

**INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES  
FÍSICAS DE LOS LADRILLOS DE ARCILLA.**

**CRISTIAN DAVID DEULOFEUTH CARRERA**

**JUAN JOSE SEVERICHE HERNANDEZ**



**Universidad  
de Cartagena**  
Fundada en 1827

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARTAGENA DE INDIAS, D T Y C. – BOLÍVAR**

**2019**

**INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES  
FÍSICAS DE LOS LADRILLOS DE ARCILLA.**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN**

**GEOMAVIT.**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

**MATERIALES DE CONSTRUCCION**

**DIRECTOR DE PROYECTO:**

**ING. MODESTO BARRIOS**

**POR:**

**CRISTIAN DAVID DEULOFEUTH CARRERA**

**JUAN JOSE SEVERICHE HERNANDEZ**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARTAGENA D.T Y C. – BOLÍVAR**

**2019**



## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	12
1. MARCO REFERENCIAL.....	15
1.1. ANTECEDENTES.....	15
1.2. ESTADO DEL ARTE.....	18
1.3. MARCO TEÓRICO.....	20
1.3.1. Ladrillos.....	20
1.3.2. Aserrín.....	27
1.3.3. Ensayos para la caracterización en los materiales para la fabricación de ladrillos de arcillas.....	27
1.3.3.1. Ensayo de granulometría por mallas (norma técnica ASTM D 422). ....	28
1.3.3.2. Ensayo de absorción.....	29
1.3.3.3. Ensayo de Resistencia mecánica a la compresión.....	32
1.3.3.4. Ensayo de Plasticidad.....	33
2. OBJETIVOS.....	36
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	36
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	36
3. ALCANCE.....	37
4. METODOLOGIA.....	40
4.1. Tipo de investigación.....	40
4.2. Fuentes de información.....	42
4.2.1. Procesos de recolección de la información.....	42



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



4.2.2. Información recolectada .....	42
4.3. Diseño de mezclas .....	43
4.4. Análisis tiempo-costo de la fabricación de ladrillos con adición de aserrín.....	44
5. RESULTADOS Y DISCUSION .....	45
5.1. Influencia del aserrín en la resistencia a la compresión en los ladrillos de mampostería.....	45
5.1.1. Análisis de resultados de ensayo de compresión .....	48
5.2. Influencia del aserrín en la absorción de los ladrillos de mampostería.....	49
5.2.1. Análisis de resultados de ensayo de absorción .....	52
6. CONCLUSIONES .....	53
7. RECOMENDACIONES .....	55
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	56
9. ANEXOS.....	59



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Resistencia mecánica a la compresión y % de absorción de agua máxima. ....	<b>22</b>
<b>Tabla 2.</b> Tasa inicial y tiempos recomendados de absorción. ....	<b>23</b>
<b>Tabla 3.</b> Longitud máxima del desbordado. ....	<b>24</b>
<b>Tabla 4.</b> Porcentaje de materiales para la fabricación de ladrillos. ....	<b>43</b>
<b>Tabla 5.</b> Normas de los ensayos para la realización de ladrillos de mampostería. ....	<b>44</b>
<b>Tabla 6.</b> Determinación de dosificación de los porcentajes de aserrín a adicionar. ....	<b>45</b>
<b>Tabla 7.</b> Cálculo del promedio de los resultados de ensayo de compresión. ....	<b>46</b>
<b>Tabla 8.</b> Resultados de la influencia de la adición de aserrín en ensayos de compresión. ...	<b>46</b>
<b>Tabla 9.</b> Cálculo del promedio de los “ $P_{sat}$ ”. ....	<b>49</b>
<b>Tabla 10.</b> Cálculo del promedio de los “ $P_{seco}$ ”. ....	<b>50</b>
<b>Tabla 11.</b> Resultado de ensayo de absorción. ....	<b>50</b>
<b>Tabla 12.</b> Resultados de Absorción. ....	<b>51</b>



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



**INDICE DE ILUSTRACIONES**

<b>Ilustración 1.</b> Curva granulométrica típica. Fuente: (BOWLES, 1981). .....	<b>28</b>
<b>Ilustración 2.</b> Ensayo de compresión en ladrillos.....	<b>33</b>
<b>Ilustración 3.</b> Clasificación de materiales en función de los límites de Atterberg.....	<b>34</b>
<b>Ilustración 4.</b> Ubicación de Cartagena en Colombia.....	<b>37</b>
<b>Ilustración 5.</b> Esquema de metodología.....	<b>41</b>
<b>Ilustración 6.</b> Porcentaje de aserrín Vs. Resistencia a la compresión. ....	<b>47</b>
<b>Ilustración 7.</b> % de Aserrín v % de Absorción. Fuente: Elaboración Propia.....	<b>52</b>



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



**INDICE DE ECUACIONES**

<b>Ecuación 1.</b> Tasa inicial de absorción.....	<b>23</b>
<b>Ecuación 2.</b> Capacidad de absorción de agua.....	<b>29</b>
<b>Ecuación 3.</b> Resistencia a la compresión.....	<b>33</b>
<b>Ecuación 4.</b> Índice de liquidez.....	<b>35</b>



## RESUMEN

En la investigación concluida, fueron evaluados los efectos que genera la adición del aserrín fino como reemplazo de la arcilla, en diversas proporciones, sobre las propiedades de los ladrillos de arcilla y cómo se ven afectadas las características físicas de estos ladrillos con dicha adición dentro de su composición, para así determinar su viabilidad y uso en la construcción de obras civiles.

Para esto se tuvo que caracterizar los distintos instrumentos y materiales necesarios para el proceso de fabricación de ladrillos, realizando una adición de aserrín en las diferentes proporciones estudiadas. Se elaboraron 25 ladrillos de manera artesanal, los cuales se fabricaron con cinco diferentes adiciones porcentuales de aserrín (0%, 3%, 5% 7% y 10%) como remplazo de la arcilla. Por cada adición porcentual se realizaron 5 muestras de ladrillos. Posteriormente, fueron sometidos a ensayos de resistencia a la compresión y absorción donde se recolectaron los datos para realizar el análisis adecuado de los mismos y compararlos con los estipulados por las normas NTC 4017.

Como resultado, para determinar la proporción óptima, desde el punto de vista del cumplimiento de la norma NTC 4017, se tiene en cuenta la resistencia de los ladrillos como principal objeto de estudio; donde se obtuvieron valores de máxima resistencia en los ladrillos con el 7 % de adición de aserrín y 93% de arcilla en la composición de la mezcla.

Teniendo en cuenta lo anterior y sabiendo que cada ladrillo con adición de 7% posee 434g de aserrín fino (Ver Tabla 6. Determinación de dosificación de los porcentajes de aserrín a adicionar.) Se calcula una reducción de 43,4 toneladas de aserrín por cada 100.000 ladrillos hechos con esta proporción.

El resultado ambiental es favorable, debido a que se buscó dar soluciones a los problemas de contaminación de las industrias madereras al momento de reutilizar un desperdicio como el



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



aserrín. Se realizó además un análisis de costo-tiempo el cual diagnosticó que la fabricación de ladrillos con adición de aserrín tiene gran viabilidad ya que los tiempos en su preparación se ven considerablemente reducidos, permitiendo a su vez reducir costos en cuanto a material para la combustión y mano de obra calificada para la realización de los procesos de cocción.



## ABSTRACT

In the concluded investigation, the effects generated by the addition of fine sawdust in various proportions as clay replacement were evaluated, in the properties of the clay bricks and how the physical characteristics of clay bricks are affected with the addition of fine sawdust in its composition and determine its feasibility and use in construction.

For this, we had to characterize the different instruments and materials necessary for the brick manufacturing process, making an addition of sawdust in different proportions studied. 25 bricks were made by hand, which were manufactured with five different percentage additions of sawdust (0%, 3%, 5% 7% and 10%) as a clay replacement. 5 samples of bricks were made for each percentage additions. Subsequently, they were subjected to compression resistance and absorption tests where the data were collected to perform the appropriate analysis of them and compare them with those stipulated by the NTC 4017 standards.

As a result, to determine the most optimal proportion from the point of view of compliance with the NSR-2010 standard, and considering the bricks strength as the main object of study, we get bricks with maximum optimum resistance in the bricks of 7% of sawdust and 93% of clay.

Given the above and knowing that each brick with 7% addition has 434g fine sawdust (Look Table 6. Determination of dosage of sawdust percentages to be added) A reduction of 43.4 tons of sawdust is calculated for every 100,000 bricks made with this proportion.

The environmental result is favorable, because it sought to provide solutions to the pollution problems of the wood industries when reusing a waste such as sawdust. A cost-time analysis was carried out which diagnosed that the manufacture of bricks with sawdust addition has great viability since the manufacturing times are considerably reduced, allowing in turn to



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



reduce costs in terms of material for combustion and skilled labor for the realization of the cooking processes.



## INTRODUCCION.

La considerable escasez de recursos para la infraestructura y los servicios en América Latina, África y Asia, impiden atenuar el riesgo de desastres para buena parte de la población, lo cual puede atribuirse sobre todo a fallas de orden institucional y gubernamental” (IFRC, 2010). “Por lo que se considera un riesgo en las ciudades, como por ejemplo el incremento de asentamientos informales o ilegales, la falta de infraestructura o servicios apropiados, la construcción de viviendas en lugares expuestos a riesgos debido a fuertes vientos, inundaciones o deslizamientos de tierra, o la construcción con materiales inflamables o de mala calidad, todo esto causado en realidad por “la brecha de vulnerabilidad” y por otro lado se encuentra la falta de conocimiento o de capacidad financiera y a veces la ausencia de voluntad de las autoridades urbanas para reducir las vulnerabilidades” (IFRC, 2010).

Sólo en la primera semana del 2019 en Ibagué se registraron más de 40 incendios (SEMANA, 2019), los cuales se presentaron en su mayoría en pueblos jóvenes o asentamientos humanos, donde los habitantes no tienen el poder económico para construir sus viviendas con materiales que resulten económicamente cómodos y que sean de buena calidad, lo ideal sería que ellos mismos puedan elaborar artesanalmente sus ladrillos y que estos puedan resistir los diversos agentes externos sin perder sus propiedades, así en caso de un incendio o algún otro fenómeno natural las casas seguirán en pie el mayor tiempo posible, disminuyendo de esta manera las pérdidas de vidas y de materiales.

Los antecedentes más relevantes encontrados sobre el tema a nivel nacional son los siguientes: García Ubaque, García Vaca, y Vaca Bohórquez, realizaron la investigación donde se expuso: “... Se analizaron las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y absorción de humedad, de ladrillos fabricados con mezclas de arcilla y lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Para esto se elaboraron mezclas en proporciones de 100:00, 99:1, 95:5, 90:10, 80:20 y 60:40 de arcilla y lodo



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



respectivamente. Luego los ladrillos se calcinaron entre 35°C y 1100°C. Se realizaron pruebas de absorción de agua y resistencia mecánica de compresión. Se concluyó que el rango o porcentaje de lodos más adecuado para hacer la mezcla con arcilla se encuentra entre el 5 y 10% ya que con esta medida el producto cumple con los estándares de calidad exigidos por la normatividad en Colombia (García Ubaque, García Vaca, & Vaca Bohórquez, 2013)

Se planteó la siguiente pregunta de la investigación: ¿De qué forma incide la adición del aserrín fino en las propiedades físicas de los ladrillos de arcilla?

Según las estadísticas conocidas sobre el crecimiento poblacional a nivel departamental y en toda Colombia, las ciudades crecen a cada momento, pero lastimosamente los ingresos de los ciudadanos no. Es por este motivo que la población recurre a la necesidad de construir y vivir en zonas inestables construidos con materiales de muy baja calidad, debido a que son los que pueden comprar de acuerdo a sus ingresos, los cuales al momento de afrontar algún tipo de fenómeno (temblores, incendios, terremotos, etc.) no responden como es debido, por lo que es necesario el uso de materiales con una calidad óptima y que a su vez sean más asequibles económicamente.

Se tuvo una gran expectativa social y económica, ya que se buscó elaborar un producto económico y con propiedades mejoradas, lo cual obviamente favorecerá a poblaciones con un bajo poder adquisitivo en el momento de construir sus viviendas, intentando mejorar su calidad de vida y evitando posibles riesgos en situaciones de desastre.

La expectativa ambiental fue favorable, debido a que se buscó dar soluciones a los problemas de contaminación de las industrias madereras al reutilizar un desperdicio como el aserrín, reduciendo el uso de materia prima. Tomando residuos de madera de los aserraderos del Carmen de Bolívar, para combinarlo con otros elementos y crear un nuevo material que luego pueda ser apto para su uso en la construcción.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



Se planteó la hipótesis de que la adición de aserrín fino a los ladrillos de arcilla cocida elaborado artesanalmente aumentaría la resistencia a la compresión, se buscó caracterizar el suelo mediante ensayos de campo para seleccionar el material a ser usado en la elaboración de ladrillos y determinar el porcentaje de aserrín idóneo a adicionar a los ladrillos artesanales, con el fin de aumentar su resistencia a la compresión, y así, elaborar ladrillos artesanales con una buena resistencia mecánica y que a su vez cumpla con la norma NTC 4017.

Esta investigación, pertenece a la línea de investigación de Materiales de construcción, ya que, en el desarrollo de la investigación se utilizaron conceptos y ensayos propios de la línea tales como, ensayos de compresión, granulometría, plasticidad y absorción.

La presente investigación “Incidencia de la adición del aserrín fino en las propiedades físicas de los ladrillos de arcilla.”, tuvo como propósito analizar cómo influye la adición de aserrín fino a un ladrillo artesanal y determinar sus propiedades físicas, por medio de ensayos específicos como granulometría de sus componentes, plasticidad, resistencia a la compresión y absorción, comprobando también si la adición de aserrín afecta algunas de sus características físico mecánicas como la resistencia. Es debido a todo esto que, para realizar esta investigación, primero se buscó información real sobre los problemas en diversos lugares donde se realizan este tipo de productos, permitiendo así determinar algunos como el impacto ambiental de industrias madereras y la tala indiscriminada e ilegal de árboles, donde según informes, en la región de cada árbol talado solo se usa el 50% de la totalidad, lo demás se bota o se quema, como sucede en este caso en los hornos para la realización de ladrillos artesanales, (Bastidas, 2013)



## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1. ANTECEDENTES

Algunos de los inconvenientes que se presentan en el área de la construcción están relacionados con la calidad de los materiales utilizados en las obras y los costos durante la ejecución. La carencia de herramientas eficaces para medir y controlar la calidad de estos en el momento oportuno es una falencia que puede presentarse, por ende, la importancia de investigar y documentar la metodología de la caracterización de los materiales de construcción.

En la ciudad de Cartagena no se encuentran proyectos registrados donde se haya aplicado la adición del aserrín fino para estudios sobre cómo se afectan las características físico mecánicas que se presentan en el momento de dicha adición en los ladrillos, no se logró evidenciar información al respecto en las bases de datos y repositorios de universidades locales.

Sin embargo, se encuentran análisis y resultados obtenidos en algunas ladrilleras del departamento de Santander, en las cuales se presenta la adición del hollín que es un subproducto similar al aserrín, que es obtenido de la cocción de los ladrillos usados, con esto se analiza su incidencia en las propiedades mecánicas del producto. La arcilla usada inicialmente fue caracterizada por el método granulométrico manual siguiendo la norma INV-E 123-07 (Martínez Amarys & Paz Muñoz, 2016). Las composiciones químicas y mineralógicas se analizaron por medio de la técnica de Difracción de Rayos - X). El análisis de las propiedades mecánicas de los cerámicos se desarrolló mediante el ensayo de compresión según los lineamientos de la Norma Técnica Colombiana (NTC: 4017). Los resultados muestran que la adición menor a 60 % en masa de residuos de hollín cuando se adiciona a la arcilla aumenta la capacidad de resistencia a la compresión en un valor



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



promedio de 265.31 kgf/cm<sup>2</sup>; este aumento es significativo, ya que el valor mínimo a la compresión según la norma es de 140 kgf/cm<sup>2</sup> (Martínez Amarys & Paz Muñoz, 2016).

Los resultados de los ensayos de granulometría indican que la muestra de 200 g tiene un índice más alto de arena fina (95%); resultado de gran importancia para la fabricación de las pastas cerámicas. Este resultado permite clasificar esta muestra como arcilla de alta plasticidad. Los resultados del análisis mineralógico indican que la arcilla está constituida principalmente por aluminosilicatos hidratados con presencia de algunas impurezas, tales como Na, Fe, K, Ca, entre otros, y el hollín, por ser un residuo industrial del proceso de cocción de los ladrillos, demostró contener fases similares a la de la arcilla, diferenciándose por la presencia de compuestos propios del carbón mineral, como lo es la mullita.

Los resultados del análisis de compresión permiten evidenciar que la arcilla es factor importante en la homogeneización de la mezcla, pues los especímenes que alcanzaron una mayor resistencia fueron los que contenían mayor porcentaje de arcilla, es decir, este material le brinda mayor permeabilidad a la mezcla, alcanzando así una resistencia promedio de 265,31 Kgf/cm<sup>2</sup> en un 52,77 % por encima del adobe comprimido macizo convencional. En síntesis, estos resultados abren un amplio campo a futuro para el estudio de nuevas adiciones para la creación y fabricación de ladrillos cerámicos reutilizando materiales descartables del mismo proceso de sintonización e incluso de otros procesos como en caso de las industrias madereras; además ayuda a mitigar en gran medida la cantidad de estos desechos industriales que genera un alto impacto en el medio ambiente. (Martínez Amarys & Paz Muñoz, 2016).

Las limitaciones presentadas en el momento de la ejecución del proyecto, es que, al utilizar residuos industriales, el costo de su implementación es mucho más elevado que una muestra patrón, y la obtención de estos mismos es más compleja.



## **APROVECHAMIENTO DE ESCOMBROS COMO AGREGADO PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES ESTÁNDAR.**

En este estudio específicamente referido a la ciudad de Cartagena, es de gran importancia la realización de investigaciones que promuevan el uso de materiales reciclables y la reducción de los residuos. Se evalúan las características más importantes de los adoquines con diferentes porcentajes de agregados reciclados, como su porcentaje de absorción de agua, la resistencia a la flexotracción y la resistencia al desgaste ajustable por medio de un índice. Para la elaboración de los adoquines y la evaluación de estas propiedades, los escombros fueron triturados y evaluados como agregados, con los cuales se elaboraron las mezclas previamente diseñada según proporciones de agregado natural y reciclado encontradas en estudios previos, teniendo en cuenta la proporción agua cemento recomendada por el ICPC para la fabricación de adoquines.

Se propone el reciclaje y reutilización de escombros en el diseño de nuevos materiales para la construcción, planteando en este caso la utilización de estos en proporciones en peso del 30, 50 70 y 100% de agregados en la mezcla para elaboración de adoquines, y la realización de ensayos de flexo tracción, abrasión y absorción. Se brinda de esta manera grandes posibilidades de reducción del volumen de escombros que se produce en la ciudad de Cartagena, disminución del impacto ambiental y visual generada por la disposición ilegal de vertederos urbanos y ahorro en los costos de transporte y disposición final de residuos, entre otros que se ven reflejados en el desarrollo de la ciudad. Por lo cual el proyecto demuestra su importancia y ratifica su aporte a la solución de las dificultades que genera la producción y el manejo de los escombros en la ciudad. (VENEGAS PEREZ & UCROS, 2015)

Este estudio no pretende aumentar el nivel de aceptación social, tampoco conocer la disminución de costos en la fabricación de los adoquines, ni el nivel de competitividad de los productos de construcción con materia prima reciclable en el mercado, este proyecto



puede ser visto como base por su factibilidad técnica para futuras investigaciones en los campos mencionados anteriormente. (VENEGAS PEREZ & UCROS, 2015)

## 1.2. ESTADO DEL ARTE

Existen antecedentes relevantes sobre el tema de investigación, donde a nivel internacional, Álvarez Guerrero en su tesis de investigación, expuso obtener la proporción óptima de mezclado de arcillas arenosas y plásticas para la fabricación de ladrillos en el sector artesanal de Cuenca, Ecuador. Para esto realizó un diseño experimental de mezclas por el método de mínimos cuadrados ordinarios obteniendo modelos matemáticos de primer orden que describen el comportamiento de parámetros como el índice de plasticidad, absorción de agua, contracción al secado, contracción a la quema, etc., todo esto a través de programación lineal mediante el método gráfico proporcionó el punto óptimo de mezclado. Llegando a la conclusión que mediante el software OR Courseware se determinó que el punto óptimo para la mezcla es de 80% de arcilla, arenosa y un 20% de arcilla plástica (Álvarez Guerrero, 2014).

Así también, Álvarez Guerrero, investigó los beneficios de la incorporación de puzolana a la masa cerámica del ladrillo. En primer lugar, se analiza las características y propiedades de la puzolana, luego esta se incorporó a la masa cerámica de ladrillo para finalmente analizar el comportamiento de estos mediante mediciones de densidad, absorción conductividad térmica y resistencia a la compresión. De esta investigación se concluye que la incorporación de puzolana a la masa cerámica del ladrillo en porcentajes cercanos al 10% lleva a una reducción significativa de la conducción térmica sin comprometer la absorción ni la resistencia mecánica del ladrillo, mientras que, si se agrega un porcentaje superior al 10% mejora la conductividad térmica, pero compromete la absorción y la resistencia mecánica de la masa cerámica. (Álvarez Guerrero, 2014).

Por otro lado, los autores García Ubaque, García Vaca, María Camila y Vaca Bohórquez, elaboraron la investigación donde se expuso lo siguiente:



Se analizan las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y absorción de humedad de ladrillos fabricados con mezclas de arcilla y lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Para esto se elaboraron mezclas en proporciones 100:00, 99:1, 95:5, 90:10, 80:20 y 60:40 de arcilla y lodo respectivamente, luego los ladrillos se calcinaron entre 35°C y 1100°C. Se realizaron pruebas de absorción de agua y resistencia mecánica de compresión. Se concluye que el rango o porcentaje de lodo más adecuado para hacer la mezcla con arcilla se encuentra entre el 5 y 10% ya que con esta medida el producto cumple con los estándares de calidad exigidos en Colombia (García Ubaque, García Vaca, & Vaca Bohórquez, 2013).

### **Ladrillos PET” a base de residuos plásticos**

Investigadores del Conicet han desarrollado un ladrillo reutilizando el plástico polietilentereftalato (PET) de muchos de los envases que utilizamos como el de las botellas.

Uno de los residuos más abundantes y no retornables que tenemos es el PET, que tarda en degradarse más de 500 años. Así que buscar un uso para su reciclado parece algo lógico. Investigadores del Conicet en Argentina han patentado un proceso de utilización del PET para la fabricación de ladrillos para la construcción.

El proceso de fabricación de estos ladrillos comienza con el triturado de los plásticos para luego mezclarlo con cemento portland como aglomerante para dar cohesión a la mezcla y un aditivo químico que mejora la adherencia de las partículas de plástico. Esta mezcla se coloca en moldes como si fuese una pieza de hormigón prefabricada y se deja fraguar.

En el punto de vista medioambiental, un ladrillo PET se fabrica reutilizando 20 botellas por lo que en ese aspecto cumple por mucho rango y entre las ventajas técnicas que puede aportar un ladrillo PET, la más interesante es su nivel de aislante térmico que es cinco veces mayor que la de un ladrillo tradicional. Este aumento sustancial del aislamiento puede llevar a reducir el grosor de los muros y pasar de cerramientos de 30 a 15 cm.



Los ladrillos PET a su vez son más livianos que los ladrillos convencionales, mientras un ladrillo convencional pesa algo más de 2 kilos el ladrillo PET pesa 1,4 kg. Aunque a esta escala no suponga una grandísima diferencia en el conjunto de un cerramiento y de un edificio puede suponer una reducción significativa en la carga estructural y la posibilidad de utilizar una estructura más ligera y también se obtienen edificios más económicos.

Notando que el ladrillo PET no es solo una solución a un problema medioambiental, sino que también tiene ventajas técnicas significativas, donde se busca un desarrollo industrial que permita fabricar estos ladrillos en una cantidad suficiente para satisfacer las demandas del sector de la construcción. (ciencia y cemento, 2019)

Este proyecto aún no se ha ejecutado físicamente, ya que los autores pretenden seguir investigando un poco más a fondo para luego si poder implementarlo incluso a nivel industrial.

### **1.3. MARCO TEÓRICO**

#### **1.3.1. Ladrillos**

La arcilla es un material terroso, de baja granulometría y que presenta plasticidad cuando es mezclado con cierta cantidad de agua. La arcilla es el material más utilizado para la fabricación de ladrillos y piezas de mampostería en Colombia. Dentro de la mampostería se conocen tres tipos básicos de unidades de arcilla cocida, que se distinguen según la disposición de sus perforaciones y del volumen que éstas ocupen. De acuerdo con esto, las unidades pueden ser de perforación vertical (PV); perforación horizontal (PH) y macizos (M). La aplicación de cada tipo de unidad y las respectivas características físicas deben estar de acuerdo con los cálculos y requisitos establecidos en la Reglamento de Sismo resistencia NSR-10, con el fin de que se garantice la estabilidad de la estructura.

El término ladrillo indica comúnmente un elemento constructivo artificial en forma de paralelepípedo recto, obtenido de la cocción de la arcilla que ha sido amasada y moldeada previamente (Santa Fé, 2018). El ladrillo trabajado como muro posee libertades como una



variedad tipológica, amplia gama de tratamientos superficiales y cromatismos en su acabado, generalmente debe cumplir con diferentes características o componentes (Santa Fé, 2018), tales como:

- Técnicos: Como temperatura, Inercia térmica, Resistencia a las condiciones ambientales.
- Estéticos: Como variables individuales (color, textura y grano) y en un campo más amplio uniformidad de color, estabilidad dimensional.

El sector que abarca la fabricación de ladrillos se ha equilibrado con el sector más avanzado de la industria: la implementación de sofisticados análisis preliminares de la arcilla y la mecanización de la producción que integre el ciclo productivo (pre-elaboración, refinación, moldeo, corte y cocción), todo esto da como resultado una racionalización del producto, y una gran capacidad de control sobre la totalidad de la producción (Santa Fé, 2018). El proceso de elaboración del ladrillo se puede dividir en:

- ✓ Excavación de la arcilla
  - ✓ Pre-elaboración
  - ✓ Moldeo
  - ✓ Corte
  - ✓ Cocción
- **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS LADRILLOS**

Estos elementos estructurales deben cumplir con las especificaciones técnicas estipuladas en la norma (NTC 4205, 2009), es decir, debe cumplir mínimo con los requisitos de absorción determinados para su uso. Adicionalmente, en caso de tratarse de una fachada es fundamental acatar los requerimientos de tolerancia dimensional, distorsión, eflorescencia y límite de defectos superficiales (NSR 10, 2018).



- **Resistencia mecánica a la compresión**

Las estipulaciones de la norma indican en sus procedimientos que las unidades de mampostería de arcilla cocida deben cumplir con la resistencia mínima a la compresión (NTC 4017, 2005). Para los ladrillos de perforación vertical la resistencia neta se calcula dividiendo la carga de rotura o de falla, por el área neta de la sección perpendicular a la carga, se descuentan las áreas de celdas y perforaciones y en los ladrillos macizos, la resistencia neta y la resistencia bruta son iguales por que se calculan dividiendo por el área de apoyo de los ladrillos (Santa Fé, 2018). En la tabla 1 se muestra la resistencia mínima a la compresión y el porcentaje de absorción de agua máxima en interiores, en ladrillos con perforaciones horizontales, verticales y macizos estipulados por la norma NTC 4017.

**Tabla1.** Resistencia mecánica a la compresión y % de absorción de agua máxima.

TIPO	RESISTENCIA MINIMA A LA COMPRESION		ABSORCION DE AGUA MAXIMA	
	Promedio de 5 unidades	Mínima por unidad	Promedio de 5 unidades	Máxima por Unidad
	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	(%)
PH	5,0 (50)	3,5 (35)	17	20
PV	18,0 (180)	15,0 (150)	17	20
M	20,0 (200)	15,0 (150)	17	20

**Fuente:** Revista Santa fé 2018.

Si la absorción es mayor a los valores de la tabla 1, se debe vigilar el cumplimiento de los requisitos de absorción y resistencia y diseñar los morteros y tiempos de pre humedecimiento apropiados. Para el cálculo de la absorción primero se calcula la tasa inicial

PH: Unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque).

PV: Unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo y bloque).

M: Unidad de mampostería maciza (ladrillo).



de absorción, que es la cantidad de agua absorbida por la muestra en un minuto después de sumergirlo en agua, secarlo y pesarlo, luego calcular la diferencia de peso final e inicial y dividirlo entre el área neta de la muestra, como plantea la ecuación 1 “Tasa inicial de absorción”, luego se comprueba el resultado en la tabla 2 para establecer un tiempo recomendado de pre humedecimiento.

$$T.I.A = \frac{G}{A \times 1min} \quad (1)$$

**Fuente:** norma NTC 4017.

**Tabla 2.** Tasa inicial y tiempos recomendados de absorción.

TASA INICIAL DE ABSORCIÓN (g/cm <sup>2</sup> /min)	TIEMPO RECOMENDADO DE PRE-HUMEDECIMIENTO
<0,10	5min
<0,15	1h
<0,25	24h

**Fuente:** Revista Santa fé, 2018.

- **Dimensiones modulares**

La mampostería de uso exterior o de fachada debe estar diseñada para sus medidas reales más las juntas de pega, se deben adaptar a sistemas de coordinación modular. Las unidades de mampostería no tienen que cumplir una norma específica, aunque de ser establecido por el fabricante se considera un requisito.

- **Límites de defectos superficiales**

- ✓ Fisuras: Las caras expuestas en las fachadas no pueden tener fisuras que atraviesen el espesor de la pared o que tengan una longitud mayor al 25% por encima o por debajo de las medidas nominales específicas.

---

T.I.A= Tasa inicial de absorción, en g/cm<sup>2</sup>/min.  
G= Diferencia en gramos entre el pesaje final y el inicial.  
A = Área neta en contacto con el agua, en Cm<sup>2</sup>.



- ✓ Desbordados: Longitud máxima permisible de los desbordados desde las esquinas y los bordes de las piezas: En la tabla 3 se muestra la longitud máxima del desbordado según la textura.

**Tabla 3.** Longitud máxima del desbordado.

LONGITUD MAXIMA DEL DESBORDADO (mm)		
TEXTURA	ESQUINA	BORDE
LISA	6	10
RUGOSA	8	13

*Fuente: Revista Santa fé 2018*

- ✓ Distorsiones

La tolerancia de distorsión de las caras o aristas es de 1.5% en fachadas.

- ✓ Eflorescencias

Se ensayan por el método descrito en la norma NTC-4017.

- ✓ Requisitos adicionales

Las unidades de mampostería pueden tener formas, texturas, y acabados libres, pero igualmente debe mantener los requisitos básicos pertinentes a su aplicación.

- ✓ Tipos de unidades

Existen tres tipos básicos de unidades de mampostería de arcilla cocida, con respecto a la disposición de sus perforaciones y del volumen que éstas ocupen:

- Perforación vertical (ladrillos y bloques) (PV)
- Perforación horizontal (Ladrillos y bloques) (PH)
- Macizos (M).

La aplicación de cada tipo de unidad de mampostería en una obra civil debe ser concordante con los cálculos y requisitos que designe la norma NSR-10, con el objetivo de garantizar la estabilidad de la estructura.



- LADRILLOS ECOLOGICOS

Los ladrillos ecológicos son ladrillos construidos con materiales que no degradan el medio ambiente y cuya fabricación también es respetuosa con este, frente a los ladrillos habituales cuya fabricación y materiales no es tan inocua.

Los ladrillos ecológicos tienen cualidades similares a los tradicionalmente utilizados para la construcción de las viviendas. Por tanto, su uso no se deriva en pérdida de calidad puesto que, como la mayoría de productos ecológicos, sufren más pruebas de su viabilidad que los tradicionales. La bio-construcción no está en absoluto reñida con una vivienda confortable, bonita y segura (EBM, 2017).

- Tipos de ladrillos ecológicos

Se diferenciará los ladrillos ecológicos por los materiales con que están construidos ya que existen varias propuestas (en vía o ya en marcha) de ladrillos con diferentes componentes:

- ✓ Cenizas de carbón: Esta fue una idea de un ingeniero civil, Henry Liu, en 1999, con un doble beneficio ecológico. Con este material los ladrillos se obtienen a 212 grados en 10 horas y se aprovechan los 45 millones de toneladas de residuos del mismo que generan las centrales térmicas de carbón.
- ✓ Cáñamo y paja: Este ladrillo ecológico ya ha sido usado por empresas españolas. Pese a la aparente fragilidad de los materiales su dureza es semejante a los convencionales. Cuentan con la desventaja de ser más costosos, pero aíslan muy bien de la temperatura exterior. Ello supone un ahorro del gasto de energía en calefacción y aire acondicionado, por lo que se amortiza pronto su precio.
- ✓ Plástico usado y cáscaras de cacahuete: Los ladrillos ecológicos de este material son una creación del Centro Experimental de la Vivienda Económica de Argentina quien asegura que son duros, aislantes ligeros y económicos. Además



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



de producir un ahorro energético posibilitan un reciclaje de residuos para su producción.

- Ventaja de los ladrillos ecológicos

Ya se ha adelantado algunas ventajas del ladrillo ecológico en el apartado anterior y dependiendo del material con que se construya, unas estarán más potenciadas que otras (EBM, 2017). En general sus ventajas son:

- ✓ Menor perjuicio para la naturaleza, ya que su fabricación requiere menos energía y residuos, así como el reciclaje de otros materiales de desecho.
- ✓ Son mejores aislantes del frío y del calor exterior, con lo que se gasta menos energía en el hogar.
- ✓ En algunos casos resultan más económicos que los convencionales, de lo contrario, al ser mejores aislantes, el ahorro de energía amortiza la diferencia.
- ✓ Los materiales de los ladrillos ecológicos hacen que éstos sean más ligeros y manejables para el trabajador agilizando el tiempo de construcción y disminuyendo los gastos.

- Desventajas de los ladrillos ecológicos

La desventaja de los ladrillos ecológicos es su baja comercialización y por ende muy poco reconocimiento, incluso en algunas zonas aún no se consiguen y es necesario hacer pedidos.

También tienen otra desventaja derivada de lo nuevo de este producto y es que, de momento, no existen variedades decorativas como los convencionales para decorar fachadas, muros, jardines, etc. (EBM, 2017).



### **1.3.2. Aserrín**

El serrín o aserrín es el desperdicio del proceso de serrado de la madera, como el que se produce en un aserradero. A este material, que en principio es un residuo o desecho de las labores de corte de la madera, se le han buscado destinos diferentes con el paso del tiempo. Dentro del campo de la carpintería se usa para fabricar tableros de madera aglomerada y de tablero de fibra de densidad media. Ya fuera del campo de la carpintería ha sido usado durante mucho tiempo en el campo de la higiene para ser extendido en el suelo y mejorar la adherencia de este y facilitar su limpieza por ejemplo en negocios donde pueda ser habitual el derrame de líquidos en el suelo. Se ha usado también como cama o lecho para animales, bien en bruto o bien tras su procesado, siendo aglutinado y pelletizado. En los últimos años ha aumentado su uso para la fabricación de pellets destinados a la alimentación de calderas de biomasa. La presencia de fungí en serrín puede causar alveolitis alérgica extrínseca.

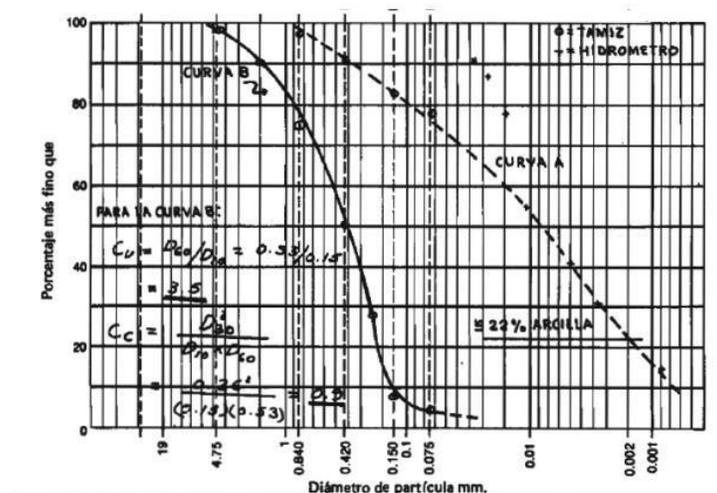
### **1.3.3. Ensayos para la caracterización en los materiales para la fabricación de ladrillos de arcillas**

Para el buen desarrollo en la fabricación de ladrillos de mampostería, fueron necesarios hacer algunos ensayos según la Norma (NTC 4017, 2005), las propiedades pueden tener requisitos adicionales y características especiales de diseño y calidad, por razones de exigencias acústicas, térmicas, de resistencia al fuego, arquitectónicas o constructivas, pero deben mantener los requisitos de absorción de agua y resistencia a la compresión para su uso principal (interior, exterior o estructural). Las unidades de mampostería arquitectónica pueden tener formas, texturas y acabados libres, pero, igualmente, deben mantener los requisitos pertinentes para su aplicación principal (García Ubaque, García Vaca, & Vaca Bohórquez, 2013).



### 1.3.3.1. Ensayo de granulometría por mallas (norma técnica ASTM D 422).

Es un ensayo que permite la caracterización física del suelo y se emplea para determinar las proporciones de los tamaños de grano de una masa de suelo conocida y su práctica se desarrolla agrupando las muestras en rangos de tamaños. Esto se logra a partir de unas mallas con aberturas conocidas llamadas tamices. La muestra del suelo se pasa por estos elementos que son organizados de forma descendente desde el tamiz con la abertura más grande hasta el tamiz con la menor abertura, de modo que la masa de suelo retenida en un tamiz sea de tamaño de grano mayor que la masa retenida en el tamiz siguiente (Bowles, 1981). Los tamices son hechos de malla de alambre de acero con aberturas de forma rectangular que varían de tamaño desde 101,6 mm, que corresponde a partículas gruesas, hasta el tamiz número 400 que tiene una abertura de 0.038 mm aproximadamente que corresponde a las partículas finas (Bowles, 1981). En la ilustración 1 se muestra una curva típica granulométrica en la que se muestran, las tendencias de los puntos dependiendo del tipo de suelo y de la uniformidad del tamaño de grano de las muestras, es decir, si está bien gradado o mal gradado. (Bowles, 1981).



*Ilustración 1.* Curva granulométrica típica. *Fuente:* (Bowles, 1981).



### 1.3.3.2. Ensayo de absorción

La capacidad de absorción de agua de un ladrillo se define como el cociente entre el peso de agua que absorbe y su propio peso cuando está seco. Se expresa en tantos por ciento (García Verduch, 2014). En la ecuación 2 se muestra la capacidad de absorción de agua de un ladrillo:

$$\text{Capacidad e absorción de agua} = \frac{P_{sat} - P_{seco}}{P_{seco}} \times 100 \quad (2)$$

*Fuente:* norma técnica ASTM D 422.

- Peso del ladrillo seco

Como es bien sabido, los ladrillos recién salidos del horno experimentan unos ligeros aumentos de peso cuando se exponen al ambiente, debido a que absorben humedad del aire. Este efecto es distinto de unos ladrillos a otros, pero siempre es más acusado en tiempo húmedo. Por esta razón, para fijar el llamado "peso en seco" que interviene en la fórmula anterior (García Verduch, 2014), se pueden seguir dos caminos:

a) Cuando se trata de ladrillos que han estado expuestos al ambiente durante algún tiempo y, por tanto, se sospecha que han podido absorber humedad, se deben desecar en una estufa calentada a 110°C. La Norma 7 061 recomienda que las probetas se desequen en estufa a 110°C durante 24 horas, pesándolas a las 21 y a las 24 horas de desecación. Si la diferencia de peso es inferior al 0,1 por 100, se dan por desecadas.

En caso contrario, se continúa desecando y pesando cada 3 horas hasta que la diferencia entre dos pesadas consecutivas sea inferior al límite señalado (García Verduch, 2014).

---

Psat= Peso saturado.  
Pseco= Peso Seco.



b) Si la determinación de la capacidad de absorción de agua se realiza en fábrica como método habitual de control, lo más sencillo es tomar ladrillos recién salidos del horno, pero ya fríos, y considerar su peso como "peso en seco". Con ello se evitan todas las manipulaciones expuestas en el párrafo anterior.

- Peso del ladrillo saturado de agua

Si a primera vista parece sencillo empapar un ladrillo en agua, en la realidad no es fácil lograr que todos los poros abiertos del ladrillo queden llenos de agua. El agua, al entrar desde la superficie hacia el interior siguiendo el laberinto de los múltiples poros, de tamaños y formas muy diversas, tiende a ocluir aire, el cual queda bloqueado en él interior e impide una completa saturación en agua del ladrillo.

Para vencer estas dificultades se han propuesto muchas técnicas operatorias, tales como aplicación de vacío, aplicación de presión, ebullición, mantenimiento prolongado bajo agua, etc. Las primeras, es decir, las de aplicación de vacío o presión, no se han generalizado debido a la necesidad de utilizar equipos especiales, no siempre disponibles en las fábricas de ladrillos. Otras técnicas, como las de ebullición y de mantenimiento prolongado bajo agua, no requieren aparatos especiales, motivo por el cual han conseguido más popularidad, hasta el punto de que han llegado a constituir la base de todas las normas existentes (García Verduch, 2014).

#### Método de ensayo

En esencia, el método consistió en saturar de agua el ladrillo por ebullición del mismo en una olla a presión de las empleadas para usos domésticos. Con ello se logran saturaciones perfectamente aceptables en tiempos de tan sólo unos minutos; y el ensayo completo, desde la toma de la muestra hasta la obtención del resultado, puede realizarse en un tiempo realmente corto, si se sigue además el camino abreviado de utilizar para el ensayo ladrillos recién salidos del horno que no requieren desecación preliminar.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



- Material necesario
  - ✓ Una olla a presión de las empleadas para uso doméstico. Estas ollas pueden funcionar a temperaturas comprendidas entre 110° y 115°C, con una presión de 0,75 kP/cm<sup>2</sup>.
  - ✓ Una balanza con capacidad no inferior a 2 kg y una sensibilidad de 0,5 g.
- Técnica operatoria

El ensayo se efectuó con tres medios ladrillos. Los ladrillos deben tomarse a la salida del horno y partirse en mitades, sin que tengan ocasión de absorber agua por exposición prolongada al ambiente, por lluvia, por salpicaduras, o por alguna otra causa. Conviene hacer el ensayo en medios ladrillos procedentes de distintos ladrillos. Los tres medios ladrillos, una vez marcados, pero ya fríos, se pesan por separado. Este peso es el que denominamos "peso en seco" (Pseco) Sobre el fondo de la olla en la cual se va a realizar el ensayo conviene colocar una rejilla con patas, con el fin de que los medios ladrillos se apoyen sobre ella y no estén en contacto con el fondo sobrecalentado (García Verduch, 2014).

Mientras se están pesando los medios ladrillos se pone al fuego la olla destapada con la cantidad necesaria de agua, y se deja hervir durante unos instantes. Entonces se introducen los medios ladrillos con unas pinzas o tenazas, de modo que queden totalmente cubiertos por el agua y ésta pueda circular libremente alrededor de cada uno de ellos.

A continuación, se tapa la olla y se espera a que comience a salir vapor por la válvula. En este instante se empieza a contar el tiempo y se disminuye un poco la intensidad de la fuente de calor. A los 15 minutos se retira la olla del fuego, se coloca ésta, sin abrirla, en un chorro de agua fría durante unos instantes y luego se abre. Una vez abierta, se deja bajo el chorro de agua hasta que los medios ladrillos tomen el punto de enfriamiento requerido. Una vez fríos, se extraen y se les pasa un trapo mojado, pero escurrido, sobre su superficie para quitar el exceso de agua. Sin perder tiempo se pesan. Este peso es el que denominamos



peso saturado ( $P_{sat}$ ), y corresponde a la probeta saturada de agua. Como se ha indicado anteriormente (García Verduch, 2014), la capacidad de absorción de agua se calcula mediante la Ecuación 2 “Capacidad de absorción”.

### **1.3.3.3. Ensayo de Resistencia mecánica a la compresión**

La Resistencia mecánica a la compresión es la mínima resistencia nominal de la pieza de mampostería a compresión, medida sobre el área transversal neta y sobre la cual se basa su diseño. Las unidades de mampostería arquitectónica pueden tener formas, texturas y acabados libres, pero igualmente, deben mantener los requisitos pertinentes para su aplicación principal (García Ubaque, García Vaca, & Vaca Bohórquez, 2013).

Las unidades de mampostería de arcilla cocida deben cumplir con la resistencia mínima a la compresión, de acuerdo con el procedimiento de la NTC 4017. Para los ladrillos de perforación vertical la resistencia neta se calcula dividiendo la carga de rotura o de falla, por el área neta de la sección perpendicular a la carga (se descuentan las áreas de celdas y perforaciones) y en los ladrillos macizos, la resistencia neta y la resistencia bruta son iguales por que se calculan dividiendo por el área de apoyo de los ladrillos. (García Ubaque, García Vaca, & Vaca Bohórquez, 2013)

Es importante en la determinación de la carga axial permisible y tensiones de compresión a la flexión, esfuerzos cortantes, esfuerzos combinados y cargas de los pernos de anclaje, con valores tan bajos hace de la edificación vulnerable al fisuramiento y pérdida de capacidad de soporte. En la actualidad se adelanta un proyecto de investigación que dará cuenta de posibles mezclas de arcillas que mejoren la calidad de los ladrillos en términos de su resistencia a la compresión.

El ensayo de compresión consiste en llevar el ladrillo de arcilla a la falla y registrar la carga de rotura en el área de contacto, como se muestra en la Ilustración 2, para determinar el



esfuerzo de compresión máximo (Gere M.G. & Goodno B. J. (2011). Se determina mediante la Ecuación 3 “Resistencia a la compresión”.

$$f'_{cu} = \frac{W}{A} \quad (3)$$

**Fuente:** norma NTC 4017.

Luego los datos se llevan a una serie de tablas y con el apoyo de programas como Microsoft Excel se determinan el resultado de los valores máximo y mínimo de la compresión en Kgf/cm<sup>2</sup>.



**Ilustración 2.** Ensayo de compresión en ladrillos.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 1.3.3.4. Ensayo de Plasticidad

- Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg, límites de plasticidad o límites de consistencia, se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg (1846-1916).

---

$f'_{cu}$  = Resistencia a la compresión del ladrillo en [Pa x 10<sup>4</sup>] o (Kgf/cm<sup>2</sup>).

W = Carga máxima (de rotura) en N o Kgf.

A = Promedio de las áreas brutas de las superficies superior e inferior del espécimen, en Cm<sup>2</sup>.

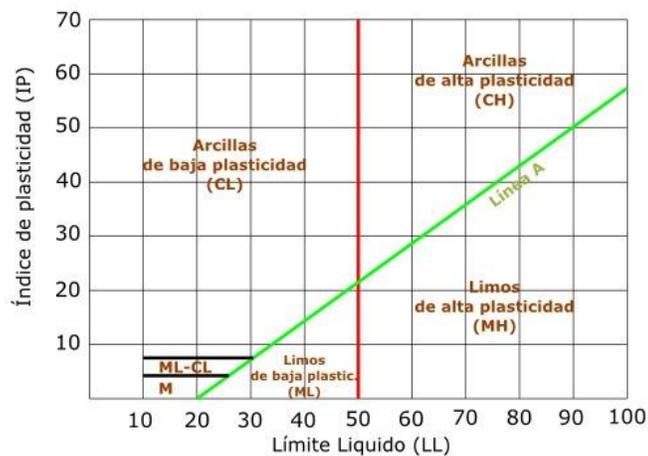


Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco, va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico y, finalmente, líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Los ensayos se realizan en el laboratorio y miden la cohesión del terreno y su contenido de humedad, para ello se forman pequeños cilindros de espesor con el suelo. Siguiendo estos procedimientos se definen tres límites:

1. Límite líquido: cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.
2. Límite plástico: cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.
3. Límite de retracción o contracción: cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y se contrae al perder humedad.

Gráfica de plasticidad del USCS



**Ilustración 3.** Clasificación de materiales en función de los límites de Atterberg.  
**Fuente:** adaptado de “[https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADmites\\_de\\_Atterberg](https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADmites_de_Atterberg).”



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



Relacionados con estos límites, se definen los siguientes índices, para luego obtener la ecuación 4 “Índice de liquidez”:

- Índice de plasticidad ( $I_p$ ) =  $W_l - W_p$
- Índice de fluidez ( $I_f$ ) = Pendiente de la curva de fluidez
- Índice de tenacidad ( $I_t$ ) =  $I_p/L_f$
- Índice de liquidez (IL) o también conocida como relación humedad plasticidad

$$IL = \frac{W_n - W_p}{W_l - W_p} \quad (4)$$

**Fuente:** adaptado de “[https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADmites\\_de\\_Atterberg](https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADmites_de_Atterberg).”

---

$W_n$  = Humedad natural.  
 $W_p$  = límite plástico.  
 $W_l$  = Límite líquido.  
 $I_p$  = Índice de plasticidad.  
 $I_f$  = índice de fluidez.  
 $I_t$  = índice de tenacidad.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de la adición del aserrín fino como reemplazo de la arcilla en diferentes proporciones, en las propiedades de los ladrillos, para determinar su viabilidad y uso en la construcción.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

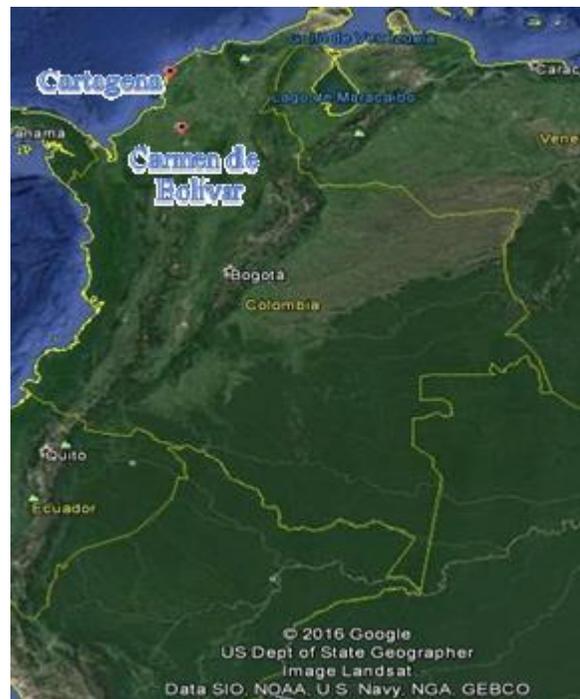
- 2.2.1. Caracterizar las proporciones de los distintos materiales usados en la fabricación de ladrillos con adición de aserrín.
- 2.2.2. Analizar las diferentes propiedades físicas en los ladrillos al adicionar aserrín en sus diferentes proporciones mediante ensayos de resistencia a compresión y absorción.
- 2.2.3. Determinar la proporción más óptima desde el punto de vista del cumplimiento de la norma NSR-2010.
- 2.2.4. Realizar un análisis de tiempo-costo de la fabricación, entre una muestra patrón y un ladrillo con adición de aserrín.



### 3. ALCANCE

Todo lo relacionado con esta investigación, incluyendo sus ensayos se llevaron a cabo en la costa Caribe, más específicamente en Cartagena de Indias y el municipio del Carmen de Bolívar - Bolívar.

Para la fabricación de los ladrillos de mampostería con porcentajes de adición de aserrín se tomó un horno para ladrillos ubicado en la Finca villa Nancy en el municipio del Carmen de Bolívar, la empresa ladrillera permitió el acceso a sus instalaciones con el fin de avanzar y actualizar la información ya obtenida por ellos en sus investigaciones previamente realizadas.



**Ilustración 4.** Ubicación de Cartagena en Colombia.

**Fuente:** Google Earth 2016 © Adaptación del autor.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



La investigación se desarrolló durante todo el primer periodo académico de 2019. Se tomó este periodo de tiempo porque se consideró que es el lapso adecuado, para poder culminar con el objetivo dentro de la fecha límite.

Teniendo en cuenta la resistencia de los ladrillos como principal objeto de estudio, en la investigación se requirió evaluar los efectos que genera la adición del aserrín fino en diversas proporciones como reemplazo de la arcilla, en las propiedades de los ladrillos y cómo se ve afectada las características físicas de los ladrillos de arcilla con la adición de aserrín fino en su composición.

En la investigación se presentaron dos principales variables que intervienen directamente en el proceso y en los resultados de los estudios realizados a las muestras, estas están sujetas a manipulación con respecto a resultados que arrojaron los ensayos y procedimientos realizados, estas variables son:

- Porcentaje en peso de aserrín a adicionar en cada ladrillo de muestra.
- Resistencia a compresión y absorción resultante de los ladrillos con los diferentes porcentajes agregados de aserrín en su composición.

Al culminar esta investigación, se analizaron los resultados que permitieron evaluar los efectos de aplicar la adición de aserrín como un componente principal; y también poder hacer las recomendaciones correctivas que sean necesarias para el mejoramiento de los ladrillos de mampostería que fueron objeto de estudio y así lograr obtener los resultados más favorables, cumpliendo con la norma NSR-2010- Título D, que rige a los ladrillos de mampostería.

Los resultados finales obtenidos mediante los ensayos de resistencia y absorción, fueron esenciales para medir el rendimiento del producto ya finalizado, y permitió detectar las ventajas y desventajas que se presentan en él, generando la información necesaria para la toma de decisiones al momento de la fabricación de los ladrillos con porcentaje de aserrín.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



Por lo anterior, se llevaron los resultados al grupo de investigación GEOMAVIT de la Universidad de Cartagena donde fueron evaluados y analizados para así dejar un precedente, debido a la contribución hecha al conocimiento con respecto a la materia que ellos tratan. En ese mismo orden se pretende que los resultados, análisis y conclusiones arrojadas por la investigación sean tenidos en cuenta por los jefes de asignaturas relacionadas, como una información fundamental al momento de surgir nuevas investigaciones similares en cuanto a la fabricación de materiales de arcilla que sirven para la construcción.

Esta investigación servirá como base para próximas investigaciones que se hagan sobre la adición de algún material externo a la arcilla dentro de la fabricación de ladrillos de mampostería, ya que con la información brindada se pretende mejorar y/o complementar los objetivos de poder obtener una fabricación cada vez más óptima de los elementos de mampostería, buscando así su implementación en la construcción y a su vez intentando reducir el impacto ambiental que causan algunos residuos contaminantes al medio como en el caso del aserrín, al cual se le encontró una forma alterna de uso al momento de agregarlo en la composición de estos elementos de mampostería.

Se realizó un análisis de tiempo-costo entre la fabricación de ladrillos de mampostería con adición de aserrín en su composición y una muestra patrón, dando como resultado una gran viabilidad en el proyecto, ya que la reducción del tiempo necesario para la cocción de este tipo de ladrillos con adición de aserrín es mucho menor que la de una muestra patrón, esto conlleva a su vez una gran reducción en el costo que se necesita para la fabricación de los mismos.

En esta investigación no se realizó ningún tipo de análisis ni ensayos a la composición química de los ladrillos de mampostería con adición de aserrín.



## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Tipo de investigación

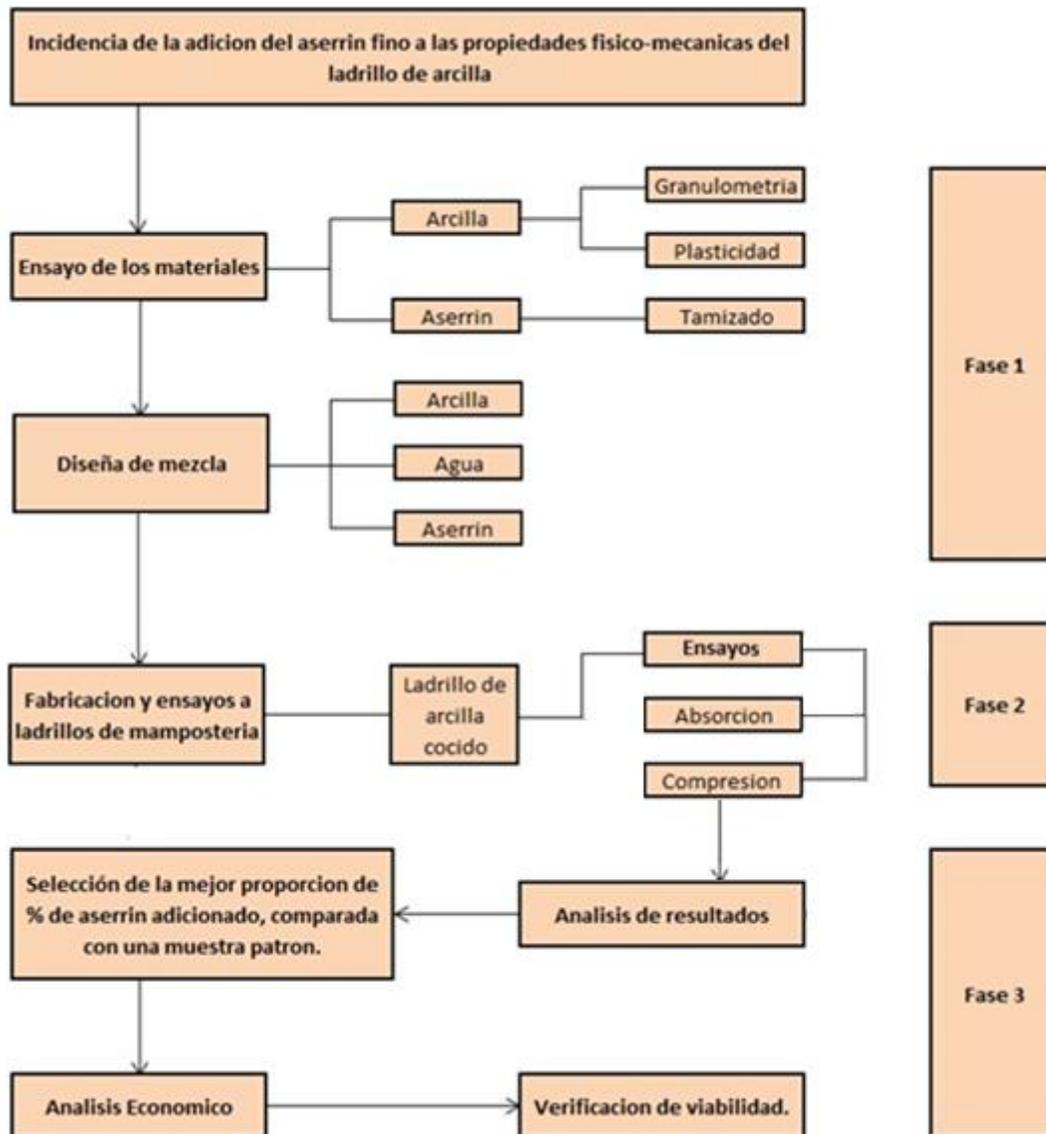
La investigación se basó en un enfoque metodológico mixto ya que este permitió medir haciendo uso de estadísticas y datos recopilados de investigaciones realizadas con anterioridad y a su vez hacer un análisis causa-efecto con el fin de probar hipótesis iniciales; también permitiendo explorar los fenómenos presentados en el proceso de la investigación, estos se pueden relacionar con respecto al aumento de la resistencia en los ladrillos con adición de aserrín y nos ofrece ventajas en el control del comportamiento que puedan presentar para así intentar predecir los resultados a obtener con más precisión.

El alcance metodológico de esta investigación fue de carácter mixto y descriptivo dado que se pretendió especificar las propiedades y características físicas de los ladrillos de arcilla con adición de aserrín. Se formularon hipótesis que permitieron pronosticar y predecir los resultados posibles de la investigación, considerando el aumento o disminución de la resistencia de los ladrillos con la adición de aserrín como fenómeno principal de estudio y sus componentes. Se definió la variable independiente que son los distintos porcentajes de aserrín adicionado a los ladrillos de prueba y la variable dependiente son la absorción y la resistencia a compresión que se obtiene con los distintos porcentajes adicionados de aserrín.

Se trabajó con un diseño metodológico experimental, porque en el proceso de la investigación se manipularon las variables independientes, causando modificación en las variables dependientes. Se buscó descubrir la resistencia de los ladrillos con distintos porcentajes adicionados de aserrín, mediante ensayos que nos permitieron medir numéricamente los valores obtenidos y comparar resultados con una muestra patrón. En los experimentos se sometieron los ladrillos a distintas pruebas mediante ensayos donde la manipulación de las variables permitió observar, identificar y analizar los resultados obtenidos.



En la ilustración 5, se observa de manera detallada las fases de este proyecto de investigación:



*Ilustración 5.* Esquema de metodología.

*Fuente:* Elaboración propia



Una vez identificadas cada una de las variables del proyecto, se inició la parte experimental obteniendo los datos y los materiales necesarios para el proceso de fabricación de las muestras de los ladrillos de arcilla con adición de aserrín, como son los utilizados en la homogenización y compactación de las mezclas, los moldes que dan forma a las muestras de ladrillos, además de los materiales constituyentes de las mezclas: Arcilla, aserrín y agua.

## **4.2. Fuentes de información**

### **4.2.1. Procesos de recolección de la información**

Con el fin de desarrollar esta investigación, primero se realizó una detallada revisión bibliográfica en las bases de datos de la Universidad de Cartagena, Google Académico e información brindadas por parte de la fábrica ladrillera Villa Nancy ubicada en El Carmen de Bolívar, donde se observó y tomó información secundaria como informes, artículos, libros, y manuales que fueron de gran utilidad para la investigación referente a la construcción de materiales de mampostería, se buscaron datos relacionados como costos de fabricación, tiempos de fabricación, materiales en su composición, ventajas y desventajas. También se obtuvo información sobre las diferentes construcciones que se han llevado a cabo en Colombia y a nivel mundial con ladrillos de mampostería, con el fin de obtener la mayor cantidad de referencias para la realización de este trabajo de investigación.

### **4.2.2. Información recolectada**

Luego de terminar el proceso de recolección de datos y la revisión bibliográfica de artículos, informes o manuales que estaban relacionados en su totalidad con esta investigación, se procedió a realizar un análisis de lo que se hizo en cada uno de estos, con el fin de comparar y determinar la viabilidad del proyecto en cuanto a las variables de resistencia a la compresión, absorción y costo-tiempo.



### 4.3. Diseño de mezclas

Para cumplir con un adecuado diseño de las mezclas, fue importante apoyarse en los estudios, investigaciones o artículos previos relacionados con la investigación, llevados a cabo local, nacional e internacionalmente en los últimos años, para tener una visión de lo que se puede hacer y lo que se puede alcanzar experimentalmente. Primeramente, se identificaron instrumentos y materiales necesarios para el proceso de fabricación de los ladrillos con adición de aserrín fino, los cuales fueron de cinco diferentes proporciones (0%, 3%, 5% 7% y 10%) como remplazo de la arcilla; por cada proporción se realizarán cinco muestras de ladrillos, obteniendo un total de 25 muestras. Posteriormente se sometieron a ensayos de resistencia a la compresión y ensayo de absorción, donde se recolectaron los datos de estas variables para realizar un análisis adecuado de los mismos y compararlos con los estipulados por las normas NTC 4017, para después determinar y exponer cual debe ser la posible dosificación adecuada que incluye la adición de aserrín fino como remplazo de arcilla en la fabricación de este elemento para la construcción. En la tabla 4 se muestra el porcentaje de materiales para la fabricación de los ladrillos.

**Tabla 4.** Porcentaje de materiales para la fabricación de ladrillos.

Muestra	N° de Ladrillos	% de Aserrín adicionado	% de Arcilla
1	5	0	100
2	5	3	97
3	5	5	95
4	5	7	93
5	5	10	90
	25		

**Fuente:** Elaboración propia.

Luego del proceso de fabricación de los ladrillos con adición de aserrín fino, se sometieron a ensayos que se realizaron en los laboratorios de la universidad de Cartagena y en los



laboratorios pertenecientes a la empresa “BARRIOS PADILLA INGENIEROS S.A.S” con el fin de evaluar el comportamiento que presentan las propiedades físicas de estos elementos. En la tabla 5 se muestra los ensayos realizados y sus normas.

**Tabla 5.** Normas de los ensayos para la realización de ladrillos de mampostería.

<b>Material</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>	<b>N° de norma</b>
<u>ARENA</u>	<u>Granulometría</u>	<u>NTC</u>	<u>174</u>
<u>ARCILLA</u>	<u>Plasticidad</u>	<u>INV-E</u>	<u>123-07</u>
LADRILLOS	Resistencia a la compresión	<u>NTC</u>	<u>4017</u>
	Absorción.	NTC	4017

*Fuente:* Elaboración propia.

#### **4.4 Análisis tiempo-costo de la fabricación de ladrillos con adición de aserrín.**

Para el análisis de costo-tiempo fue necesario realizar una comparación muy rigurosa entre el tiempo de fabricación de una muestra con adición de un porcentaje de aserrín y una muestra patrón, arrojando los siguientes resultados: para una muestra patrón el proceso de cocción duró normalmente entre 7 días y 6 noches, mientras que, al momento de analizar el mismo proceso en los ladrillos con porcentaje de adición de aserrín, se notó una gran disminución del tiempo, bajando a 5 días y 4.

Indiscutiblemente, entre menos tiempo es necesario para la fabricación de un ladrillo de mampostería, más se economiza, ya que será requerido menos material de combustión (leña) para que el horno siga trabajando normalmente con en el proceso de cocción y a su vez se ve reducido el tiempo de trabajo correspondiente a la mano de obra calificada para realizar este tipo de proceso.



## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

De los datos recolectados, se presentan los resultados mediante la aplicación de ensayos de resistencia y absorción, resaltando que la caracterización del tipo de suelo a usar y el proceso de moldeado y cocción de los ladrillos se hizo manualmente en la Ladrillera Villa Nancy, propiedad del Sr. Cristian Deulofeuth Carrera, en el municipio del Carmen de Bolívar – Bolívar, las dimensiones promedio de este tipo de ladrillos fabricados artesanalmente son de 29cm de largo, 18cm de ancho y 9cm de alto.

### 5.1. Influencia del aserrín en la resistencia a la compresión en los ladrillos de mampostería

Para poder evaluar la influencia del aserrín en la resistencia a la compresión de los ladrillos de arcilla cocida elaborados artesanalmente, se realizaron diversos procesos y ensayos, empezando por la caracterización del tipo de suelo, se realizó el tamizado del aserrín fino en un tamiz número 11, luego se fabricaron los ladrillos adicionando los porcentajes de aserrín de 3, 5, 7 y 10% correspondiente a cada muestra. El ladrillo de muestra patrón tiene un peso aproximado de 6,2kg o 6.200g, y sus componentes son 100% arcilla. A partir de esta muestra patrón se realizaron los cálculos de las dosificaciones correspondientes para cada porcentaje de adición de aserrín en específico, como muestra la tabla 6.

**Tabla 6.** Determinación de dosificación de los porcentajes de aserrín a adicionar.

Dosificación de los componentes para la realización de los ladrillos de mampostería				
	%Adicionado (Peso en gramos)			
<b>Aserrín</b>	3% (186g)	5% (310g)	7% (434g)	10% (620g)
<b>Arcilla</b>	97% (6014g)	95% (5890g)	93% (5766g)	90% (5580g)

**Fuente:** Elaboración propia.

Luego de conformados los ladrillos se procedió a su secado al sol durante 5 días y luego la cocción en horno artesanal para ladrillos de mampostería aproximadamente por 4 días.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



Como paso final los ladrillos fueron sometidos a ensayos de resistencia a la compresión, obteniendo como resultado los datos que se muestran en la tabla 7 y 8.

**Tabla 7.** Calculo del promedio de los resultados de ensayo de compresión.

PROMEDIO DE COMPRESIONES REALIZADAS A MUESTRAS (Kg/cm <sup>2</sup> )					
Muestra \ % Aserrín	0%	3%	5%	7%	10%
1	131,4	134,9	130,0	138,3	130,0
2	142,8	141,4	145,3	131,8	121,0
3	151,5	131,4	117,3	170,1	104,0
4	169,0	139,6	125,8	137,8	129,0
5	163,7	129,4	135,9	146,4	145,2
<b>PROMEDIO</b>	151,7	135,3	130,9	144,9	125,8

*Fuente:* Elaboración propia.

**Tabla 8.** Resultados de la influencia de la adición de aserrín en ensayos de compresión.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
ADICION DE ASERRÍN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)
0% o 0g	151,7	14,88
3% o 186g	135,3	13,27
5% o 310g	130,9	12,84
7% o 434g	144,9	14,21
10% o 620g	125,8	12,34

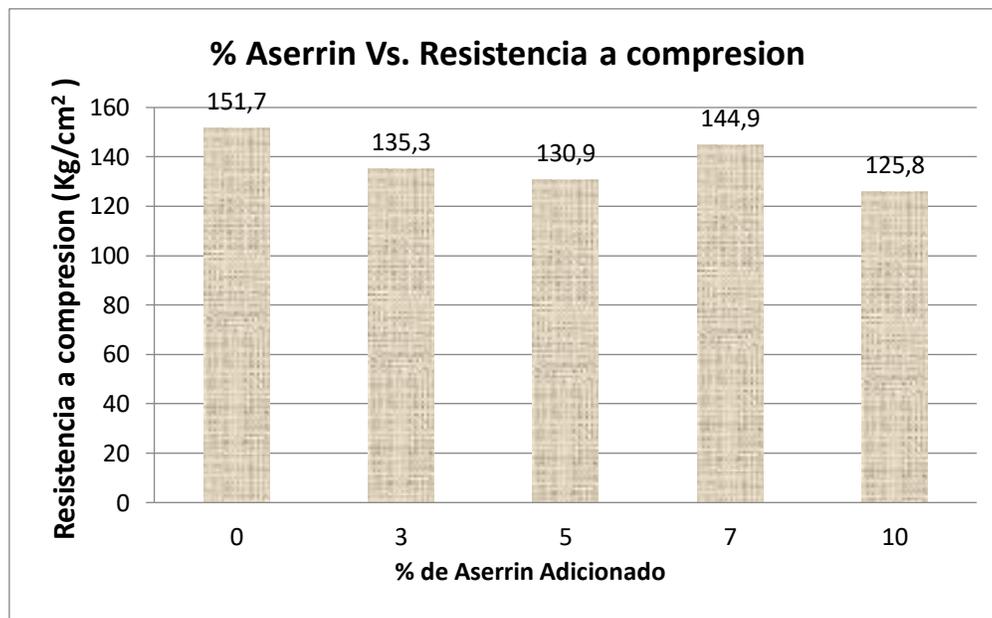


INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



**Fuente:** Elaboración propia.

Los resultados son el promedio de los datos obtenidos en las 5 diferentes muestras con cada porcentaje de aserrín. Se pudo verificar que para los porcentajes de 0 % se obtuvo un promedio de 151,7Kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión, para el 3% se obtuvo 135,3Kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión, para el 5% se obtuvo 130,9Kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión, para el 7% se obtuvo 144,9Kg/cm<sup>2</sup> y para el 10% de adición de aserrín se obtuvo una resistencia promedio a la compresión de 125,8 Kg/cm<sup>2</sup>, como se muestra en la ilustración 6.



**Ilustración 6.** Porcentaje de aserrín Vs. Resistencia a la compresión.

**Fuente:** Elaboración propia.



Se puede observar que todas las muestras cumplen con las exigencias mínimas planteadas en la Norma NTC 4017 establecida en la Tabla 1, para ladrillos de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque).

### **5.1.1. Análisis de resultados de ensayo de compresión**

La manera en que el aserrín influyó en la resistencia a la compresión de los ladrillos de arcilla es negativa, debido a que en el momento de agregarle el porcentaje correspondiente de aserrín a cada muestra se observa que ningún porcentaje es ideal, ya que, si bien todos superaron el límite designado en la Norma NTC 4017, la resistencia fue disminuyendo conforme aumentaba el porcentaje de aserrín adicionado. En el caso de los ladrillos con 7% de aserrín agregado en su composición, se notó un aumento de la resistencia a la compresión considerable en comparación con las otras muestras ensayadas, como se muestra en la ilustración 6.



## 5.2. Influencia del aserrín en la absorción de los ladrillos de mampostería

Para evaluar cómo influyó la adición del aserrín en la absorción de los ladrillos de arcilla artesanales, primero se empezó con el proceso de secado de las muestras en una estufa a 110°C en un tiempo determinado según la normal NTC 4017 de 24 horas seguidas, evitando así toda humedad absorbida de su entorno y permitir recolectar un peso seco (Pseco) confiable.

Luego se calcula la tasa inicial de absorción, pero para esto, primero fue necesaria la obtención de datos guiándonos de la norma NTC 4017 como el peso inicial de una muestra seca que fue de 6655g y el peso de la misma muestra luego de sumergirla en un tanque lleno de agua durante un minuto que fue de 6780,30g. La diferencia en gramos entre la determinación inicial y la final de las muestras es la masa en gramos del agua absorbida por la muestra en un minuto de contacto con el agua.

Con los datos obtenidos se calcula la tasa inicial de absorción como lo indica la ecuación 1, dando como resultado 0,24g/Cm<sup>2</sup>/min, indicando que el tiempo recomendado de pre-humedecimiento que deben tener las muestras para el ensayo de absorción debe ser de 24 horas. Después de culminar el periodo de sumergir las muestras durante 24 horas en una alberca llena de agua, se extraen las muestras y con un trapo húmedo pero escurrido se quita el exceso de agua para luego poder recolectar los datos del peso saturado (Psat). Los datos obtenidos se muestran en la tabla 9 y 10.

**Tabla 9.** Calculo del promedio de los Pesos saturados (Psat).

CALCULO DEL PROMEDIO DE LOS PESOS SATURADOS (Psat en (g)).					
Muestra \ % Aserrín	0%	3%	5%	7%	10%
1	7645,0	7475,0	7455,0	7318,0	7275,0
2	7650,0	7487,0	7412,5	7265,0	7400,0
3	7640,0	7501,0	7350,0	7282,0	7410,0



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



4	7655,0	7473,0	7402,5	7300,0	7530,0
5	7635,0	7486,0	7392,5	7335,0	7395,0
<b>PROMEDIO</b>	<b>7645,0</b>	<b>7484,0</b>	<b>7402,5</b>	<b>7300,0</b>	<b>7402,0</b>

*Fuente:* Elaboración propia.

**Tabla 10.** Calculo del promedio de los Pesos secos (Pseco).

<b>CALCULO DEL PROMEDIO DE LOS PESOS SECOS (Pseco en (g)).</b>					
<b>Muestra \ % Aserrín</b>	<b>0%</b>	<b>3%</b>	<b>5%</b>	<b>7%</b>	<b>10%</b>
1	6310,0	6250,0	6202,0	6160,0	6135,0
2	6295,0	6270,0	6195,0	6165,0	6100,0
3	6220,0	6240,0	6190,0	6167,5	6155,0
4	6265,0	6275,0	6183,0	6170,0	6115,0
5	6235,0	6278,0	6193,0	6175,0	6170,0
<b>PROMEDIO</b>	<b>6265,0</b>	<b>6262,5</b>	<b>6195,5</b>	<b>6167,5</b>	<b>6135,0</b>

*Fuente:* Elaboración propia.

Al obtener todos los promedios de los resultados se procedió a hallar el cálculo de los pesos secos y pesos saturados, para luego introducir todos los datos en la ecuación 2, dando como resultado los datos que se muestran en la tabla 11 y 12.

**Tabla 1.** Resultado de la resta del Peso saturado menos el Peso seco.

<b>ENSAYO DE CAPACIDAD DE ABSORCION DE AGUA DE LOS LADRILLOS DE MAMPOSTERIA</b>			
<b>Promedio de capacidad de absorción de las 5 muestras con porcentaje de aserrín</b>			
<b>Muestras \ Datos</b>	<b>Psat (g)</b>	<b>Pseco (g)</b>	<b>Psat – Pseco (g)</b>
0% de aserrín	7645,0	6265,0	1380,0
3% de aserrín	7470,0	6262,5	1219,0



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



5% de aserrín	7402,5	6192,5	1210,0
7% de aserrín	7300,0	6167,5	1132,5
10% de aserrín	7402,5	6135,0	1267,5

*Fuente:* Elaboración propia.

Luego de obtener los datos de la resta del peso saturado menos el peso seco, se calcula el porcentaje de absorción como lo indica la ecuación 2, dando como resultado los datos que se muestran en la tabla 12.

*Tabla 2.* Resultados de ensayo de absorción.

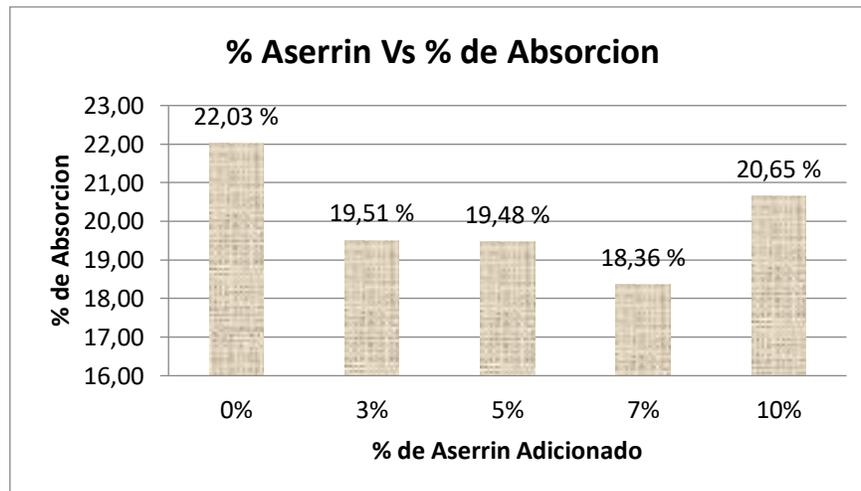
ABSORCIÓN	
ADICIÓN DE ASERRIN % / (gramos)	ABSORCIÓN %
0 / (0)	22,03
3 / (186)	19,51
5 / (310)	19,48
7 / (434)	18,36
10 / (620)	20,65

*Fuente:* Elaboración propia.



### 5.2.1. Análisis de resultados de ensayo de absorción

Se analiza que la adición del aserrín influye dependiendo del porcentaje que posea cada muestra, para algunas como en el caso de la muestra patrón y la de 10% de adición de aserrín se encontró que influye de manera negativa ya que supera el límite de absorción máxima que se encuentra en la Tabla 1, que es de 20% para ladrillos de mampostería en interiores, y en el resto de muestras de 3, 5 y 7% de adición de aserrín, se analiza que cumplen con la norma NTC 4017. Los datos obtenidos para cada muestra según su porcentaje de aserrín agregado se muestran en la Ilustración 7.



*Ilustración 7.* % de Aserrín Vs % de Absorción.

*Fuente:* Elaboración Propia.



## 6. CONCLUSIONES

El efecto que causa la adición de aserrín fino como material para la fabricación de ladrillos de mampostería varía de acuerdo al porcentaje que se agrega del mismo en su dosificación, tal como se analiza en los resultados de esta investigación. En el caso de las resistencias a la compresión, todas las muestras disminuyeron un poco en comparación con la muestra patrón, pero aun así cumplieron con la norma NTC 4017. En el caso de la absorción, las muestras revelaron una mejoría de esta propiedad en comparación con la muestra patrón. Por lo anterior se puede asegurar que la adición del aserrín fino para la fabricación de ladrillos de mampostería es muy viable y su uso en la construcción es recomendable.

Es necesario realizar algunos ensayos como granulometría, plasticidad y tamizado para poder caracterizar las distintas proporciones de los componentes que se usan para la fabricación de los ladrillos con aserrín, con el fin de establecer un tamaño estándar en el caso de las partículas de aserrín y verificar la viabilidad del tipo de arcilla a usar en la mezcla.

La adición de aserrín en proporciones bajas no afecta notablemente la resistencia a la compresión y mejora la resistencia a la absorción de los ladrillos, más sin embargo no sería viable aumentar los porcentajes de aserrín en gran cantidad, ya que la resistencia a la compresión se vería seriamente afectada a tal punto de no cumplir con lo establecido en la norma NTC 4017.

La muestra optima en cuanto a la capacidad de absorción máxima de agua y resistencia a la compresión, es la muestra con 7% de adición de aserrín ya que posee una capacidad de absorción más baja que las otras muestras con un porcentaje de 18,36% (Ver tabla 12. Resultados ensayo de absorción) y una resistencia a la compresión de 144,9Kg/Cm<sup>2</sup> siendo la más cercana a la muestra patrón (Ver tabla 8. Resultados resistencia a la compresión), alcanzando una resistencia mayor que las demás muestras y a su vez cumpliendo con la



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



norma NTC-4017, que rige la fabricación, producción y colocación de los ladrillos de mampostería.

Se notó una gran viabilidad de la implementación de este componente en el proyecto en cuanto a una relación costo-tiempo-beneficio, ya que al momento de adicionar un elemento altamente calorífico como lo es el aserrín a la dosificación para la fabricación de ladrillos de mampostería, permitió que los ladrillos al momento de ser llevados a su proceso de cocción disminuyera el tiempo del quemado; esto se traduce en que los días de quemado del horno disminuyen notoriamente de 7 días y 6 noches para la muestra patrón, a 5 días y 4 noches para los ladrillos con adición de aserrín. Permitiendo así reducir el costo de algunas variables como la mano de obra calificada para quemar y la cantidad de combustible o leña necesaria para prender el horno.

El proyecto brinda un gran beneficio ambiental ya que en la producción de miles de ladrillos se ve una reutilización de toneladas de aserrín, aportando así a la disminución de este residuo y ayudando al medio ambiente.



## 7. RECOMENDACIONES.

En este proyecto no se realizó ningún tipo de análisis ni ensayos a la composición química ni a la variación en las dimensiones de los ladrillos de mampostería por tanto a los interesados en seguir en la línea investigativa sobre ladrillos con adición de aserrín, se recomienda explorar y hacer estudios sobre la composición química y la variación de sus dimensiones.

A futuros investigadores de esta temática, se les recomienda no seguir aumentando el porcentaje de aserrín a adicionar en los ladrillos, dado que esto puede traer como consecuencia que los ladrillos obtenidos no cumplan con lo estipulado en la norma NTC 4017 y la norma sismo resistente colombiana NSR-2010.

También se recomienda seguir investigando acerca de distintos elementos que sirven para la mejora en la elaboración de ladrillos artesanales como la puzolana. Como Álvarez Guerrero dice en su tesis “Optimización del proceso de mezcla de arcilla para la producción de ladrillos, en el sector artesanal “, se logró obtener en porcentajes cercanos al 10% de adición de puzolana a la composición del ladrillo, una reducción significativa de la conducción térmica sin comprometer propiedades como la absorción y la resistencia mecánica del ladrillo, y a su vez mejoró la resistencia a la compresión.



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Álvarez, E. (2015). Residuos madereros, transformación y usos. Capítulo 5. Algunos usos de los principales residuos madereros transformados (I). Disponible en:<http://www.mailxmail.com/curso-residuos-madererostransformacionuso/algunos-usos-principales-residuos-m> Consultado en diciembre de 2011.
- Álvarez, D; Dorado, M; Fernández, H. (2010). Tecnología de la madera. Editorial Universitaria: Universidad de Córdoba. Argentina. 258 p.
- Andrade, N; Valenzuela, E. (2012). Aserrín de pino pre tratado con cepas fúngicas como sustrato para la producción de plántulas de tomate (*lycopersicon esculentum mill*). Agro sur v. Revistas electrónicas UACH. Valdivia. 30(2), 12 p.
- Cabrera, I. (2010). Propuesta para la gestión del aserrín en los aserraderos de la Empresa Forestal Integral de Pinar del Río. (Tesis presentada en opción al título académico de Master en Ciencias Forestales), Universidad de Pinar del Río. 68 p.
- Egas, A; Álvarez, D; Estévez, I; García, J. (2011). Factores fundamentales para aumentar el rendimiento volumétrico en los aserraderos de Cuba. *Revista Chapingo*. México. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. VII (2):163-168.
- Fernández, RR; Betancourt, Y. (2015). El sector forestal en Pinar del Río ante los retos de la innovación tecnológica. Universidad de Pinar del Río. Cuba. 11 p.
- García, Y. (2013). Determinación del volumen de aserrín en el aserradero Combate de las Tenerías y efectos ambientales que causa la acumulación de este subproducto en áreas rurales. Trabajo de Diploma. Universidad de Pinar del Río. 40 p.
- Herrero J. (2014). Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina Documento de Trabajo. Informe Nacional Cuba. ESFAL/N/15.
- Lesme, J; Roca, R; Guillermo, A. (2012). Coeficientes de residuos de la Industria Forestal. Universidad de Oriente.
- Martínez, Y; Fernández, RR; Álvarez, D; Barrero, H; García, M. (2012). Estimación del volumen potencial de aserrín en plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var *caribaea* Barret y Golfari en plantaciones en la EFI Macurije. *Revista Avances*. 14:(2), 7p.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



- Ortiz, L; Tejada, A; Vázquez, A. (2004). Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena monte-industria. Revista CIS-Madera. Parte III Producción de elementos densificados, pp. 17-32.
- Relova, I. (2000). Determinación de los modelos matemáticos para el cálculo del aserrín en la industria del aserrado: Revista Avances. 2:(2), 12 p.
- Solar, R; Melcer, I. (1980). Physico-chemical and chemical changes in the carbohydrate part of hornbeam wood in the process of wood plasticization with aqueous ammonia solution. Cellulose Chemical Technology. Romania. 14, pp. 197202. Soto, G; Núñez, M. (2008). Fabricación de pellets de carbonilla, usando aserrín de Pinus radicta (D. Don), como material aglomerante. Revista Maderas, Ciencia y Tecnología. Universidad de Talca. Chile 10(2), 10 p.
- F.F.P. KOLLMANN, La promesa de la tecnología. Trabajo presentado en el Sexto Congreso Forestal Mundial por el Profesor Kollmann, de la Universidad de Munich, y presidente de la International Academy of Wood Science. 2001.
- Claudio Zaror y otros, Desafíos Tecnológicos para la gestión sustentable del sector forestal en los países de América Latina y el Caribe. Mesa Redonda sobre Reforestación. Santiago de Chile 1998.
- Horta Nogueira L. A y otros. Dendroenergía: Fundamentos y Aplicaciones. Brasilia. Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL). Año 2010.
- Barbosa Cortez L. A, Silva Lora E. Tecnologías de Conversión Energética de la Biomasa. Serie Sistemas Energéticos II. Editado en la Universidad de Amazonas 2010.
- Lesme Jaén R. Oliva Ruiz L., Evaluación del potencial de residuos de la Industria Forestal GranPiedra Baconao. I Convención Internacional de Energía y Medio ambiente. Universidad de Oriente. ISBN: 959-207-096-2, 2013.
- Lesme J. René, Coeficientes de residuos de la industria forestal. Revista Tecnología Química. Vol. XXVI. No. 3, 2014.
- Manual de Dasonometría. Colectivo de autores. Centro Universitario de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca". 2015.
- Proyecto: Oportunidad de la dendroenergía en el desarrollo energético sostenible en Cuba. TCP/ CUB/8925(A), 2016.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



- Lesme Jaén R. Roca Alarcón G. Dendroenergía. Potencialidades y limitaciones. Consumo de leña y carbón. II Conferencia Internacional de Eficiencia Energética y Refrigeración. Universidad de Oriente. ISBN: 959-207-017-3, 2001
- Gustavo Balerío, Forestadora y Maderera del Norte S.A. (FYMNSA), Uruguay. Caso de producción de energía eléctrica en un aserradero, 2001.
- Lesme J. René, Factibilidad del empleo de los residuos de la industria de la madera para la obtención de energía eléctrica. 4th International Conference for Renewable Energy, Energy Saving and Energy Education Energy. Varadero. Cuba. Año 2005. ISBN: 978-959-282-051-7
- Lesme J. René, Oliva R. Luís y otros, Análisis Termodinámico de un gasificador Ankur modelo WBG-10 trabajando con diferentes biomásas. Revista Tecnología química. Vol. XXVIII. No. 2, 2008.
- Manual de Usuario. Ankur Scientific Energy Technologies Pvt.Ld., “Ankur”, Near Old Sama Jakat Naka, Baroda-390 008, India.
- B. Mohammed, M. Aswin, Properties and structural behavior of sawdust interlocking bricks, in: Proceedings of the 3rd International Conference on Civil, Offshore and Environmental Engineering, Kuala Lumpur-Malaysia, 2016, pp. 437–442.
- N. Phonphuak, S. Kanyakam, P. Chindaprasirt Utilization of waste glass to enhance physical–mechanical properties of fired clay brick J. Clean. Prod., 112 (2016), pp. 3057-3062
- D. Eliche-Quesada, M. Felipe-Sesé, J. López-Pérez, A. Infantes-Molina Characterization and evaluation of rice husk ash and wood ash in sustainable clay matrix bricks Ceram. Int., 43 (1) (2017), pp. 463-475
- M. Sutcu, H. Alptekin, E. Erdogmus, Y. Er, O. Gencil Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials Constr. Build. Mater., 82 (2015), pp. 1-8
- H.B. Nagaraj, C. Shreyasvi Compressed stabilized earth blocks using iron mine spoil waste – an explorative study Procedia Eng., 180 (2017), pp. 1203-1212



## 9. ANEXOS

### Proceso de construcción de un ladrillo de mampostería artesanal



**Foto 1:** Material para la elaboración del ladrillo de mampostería artesanal.



**Foto 2:** Proceso de extracción del material para la elaboración del ladrillo.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



**Foto 3:** Inicio del proceso de elaboración de la masa de arcilla.



**Foto 4:** Proceso de amasado de la arcilla.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



**Foto 5:** Adición de aserrín al molde, evitando la posible adherencia de la masa arcillosa a este.



**Foto 6:** Adición de aserrín a la masa según su dosificación correspondiente.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



**Foto 7:** Moldeado final de la masa.



**Foto 8:** Finalización de la fabricación de un ladrillo artesanal.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



**Foto 9:** Ladrillo artesanal listo para su proceso de secado y luego cocción.



**Foto 10:** Proceso de secado al sol de los ladrillos de arcilla.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



**Foto 11:** Molde en madera para la realización de las muestras.



**Foto 12:** Aserrín; ladrillos en proceso de secado al sol.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



**Foto 13:** Horno al cual será sometido el ladrillo después de haber culminado su proceso de secado.



**Foto 14:** Parte interior del Horno para la cocción de ladrillos.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



Proceso de realización de ensayo de compresión a los ladrillos



**Foto 15:** Muestras de ladrillos con adición de aserrín en diferentes proporciones



**Foto 16:** Realización de ensayo de compresión a muestras de ladrillos con adición de 3% aserrín.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



**Foto 17:** Datos obtenidos en máquina de ensayos de compresión a muestras de ladrillos con adición de 3% aserrín.



**Foto 18:** Realización de ensayo de compresión a muestras de ladrillos con adición de 5% aserrín.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



**Foto 19:** Datos obtenidos en máquina de ensayos de compresión a muestras de ladrillos con adición de 5% aserrín.



**Foto 20:** Máquina para la realización de ensayos de compresión, facilitada por la empresa “BARRIOS PADILLA S.A.S”



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



Proceso de realización de ensayo de absorción a los ladrillos



**Foto 21:** Proceso de secado a través de una estufa a 110°C durante 24horas.



**Foto 22:** Preparación para pesaje de los ladrillos secos.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



**Foto 23:** Proceso de saturación de ladrillos en una alberca, durante 24h.



**Foto 24:** Proceso de escurrida del exceso de agua en los ladrillos.



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



**Foto 25:** Proceso de pesaje de la muestra patrón saturada.



**Foto 26:** Proceso de pesaje de la muestra de 3% de adición de aserrín saturada.



## DEDICATORIA

Principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A mis padres Jackeline y Francisco quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades.

A mis hermanos José y Camilo por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos, colegas, de entre ellos Melissa, por apoyarme cuando más los necesite, por extender su mano en momentos difíciles y por el cariño, peleas, regaños y brindados cada día, de verdad mil gracias, siempre los llevo presentes.

*Juan José Severiche Hernández*



## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes, infinitas gracias a mis amados padres Jackeline Hernández y Francisco Severiche, a mi núcleo familiar José, Camilo, July, Luis Santiago por siempre estar ahí al pendiente.

Mi profundo agradecimiento, a la Universidad de Cartagena por confiar en mi, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento educativo, de igual manera a toda la Facultad de Ingeniería.

A mis profesores en especial al Dr. Modesto Barrios quien, sin su apoyo para la realización de esta tesis, no hubiera sido posible, Dr. Jorge Alvarez y Dr. Guilliam Barbosa por en cada evaluación y corrección de tesis dieron sus mejores consejos y sugerencias para el éxito de la investigación, gracias a Gredys por siempre brindarnos su apoyo y una cara amiga en todo momento en la oficina de la facultad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a mi amigo y compañero de tesis Cristian Deulofeuth durante todo este proceso, quien con su conocimiento, ganas, trabajo duro y colaboración nos permitimos culminar este trabajo.

*Juan José Seveirche Hernández*



INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DEL ASERRÍN FINO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS  
LADRILLOS DE ARCILLA.



**DEDICATORIA**

Dedico este proyecto principalmente a Dios, a mis padres Edgar Deulofeuth y Nancy Carrera, a mis hermanos y demás familiares, por brindarme su ayuda, experiencia y todos sus consejos durante todo este proceso, a Melissa Garay por su incondicionalidad, amigos y todas aquellas personas que me brindaron algo de sí mismas para salir adelante en este proyecto.

*Cristian David Deulofeuth Carrera*



## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios por permitirme ser lo que soy hoy en día, por acompañarme y bendecirme en todo momento.

A toda mi familia en especial a mis abuelas que desde el cielo me cuidan, a mis padres Edgar Deulofeuth y Nancy Carrera que con mucho amor y apoyo siempre me han llevado por el mejor camino, a mi sobrino Ethan por darme la motivación para salir cada vez más adelante, a mi hermano Edgar José y mi hermana Karen Dayana por la experiencia y confianza que me brindan a diario, también Melisa Garay por su apoyo incondicional y sus constantes ánimos.

A los profesores por compartir sus grandes conocimientos, capacidades y experiencias. A mi compañero de tesis Juan Severiche por estar siempre ahí al pendiente de todo en cualquier circunstancia y por último, pero no menos importante, a todas mis amistades, conocidos, secretarías y demás que aportaron poco a poco en mi formación profesional y personal.

A todos, muchas gracias.

*Cristian David Deulofeuth Carrera*