicas como la nicotina y el alquitrán, las cuales quedan atrapadas en las colillas y pueden contaminar con un solo cigarrillo hasta 50 litros de agua (Guevara, 2010) y (Lozano et al., 2015).

<sup>1</sup> Autor de Correspondencia:

Universidad INCCA de Colombia – Bogotá, COLOMBIA  
E-mail: karen.corredor@mail.escuelaing.edu.co



Sin embargo, y a pesar de los riesgos que representan las colillas de cigarrillo para el medio ambiente, resulta muy común ver que los fumadores las arrojan al suelo, parques, puentes, calles y muchos otros lugares públicos donde se acumulan y se convierten en una fuente de peligro para los animales domésticos, peces, pájaros, tortugas, entre otros, los cuales pueden llegar a ingerir estos residuos causándoles la muerte debido a la toxicidad de estos (Castañeda, 2011 y (Rath et al., 2012).

En Colombia, el 12,9% de la población mayor de 18 años, es consumidora actual de cigarrillo; cifra que equivale a un poco más de 3 millones de fumadores en el país (Gobierno Nacional de la Republica de Colombia, 2014). Por otro lado, (Lozano et al. 2015), indicaron que el número de cigarrillos consumidos en Colombia oscila entre 412 y 600 cigarrillos por fumador; razón por la cual el país es generador de aproximadamente 1.236 a 1.800 millones de colillas de cigarrillo al año.

Por otra parte, dentro de los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial se encuentran los ladrillos de arcilla. Este es un material que durante su fabricación genera impactos negativos al medio ambiente debido a la cantidad de energía que requiere, se fabrican con arcilla y son sometidos a altas temperaturas durante su cocción; razón por lo cual se estima que contienen aproximadamente 2,0 kWh de energía incorporada y liberan alrededor de 0,41kg de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), entre otros gases liberados a la atmósfera durante su fabricación como son: el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre ( $SO_2$ ), amoníaco ( $NH_3$ ), cloro ( $Cl_2$ ) y Flúor (F) (Zhang, 2013); (Abdul et al., 2015).

Por lo anterior, este artículo presenta los resultados de una investigación en la que se reciclaron las colillas de cigarrillo incorporándolas en la fabricación de ladrillos de arcilla, evaluando el efecto de la temperatura de cocción sobre las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos, así como también su efecto en la posible reducción de costos energéticos asociados a su fabricación.

Las propiedades de los ladrillos fueron comparadas con lo establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) y lo establecido en las normas colombianas de obligatorio cumplimiento como son la NTC 4017 y la NTC 4205-2.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Preparación de las mezclas y elaboración de los especímenes

Las materias primas utilizadas fueron fundamentalmente arcilla y colillas de cigarrillo. Para el caso de las colillas, estas fueron recolectadas en calles y zonas comunes como bares, universidades y edificios empresariales. Adicionalmente, se realizó una adecuación previa de dicho material, molturándolas con el uso de un molino doméstico (Figura 1).



Figura 1. Molino y colillas de cigarrillo molturadas

En cuanto a la arcilla, esta fue suministrada por una empresa ladrillera local y sometida a un proceso de molienda y tamizado para su respectiva adecuación. Adicionalmente, se determinaron límites de Atterberg, acorde con lo establecido en la normatividad colombiana INV-E 125-13 e INV-E 126-13. De igual manera, se realizaron pruebas de granulometría (INV-E 213-13), densidad (INV-E 128-13), análisis termogravimétrico (ATG) y termodiferencial (ATD) a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, desde temperatura ambiente hasta los 1000 °C, en atmosfera de aire a un flujo de 100 ml/min, composición química (fluorescencia de rayos X (FRX)), y composición mineralógica (difracción de rayos X (DRX)), escaneadas en el rango de  $2\theta = 5 - 80^\circ$  a una velocidad de escaneo de 0,02 seg/paso, usando radiación Cu K $\alpha$  a 45 kV y 40 mA.

Se realizaron cuatro mezclas dentro de las cuales se incluye una mezcla patrón con contenido de 100% arcilla (LADRICOL 0%) y tres adicionales en las que se incorporaron las colillas de cigarrillo en diferentes porcentajes en peso, con respecto al contenido de arcilla (LADRICOL 2,5%, LADRICOL 5% y LADRICOL 7,5%). Para la elaboración de los especímenes, dichas mezclas fueron moldeadas en especímenes prismáticos de 150 x 50 x 25 mm. Posteriormente, fueron prensadas con apoyo de una máquina Shimadzu a una presión de compactación promedio de 0,92 MPa.

Los especímenes fueron secados en un horno a una temperatura entre 105 - 110 °C durante un tiempo de 48 horas. La cocción se realizó a temperaturas de 800 °C, 850 °C y 900 °C, con el fin de identificar la temperatura óptima a la que el ladrillo obtenía las mejores propiedades físicas y mecánicas.

## 2.2 Determinación de las propiedades físicas y mecánicas

Al finalizar cada una de las fases de moldeo, secado y cocción, se registraron pesos y dimensiones de cada espécimen para determinar propiedades físicas y mecánicas importantes del ladrillo y determinar la factibilidad de su fabricación y uso como mampostería no estructural tipo M, en cumplimiento con lo establecido en la NTC 4205-2. Considerando mampostería no estructural tipo M, aquellas unidades sin perforaciones; así como aquellas en las que las perforaciones representan menos del 25% del volumen total de la unidad (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2019).

Dentro de las propiedades físicas, se determinaron la contracción por cocción, la densidad volumétrica, porcentaje de absorción de agua y tasa inicial de absorción; mientras que, para el caso de las propiedades mecánicas, se evaluaron la resistencia a compresión y resistencia a flexión del producto terminado teniendo en cuenta los métodos descritos en la NTC 4017. Los resultados reportados corresponden al promedio de tres probetas ensayadas en cada mezcla.

Para determinar la resistencia a la compresión del producto terminado, este fue previamente refrentado con el fin de hacer paralelas las caras de carga y lograr que esta última se distribuya uniformemente en el espécimen a ensayar (Sanchez y Mejía, 2009). El cálculo de esta propiedad se realizó conforme a lo establecido en la NTC 4017 y como se muestra en la (Ecuación 1):

$$C = \frac{W}{A} \quad (1)$$

Donde

C= Resistencia a la compresión, en MPa.

W= Carga máxima de ruptura, en N.

A= Área del espécimen, en mm<sup>2</sup>.

La resistencia a la flexión de los especímenes fue determinada haciendo uso de una máquina de prueba universal Shimadzu, mediante el uso de la carga máxima soportada. El ensayo se realizó a una velocidad de 1,3 mm/min y el módulo de rotura de cada espécimen fue calculado conforme a lo establecido en la norma técnica colombiana NTC 4017, y como se describe en la (Ecuación 2):

$$MOR = \frac{3W \left( \frac{L}{2} - x \right)}{bd^2} \quad (2)$$

Donde

MOR= Módulo de rotura o resistencia a flexión, en MPa

W= Carga máxima, en N

L= Distancia entre los soportes de apoyo (medida centro a centro), en mm.

X= Distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, en mm.

b= Ancho neto (distancia de cara a cara) de la muestra en el plano de falla, en mm.

d= Profundidad, distancia desde la cara superior de la muestra hasta el plano de apoyo, en mm.



Finalmente se realizaron pruebas de difracción de rayos X (DRX) tanto al ladrillo convencional como al ladrillo en el que se incorporó un 2,5% de colillas de cigarrillo, lo anterior con el fin de conocer las fases mineralógicas presentes en cada uno de ellos.

### 2.3 Ahorro energético

Se realizó la evaluación de costos energéticos asociados a la producción de cada ladrillo. Posteriormente, con esta información se realizaron las respectivas comparaciones para determinar la posible reducción en el consumo energético.

Para calcular el costo energético del ladrillo convencional, se tomó como referencia el consumo de energía nacional promedio, el cual se encuentra en 2.405 MJ por cada tonelada de ladrillo producida (Unidad de Planeación Minero-Energética, 2001). Con esta información y con el valor promedio del kWh para el sector no residencial, se determinó el costo energético asociado a la cocción del ladrillo.

En cuanto al consumo energético para la fabricación del ladrillo en el que se incorporaron colillas de cigarrillo, el cálculo se realizó teniendo en cuenta la masa de arcilla y el porcentaje de colillas de cigarrillo incorporadas, así como el valor calorífico del acetato de celulosa el cual corresponde a 19 MJ kg<sup>-1</sup> (Mohajerani et al., 2016)

Para determinar el ahorro energético que se genera al incorporar las colillas de cigarrillo, se calculó la energía utilizada en la fabricación del ladrillo convencional (Ecuación 3.1) y la energía usada en el ladrillo con 2,5% colillas de cigarrillo (Ecuación 3.2). Finalmente se calculó el porcentaje de ahorro energético utilizando la (Ecuación 3.3), mencionada por (Mohajerani et al. 2016).

Energía utilizada en LADRICOL 0%,

$$Q_1 = q \cdot m_1 \quad (3.1)$$

Energía utilizada en LADRICOL 2,5%,

$$Q_2 = q \cdot m_2 - CV \cdot m_3 \quad (3.2)$$

Ahorro energético,

$$\Delta E(\%) = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\% \quad (3.3)$$

Donde:

$q$  = consumo energético en LADRICOL 0% (2,405 MJ/kg)

$m_1$  = masa de arcilla en LADRICOL 0% (kg)

$m_2$  = masa de arcilla en LADRICOL 2,5% (kg)

$m_3$  = masa de colillas de cigarrillo en LADRICOL 2,5% (kg)

$CV$  = valor calorífico del acetato de celulosa (19 MJ kg<sup>-1</sup>)

$\Delta E(\%)$  = ahorro energético

## 3. Resultados y Discusión

### 3.1 Propiedades físicas y químicas de la arcilla

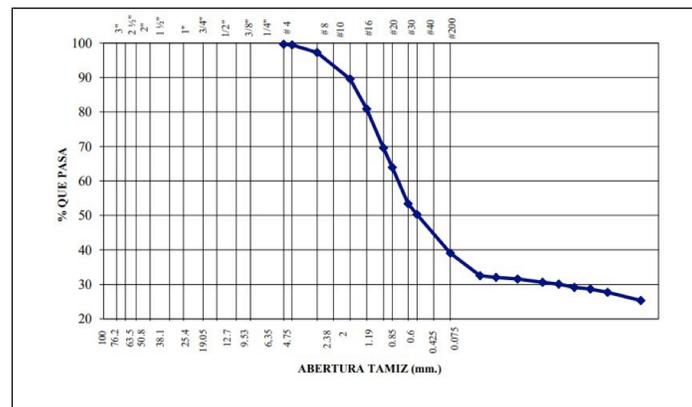
Las propiedades físicas de la arcilla utilizada para la fabricación de los especímenes se encuentran relacionadas en la (Tabla 1).



**Tabla 1.** Composición física de la arcilla

Propiedad física	Resultado
Límite Líquido (%)	34
Límite Plástico (%)	18
Índice de Plasticidad (%)	16
Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,97
Humedad Natural (%)	3,65

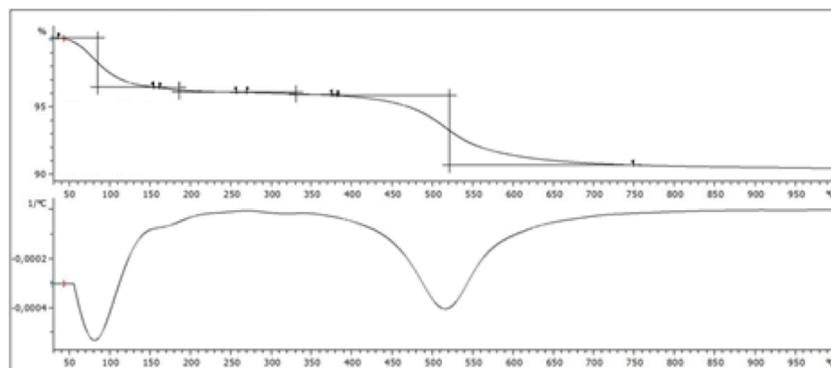
A continuación, en la (Figura 2), se muestra la curva de distribución granulométrica de la arcilla utilizada.



**Figura 3.** Curva granulométrica

En los ensayos de análisis termogravimétrico (ATG) y termo-diferencial (ATD) se pudo observar una pérdida de peso y un pico endotérmico en el rango de 25 °C a 110 °C, el cual se atribuye posiblemente a la pérdida de agua de humedad. Aproximadamente a los 520 °C ocurre la pérdida de agua estructural de la caolinita (Figura 3). Lo anterior, acorde con lo mencionado por autores como (Joshi et al. 1994) e (Isel et al. (2017) quienes indican que la deshidroxilación de este mineral generalmente ocurre entre los 400 °C y 600 °C.

En cuanto a las propiedades químicas, la (Tabla 2) muestra los resultados obtenidos en el análisis de fluorescencia de rayos X (FRX), donde se observa que los componentes con mayor presencia son la sílice (SiO<sub>2</sub>) y la alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Tal como lo han mencionado autores como (Barranzuela 2014) y (Santos et al. 2009), estos dos componentes son los más importantes en la composición de arcillas y por ende suelen ser los más abundantes en este material, mientras que otros como el hierro, suelen encontrarse en porcentajes más bajos.



**Figura 3.** Curvas de ATG y ATD de la arcilla

**Tabla 2.** Composición química de la arcilla (FRX)



Componente	Contenido (%)
SiO <sub>2</sub>	62,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,26
TiO <sub>2</sub>	0,97
CaO	0,38
K <sub>2</sub> O	1,29
SO <sub>3</sub>	0,54
MgO	0,95
Na <sub>2</sub> O	0,27
Pérdida al fuego	8,17

Además, se puede observar que el contenido de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO y Na<sub>2</sub>O, es muy similar al de aquellas arcillas utilizadas por (Sánchez et al. 2009), (Mohajerani et al. 2016) y (Fuentes et al. 2017), en la fabricación de ladrillos que incorporaban colillas de cigarrillo, biosólidos y cenizas volátiles.

Para el caso de la composición mineralógica, en la (Figura 4) se observa el difractograma de la arcilla utilizada en la investigación, evidenciando fases mineralógicas características de arcillas como son el cuarzo (SiO<sub>2</sub>) en ángulos 21,1794°; 26,9496°; 36,8383°; 39,7578°; 42,7379°; 50,4242°; 60,2280° y 68,4041° (código de referencia 01-083-2469 y 00-003-0427), y la caolinita (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) en ángulos 12,6776° y 25,1782° (código de referencia 00-003-0058) (Joshi et al., 1994); (Gonzalez et al., 2014); (Ruge-Guerrero et al., 2016).

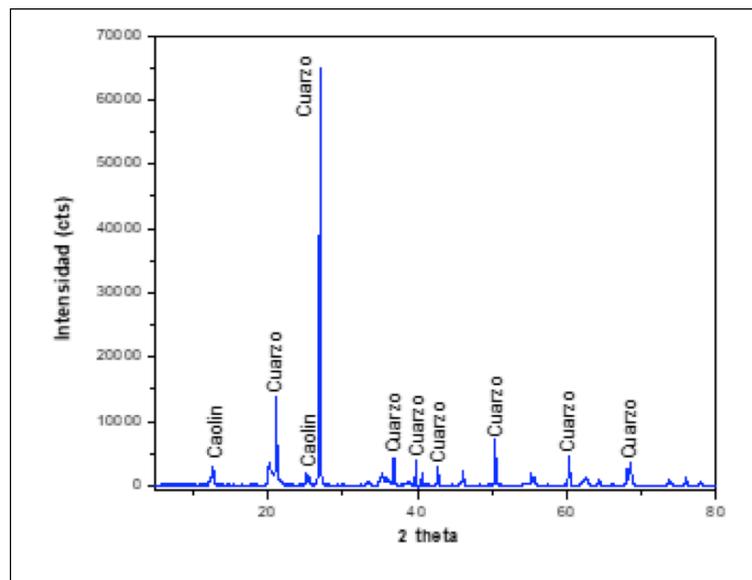


Figura 4. Modelo de fibras de la sección transversal

### 3.2 Propiedades físicas de los ladrillos cocidos

Las propiedades físicas de las cuatro mezclas (LADRICOL: 0%, 2,5%, 5% y 7,5%), cocidas a temperaturas de 800 °C, 850 °C y 900 °C, se muestran en las (Figura 5), (Figura 6), (Figura 7), (Figura 8), (Figura 9), (Figura 10), (Figura 11), (Figura 12) y (Figura 13).

Los resultados obtenidos para la densidad aparente muestran que esta propiedad aumenta de forma directamente proporcional a la temperatura de cocción, tal como se observa en las (Figura 5), (Figura 6), (Figura 7) y (Figura 8); sin embargo, disminuye con el incremento en la cantidad de colillas de cigarrillo incorporadas.

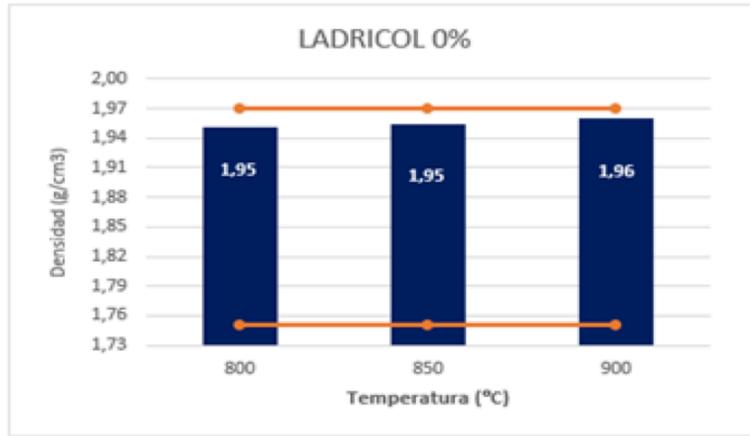


Figura 5. Densidad LADRICOL 0%

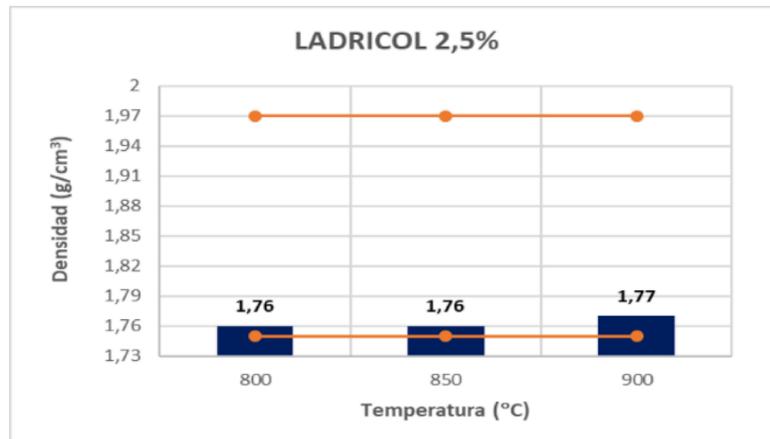


Figura 6. Densidad LADRICOL 2,5%

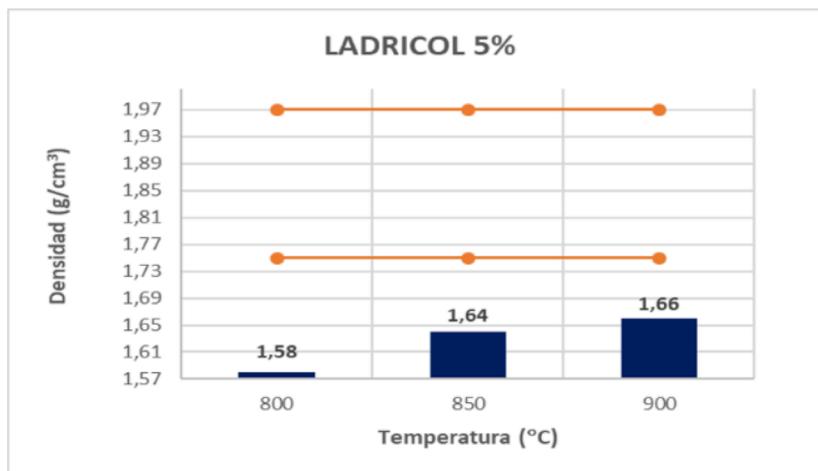


Figura 7. Densidad LADRICOL 5%



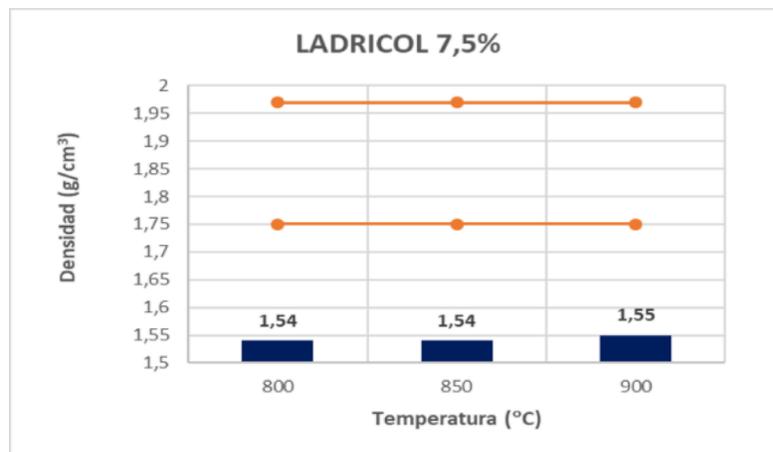


Figura 8. Densidad LADRICOL 7,5%

En cuanto a la absorción de agua, dicha relación es inversamente proporcional, como se observa en las (Figura 9), (Figura 10), (Figura 11) y (Figura 12), para estos casos la absorción de agua disminuye en la medida en que aumenta la temperatura de cocción. Sin embargo, es directamente proporcional a la incorporación de colillas de cigarrillo, puesto que en las mezclas LADRICOL 5% y 7,5% la absorción es mayor comparada con la mezcla convencional y con la de 2,5% colillas. Este comportamiento se atribuye al incremento en la porosidad del ladrillo ya que los ladrillos en los que se incorporaron las colillas presentaron una mayor porosidad en su interior y por ende una mayor absorción de agua.

Para un ladrillo común, la densidad aparente en cocido está comprendida habitualmente entre 1,75 - 1,97 g/cm<sup>3</sup> (Delgado, 2015); (Lozano y González, 2016). Respecto a la absorción de agua, para mampostería no estructural tipo M, la NTC 4205-2 establece un resultado máximo de 20% por cada unidad de ladrillo. Teniendo en cuenta estos valores de referencia, se seleccionó como temperatura óptima los 850 °C ya que, como se puede observar en la (Figuras 5) y (Figura 6), esta temperatura permitió alcanzar densidades adecuadas (1,95 g/cm<sup>3</sup> y 1,76 g/cm<sup>3</sup> en el ladrillo convencional y en el ladrillo con un 2,5% de colillas, respectivamente).

Se descartaron las temperaturas de 800 °C y 900 °C, ya que a pesar de tener propiedades muy similares a la de 850 °C, la primera de ellas genera una mayor absorción de agua, lo que a su vez representa menor calidad del producto, y la segunda (900 °C) representa un mayor costo energético para la fabricación del ladrillo.

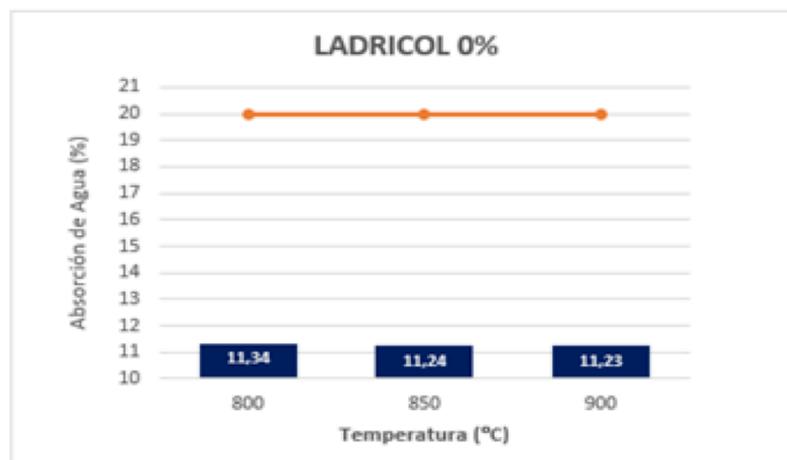


Figura 9. Absorción de agua LADRICOL 0%



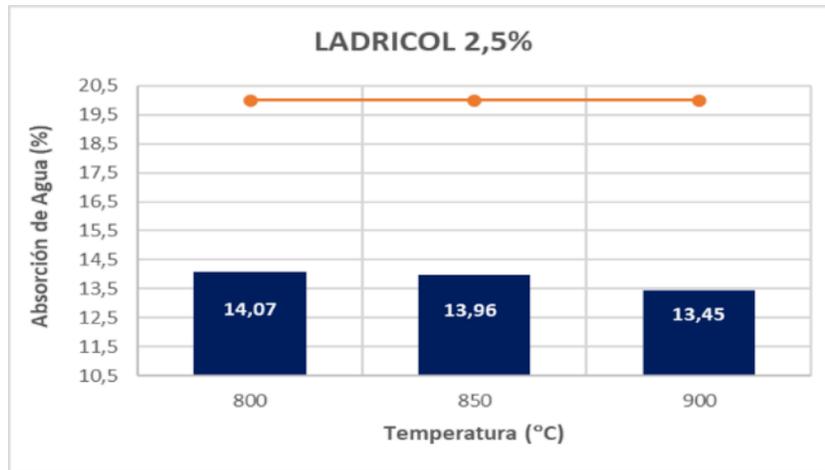


Figura 10. Absorción de agua LADRICOL 2,5%

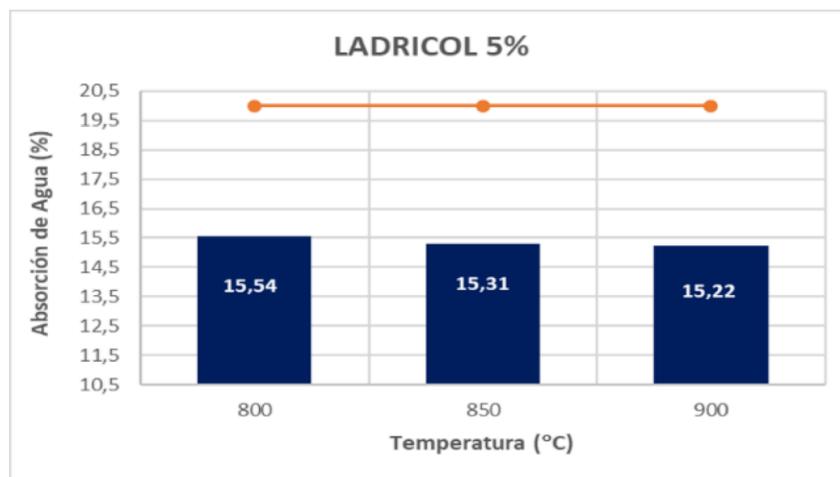


Figura 11. Absorción de agua LADRICOL 5%

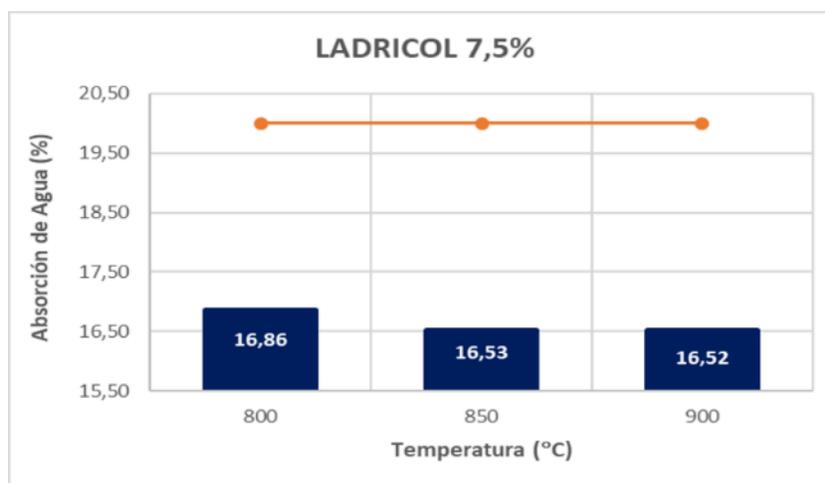


Figura 12. Absorción de agua LADRICOL 7,5%



Adicionalmente, se descartaron las mezclas LADRICOL 5,0% y LADRICOL 7,5%, al no cumplir principalmente con la densidad mínima habitual. En ambos casos las densidades no superan el valor mínimo de  $1,75 \text{ g/cm}^3$  lo cual afecta la resistencia del material.

A partir de los resultados evidenciados anteriormente, las mezclas LADRICOL 0% y LADRICOL 2,5%, cocidas a una temperatura de  $850 \text{ }^\circ\text{C}$ , fueron escogidas como aptas para la fabricación de mampostería no estructural tipo M; sobre estas mezclas se evaluó la tasa inicial de absorción obteniendo los resultados mostrados en la (Figura 13).

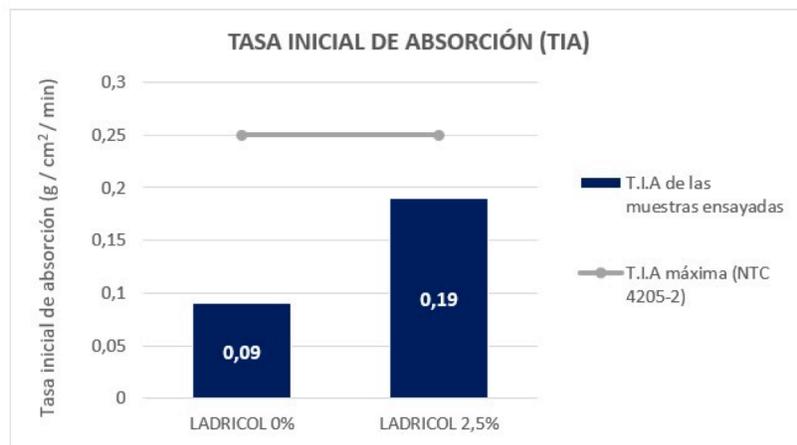


Figura 13. Tasa inicial de absorción (T.I.A)

El resultado de la tasa inicial de absorción incrementó para la mezcla en la que se incorporaron colillas de cigarrillo, esto se debe fundamentalmente a la porosidad que generan las colillas al interior del ladrillo, lo que a su vez genera una mayor tasa inicial de absorción. Sin embargo, este valor no supera los  $0,25 \text{ g/cm}^2/\text{min}$  establecidos en la NTC 4205-2.

### 3.3 Propiedades mecánicas de los ladrillos cocidos

El resultado promedio de la resistencia a la compresión, para las mezclas LADRICOL 0% y LADRICOL 2,5%, fue de  $19,03 \pm 4,33 \text{ MPa}$  y  $18,85 \pm 1,10 \text{ MPa}$ , respectivamente ver (Figura 14). Lo anterior en cumplimiento a lo establecido en la NTC 4205-2, la cual establece una resistencia mínima a compresión para mampostería no estructural tipo M, de  $10 \text{ MPa}$ . Adicionalmente, este resultado permite dar cumplimiento a lo establecido en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10 título D, Tabla D.10.3-1) donde se establece una resistencia mínima a compresión de  $15 \text{ MPa}$  en toletes de arcilla para uso en muros de mampostería confinada, los cuales tienen un uso muy extendido en el país.

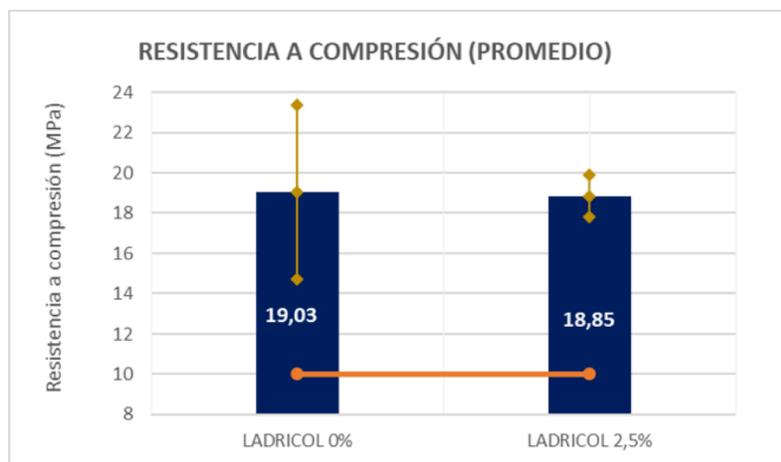


Figura 14. Resistencia a compresión



En cuanto a la resistencia a la flexión, el resultado obtenido fue de  $3,39 \pm 0,24$  MPa para la mezcla LADRICOL 0%, y de  $1,28 \pm 0,24$  MPa para la mezcla LADRICOL 2,5%, tal como se muestra en la (Figura 15).

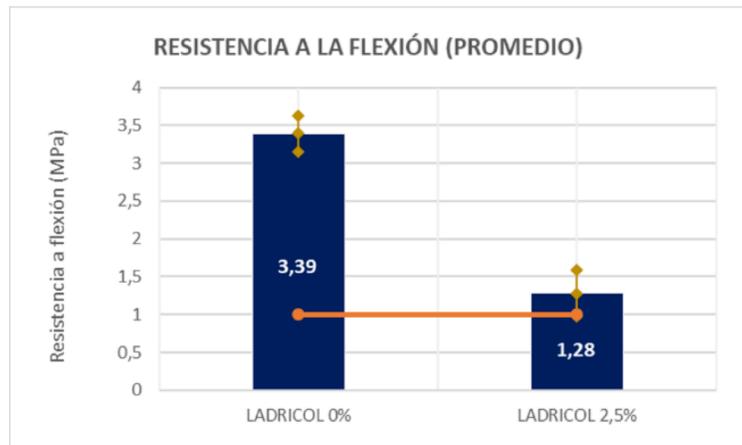


Figura 15. Resistencia a la flexión

Se evidencia una leve reducción en las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos que incorporaron colillas de cigarrillo (LADRICOL 2,5%), esta reducción se atribuye al incremento en la porosidad al interior del ladrillo cocido; dicha porosidad, aumenta en proporción al porcentaje de colillas adicionadas tal como se puede evidenciar en la (Figura 16).

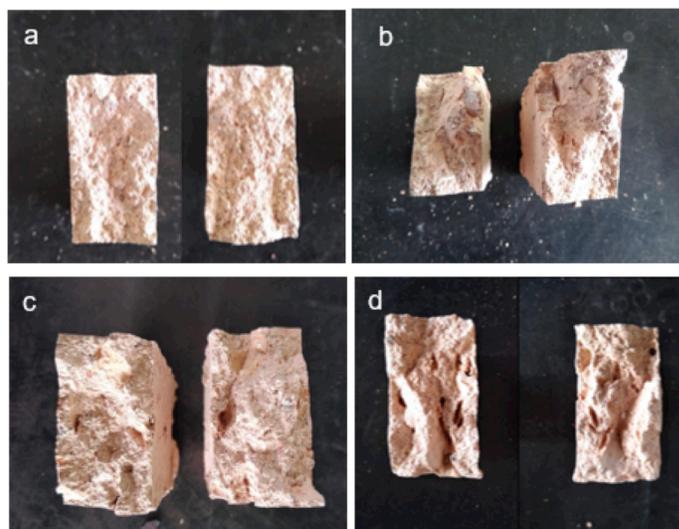


Figura 16. Ladrillos con 0% (a), 2,5% (b), 5% (c) y 7,5% (d) colillas de cigarrillo

Por otro lado, los patrones de difracción de rayos X de los ladrillos convencionales (LADRICOL 0%) y aquellos con incorporación de 2,5% de colilla de cigarrillo (LADRICOL 2,5%) permitieron evidenciar que no existen fases mineralógicas distintas entre ellos ver (Figura 17). Se observa como fase mineralógica presente el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) en ángulos  $21,1794^\circ$ ;  $26,9496^\circ$ ;  $36,8383^\circ$ ;  $39,7578^\circ$ ;  $42,7379^\circ$ ;  $50,4242^\circ$ ;  $60,2280^\circ$  y  $68,4041^\circ$  (código de referencia 01-083-2469 y 00-003-0427), el cual proviene de la materia prima convencional, es decir la arcilla.



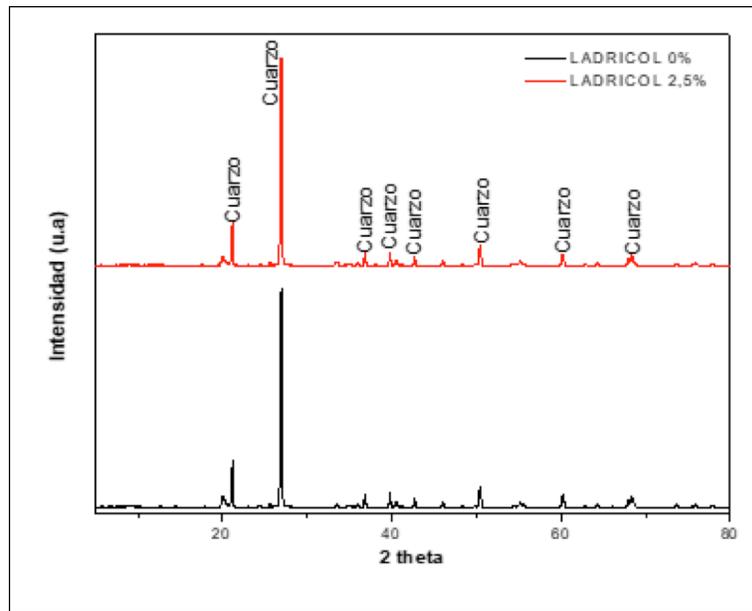


Figura 17. DRX del LADRICOL 0% y LADRICOL 2,5%

### 3.4 Consumo energético

Para calcular el consumo energético requerido para la cocción de la mezcla LADRICOL 0% y LADRICOL 2,5%, se utilizaron las (Ecuación 3.1) y (Ecuación 3.2). Los resultados obtenidos se muestran en la (Tabla 3) y reflejan un mayor consumo energético en el ladrillo convencional (0,9160 MJ) que en el ladrillo con 2,5% colillas de cigarrillo (0,7351 MJ).

En cuanto al porcentaje de ahorro energético, el resultado refleja un ahorro del 19,75% al incorporar colillas de cigarrillo en la fabricación del ladrillo. Lo anterior, se debe fundamentalmente al acetato de celulosa que se encuentra presente en las colillas de cigarrillo, el cual, al ser materia orgánica y mezclarse con la arcilla, contribuye positivamente en el proceso de cocción, permitiendo la concentración de calor y reduciendo así la cantidad de energía necesaria para la cocción del ladrillo (Jackson y Dhir, 1996) y (Mohajerani et al., 2016).

Tabla 3. Ahorro energético asociado a la cocción del LADRICOL 2,5%

Consumo energético $q$ (MJ)	Masa de arcilla LADRICOL 0% y 2,5% $m_1$ y $m_2$ (kg)	Masa de colillas de cigarrillo $m_3$ (kg)	Energía usada en LADRICOL 0% $Q_1$ (MJ)	Energía usada en LADRICOL 2,5% $Q_2$ (MJ)	% de ahorro energético $\Delta E$ (%)
2,405	0,38091	0,0095	0,9160	0,7351	19,75

## 4. Conclusiones

Mediante este estudio, se determinó la factibilidad del uso de colillas de cigarrillo como materia prima en la fabricación de ladrillos. Los resultados obtenidos evidencian la posibilidad de incorporar hasta un 2,5% de colillas de cigarrillo, con respecto al peso de arcilla utilizada, permitiendo obtener ladrillos con valores de densidad (1,76 g/cm<sup>3</sup>), absorción de agua (13,96%), resistencia a compresión (10 MPa) y TIA (0,19 g/cm<sup>2</sup>/min), acorde con los estándares establecidos por la normatividad colombiana NTC 4205-2 para mampostería no estructural tipo M. Por otro lado, los patrones de difracción (DRX) de los ladrillos con 2,5% colillas de cigarrillo, permitieron evidenciar que no existen fases mineralógicas distintas a las que se encuentran presentes en los ladrillos de la mezcla patrón (LADRICOL 0%). Adicionalmente, la incorporación de este residuo en dicho porcentaje genera una reducción en el consumo energético debido al acetato de celulosa, el cual permite la concentración de calor, dando lugar a un ahorro del 19,75% de la energía consumida.

## 5. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (Colombia) por el apoyo brindado para la financiación y el desarrollo de este estudio, a través del proyecto de convocatoria interna "Viabilidad de uso de colillas de cigarrillo en la fabricación de ladrillos (LADRICOL)". Así como el apoyo brindado con relación al uso de sus instalaciones y equipos de laboratorio durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

## 6. Referencias

- Abdul Kadir, A.; Mohajerani, A.; Roddick, F.; Buckeridge, J. (2015).** Effect of heating rate on gas emissions and properties of fired clay bricks and fired clay bricks incorporated with cigarette butts. *Applied Clay Science*, 104, 269-276. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.12.005>.
- Barranzuela, J. (2014).** Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región Piura. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura. Perú.
- Castañeda Espitia, S. (2011).** Transformación de las colillas de cigarrillo a medios creadores de vida, para mitigar el impacto ambiental. Tesis de pregrado en Diseñador Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Arquitectura y Diseño. Programa Académico de Diseño Industrial. Bogotá D.C.
- De Granada-Orive, J. I.; Girón-Matute, W.; López Yepes, L. (2016).** Cigarette butts: The collateral effects of cigarettes on humans, animals and the environment. *Arch Bronconeumol.* 2016; 52:285.
- Delgado, M. C. (2015).** Recursos naturales: Arcillas de uso cerámico, la sepiolita. Trabajo fin de grado en Química. Universidad de Jaén. Facultad de Ciencias Experimentales. Programa Académico de Química.
- Fuentes Molina, N.; Isenia León, S.; Ascencio Mendoza, J. (2017).** Biosólidos de tratamiento de aguas residuales domésticas, como adiciones en la elaboración de ladrillos cerámicos. *Producción + Limpia.* 12 (2): 92-102. DOI: 10.22507/pml.v12n1a8.
- Gobierno Nacional de la Republica de Colombia. (2014).** Estudio Nacional de Consumo de Sustancias Psicoactivas en Colombia 2013. Bogotá D.C.
- Gonzalez Clemente, O. J.; Bezada Díaz, M.; Millán Boadas, Z. D.; Carrera, J. M. (21 de 01 de 2014).** Caracterización de las arenas y arcillas minerales de los depósitos de canal y planicie de inundación del río portuguesa, Venezuela. *Investigaciones geográficas*, n.85, pp.18-32. doi:dx.doi.org/10.14350/rig.35291.
- Guevara Lizano, A. (Noviembre de 2010).** Sistema para el adecuado desecho de colillas de cigarrillo. Tesis de pregrado en Ingeniería en Diseño Industrial. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial. Cartago.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (30 de 11 de 2005).** NTC 4017 Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla. Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (18 de 11 de 2019).** NTC 4205-2 unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 2: Mampostería no estructural.
- Isel, V.; Sánchez, J.; Chaparro, A. (19 de Julio de 2017).** Evaluación de arcillas caoliniticas-illiticas provenientes de la formación guayabo del Área Metropolitana de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia. *Revista ION*, Vol. 30 Núm. 1. doi:http://dx.doi.org/10.18273/revion.v30n1-2017009
- Jackson, N.; Dhir, R. (1996).** *Civil engineering materials* (Fifth edition ed.). Palgrave.
- Joshi, R.; Achari, G.; Horfield, D.; Nagaraj, T. (1994).** Effect of heat treatment on strenght of clays, *Journal of Geotechnical Engineering*, Volume 120 Issue 6, 1080-1088.
- Lozano Ortiz, M. M.; González Peláez, S. (2016).** Uso de residuos cerámicos en la producción de ladrillos de arcilla cocidos del sector alfarero de candelaria. Tesis de pregrado en Ingeniería Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial. Santiago de Cali. Colombia.
- Lozano Rivas, W. A.; Bonilla C., R. A.; Salinas C., A.; Flórez R., L.; Campos V. M. P.; Manrique R., A.; Jaimes R., Á. (Noviembre de 2015).** Quantification of Cigarette Butts Littered to the Streets and Sidewalks in Dance Clubs and Pub Areas in Bogota D.C., Colombia. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*, Volume 2, Issue 11, 69-78.
- Mohajerani, A.; Abdul Kadir, A.; Larobina, L. (2016).** A practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks. *Waste Management.* 52, 228-244. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.012>.



ENGLISH VERSION.....

- Monzonis Marco, J.; González Romero, J. (2011).** Estudio para la minimización del residuo de colillas de tabaco y su posible reutilización. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Valencia. Gandia.
- Novotny, T. E.; Slaughter, E. (2014).** Tobacco Product Waste: An Environmental Approach to Reduce Tobacco Consumption. 1, 208-2016. DOI 10.1007/s40572-014-0016-x
- Rath, J. M.; Rubenstein, R. A.; Curry, L. E.; Shank, S. E.; Cartwright, J. C. (2012).** Cigarette Litter: Smokers' Attitudes and Behaviors. Environmental Research and Public Health. 9, 2189-2203. doi:10.3390/ijerph9062189.
- Ruge-Guerrero, O.O.; Martínez-Ovalle, S.A.; Díaz-Lagos, M. (2016).** Evolución de fases magnéticas presentes en arcillas de Boyacá sometidas a altas temperaturas. Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo, 16 (2), pp. 84-93
- Sánchez Molina, J.; Corpas Iglesias, F.; Rojas Suarez, J. (2019).** Cenizas volantes de una planta termoeléctrica como materia prima para la fabricación de materiales cerámicos de construcción: Efecto de la temperatura de cocción sobre las propiedades del material. Información tecnológica, 30 (1), 285-298. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000100285>.
- Sanchez, A. Y.; Mejia, F. Y. (2009).** Análisis de los esfuerzos de compresión en unidades de mampostería estructural y muretes E-9, E-11 y E-14 de una empresa ladrillera de Santander. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Programa Académico de Ingeniería Civil. Bucaramanga.
- Santos, J. D.; Malagón, P. Y.; Córdoba, E. M. (2009).** Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. DYNA, Vol. 78 Núm. 167. 0012-7353.
- Unidad de Planeación Minero-Energética. (2001).** Determinación de la eficiencia energética del subsector industrial del ladrillo, vidrio y cerámica. Republica de Colombia Ministerio de Minas y Energía. Colombia.
- Zhang, L. (2013).** Production of bricks from waste materials - A review. Construction and Building Materials, 47, 643-655. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.043>.

