

**ANÁLISIS FÍSICO Y MECÁNICO DEL LADRILLO MACIZO “TOLETE COMÚN”
PRODUCIDO EN LOS CHIRCALES ALEDAÑOS A LA CIUDAD DE TUNJA**

CRISTIAN DAVID RODRIGUEZ QUIROGA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2017**

**ANÁLISIS FÍSICO Y MECÁNICO DEL LADRILLO MACIZO “TOLETE COMÚN”
PRODUCIDO EN LOS CHIRCALES ALEDAÑOS A LA CIUDAD DE TUNJA**

CRISTIAN DAVID RODRIGUEZ QUIROGA

Director de tesis

ING. WILLIAM RICARDO MOZO MORENO

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

TUNJA

2017

AGRADECIMIENTOS

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, 18 de julio de 2017

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA:.....	12
2.2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN:.....	13
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. OBJETIVOS.....	15
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	15
5. ANTECEDENTES	16
6. MARCO TEÓRICO.....	26
6.1. HORNOS UTILIZADOS EN LA VEREDA DE PIRGUA (TUNJA – BOYACÁ).....	26
6.2. TECNOLOGÍAS EXISTENTES A NACIONAL Y LATINOAMERICANO.....	31
6.2.1 Hornos intermitentes:.....	31
6.2.2 Hornos semi-continuos	36
6.2.3 Hornos continuos:.....	38
6.3. MÉTODOS PARA ALIMENTACIÓN Y DOSIFICACIÓN DEL COMBUSTIBLE.....	41
6.3.1 Stoker	41
6.3.2 Carbojet.....	42
6.3.3 Gasificación del carbón	42
6.4. MEJORAS Y MODIFICACIONES	43
6.4.1 Reacondicionamiento del horno de fuego dormido.....	43
6.5. DESARROLLO SOSTENIBLE.....	43
6.5.1 Reglamentación nacional.....	44
6.5.2 Regulación ambiental.....	45
7. METODOLOGÍA	47
7.1. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN:	47
7.2. ANÁLISIS FÍSICOS Y MECÁNICOS	48
7.2.1 Tasa inicial de absorción (succión):.....	49
7.2.2 Ensayo de inmersión durante 24 h	49

7.2.3 Módulo de rotura (ensayo de flexión)	50
7.2.4 Resistencia a la compresión	51
8. ANALISIS DE RESULTADOS	53
8.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN:	53
8.2. ANALISIS FISICO Y MECANICO DE LAS MUESTRAS	57
8.2.1 Tasa inicial de absorción	57
8.2.2 Ensayo de inmersión durante 24 horas	60
8.2.3 Módulo de rotura.....	63
8.2.4 Resistencia a la compresión.....	66
9. CONCLUSIONES	69
10. BIBLIOGRAFIA.....	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Horno tipo Colmena.....	29
Ilustración 2 Horno tipo Hoffman.....	31
Ilustración 3: Horno tipo paulistinha.....	33
Ilustración 4 Horno tipo baúl	34
Ilustración 5 Horno tipo metálico.....	36
Ilustración 6 Horno tipo vagón	37
Ilustración 7 Vistas superior y lateral horno tipo Hoffman	40
Ilustración 8. Ensayo módulo de rotura.....	50
Ilustración 9. Materiales fabricados en la vereda de pargua, (Tunja - Boyacá).....	55
Ilustración 10. Hornos utilizados en la vereda de pargua, (Tunja Boyacá)	56
Ilustración 11 Porcentaje Tasa Inicial de Absorción.....	60
Ilustración 12. Porcentaje de absorción promedio	62
Ilustración 13. Modulo de rotura.....	65
Ilustración 14 Valores mínimos de resistencia a la compresión.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normas Ambientales.....	46
Tabla 2 Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural	51
Tabla 3 Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural	51
Tabla 4. Comparación de resultados entre la encuesta y el archivo entregado por Corpoboyacá.....	54
Tabla 5. Temperatura y producción en las ladrilleras	56
Tabla 6 Tasa Inicial de Absorción	57
Tabla 7 T.I.A. para muestra O2.....	58
Tabla 8 Consolidado de resultados promedio T.I.A.	58
Tabla 9 Porcentaje de absorción muestra O3.....	61
Tabla 10 Porcentaje de absorción promedio	61
Tabla 11 Módulo de rotura para muestra número O2	64
Tabla 12 Resultados promedio Módulo de Rotura para cada ladrillera	64
Tabla 13 Resistencia a la compresión para la muestra O8.....	67
Tabla 14 Resultados generales del ensayo de resistencia a la compresión para cada una de las ladrilleras	67

ÍNDICE DE ANEXOS

- A. Ensayo de inmersión durante 24 horas
- B. Tasa inicial de absorción
- C. Resistencia a la compresión
- D. Módulo de rotura
- E. Encuesta ladrilleras
- F. Fuente de emisiones y licencias ambientales

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se realiza con el fin de analizar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo macizo de los chircales aledaños a la ciudad de Tunja y mostrar los resultados obtenidos teniendo como base metodológica la norma técnica colombiana NTC 4205 “Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos” y NTC 4017 “Método para el muestreo y ensayo de unidades de mampostería y otros productos de arcilla”.

Estos ensayos se realizan con el objeto de determinar la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería teniendo como resultado los valores máximos y mínimos. De igual manera se realizó el cálculo de la tasa de absorción de agua, propiedad que tiene efecto en el momento de realizar la pega de las unidades con mortero ya que si las unidades de mampostería sobrepasan los límites mínimos de permeabilidad tendrán demasiada absorción causando pérdidas de humedad en el mortero de pega produciendo agrietamientos y baja adherencia entre las unidades y el mortero.

El proyecto buscara dar un diagnóstico de la calidad de los materiales que producen las ladrilleras ubicadas en la vereda de pirgua de la ciudad de Tunja. Realizando un cuadro comparativo de cada una de las cualidades y defectos que presentan las unidades analizadas de cada ladrillera.

En el desarrollo de los laboratorios de tasa inicial de absorción, resistencia a la compresión, inmersión durante 24 horas y módulo de rotura se obtuvieron resultados que al ser comparados con la norma técnica colombiana, un gran porcentaje de las ladrilleras está por debajo de los requerimientos mínimos exigidos por la misma.

Palabras clave: horno, ladrillera, espécimen, ladrillo, resistencia.

ABSTRACT

The present Project of investigation is being carried out in order to analyse the physical and mechanical properties of solid brick of the surrounding chircas to the city of Tunja and show the results obtained as a methodological basis the Colombian technological standard NTC 4205 “units of masonry fired clay, bricks and ceramic blocks” and NTC 4017 “method for sampling and testing of masonry units and other clay products”.

The main objective of these essays are to determine the compressive strength of the masonry units resulting in the maximum and minimum values. Likewise the estimation of the water absorption rate will be done, which would create some conditions at the time of sticking the units with mortar as it can affect masonry units beyond the minimum limits of permeability with absorption causing losses of humidity in the mortar causing cracking and low traction between the units and the mortar.

The project will seek to give a diagnostic of the quality of materials that are produced in brick factories located in the village of Pirgua near the city of Tunja, making a comparative table to each one of the qualities and defects that present the analysed unit of each brick factory.

In the development of the laboratories of initial absorption rate, compressive strength, immersion for 24 hours and rupture modulus, results were obtained that when compared with the Colombian technical standard, a large percentage of the brickwork is below the requirements Minimum required by it.

Key words: Furnace, brick factory, specimen, brick, resistance.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las obligaciones que tenemos como profesionales es utilizar materiales que cumplan con los requerimientos técnicos expuestos en la normativa colombiana, por ende se hace necesario determinar la calidad de los productos que utilizamos en nuestra cotidianidad en la ejecución de proyectos para así cumplir a satisfacción las necesidades que los mismos demandan.

Los materiales elaborados a base de arcilla como los ladrillos macizos tienen ventajas importantes como la manipulación ya que son elementos que se pueden transportar de un lado a otro con gran facilidad debido a su bajo peso, su forma facilita la elaboración de cualquier tipo de obra civil, son aislantes térmicos, soportan altas temperaturas en el caso de que se presente algún tipo de conflagración que pueda afectar las estructuras, sus coeficientes de dilatación térmica son muy bajos por lo cual los ladrillos presentan variaciones de forma y volumen bajas o prácticamente nulas, soportan cargas a compresión altas lo que da garantía en el sector de seguridad y durabilidad en las obras que se construyen¹.

De acuerdo a la normativa nacional NSR 10 (Norma Sismo Resistente) el ladrillo macizo es utilizado para viviendas y edificios principalmente a base de pórticos resistentes a momentos, mampostería confinada o mampostería reforzada. Estas edificaciones están sujetas a la acción de cargas verticales y horizontales, las cuales pueden generar fracturas a los elementos no estructurales. Si los elementos de mampostería no cuenta con un estándar de calidad alto pondrá en peligro los habitantes de la edificación, y el fracturamiento de las piezas influirá en el grado de vulnerabilidad a causa de las acciones sísmicas.

¹ GARCÍA, Nelson Afanador, y Gustavo Guerrero GÓMEZ. «Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería.» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 2012: 16.

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la resistencia que tienen los ladrillos macizos que se producen en la vereda de Pirgua de la ciudad de Tunja, aplicando ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión con base en la norma técnica colombiana 4205 y 4017, determinando sus valores máximos y mínimos. Adicionalmente se realizaron ensayos de tasa inicial de absorción y absorción final con el fin de realizar un diagnóstico de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA:

De acuerdo con la información que presenta el IGAC “Instituto Geográfico Agustín Codazzi”, debido al auge constructivo y a la evolución urbanística de la capital de Tunja, la cantidad de predios urbanos se incrementó en más del 60 por ciento, con un total de 67.115 predios, y su área construida un 72,3 por ciento, con más de 2,6 millones de metros cuadrados (incremento de aproximadamente 4,82% anual). De los 67.115 predios urbanos con los que actualmente cuenta Tunja, 51.227 tienen destino residencial, 4.108 destino comercial y 9.761 se encuentran clasificados en el catastro como lotes con disponibilidad de uso.”²

Debido al auge de la construcción que se ha presentado en los últimos 15 años en la ciudad de Tunja, se hace necesario tener certeza que los materiales usados en las diferentes clases de obra civil como vivienda unifamiliar y multifamiliar cumplan con unos estándares mínimos de calidad. Para esto se busca que los propietarios de los títulos mineros cumplan a cabalidad con la normativa ambiental y con la norma técnica colombiana para la explotación y producción de las unidades de mampostería.

Tunja cuenta con una zona especial minera ubicada en la vereda de Pirgua en la cual se encuentran ubicadas 12 familias que producen elementos a base de arcilla como: mampostería no estructural, mampostería estructural, bloque y treja entre otros de manera artesanal y muchas de estas informales. De esta manera se determinó realizar un estudio al ladrillo macizo o tolete común ya que la mayoría de las ladrilleras lo fabrican y es uno de los elementos comúnmente utilizados en cualquier tipo de obra civil por su alta resistencia y facilidad en la instalación. Es necesario determinar tanto las características físicas como mecánicas de los

² Instituto Geografico Agustin Codazzi. Instituto Geografico Agustin Codazzi. 10 de junio de 2105.
<http://noticias.igac.gov.co/en-los-ultimos-15-anos-el-numero-de-predios-urbanos-en-tunja-se-ha-incrementado-en-mas-del-60-por-ciento/> (último acceso: 16 de diciembre de 2016).

materiales que estamos utilizando en las obras ya que muchas de estas ladrilleras no realiza ensayos de calidad a las unidades de mampostería, conllevando a que la vida útil de la obra no sea la apta causando que las personas que habiten o utilicen la obra puedan estar en riesgo por colapso y en inconformidad porque al pasar poco tiempo se verán desgastados de una manera anormal los materiales³.

2.2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN:

¿El ladrillo macizo o tolete común que se produce en la zona especial minera ubicada en la vereda de Pirgua de Tunja cumple con los requerimientos exigidos en la norma técnica colombiana NTC 4205 “Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos” y NTC 4017 “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería de arcilla”?

³ Boyacá, Corporación autonoma de. «Corpoboyaca.» 23 de abril de 2014.

http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/Resolucion_0742_2014.pdf
(último acceso: 02 de diciembre de 2016).

3. JUSTIFICACIÓN

La mampostería es un sistema estructural a base de elementos de arcilla cocida que hoy en día es importante por el uso en todas las construcciones, ya que es un buen aislante térmico, su resistencia al fuego es alta y tienen una gran capacidad de carga a altas temperaturas. Este sistema estructural tiene una gran cantidad de elementos para su uso como como ladrillos estructurales, ladrillos no estructurales y tejas entre otros. Esta investigación se va centrar en las propiedades del ladrillo macizo o tolete común ya que es uno de los elementos más utilizados en la construcción por su gran capacidad de soporte a cargas, así mismo las materias primas que se utilizan para la elaboración de este tipo de ladrillo son propias de la zona por lo cual es una gran ventaja para los fabricantes debido a que utilizan herramientas artesanales para su producción ayudando a disminuir los impactos ambientales, otra ventaja importante del ladrillo es su bajo costo en el mercado y su fácil acceso.

La investigación busca determinar la calidad de los materiales que se encuentran en la zona alfarera de la ciudad de Tunja ubicada en la vereda de pirgua al oriente del municipio. Haciendo uso de los estudios de laboratorio sugeridos por la norma técnica colombiana NTC 4017 y NTC 4205.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar las propiedades mecánicas de los ladrillos macizos fabricados en la vereda de Pirgua (Tunja – Boyacá) con base en lo establecido en la norma técnica colombiana NTC 4205 y NTC4017

4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar información relacionada con ubicación, cumplimiento de licencias y cuidado del medio ambiente de los chircales o establecimientos de producción del ladrillo macizo que se encuentran en la vereda de Pirgua de la ciudad de Tunja.
- Determinar módulo de rotura, resistencia a la compresión, absorción de agua y tasa inicial de absorción a las muestras tomadas de las ladrilleras de la vereda de Pirgua de la ciudad de Tunja.
- Definir la calidad de los materiales que se producen y comercializan en la vereda de Pirgua de la ciudad de Tunja.

5. ANTECEDENTES

DISEÑO DE LADRILLOS REFRACTARIOS (K-26) PARA CONSTRUCCIÓN DE OBRADORES EN LA CIUDAD DE DURANGO, MEXICO 2003

el incremento de la producción de ladrillo en la ciudad de Durango impulso el desarrollo de microempresas dedicadas a la producción de estos materiales en donde la utilización de métodos tradicionales han generado un grave problema de contaminación ambiental a causa de la utilización de combustibles sólidos y de la instalación desordenada de esas micro-factorías. Realizando un análisis se demostró que los barroes utilizados exceden los 1250 °C en sus puntos de fusión, y sus temperaturas de cocción son superiores a los 1200 °C. Esta temperatura difícilmente se alcanza en los hornos que se utilizan en la localidad, conformados con ladrillo de construcción. La propuesta para lograr una solución se enfocó en el desarrollo de unidades cerámicas semí-refractarios para la fabricación de ladrillo de alta resistividad piro métrica de bajo costo. Estas unidades fueron destinadas a ser los elementos refractarios de las bóvedas de las cámaras de combustión y las paredes de los obradores. Como resultado se obtuvieron 4 tipos de ladrillos semí-refractarios de la clasificación K-26 (1426 °C) y una resistencia de aplastamiento a la temperatura de servicio de 1,76 kg/cm² 4,48 veces mayor que la carga de trabajo, permitiendo la disposición del diseño de material de calidad y bajo costo para la construcción de obradores en la ciudad de Durango⁴.

DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS MUROS DE FÁBRICA DE LADRILLO EN LA ARQUITECTURA DOMÉSTICA SEVILLANA DE LOS SIGLOS XVIII Y XIX SEVILLA, ESPAÑA 2009

⁴ ROCHA, J. A., VALDÉS, L. S., & GONZÁLES, R. P. (2002). Diseño de ladrillos refractarios (K-26) para construcción de obradores en la ciudad de durango. *Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional*, 11.

El resultado del trabajo permite manejar datos geométricos, constructivos y mecánicos objetivos en el momento de la recuperación de los muros estudiados y los edificios referidos. Las fases seguidas para el desarrollo del método han sido:

- Análisis de edificios objeto de rehabilitación: características constructivas del muro a estudiar, levantamiento de lesiones.
- Extracción y análisis en laboratorio de pequeñas muestras de la fábrica para la determinación de las características resistentes de sus materiales.
- Trabajo experimental en laboratorio para elaboración de un modelo que permita la obtención de la resistencia a compresión de la fábrica estudiada.
- Aplicación del acelerógrafo para medir la rigidez del edificio in situ, aproximándonos al módulo de elasticidad del muro de fábrica.
- Obtención de conclusiones con la comparación de valores máximos de tensiones obtenidos para una fábrica no fisurada mediante un Análisis de elementos Finitos, con los valores obtenidos de resistencia en los estudios anteriores. Esta comparación permitirá decidir el comportamiento de los muros ante la restauración.⁵

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LADRILLOS DE ARCILLA RECOCIDA, ELABORADOS CON INCORPORACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS, CASO CHIAPAS, MÉXICO 2015

Una de las forma de solución a la contaminación generada por la disposición de residuos agrícolas, es la incorporación a la fabricación de materiales de construcción. El tipo de residuo a utilizar dependerá de cada región o país por lo tanto este artículo presenta los resultados del análisis realizado a los ladrillos de cerámica roja fabricados en la Ribera de Cupía, del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México, con la adición de residuos agrícolas como el cascabillo de café,

⁵ GÁLVES, F. P., & LIÑARÍ, C. R. (2008). Determinacion de las características mecanicas de los muros de fabrica de ladrillo en la arquitectura doméstica sevillana de los siglos XVIII Y XIX. *Informes de la construccion*, 10.

la cáscara de coco y el olote de maíz, cuyas producciones son abundantes en esta entidad. Las proporciones utilizadas en la mezcla con la arcilla son las siguientes: 0%, 4%, 8% y 12% en peso, a temperaturas de cocción de 800°C, 900°C, y 1,000°C, en un horno tipo industrial.

Las características evaluadas son: Resistencia a la compresión y absorción comparándolas con los parámetros establecidos en la normatividad nacional para ladrillos estructurales y no estructurales. Los resultados indican que para la resistencia a la compresión y de absorción de un ladrillo estructural, es necesario elevar la temperatura de cocción alrededor de 1,000°C. En cambio para el ladrillo no estructural, es suficiente elevar la temperatura a 900°C; este último permite la adición de hasta 4% en peso de cascabillo de café, y olote de maíz, con excepción de la cascara de coco que no cumple con los requerimientos mínimos de absorción⁶.

“COMPORTAMIENTO FÍSICO -MECÁNICO DEL LADRILLO DE CONCRETO TIPO IV” LIMA –PERU 2016

La presente investigación tiene por objetivo evaluar el ladrillo de concreto tipo IV de cuatro huecos que ha sido modelado y elaborado en el Laboratorio de Prueba y Ensayo de Materiales de la FIA - UNALM. La calidad de los ladrillos de concreto depende de cada etapa del proceso de elaboración; fundamentalmente de la cuidadosa selección de los agregados, la correcta determinación de la dosificación, una eficiente fabricación en lo referente al mezclado, moldeo y compactación, y de un adecuado curado. Los resultados obtenidos indican que estos ladrillos cumplen con los requerimientos físico - mecánicos establecidos en la Norma Técnica E.070 de Albañilería. Por otro lado, y a modo de comparación se evaluaron ladrillos industriales de arcilla de dos marcas; así como, ladrillos de concreto vibrado de una marca determinada, con el objetivo de evaluar la

⁶ GARCÍA, E. G., & MENDIOLA, L. L. (2015). Evaluacion de las propiedades fisico mecánicas de ladrillos de arcilla recocida, elaborados con incorporacion de residuos agrícolas, caso chiapas, mexico. 11.

variabilidad con su ficha técnica. Los ladrillos de arcilla (Marca A y B) clasificaron como Tipo III (de resistencia y durabilidad media) y no como Tipo IV tal como lo afirman sus fabricantes, los resultados de la resistencia característica a la compresión (f''_b) fue de 105.89 kg/cm² para la Marca A y 120.27kg/cm² para la Marca B, por lo que confirma la necesidad del fabricante de controlar cada muestra. Por otra parte, los ladrillos de concreto vibrado para fines estructurales clasificaron como Tipo IV (de resistencia y durabilidad alta) debido a que su resistencia característica a la compresión por unidad (f''_b) fue de 172.41 kg/cm², por tanto no presentaron variabilidad con su ficha de fabricante⁷.

CARACTERIZACIÓN DE LOS LADRILLOS CONSTITUTIVOS DE UN PUENTE HISTÓRICO EN POPAYÁN (COLOMBIA) 2008

El objetivo de este artículo es presentar los procedimientos y resultados del estudio y caracterización físico-mecánica y químico-mineralógica de los ladrillos empleados originalmente en un puente de arco de albañilería cuya construcción data de la primera mitad del siglo XVIII, ubicado en la ciudad de Popayán, Colombia. Para ello se extrajeron núcleos de las zonas bajas del puente a partir de los cuales se obtuvieron especímenes que fueron sometidos a diferentes pruebas de laboratorio. La caracterización físico-mecánica cuantificó valores relativos a peso seco, peso suspendido, peso saturado, porosidad, gravedad aparente, densidad aparente, y por último, valores de carga máxima, resistencia a la compresión en frío y módulo de elasticidad. Los resultados obtenidos hacen ver la alta porosidad de los ladrillos y su baja capacidad resistente a esfuerzos de compresión. La caracterización químico-mineralógica se llevó a cabo mediante una combinación de pruebas que incluyeron difracción de rayos X (XRD), espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS) y espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Varios minerales encontrados permiten deducir la fuente del material crudo, así como verificar algunas características de la

⁷ CULQUECHICON, T. J. (2016). *Comportamiento físico-mecánico del ladrillo de concreto tipoIV*. Lima.

producción de ladrillo de la época en esta región. Tridimita, cristobalita, magnetita y carbonato de calcio son algunas de las fases formadas por las temperaturas alcanzadas en la cocción, mientras que la presencia de sulfato de potasio en una de las muestras da razón de características de producción de material para la construcción. La combinación de los análisis XRD y XPS suministra información sobre la temperatura de quemado y las nuevas fases mineralógicas que aparecen al final de este proceso, mientras que FTIR permite comprobar la presencia de grupos funcionales OH y Si-O-Si, principalmente. Las características de estos ladrillos proporcionan datos valiosos para el propósito de restauración, formulando un nuevo ladrillo a partir del material crudo que se ajuste a los requerimientos de la construcción existente⁸.

ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS LADRILLOS DE UN PUENTE HISTÓRICO EN BUGA (VALLE DEL CAUCA), 2009

En Colombia, la albañilería constituye una muy significativa técnica de construcción presente en edificaciones históricas. Sin embargo, ante los cambios de uso que por lo general implican un incremento de las cargas vivas, las fuertes variaciones medioambientales, el incremento de la polución y la presencia de diferentes organismos vivos –entre otros factores-, en los últimos años parece haberse acelerado el nivel de deterioro de los materiales que la conforman (ladrillo y mortero de cal), lo que hace necesario en muchas ocasiones determinar sus propiedades físico – mecánicas y su composición química y mineralógica con el fin de diagnosticar el real estado de la estructura.

Este artículo trata de las rutinas apropiadas para tal caracterización de manera que ellas puedan ser aplicadas en el futuro a procesos de restauración de edificios históricos. A partir del estudio de caso que tiene por objeto el puente de arco de

⁸ DIAZ, J. A., MUÑOZ, A. M., & MUÑOZ, M. C. (2008). Caracterización de los ladrillos constitutivos de un puente histórico en Popayán (COLOMBIA). *Ingeniería e investigación*, 7.

mampostería construido en la ciudad de Buga (Valle del Cauca) en la segunda mitad del siglo XIX, se dará cuenta de la manera en que los análisis mecánicos de los ladrillos permiten contar con unos patrones de referencia acerca de su comportamiento resistente; simultáneamente, la caracterización mineralógica permite identificar la composición y temperatura de cocción de los ladrillos empleados originalmente en la construcción⁹.

ANALISIS DE LOS ESFUERZOS DE COMPRESION EN UNIDADES DE MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL Y MURETES E-9, E- 11 Y E -14 DE UNA EMPRESA LADRILLERA DE SANTANDER 2009

El proyecto de grado busca la manera de analizar los esfuerzos de compresión en unidades de mampostería estructural y muretes contruidos con ladrillo tipo E9, E11 y E14 de únala ladrillera ubicada en el casco urbano de Bucaramanga, para comprobar si cumple con las Normas Técnicas Colombianas para garantizar su uso ya que ese tipo de mampostería estructural tienen un auge en la construcción en estos momentos. Para la realización de estas pruebas se refrentaron los ladrillos y muretes, se buscó una mezcla la cual cumpliera con los requerimientos de resistencia del refrentado. Se indago en un material diferente al yeso normal, para la mezcla del refrentado, este material es de uso odontológico llamado “yeso tipo IV” o “yeso de alta resistencia”, al cual se le realizaron ensayos de resistencia que fueron satisfactorios. Se realizó un buen refrentado cumpliendo con los 3mm de espesor que debe tener vasa cara del espécimen refrentado, que sirve para que al momento que se aplica la carga sea una carga puntual en el centro de la cara de la unidad de mampostería. Es importante destacar que cuando se realizan los refrentados de las unidades de mampostería de manera manual, no se garantizaba el paralelismo entre las caras y que la carga aplicada por la maquina universal este totalmente centrada respecto al espécimen. Las unidades de

⁹ GALINDO, J., Paredes, J., & MUÑOZ, a. (2009). Estudio y Caracterizacion de los ladrillos de un puente historico en buga (VALLE DEL CAUCA). *facultad de ingenieria universidad de antioquia*, 11.

mampostería estructural y muretes fueron refrentados con una mezcla de 80 % (yeso de alta resistencia o yeso tipo IV) y 20% (yeso normal), transcurrido el tiempo determinado ya sea para las unidades o muretes se procede a ensayarlos en la maquina universal para determinar la carga máxima que resiste cada espécimen. Con los datos obtenidos en los ensayos se realiza un análisis de resultados para determinar la calidad de este tipo de mampostería estructural¹⁰.

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LADRILLOS MACIZOS CERÁMICOS PARA MAMPOSTERÍA, OCAÑA 2012

El presente artículo es el resultado de evaluar las propiedades mecánicas de los ladrillos macizos cerámicos fabricados a mano en el municipio de Ocaña, aplicando en primera instancia ensayos de caracterización física de la arcilla empleada como materia prima, para luego realizar pruebas de control de calidad no destructivas y destructivas de los ladrillos de mampostería que se seleccionaron entre los diferentes chircales o unidades productivas del sector, utilizando para tal fin, la norma técnica Colombiana NTC-4017 [16], “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla”, que permitieron conocer las características y propiedades de los materiales que integran los elementos estructurales, analizando principalmente el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión, como parámetros que influyen en forma directa en la rigidez de la edificación y que concuerdan con las investigaciones de (B y C 2007)] y (TAKEUCHI 2007), bajo el Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NSR-10)¹¹.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA RESTAURACIÓN DE

¹⁰ GIL, A. Y., & ANGARITA, F. Y. (2009). *Análisis de los esfuerzos de compresion en unidades de mamposteria estructural y muretes E-9, E- 11 Y E -14 de una empresa ladrillera de santander*. Bucaramanga.

¹¹ GARCÍA, N. A., & GÓMEZ, G. G. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 16.

EDIFICACIONES DE TIPOLOGÍA COLONIAL Y REPUBLICANO EN LA CIUDAD DE CARTAGENA, 2014

La ciudad de Cartagena como Distrito Turístico, Histórico y Cultural se encuentra en constante restauración de las edificaciones y monumentos, esto con el fin de conservar el título otorgado por la UNESCO de Patrimonio Histórico de la Humanidad. A través de este trabajo se busca establecer si los materiales que se usan actualmente en la restauración de edificaciones de tipología colonial y republicana en Cartagena son los adecuados, a través de una comparación de sus características físicas y mecánicas con la de los materiales originales, en este caso se estudiaron el ladrillo, madera y el mortero.

El proyecto fue planteado como una investigación de tipo mixto, en esta se comprende un ámbito descriptivo y otro experimental. El proyecto se desarrolló básicamente en cinco fases fundamentales: la recopilación y análisis de información existente, en la segunda fase se llevó a cabo la identificación de los lugares de estudio (Obra Pía) y los lugares donde son adquiridos los materiales utilizados actualmente (Ferretería Antioquia, Ladrillera Bayunca, Maderas Carrillo, Yadira Paternina). La tercera fase fue la realización de los ensayos destructivos y no destructivos, que comprende ensayos como resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistencia al corte, peso específico y desgaste etc. Realizadas las primeras tres fases se procedió a la cuarta y quinta fase que consistió en el análisis de los datos y la presentación del informe final.

Al comparar los resultados obtenidos se concluyó que los ladrillos de la ferretería Antioquia y la Ladrillera Bayunca no son los más adecuados para la restauración, pues estos no cuentan con las mejores propiedades físicas y mecánicas con respecto a los ladrillos de Obra Pía; en resistencia a la compresión el ladrillo de obra Pía presentó 41,1Kg/cm², en comparación con el ladrillo de la ferretería Antioquia que presentó menor resistencia, hay una diferencia de 45,79% con un valor de 22,3 Kg/cm².

Los resultados con respecto a la madera, reflejan que la madera de Yadira Paternina y Maderas Carrillo presentan mejores resultados que la madera encontrada en Obra Pía, por lo que deja en evidencia que la madera de Obra Pía no conservaba sus propiedades físicas y mecánicas, debido a su gran antigüedad y estar expuesta a la intemperie¹².

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LOS BLOQUES H-10 UTILIZADOS EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, 2014

En Colombia al igual que en muchas otras partes del mundo, la mayoría de las estructuras fueron construidas sin tener como base una normatividad que brindara los parámetros necesarios para hacer de ellas construcciones resistentes a los movimientos telúricos, motivo por el cual a lo largo de la historia se han registrado innumerables pérdidas de vidas humanas y de materiales difícilmente cuantificables, antecedentes que han llevado a la investigación del comportamiento de las edificaciones y de los materiales que las componen, logrando con ello una serie de normas y códigos que rigen y establecen los requerimientos básicos en todos y cada uno de los aspectos relacionados con la construcción de estructuras sismo resistentes.

Teniendo en cuenta la importancia que tienen los materiales en la construcción de las edificaciones, este trabajo de investigación tiene como finalidad el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de perforación horizontal H-10 utilizadas para mampostería en la ciudad de Ocaña.

Para tal fin, se hizo necesario el desarrollo de una serie de ensayos en el laboratorio de resistencia de materiales y sísmica de la UFPSO, los cuales se llevaron a cabo según lo estipulado en las normas técnicas colombianas (NTC) y en la norma sismo resistente del 2010 (NSR-10), prestando principal atención a

¹² CASTELLAR, L. F., & TORRES, A. A. (2014). *Estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados en la restauración de edificaciones de tipología colonial y republicano en la ciudad de Cartagena*. Cartagena.

los resultados obtenidos en cada ensayo para luego realizar un análisis estadístico de cada fabricante en estudio.

Entre los ensayos realizados se encuentra el reforzamiento externo de muros con malla electro soldada, en el cual se pretende hacer énfasis, pero sin restar importancia a los demás ensayos de laboratorio, los cuales fueron indispensables en la determinación de dichas propiedades; para llevar a cabo este ensayo se hizo necesario la construcción de 24 muretes perfectamente cuadrados de los cuales 8 no presentaban refuerzo y 16 se reforzaron con malla electro soldada de 150 x 150 x 3,5 x 3,5 mm, con el objeto de aplicarle carga hasta que presente falla por tensión diagonal, con lo que se pudo demostrar un aumento considerable en la resistencia a esfuerzos cortantes con respecto a la mampostería no reforzada¹³.

PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE BLOQUES H10 FABRICADOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CÚCUTA, 2014

En este artículo se presentan los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de dos tipos de bloques H10 (bloque seis huecos cuadrado, bloque ocho huecos mixto) fabricados en Cúcuta y su área metropolitana. Se visitaron diferentes empresas en las que se recolectaron muestras de cada tipo de bloque fabricado. Se realizaron ensayos físicos como absorción de agua, densidad, dimensiones y resistencia a la compresión en el laboratorio del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos siguiendo los lineamientos de la norma NTC 4017. Los resultados se compararon con los datos establecidos en la norma NTC 4205, y se logra determinar que los diferentes bloques poseen propiedades semejantes, las cuales permiten su uso como productos de mampostería no estructural para uso interior o exterior¹⁴.

¹³ GENTILI, G. A., & PALLARES, J. P. (2014). *Eestudio de las propiedades físicas y mecánicas de los bloques H-10 utilizados en el municipio de Ocaña*. Ocaña.

¹⁴ RINCON, S. M., MOLINA, J. S., & ROZO, D. Á. (2014). Propiedades físico mecánicas de bloques H10 fabricados en el área metropolitana de cúcuta. *ciencia e ingeniería neogranadina*, 12.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. HORNOS UTILIZADOS EN LA VEREDA DE PIRGUA (TUNJA – BOYACÁ)

Los hornos son elementos tecnológicos que se usan para realizar transformaciones en diversas materias primas empleando energía térmica, buscando como resultado un producto final. En la actualidad sol hornos funcionan a base de la combustión de carbón y en muy pocos casos de madera¹⁵.

Para la obtención del producto final a base de materiales cerámicos se requiere de un proceso dividido en las siguientes etapas: extracción de la materia prima, trituración, humectación, compactación, extrusión, corte, secado, cocción y apilado. Se trata entonces de un proceso en el cual se manejan tres unidades estratégicas de negocio: la explotación minera, la transformación de la arcilla y la comercialización del producto terminado¹⁶.

Una de las últimas etapas del proceso y una de las más importantes e influyentes en el desarrollo es la cocción de la materia prima se lleva a cabo en los hornos llevando a cabo tres diferentes etapas: precalentamiento, quema y enfriamiento. Las etapas deben ser controladas estrictamente porque el control que se le da genera aumento o disminución en la calidad de los productos finales; además el mal manejo de las etapas puede propiciar aumento en los residuos y en las emisiones atmosféricas.

El nivel de las ladrilleras se define en el tipo de horno empleado: los chircales utilizan hornos de fuego dormido, de baúl o colmena; las empresas pequeñas

¹⁵ Ministerio de Comercio, Industria y Turismo . (2011). *Caracterización de los hornos usados en la industria ladrillera*. bogota.

¹⁶ CASTILLO, O. A., & MONTAÑA, N. E. (2004). Características de hornos para productos cerámicos del parque minero industrial El Mochuelo, localidad 19 de Bogotá D.C. *CON-CIENCIAS*, 8.

cuentan con varios hornos de colmena, y las medianas con hornos continuos tipo Hoffman¹⁷.

6.1.1.1 Horno de fuego dormido:

Es el horno más contaminante, artesanal, construido en forma circular, generando una especie de bóveda circular abierta, conocido también como horno cilíndrico. Posee una puerta lateral por donde se carga el material. Estos hornos se cargan con una capa de carbón, posteriormente una de ladrillos y consecutivamente una de carbón y otra de ladrillos, hasta que se alcanza el tope del horno.

La cocción dura aproximadamente treinta días y la producción de ladrillos es de quince mil a veinticinco mil unidades por hornada. El consumo de carbón es de quince a veinte toneladas por hornada. Son hornos intermitentes, caracterizados por su baja producción y alta contaminación teniendo una gran desventaja ya que la quema no es homogénea, el material producido es de baja calidad, es decir algunos ladrillos quedan requemados, mientras otros pueden quedar crudos¹⁸.

6.1.1.2 Horno tipo colmena:

El horno colmena es un horno de tiro invertido, su proceso de combustión se puede realizar de manera manual o mecánica en hornillas distribuidas en toda la circunferencia del horno. En las hornillas se generan corrientes de calor que surgen de manera ascendente hasta el centro de la bóveda, descendiendo por las unidades preparadas para cocción y por ultimo conduciendo hacia los ductos del piso que se conectan a un colector principal y este hacia la chimenea de desahogo de los gases. Una ventaja de estos hornos es que ni el combustible ni sus

¹⁷ CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL, CAR. (2000). *programa de sensibilización sanitario ambiental para la pyme del area de jurisdicción de la CAR, guía ambiental pequeñas ladrilleras*. Bogota .

¹⁸ SERVICIO NACIONAL DE APRENDEZAJE, SENA. (2003). *Estudio de caracterización de la industria de la arcilla, mesa sectorial de minería*. Bogota D.C.

Residuos entran en contacto inmediato con el producto, debido a la pared separadora y conductora de gases¹⁹.

Generalmente este tipo de hornos alcanza temperaturas entre 1000 a 1200°C, para las cuales por hornada consumen de 15 a 30 toneladas de carbón dependiendo del tamaño del horno. Para la cocción el horno tiene un comportamiento descendente, es decir el umbral térmico fluye de arriba hacia abajo, cocinando primero la masa superior hasta llegar a la masa inferior. El proceso de quema termina una vez el umbral llegue a al piso del horno.

Ventajas:

- Facilidad de construcción.
- posibilidad de construcción con mano de obra y material de la empresa.
- Facilidad de operación.
- Costo atractivo.
- Posibilita la recuperación de calor.
- Uso de diversos tipos de combustible y producción diversificada (ladrillos, tejas y baldosas).

Desventajas

- Calentamiento desigual entre las zona superior e inferior.
- Consumo energético específico alto.
- Elevado insumo de mano de obra en relación a otros tipos de hornos.
- Índice de pérdidas elevado, derivado de las deficiencias de quema y de la manipulación del producto.
- Productos con calidad más baja en la zona cercana al piso.

¹⁹ EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS, E. (2015). *PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS DE AMERICA LATINA PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMATICO*, "Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera".

- Condiciones insalubres para la descarga del horno (alta temperatura interna y polvareda).

Ilustración 1. Horno tipo Colmena



Fuente: autor, 2017

6.1.1.3 Horno tipo Hoffman:

Este horno fue patentado y diseñado por Friedrich Hoffman en el año 1858, en Alemania, su modelo inicial se basó en la recuperación del calor en un formato curvo y recto. Consta de 2 galerías, formadas por compartimentos contiguos, que en sus extremos existen uniones por pasafuegos, el fuego se mueve a través del horno en dirección opuesta a las manecillas del reloj, este sistema permite obtener una alta eficiencia térmica y de producción ya que el calor obtenido en la cámara de combustión se utiliza para el precalentamiento de las cámaras existentes. El ciclo de cocción tiene un tiempo de duración de aproximadamente una semana.

Las galerías están formadas por varias cámaras, cada una con su respectiva puerta para el endague y descargue del material a realizarle la cocción, y un canal

de salida que se dirige al colector principal que conduce a la chimenea. Cada cámara comunica con el colector, por un conducto de humos, los cuales se cierran herméticamente con válvulas. Para mantener la circulación horizontal de los gases a través de las cámaras, es preciso que la carga deje libre 1/3 de la sección transversal²⁰.

La alimentación del horno se realiza por la parte superior, mediante alimentación manual o neumática, la cual debe realizarse en forma dispersa, evitando chorros que provoquen combustión incompleta²¹.

Este tipo de horno cuenta con ventajas como:

- Productos de alta calidad por encima del 90%;
- Permite la regulación de la velocidad de la quema;
- Se adapta a diferentes tipos de materia prima;
- Bajo índice de pérdidas y de material de segunda calidad;
- Buen desempeño y baja demanda energética;
- Uso de diversos tipos de combustible.

De igual manera cuenta con desventajas como:

- La inversión de construcción del horno es alta.
- Operación más compleja que en otros tipos de hornos ya que necesita una operación permanente de control de presión del horno y el ritmo de avance de calor entre cámaras;
- Elevado insumo de mano de obra;
- La producción es solo de ladrillos;

²⁰ EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS, E. (2015). *PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS DE AMERICA LATINA PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMATICO*, "Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera".

²¹ Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2011). *Caracterización de los hornos usados en la industria ladrillera*. Bogotá.

- Escape en los canales y manchas laterales en los productos a causa de la falta de aire en la quema.

Ilustración 2 Horno tipo Hoffman



Fuente: autor, 2017

6.2. TECNOLOGÍAS EXISTENTES A NACIONAL Y LATINOAMERICANO

De acuerdo a lo anterior se mostraran los tipos de hornos usados en Colombia y en parte de Latinoamérica y Centroamérica, estos hornos se dividen en tres tipos generales: intermitentes, semicontinuos y continuos:

6.2.1 Hornos intermitentes:

Son hornos de cámaras individuales o en batería en donde los productos, la instalación de la cocción y la de enfriamiento quedan en posición fija durante la totalidad del ciclo. Para el anterior ciclo el esquema del proceso se divide en la

entrada de los productos, precalentamiento, cocción de los productos, enfriamiento de los productos y por último la salida de los productos.²²

Los tiempos de cada uno de los procesos no son los iguales y difieren considerablemente según el producto a cocer y la naturaleza del proceso. Existen varios tipos de hornos intermitentes entre los cuales están:

6.2.1.1 Horno paulistinha:

Los hornos Paulistinha son típicos de la industria ladrillera en el Brasil, aunque presentan un desempeño térmico inferior a otros tipos de hornos presentes en el mercado. En Brasil, se estima que actualmente representan un 15% de los hornos en operación en la industria ladrillera, aunque con tendencia decreciente, ante el proceso gradual de modernización por el cual el sector viene pasando en los últimos años. Los hornos Paulistinha son empleados en diversas regiones productoras del país, con mayor incidencia en aquellas de menor nivel tecnológico²³.

Ventajas:

- Facilidad y posibilidad de construcción con mano de obra y material de la empresa;
- Atractivo costo;
- Facilidad de operación;
- Recuperación de calor;
- Uso de diversos tipos de combustible;
- Producción diversificada (ladrillos, tejas y baldosas).

Desventajas:

²² EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS, E. (2015). *PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS DE AMERICA LATINA PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMATICO*, “Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera”.

²³ (EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS 2015)

- Quema poco homogénea (sectores del horno con menor incidencia de calor);
- Consumo energético específico alto;
- Enfriamiento lento;
- Elevado insumo de mano de obra en relación a otros tipos de hornos;
- Porcentaje relativamente bajo de productos de primera calidad.

Ilustración 3: Horno tipo paulistinha



Fuente: Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera

6.2.1.2 Horno tipo pampa, árabe o loco:

Son hornos que se conforman en cuartos rectangulares descubiertos en la parte superior, con puertas de salida y entrada a través de las cuales se extraen e introducen las unidades de mampostería a realizarles la cocción; la alimentación de carbón se realiza por la parte superior del horno sin ningún control de granulometría (tamaño del carbón) convirtiéndolo en un horno ineficiente²⁴.

²⁴ CASTILLO, O. A., & MONTAÑA, N. E. (2004). Características de hornos para productos ceramicos del parque minero industrial El Mochuelo, localidad 19 de Bogotá D.C. *CON-CIENCIAS*, 8.

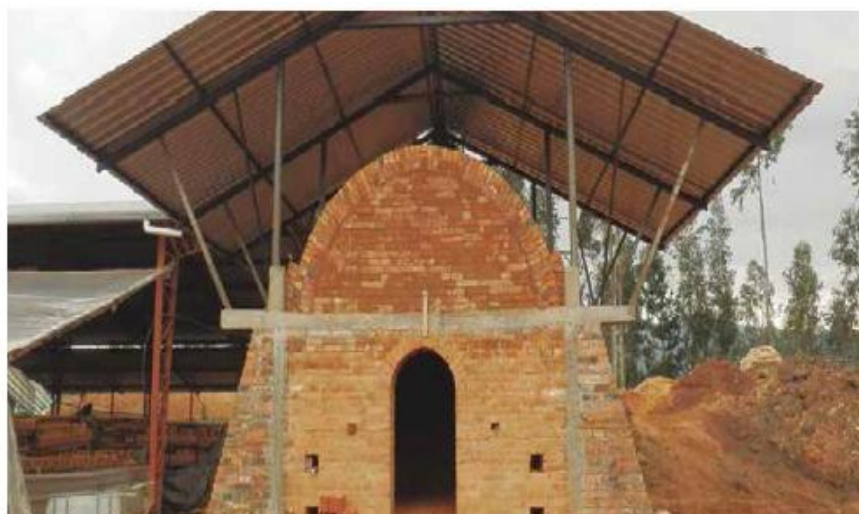
Estos hornos son de rápida cocción la cual dura un aproximado de 7 días. Genera una alta producción y de la misma una alta contaminación ya que no cuenta con una chimenea por lo que los gases generados por la quema salen por todo lado²⁵.

En este tipo de hornos la principal desventaja es que el combustible utilizado genere una alta llama para que arda con la máxima rapidez y esta pueda llegar a penetrar hacia arriba y cocer los ladrillos de la parte superior.

6.2.1.3 Horno tipo baúl:

El principio de funcionamiento de este horno es igual al tipo colmena; la diferencia entre ellos se encuentra en su forma: este horno tiene una figura rectangular, como un baúl. La alimentación del horno se realiza por los alimentadores laterales, los cuales generalmente son manuales.

Ilustración 4 Horno tipo baúl



Fuente: Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera

²⁵ SWISSCONTACT, F. S. (2016). *Manual de capacitación sector ladrillero en américa latina*. Lima, Peru: CCAC

Ventajas

- Moderado consumo de energía térmica y de emisión de GEI.
- Uso de diversos tipos de combustible
- Bajo costo operativo.
- Condiciones razonables de salubridad en el ambiente de la producción (principalmente durante la quema).
- Buena productividad y velocidad de producción para pequeños productores.
- Quema homogénea y bajo nivel de pérdidas por quiebre y rajaduras.

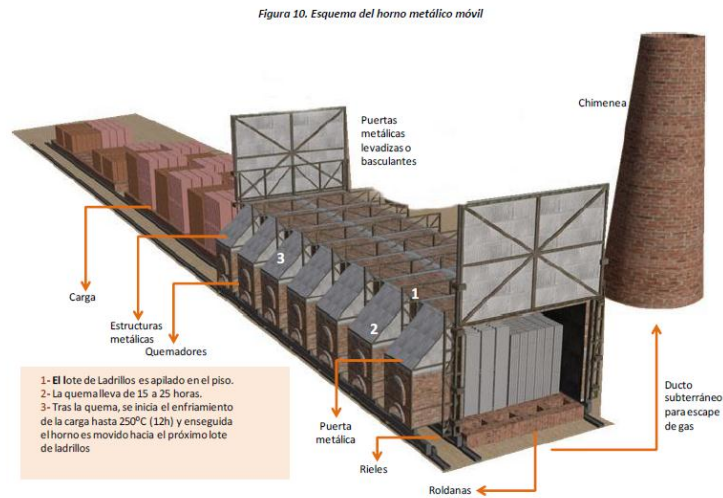
6.2.1.4 Horno metálico:

Es un horno intermitente. Se compone por un cuerpo móvil con estructura metálica con revestimiento interno de fibra cerámica especial con un grosor aproximado de 15 cm. La estructura del horno se mueve sobre rieles acoplándose sobre dos o tres bases de quema llamadas plataformas fijas, estas forman las cribas o parrillas del horno.

Este tipo de horno se usa en Perú, Bolivia, Paraguay y está comenzando a utilizarse en Brasil por sus ventajas técnicas, económicas y ambientales en cuanto a: proporcionan reducción en la demanda de energía térmica, mayor proporción de producto de primera calidad, reducción del costo de mano de obra, aumento de la velocidad de producción, reducción de las emisiones, posibilidad de producción de teja, baldosa o ladrillo, entre otras. En Colombia la utilización de estos hornos es mínima ya que los productores utilizan en su totalidad hornos tradicionales²⁶.

²⁶ CULTRONE, G. (2013). Estudio mineralógico- petrográfico y físico-mecánico de ladrillos macizos para su aplicación en intervenciones del patrimonio histórico. *Universidad de Granada*.

Ilustración 5 Horno tipo metálico



Fuente: Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera

6.2.2 Hornos semi-continuos

Los hornos semicontinuos como dice su nombre tienen amplio margen de semejanza a los continuos en cuanto a los tiempos de los turnos de trabajo y el ciclo de cocción. Los hornos semicontinuos son en ocasiones son agrupaciones de hornos intermitentes tendientes hacia una operación continua; se tienen varias cámaras donde circulan los gases quemados a alta temperatura, llevando a una mejora en la eficiencia térmica y la capacidad de producción en la actualidad existen varios tipos de hornos semicontinuos entre los cuales podemos encontrar:

6.2.2.1 Horno vagón:

Los hornos vagón están distribuidos en 1 o dos cámaras en las que se introduce un vagón cargado de unidades para cocción, el horno cuenta con techo plano o circular. La alimentación se realiza de forma lateral y el tiro se realiza por el lado opuesto a la zona de quema. En el interior el horno cuenta con un revestimiento de ladrillo refractario en la bóveda de quema y semirefractario en las paredes

internas del horno²⁷. El tiempo promedio de cocción es de 36 horas y la capacidad promedio del vagón es de 19000 a 20000 unidades por quema.

Ilustración 6 Horno tipo vagón



Fuente: fabricación de productos de arcilla para la construcción.

6.2.2.2 Horno tipo rápido intermitente:

Consta de 2 cámaras contiguas de manera que se aprovecha el aire de enfriamiento de una para calentar la otra, haciendo que la operación tenga continuidad. Los quemadores son ubicados lateralmente por una sola pared de cada una de las cámaras. Otra modalidad consiste en una cámara con varios vagones, de manera que mientras uno se somete a cocción, el otro se descarga y carga nuevamente. Se trata de un horno modular que permite su traslado y reubicación en caso de ser necesario, su proceso de cocción opera de manera semicontinua y tiene un ciclo de 36 Horas²⁸.

Su uso en Colombia no es muy reconocido pues tan solo se tiene noticia de la existencia de 2 hornos de este tipo en el país, uno en Medellín y otro en Sogamoso dedicados a la cocción de productos refractarios.

²⁷ Ministerio de Comercio, Industria y Turismo . (2011). *Caracterización de los hornos usados en la industria ladrillera*. bogota

²⁸ (RODRÍGUEZ, R. R., ABURTO, O. C., & DÁVILA, C. M. (2015). Perspectivas de Automatización del proceso de fabricación de ladrillo rojo en la región de Cholula, Puebla. *ResearchGate*, 10.

6.2.3 Hornos continuos:

Los hornos continuos surgieron como una solución más rentable para el sector dedicado a la fabricación de productos cerámicos. El funcionamiento se caracteriza por tener un desarrollo ininterrumpido de la cocción. Dando la opción de realizar las diferentes etapas sin variar el ritmo de la producción; en los tipos de hornos continuos podemos encontrar²⁹:

6.2.3.1 Horno tipo Hoffman:

Este horno fue patentado y diseñado por Friedrich Hoffman en el año 1858, en Alemania, su modelo inicial se basó en la recuperación del calor en un formato curvo y recto. Consta de 2 galerías, formadas por compartimentos contiguos, que en sus extremos existen uniones por pasafuegos, el fuego se mueve a través del horno en dirección opuesta a las manecillas del reloj, este sistema permite obtener una alta eficiencia térmica y de producción ya que el calor obtenido en la cámara de combustión se utiliza para el precalentamiento de las cámaras existentes. El ciclo de cocción tiene un tiempo de duración de aproximadamente una semana.

Las galerías están formadas por varias cámaras, cada una con su respectiva puerta para el endague y descargue del material a realizarle la cocción, y un canal de salida que se dirige al colector principal que conduce a la chimenea. Cada cámara comunica con el colector, por un conducto de humos, los cuales se cierran herméticamente con válvulas. Para mantener la circulación horizontal de los gases a través de las cámaras, es preciso que la carga deje libre 1/3 de la sección transversal³⁰.

²⁹ SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE, SENA. (2003). *Estudio de caracterización de la industria de la arcilla, mesa sectorial de minería*. Bogota D.C.

³⁰ EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS, E. (2015). *PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS DE AMERICA LATINA PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMATICO, "Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera"*.

La alimentación del horno se realiza por la parte superior, mediante alimentación manual o neumática, la cual debe realizarse en forma dispersa, evitando chorros que provoquen combustión incompleta³¹.

Este tipo de horno cuenta con ventajas como:

- Productos de alta calidad por encima del 90%;
- Permite la regulación de la velocidad de la quema;
- Se adapta a diferentes tipos de materia prima;
- Bajo índice de pérdidas y de material de segunda calidad;
- Buen desempeño y baja demanda energética;
- Uso de diversos tipos de combustible.

De igual manera cuenta con desventajas como:

- La inversión de construcción del horno es alta.
- Operación más compleja que en otros tipos de hornos ya que necesita una operación permanente de control de presión del horno y el ritmo de avance de calor entre cámaras;
- Elevado insumo de mano de obra;
- La producción es solo de ladrillos;
- Escape en los canales y manchas laterales en los productos a causa de la falta de aire en la quema.

³¹ Ministerio de Comercio, Industria y Turismo . (2011). *Caracterización de los hornos usados en la industria ladrillera*. Bogotá.

Ilustración 7 Vistas superior y lateral horno tipo Hoffman



Fuente: características de hornos para productos cerámicos del parque minero industrial el mochuelo, localidad 19 de Bogotá D.C

6.2.3.2 Horno Hoffman de bock:

Cuando se trata de construir un horno en poco tiempo y a bajo costo, o bien cuando se trata de obtener una buena producción en un clima muy cálido como lo es Neiva, se utiliza el horno llamado de Bock, que es un horno Hoffman pero sin bóveda. Para la construcción del horno de Bock, se excavan 2 zanjas en el terreno y se levantan paredes de revestimiento delgadas pues no tienen que soportar la presión de una bóveda. Es condición indispensable para la construcción de un horno de esta clase que el subsuelo sea seco, lo que reafirma aún más su conveniencia en climas cálidos³².

Los ladrillos a cocer se cubren con 1 capa de ladrillo cocido y 1 sobrecubierta de tierra magra o arena. El suministro del combustible, al igual que en los Hoffman convencionales, se hace por orificios dispuestos en la parte superior los cuales atraviesan la capa de ladrillo cocido y la capa de sobrecubierta.

6.2.3.3 Horno tipo túnel:

Los hornos túnel y de rodillos son considerados hornos tecnificados que poseen gran capacidad de producción generando bajos niveles de contaminación en

³² Ministerio de Comercio, Industria y Turismo . (2011). *Caracterización de los hornos usados en la industria ladrillera*. bogota.

relación con anteriores, además tienen mejor eficiencia térmica porque realizan recuperación de calor. La materia prima se moviliza mediante vagones que se desplazan a través de la galería.

Este tipo de horno consiste en fijar una zona de fuego y hacer pasar los productos a cocer, siguiendo la curva de calentamiento del horno. Ello supone la ventaja de ahorro de calorías en el enfriamiento y precalentamiento del horno, además de la economía de mano de obra en el cargue y descargue de los ladrillos y mayor rapidez en la etapa de cocción³³.

El combustible utilizado en estos hornos es gas el cual es introducido por una válvula lateral que es dirigido a unos quemadores que pueden ser enfrentados o un sistema donde el quemador de la izquierda lanza fuego hacia la bóveda y el de la derecha hacia la carga a cocer.

6.3. MÉTODOS PARA ALIMENTACIÓN Y DOSIFICACIÓN DEL COMBUSTIBLE

A nivel general los hornos de rodillos utilizan gas natural y kerosene como combustible, los hornos túnel utilizan carbón y crudo de castilla y los demás utilizan carbón.

Las empresas que cuentan con hornos tecnificados utilizan sistemas de alimentación de carbón neumática mitigando al máximo los índices de contaminación atmosférica. Para lo cual utilizan sistemas como:

6.3.1 Stoker

Este tipo de dosificación es conocida por las ladrilleras tecnificadas ya que tiempo atrás se comenzó a usar en los hornos tipo colmena. La dosificación de estos dispositivos permite que la dosificación de carbón sea regular en toda la parrilla

³³ EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS, E. (2015). *PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS DE AMERICA LATINA PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMATICO, "Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera"*.

evitando partículas muy gruesas reduciendo inquemados y zonas calientes, además evitando excesos de aire y combustión ineficiente³⁴.

6.3.2 Carbojet

El uso de esta nueva tecnología hace posible el suministro de carbón pulverizado a hornos diferentes a los tradicionales. Estos nuevos sistemas promueven la eficiencia y adecuada dosificación del combustible mediante controles de temperatura, velocidad y caudal de aire sofisticados. El uso de estos sistemas se usa con frecuencia en hornos tipo baúl y colmena en el caso que sean necesarios.

Con la implementación de los equipos de quema anteriormente descritos genera un aumento significativo en el rendimiento de los hornos en relación a la alimentación manual. Además del rendimiento este sistema cuenta con una división de la granulometría del material generando un ahorro entre un 40 y un 60% y reduciendo los tiempos de cocción en los hornos baúl y colmena en un 40% (de 72 a 42 horas)³⁵.

6.3.3 Gasificación del carbón

Es una transformación termoquímica en un ambiente controlado (reactor), donde el combustible sólido se transforma en combustible gaseoso por una oxidación pobre llamada pirolisis. Estos sistemas pueden proporcionar una eficiencia superior al 80% y se evita la emisión de material inquemado³⁶.

Este sistema de gasificación debe ir acompañado de quemadores de combustible gaseoso y un sistema de presurización. Obteniendo un sistema superior en el control de la dosificación del combustible.

³⁴ CULTRONE, G. (2013). Estudio mineralógico- petrográfico y físico-mecánico de ladrillos macizos para su aplicación en intervenciones del patrimonio histórico. *Universidad de Granada*.

³⁵ EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS, E. (2015). *PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS DE AMERICA LATINA PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMATICO, "Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera"*.

³⁶ FERNÁNDEZ, M. M., & F, A. J. (1994). Estudios de Factibilidad para Plantas de Gasificación de Carbón y de Combustóleo Integradas a Ciclos Combinados

La desventaja de este sistema es que el suministro y aplicación debe ser estudiado en detalle para cada caso por lo cual cuenta con una alta inversión.

6.4. MEJORAS Y MODIFICACIONES

6.4.1 Reacondicionamiento del horno de fuego dormido

Similar al horno baúl a partir de un horno pampa, sería posible adecuar el horno de fuego dormido con una bóveda y una chimenea modificando significativamente su modo de operación y mejorando el consumo de combustible y los parámetros de emisiones atmosféricas³⁷.

Sin embargo esta propuesta no ha sido totalmente comprobada con éxito que podría causar una propagación de hornos pequeños sin la garantía de un cumplimiento ambiental.

6.5. DESARROLLO SOSTENIBLE

La definición del desarrollo sostenible se escribió en 1987 en el informe de la comisión de bruntland como un *“desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”*. Existen cuatro extensiones de desarrollo sostenible: la sociedad, el medio ambiente, la cultura y la economía dentro de las cuales se interconectan³⁸.

El concepto de desarrollo sostenible es muy diferente al de sostenibilidad en el sentido de que la palabra “desarrollo” apunta claramente a la palabra de cambio gradual y direccional. El desarrollo no significa crecimiento necesariamente cuantitativo ya que se asemeja al concepto de despliegue cualitativo de

³⁷ BENAVIDES, E. O. (2006). Informe de caracterización y asesoría técnica para realizar el mejoramiento, acondicionamiento y manejo de hornos para cerámica en los municipios de Planeta Rica, Ciénaga de Oro y Momil, departamento de Córdoba, República de Colom.

³⁸ UNESCO. (s.f.). UNESCO. Recuperado el 27 de DICIEMBRE de 2016, de <http://www.unesco.org/new/es/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/sustainable-development>

potencialidades de complejidad creciente. Lo de sostenible es el proceso de mejoramiento de la condición humana³⁹.

La sostenibilidad es un paradigma en donde las consideraciones ambientales, económicas y sociales estén equilibradas en la búsqueda de una mejor calidad de vida, por ejemplo, una sociedad próspera depende de un ambiente sano que provea alimentos y recursos, agua potable y aire limpio para sus ciudadanos⁴⁰.

Para la industria ladrillera se están realizando proyectos a nivel nacional donde el objetivo primordial es minimizar al máximo el impacto causado al medio ambiente por los gases de efecto invernadero, que se producen a lo largo de la fabricación artesanal de los ladrillos, ya que los hornos de fuego dormido son construcciones autóctonas a base de carbón como combustible.

La idea que están tomando algunos departamentos del país es fusionar una gran cantidad de hornos artesanales a una cantidad mínima con tecnología avanzada, reduciendo el alto porcentaje de consumo de carbón y si disminuyendo la emisión de gases efecto invernadero.

De igual manera se busca asesorar y capacitar los trabajadores en el manejo de las nuevas tecnologías para así cumplir con los procedimientos adecuados de manejo de los nuevos hornos minimizando el consumo de combustible.

A nivel local en la vereda de pirgua de la ciudad de Tunja se ha comenzado a realizar una remodelación en los hornos de fuego dormido realizando un túnel y una chimenea con especificaciones dadas por el ente encargado CORPOBOYACÁ para que la extracción de los gases generados por la fabricación de los ladrillos tengan índices de contaminación mínimos.

6.5.1 Reglamentación nacional

³⁹ GALLOPÍN, G. C. (2003). Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. *Cepal*.

⁴⁰ UNESCO. (s.f.). *UNESCO*. Recuperado el 27 de DICIEMBRE de 2016, de <http://www.unesco.org/new/es/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/sustainable-development>

A nivel nacional se conformó la ley 99 de 1993, dando origen al Sistema Nacional Ambiental y a la creación del Ministerio de medio ambiente la cual dio comienzo a un nuevo espacio dedicado al control y protección de los recursos naturales, dando como prioridad el sector minero en cuanto a la extracción y explotación de materiales, de igual manera se encarga de la expedición de las respectivas licencias ambientales. Aunque pese al rigor de la normativa, ha sido de arduo trabajo regular esta industria de primer orden en la construcción. Al igual que desventajas también trajo ventajas como la generación de una cultura de preservación, conciencia y pertenencia por el hábitat⁴¹.

De acuerdo a las posibilidades que da la ley en establecer un control riguroso e instrumentación sobre las actividades que causan daño al medio ambiente se busca que todas las empresas que generan contaminación mitiguen al máximo el daño que están causando y en cuanto a lo anterior; La industria ladrillera no es la excepción en cuanto a altos índices de contaminación ya que genera serios perjuicios al medio ambiente de carácter irreversible.

6.5.2 Regulación ambiental

Son varias las disposiciones de ley que regulan la actividad minera en Colombia, lo que incluye permisos, licencias y autorizaciones, planes de manejo ambiental, control de emisiones, manejo de residuos, etc., con el fin de proteger de manera integral los recursos naturales y procurar que esta industria atenúe el impacto adverso al medio ambiente. Entre las más importantes normas están⁴²:

⁴¹ SILVA, M. S. (2013). impacto ambiental y gestión del riesgo de ladrilleras en la vereda los Gómez de Itagüí. *Cuaderno activa*, 15

⁴² (SILVA 2013)

Tabla 1. Normas Ambientales

Normativa	Aspectos que regula
ley 99 de 1993	Se crea el ministerio de medio ambiente el como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables. Se organiza el Sistema Nacional SINA y se dictan otras disposiciones
ley 715 de 2001	sistema general de participaciones corresponde a los recursos que la nación debe transferir a las entidades territoriales (departamentos, distritos y municipios)
Resolución 909 de 2008	Por la cual se establecen normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2820 del 2010	Por medio del cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 del 1993 sobre licencias ambientales.

Fuente: Autor

7. METODOLOGÍA

La realización de los métodos de ensayo se realizara en dos pasos generales:

7.1. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN:

Se realizara la búsqueda de información en los entes gubernamentales encargados de realizar el seguimiento a la zona alfarera de la ciudad como son la corporación autónoma de Boyacá (CORPOBOYACA), la secretaria de salud de la ciudad, la alcaldía mayor de Tunja y la gobernación de Boyacá.

A las entidades anteriormente nombradas se les pedirá información relacionada con la zona alfarera como la localización de los predios y estudios que se hayan realizado.

En cuanto a localización se buscara obtener las coordenadas de títulos mineros para tener claro el territorio que está ocupando la zona alfarera de Tunja.

En materia de estudios se buscaran trabajos ambientales donde muestre el avance que ha tenido la zona alfarera en minimizar los aportes de emisiones a la atmosfera en los últimos años, de igual manera que la corporación haya expedido la licencia ambiental al dueño del predio; también estructurales donde podamos observar que tipos de hornos se utilizaban hace unos años y cuales están usando hoy en día para la cocción de la materia prima; y minero para observar si todos las personas que se encargan de la extracción y fabricación de ladrillo tolete común cuenta con un título minero que certifique su trabajo.

Para la búsqueda de la información también se realizara una encuesta a los dueños o encargados de las ladrilleras la cual consiste en preguntas básicas. En primer lugar se encuentran dos preguntas: el nombre del encuestado y el nombre del dueño del chircal, seguido de la ubicación del predio y si cuentan con licencia ambiental y título minero en la que deben responder si o no; la sexta pregunta es qué productos se fabrican en la cual tiene cuatro opciones para escoger entre las cuales esta: ladrillo, teja, bloque y ladrillo estructural; la séptima pregunta es qué

tipo de horno utilizan entre la cual hay tres opciones de respuesta: tipo colmena, de llama dormida y otros; en la siguiente casilla se realizara un registro fotográfico y por ultimo habrá una casilla de observaciones.

Luego de haber realizado la encuesta se pedirá a la ladrillera unos testigos para realizar los estudios que se explicaran enseguida. De esta manera se busca tener la mayor cantidad de información sobre la zona alfarera de Tunja para comenzar a realizar los debidos laboratorios a los testigos.

7.2. ANÁLISIS FÍSICOS Y MECÁNICOS

Con la obtención de los testigos se procede a realizar cuatro laboratorios que nos muestren las propiedades del ladrillo tolete común, para la realización de este estudio se tomó como guía base la norma técnica colombiana 4017 “INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA MÉTODOS PARA MUESTREO Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE ARCILLA” y norma técnica colombiana 4205 “UNIDADES DE MAMPOSTERIA DE ARCILLA COCIDA – LADRILLOS Y BLOQUES CERAMICOS”

Antes de realizar los correspondientes laboratorios es necesario tener en cuenta:

Muestreo: los bloques o unidades de mampostería deben ser seleccionados por el comprador o su representante autorizado. Los especímenes deben ser representativos del lote entero de unidades del que se toman, deben estar limpios sin materiales extraños no asociados con su fabricación. De cada lote se deben extraer 10 muestras para la evaluación de medidas, color y efectos superficiales, las mismas que luego deben usarse en dos grupos de 5 unidades para los ensayos de absorción y resistencia a la compresión.

Identificación: cada espécimen debe estar marcado de tal manera que sea fácil de identificar, estas marcas no deben cubrir más del 5% del área superficial del espécimen.

Secado: los especímenes se secan entre 110°C y 115°C, en un horno ventilado, durante 24 horas hasta que el espécimen no pierda peso en dos pesajes sucesivos con intervalos de dos horas. Para realizar los ensayos se utilizan las unidades totalmente frías de lo contrario puede afectar en los resultados.

7.2.1 Tasa inicial de absorción (succión):

7.2.1.1 Cálculos

$$T.I.A = \frac{G}{A} /min$$

Dónde:

T.I.A = tasa inicial de absorción en g/cm²/min

G = diferencia en gramos entre los pesajes inicial y final

A = área neta en contacto con el agua, en cm²⁴³

7.2.2 Ensayo de inmersión durante 24 h

7.2.2.1 Cálculos

$$\% \text{ Absorción} = \frac{100 \times (Ws - Wd)}{Wd}$$

Dónde:

Wd = peso del espécimen seco.

Ws = peso del espécimen saturado⁴⁴.

⁴³INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS NTC. (2005). Norma Técnica Colombiana . En I. C. NTC, *Metodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla NTC 4017* (pág. 13). Bogota D.C.

⁴⁴ (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS NTC 4017 2005).

7.2.3 Módulo de rotura (ensayo de flexión)

7.2.3.1 Procedimiento

Ilustración 8. Ensayo módulo de rotura



Fuente: Autor, 2017

7.2.3.2 Cálculos

$$\text{Módulo de rotura, } MR = \frac{W \times L \times Z}{4 \times I}$$

Dónde:

MR = módulo de rotura en la mitad de la luz, en kgf/ cm², o Pa x 10⁴

W = carga máxima indicada por la máquina de ensayo (carga de rotura) en kgf o N

L = distancia entre los soportes de apoyo, en mm

Z = distancia del eje neutro a la cara más alejada, en mm

I = momento de inercia de la sección, en cm^4 ⁴⁵

7.2.4 Resistencia a la compresión

Las unidades de mampostería de arcilla cocida deben cumplir con la resistencia mínima a la compresión que se especifica en las tablas 1 y 2 cuando se ensayan según el procedimiento descrito en la NTC 4017

Tabla 2 Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural

Tipo	Resistencia mínima a la compresión Pa (Kgf/cm ²)		Absorción de agua máxima en %			
			interior		exterior	
	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad
PH	5,0 (50)	3,5 (35)	13	16	7 a 13,5	14
PV	18,0 (180)	15,0 (150)	13	16	7 a 13,5	14
M	20,0 (200)	15,0 (150)	13	16	7 a 13,5	14

Fuente: Norma Técnica colombiana 4205

Tabla 3 Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural

Tipo	Resistencia mínima a la compresión Pa (Kgf/cm ²)		Absorción de agua máxima en %			
			interior		exterior	
	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad
PH	3,0 (30)	2,0 (20)	17	20	7 a 13,5	14
PV	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20	7 a 13,5	14
M	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20	7 a 13,5	14

Fuente: Norma Técnica colombiana 4205

Nota:

⁴⁵ GARCÍA, N. A., & GÓMEZ, G. G. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 16

Se debe considerar como defecto principal, el no cumplimiento de la resistencia y como efecto secundario el no cumplimiento de la absorción.

7.2.4.1 Cálculos

La resistencia a la compresión de cada espécimen se calcula:

$$\text{Resistencia a la compresión, } C = \frac{W}{A}$$

Dónde:

C = resistencia del espécimen en la compresión, en Kgf/cm² o Pa x 10⁴.

W = carga máxima (de rotura), en Kgf o N, indicada por la máquina de ensayo.

A = promedio del área total de las superficies de soporte superior e inferior en cm²⁴⁶.

⁴⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS NTC. (2005). Norma Técnica Colombiana . En I. C. NTC, *Metodos para muestreo y ensayos de unidades de mamposteria y otros productos de arcilla NTC 4017* (pág. 13). Bogota D.C.

8. ANALISIS DE RESULTADOS

8.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN:

Se acudió a las empresas y corporaciones encargadas de la zona, solicitando acceder a la base de datos con la que ellos cuentan y así lograr ubicar los predios y las personas naturales o jurídicas que están a cargo de ellos, de igual manera corroborar si cuentan con las respectivas licencias ambientales y títulos mineros, esto con el fin de obtener información básica y así realizar una base de datos de las ladrilleras que hacen parte de la investigación.

La corporación autónoma de Boyacá (Corpoboyaca) suministro una base de datos a la que le faltaban registros de los predios y sus respectivos dueños obteniendo una información parcial. Se acudió a la alcaldía mayor de Tunja, a la gobernación de Boyacá, a la secretaria de salud del municipio y a algunas universidades en las que se han realizado estudios de la zona. El resultado de la búsqueda fue infructuoso ya que las entidades anteriormente nombradas no cuentan con la información requerida o por políticas institucionales no se logró acceder a ellas.

Por tal motivo se realizó una encuesta dirigida a los dueños de los predios pidiendo información básica de la empresa. Esta encuesta se realizó anexando una carta de presentación de la universidad santo tomas de Tunja donde se explica que la información pedida se utilizara netamente con fines académicos. Esto para que el encuestado no se sintiera presionado y fuera de mayor facilidad acceder a la información. (Ver anexo 5 encuesta ladrilleras).

En la búsqueda de las personas propietarias de las ladrilleras se presentaron dificultades ya que en las visitas realizadas no se encontraron, por lo cual la encuesta fue realizada a las personas encargadas. Las respuestas dadas fueron corroboradas con el documento entregado por la corporación autónoma de Boyacá (Corpoboyacá). A continuación se muestra la tabla de atributos de cada ladrillera.

Tabla 4. Comparación de resultados entre la encuesta y el archivo entregado por Corpoboyacá

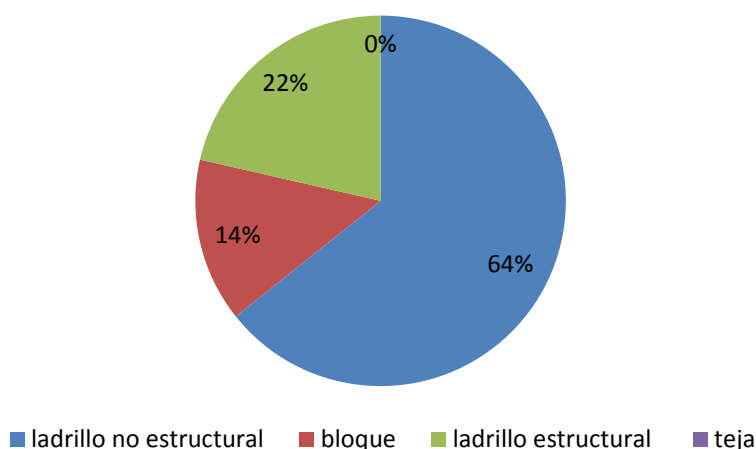
Encuesta #	Nombre	Cedula	Licencia Ambiental encuesta		Licencia ambiental archivo Corpoboyaca			Titulo minero	productos fabricados			
			Si	No	Si	No	Otro		Ladrillo no estructural	Ladrillo estructural	Bloque	Teja
O1	MIGUEL IGUABITA	—	X			X		X		X	X	
O2	JOSE FIDEL CAMARGO	6760104	X			X		X	X			
O3	SEVERO DE JESUS LOPEZ	6760104	X			X		X	X			
O4	RAFAEL CONTRERAS VIASUS	7160930	X			X		X	X			
O5	JOSE SANTOS CUCHIVAGUE	—	X			X		X	X			
O6	SIGIFREDO LOPEZ FAUSTINO	—	X				Inactiva	X	X	X		
O7	MANUEL NEPOMUSENO LOPEZ RINCON	—	X		X			X	X			
O8	GILBERTO TOVAR BAYONA	—	X			X		—	X			
O9	MARIA BOYACÁ	—	X			X		—	X			
O10	JUAN DIEGO CAMARGO	—	X		X			X		X	X	

Fuente: autor, 2017

- De acuerdo a la respuesta de los encuestados el 100% de las ladrilleras encuestadas cuentan con título minero y licencia ambiental. al corroborar esta información con la base de datos suministrada el 20% de los predios cuentan con licencia ambiental y el otro 80% no aparece en la base de datos.
- De las 10 ladrilleras encuestadas existentes en la vereda de pigua (Tunja – Boyacá) se seleccionaron 8 ladrilleras ya que 2 de ellas no producen ladrillo macizo.

Ilustración 9. Materiales fabricados en la vereda de pigua, (Tunja - Boyacá)

MATERIALES REALIZADOS EN PIRGUA

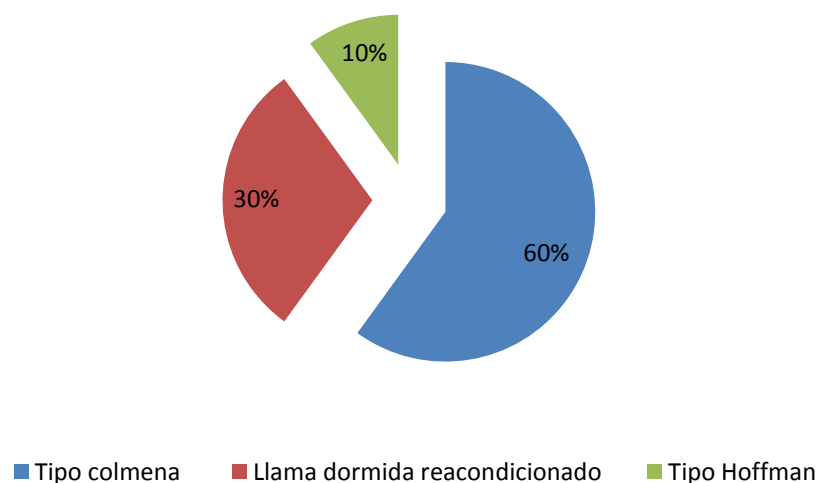


Fuente: autor, 2017

- En cuanto a la realización de caracterización estructural de las muestras cinco de las diez ladrilleras encuestadas realizan laboratorios de compresión; tres realizan tasa inicial de absorción; tres realizan porcentaje de absorción y una realiza laboratorios de flexión.

Ilustración 10. Hornos utilizados en la vereda de pigua, (Tunja Boyacá)

HORNOS UTILIZADOS EN PIRGUA



Fuente: Autor, 2017

Tabla 5. Temperatura y producción en las ladrilleras

Encuesta #	Nombre	Temperatura de cocción (°C)	Producción por hornada	Tipo de horno
O1	MIGUEL IGUABITA	—	—	Hoffman
O2	JOSE FIDEL CAMARGO	1050	45000	Colmena
O3	SEVERO DE JESUS LOPEZ	—	50000	Colmena
O4	RAFAEL CONTRERAS VIASUS	800	20000	Colmena
O5	JOSE SANTOS CUCHIVAGUE	1400	20000	Colmena
O6	SIGIFREDO LOPEZ FAUSTINO	900	29000	Colmena
O7	MANUEL NEPOMUSENO LOPEZ RINCON	—	30000	Llama dormida
O8	GILBERTO TOVAR BAYONA	900	30000	Llama dormida
O9	MARIA BOYACÁ	—	31000	Llama dormida
O10	JUAN DIEGO CAMARGO	900	1200 (KG/DIA)	Colmena

Fuente: autor, 2017

- la producción promedio de ladrillo “tolete común” en la vereda de pigua es de 29.600 unidades por cada quema. En el ítem de temperatura de cocción

el 60% de los encuestados contestaron que los hornos que poseen las empresas realizan la cocción de las unidades a una temperatura entre los 900 °C a 1000 °C; el restante 40% no contaba con el conocimiento por lo que no contestaron nada en ese ítem.

- Las entidades de control encargadas de verificar y que se cumplan todos los requerimientos técnicos como corpoboyacá y la agencia minera nacional entre otros realizan en promedio 6 visitas anuales.
- En cuanto a la cantidad de trabajadores por ladrillera varía de acuerdo a la época del año ya que una gran parte de los trabajadores realiza otras actividades en las diferentes empresas de la zona volviendo el trabajo en las ladrilleras como ocasional, generando una baja en la calidad de los productos ya que no se cuenta con mano de obra especializada en este campo.

8.2. ANALISIS FISICO Y MECANICO DE LAS MUESTRAS

8.2.1 Tasa inicial de absorción

La tasa inicial de absorción es la absorción capilar que tienen las unidades secas, medida durante 1 minuto y se expresa en unidades de g/cm²/min. En el siguiente cuadro se muestran los valores que especifica la NTC4205 para su debido prehumedecimiento.

Tabla 6 Tasa Inicial de Absorción

Tasa inicial de absorción g/cm²/min	Tiempo recomendado de pre humedecimiento
< 0,10	5 min
< 0,15	1 h
< 0,25	24 h

Fuente: Norma Técnica colombiana 4205

De acuerdo a lo estipulado en la normativa colombiana NTC4205 y NTC4017 se realizan los cálculos para cada una de las muestras de las ladrilleras.

Tabla 7 T.I.A. para muestra O2

Muestra	O2					
	Ladrillo 1	Ladrillo 2	Ladrillo 3	Ladrillo 4	Ladrillo 5	Ladrillo 6
Peso seco (gr)	2706,3	2744,9	2719,9	2748	2690	2754,2
Peso húmedo (gr)	2763,7	2799,4	2772,7	2783,8	2737,8	2818,3
Área (cm2)	222,6	221,55	223,66	220,32	218,4	219,39
Diferencia (gr)	57,4	54,5	52,8	35,8	47,8	64,1
TIA (g/cm2/min)	0,258	0,246	0,236	0,162	0,219	0,292
TIA Promedio	0,236 (g/cm2/min)					

Fuente: Autor

Para la muestra O2, ladrillera a cargo del señor José Fidel Camargo ubicada en la vereda de pirgua sector la cascada, se obtuvo una tasa inicial de absorción de 0,236 g/cm2/min, que de acuerdo a la tabla 4 se deben sumergir las unidades de mampostería por un tiempo de 24 horas.

Los estudios de laboratorio y respectivos cálculos se realizaron para cada una de las muestras que se obtuvieron en las ladrilleras de la vereda de pirgua los cuales se pueden observar en el anexo 2

En la siguiente tabla se muestra el consolidado de los resultados obtenido para cada una de las ladrilleras evaluadas:

Tabla 8 Consolidado de resultados promedio T.I.A.

Muestra	T.I.A. (g/cm2/min)	Tiempo 5 min (g/cm2/min)	Tiempo 1 H (g/cm2/min)	Tiempo 24 H (g/cm2/min)
O2	0,236	0,1	0,15	0,25
O3	0,242			
O4	0,292			

Muestra	T.I.A. (g/cm ² /min)	Tiempo 5 min (g/cm ² /min)	Tiempo 1 H (g/cm ² /min)	Tiempo 24 H (g/cm ² /min)
O5	0,292			
O6	0,099			
O7	0,281			
O8	0,194			
O9	0,221			
Promedio	0,232			

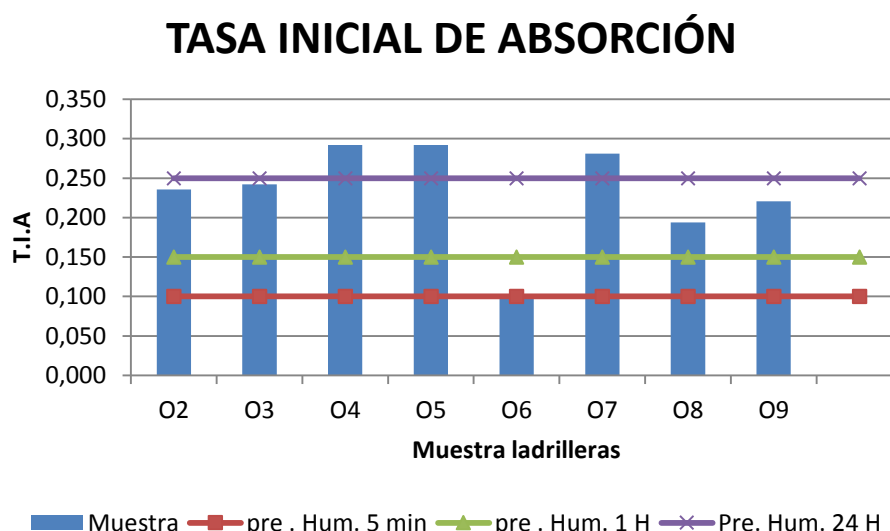
Fuente: autor, 2017

Como se puede observar en la tabla, el promedio general de las muestras para la tasa inicial de absorción es de 0,223 g/cm²/min, donde las muestras de las de las ladrilleras O4 y O5 las cuales están a cargo de Rafael Contreras y José Santos Cuchivague tienen los valores más altos con 0,292 g/cm²/min que de acuerdo a la tabla 3 tasa inicial de absorción las unidades de mampostería deben tener un pre-humedecimiento de 24 horas.

En cuanto a valores mínimos se encuentra la muestra O6, ladrillera el sol a cargo del señor Sigfredo López que dio como resultado una TIA de 0,099 g/cm²/min que de acuerdo a la tabla 6 Tasa inicial de absorción debe tener un pre-humedecimiento de 5 minutos.

A nivel general el 87 % de las muestras obtenidas de las ladrilleras de la vereda de pirgua de la ciudad de Tunja de acuerdo a la normativa es necesario realizar pre-humedecimiento de 24 horas. Así mismo el 13 % restante requiere pre-humedecimiento de 5 minutos ya que una vez las unidades entren en contacto con el mortero de pega este se adhiera sin que la unidad de mampostería afecte las condiciones de resistencia le la mezcla.

Ilustración 11 Porcentaje Tasa Inicial de Absorción



Fuente: autor, 2017

De acuerdo a la normativa cuando se tengan valores de absorción mayores que los anotados en la tabla 6, se debe vigilar el cumplimiento de los requisitos de absorción y resistencia, y diseñar los morteros de pega y tiempos de prehumedecimiento apropiados⁴⁷.

8.2.2 Ensayo de inmersión durante 24 horas

Con los resultados de este ensayo podemos analizar el porcentaje de absorción que tienen las unidades de ladrillo común para cada ladrillera. A continuación se mostrara en la tabla el procedimiento que se realizó para la obtención de los resultados.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{100 * (ws - wd)}{wd}$$

Dónde:

⁴⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS NTC. (2000). Norma Técnica Colombiana . En I. C. NTC, *Unidades de mampostería de arcilla cosida, ladrillos y bloques ceramicos NTC 4205* (pág. 12). Bogota D.C.

Ws = peso del espécimen saturado luego de inmersión en agua fría.

Wd = peso seco del espécimen.

Tabla 9 Porcentaje de absorción muestra O3

MUESTRA 03						
Propiedad	Ladrillo 1	Ladrillo 2	Ladrillo 3	Ladrillo 4	Ladrillo 5	Ladrillo 6
wd (gr)	2,546	2,612	2,496	2,598	2,714	2,62
ws (gr)	2,95	2,872	2,8	2,854	3,032	2,872
% absorción	15,868	9,954	12,179	9,854	11,717	9,618
Promedio (%)	11,532					

Fuente: autor.

De acuerdo a lo estipulado en la norma técnica colombiana 4205 en general las unidades de mampostería no deben tener absorciones inferiores al 5% en promedio, ni superficies vidriadas o esmaltadas en las caras en que se asientan o en las que se vallan a pañetar, de igual manera las unidades a ensayar se entregaran por los propietarios o encargados de las ladrilleras de manera aleatoria⁴⁸. A continuación se mostrara en la tabla los valores promedios de porcentaje de absorción para cada una de las muestras de las ladrilleras. El análisis completo de cada ladrillera se puede observar en el anexo 1 del presente documento.

Tabla 10 Porcentaje de absorción promedio

Muestra	% Absorción Ladrilleras	Interior (%) - Norma		Exterior (%) - Norma		
		Prom 5	Unidad	Prom 5		Unidad
O2	14%	17%	20%	7%	13,5%	14%
O3	12%	17%	20%	7%	13,5%	14%
O4	10%	17%	20%	7%	13,5%	14%
O5	14%	17%	20%	7%	13,5%	14%
O6	8%	17%	20%	7%	13,5%	14%
O7	16%	17%	20%	7%	13,5%	14%

⁴⁸ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS NTC. (2000). Norma Técnica Colombiana . En I. C. NTC, *Unidades de mampostería de arcilla cosida, ladrillos y bloques ceramicos NTC 4205* (pág. 12). Bogota D.C.

Muestra	% Absorción Ladrilleras	Interior (%) - Norma		Exterior (%) - Norma		
		Prom 5	Unidad	Prom 5		Unidad
O8	14%	17%	20%	7%	13,5%	14%
O9	13%	17%	20%	7%	13,5%	14%

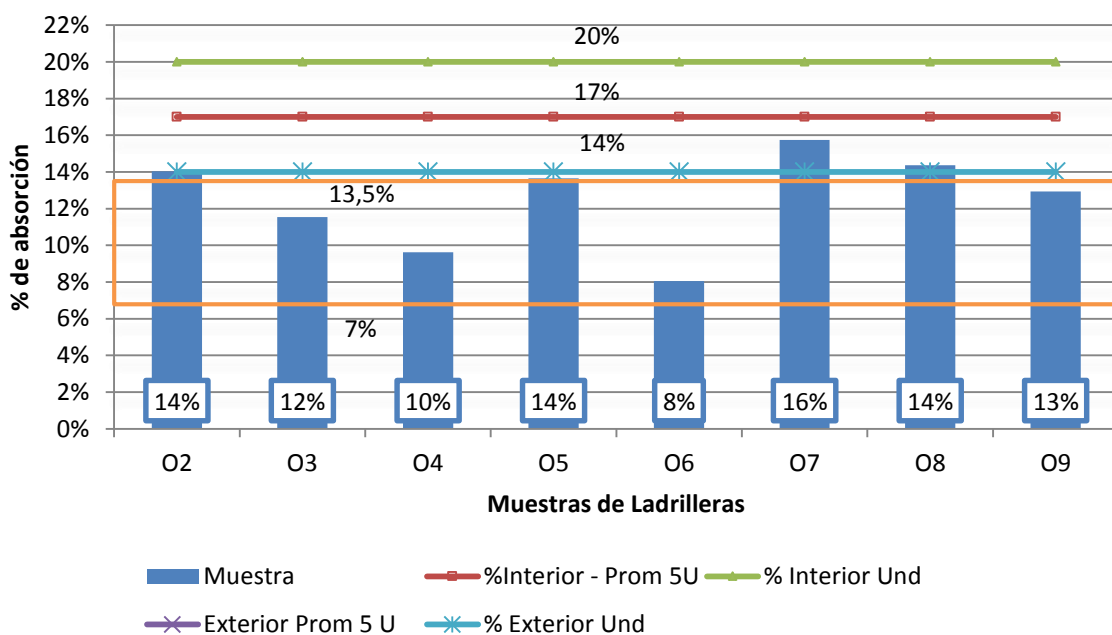
Fuente: autor.

Como se puede observar en la tabla todas las ladrilleras ensayadas cumplen con la regla dada por la normativa ya que superan el 5% de porcentaje de absorción.

De acuerdo a la tabla anterior todas las unidades ensayadas cumplen para uso interior ya que ninguna ladrillera supera el 20% de absorción de agua. Caso contrario se presenta para exteriores.

Ilustración 12. Porcentaje de absorción promedio

% Absorción Unidades de Mampostería



Fuente: autor

Donde el 63% de las ladrilleras cumple para que sus unidades de mampostería “tolete común” sean utilizadas en exteriores y el 37% restante solo cumple para uso en interiores.

8.2.3 Módulo de rotura

Es la resistencia máxima determinada en un ensayo de flexión o torsión. En un ensayo de flexión, el módulo de rotura en la flexión es el esfuerzo máximo en la fibra cuando se produce el fallo.

El módulo de rotura equivale del 10 al 30 % de la resistencia la compresión, de acuerdo a la tabla 2 “propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural” para cada unidad la resistencia a la compresión debe tener un valor mínimo de 10 Pa lo cual equivale a 1 Pa como valor mínimo para el módulo de rotura⁴⁹.

Para la obtención del módulo de rotura se trabajó con la formula dispuesta en el artículo “propiedades físicas y mecánicas de ladrillos cerámicos para mampostería”⁵⁰ dando como resultado:

$$\text{modulo de rotura } MR = \frac{W * L * Z}{4 * I} \sigma \quad 3W * \left(\frac{l}{2} - x\right) / bd^2$$

Dónde:

$MR = \text{modulo de rotura en la mitad de la luz, en, o } Pa \times 10^4$

$W = \text{carga maxima indicada por la maquina de ensayo (carga de rotura) en } Kgf$

$L = \text{distancia entre los soportes de apoyo en cm}$

⁴⁹ TAKEUCHI, C. (2007). *Comportamiento en la mampostería estructural*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

⁵⁰ GARCÍA, N. A., & GÓMEZ, G. G. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 16.

Z = distancia del eje neutro a la cara mas alejada en cm

b = ancho de la muestra en cm

d = alto de la muestra en cm

Tabla 11 Módulo de rotura para muestra número O2

Muestra	O2		
	Ladrillo 1	Ladrillo 2	Ladrillo 3
w (Kgf)	564	845	262
L (cm)	17,6	17,6	17,6
x (cm)	3,35	3,3	3,4
b (cm)	10,8	10,4	10,4
d (cm)	6,7	6,6	6,8
b*d2 (cm2)	484,812	453,024	480,896
MR (Kgf/cm2)	19,021	30,777	8,826
MR promedio (Kgf/cm2)	19,541		

Fuente: autor

El resultado en MPa para la muestra número O2 es de 1,954. Este procedimiento se realizó para cada una de las ladrilleras evaluadas. Los resultados obtenidos se muestran en el anexo 4

La tabla de resultados generales del ensayo se muestra a continuación con su respectivo gráfico:

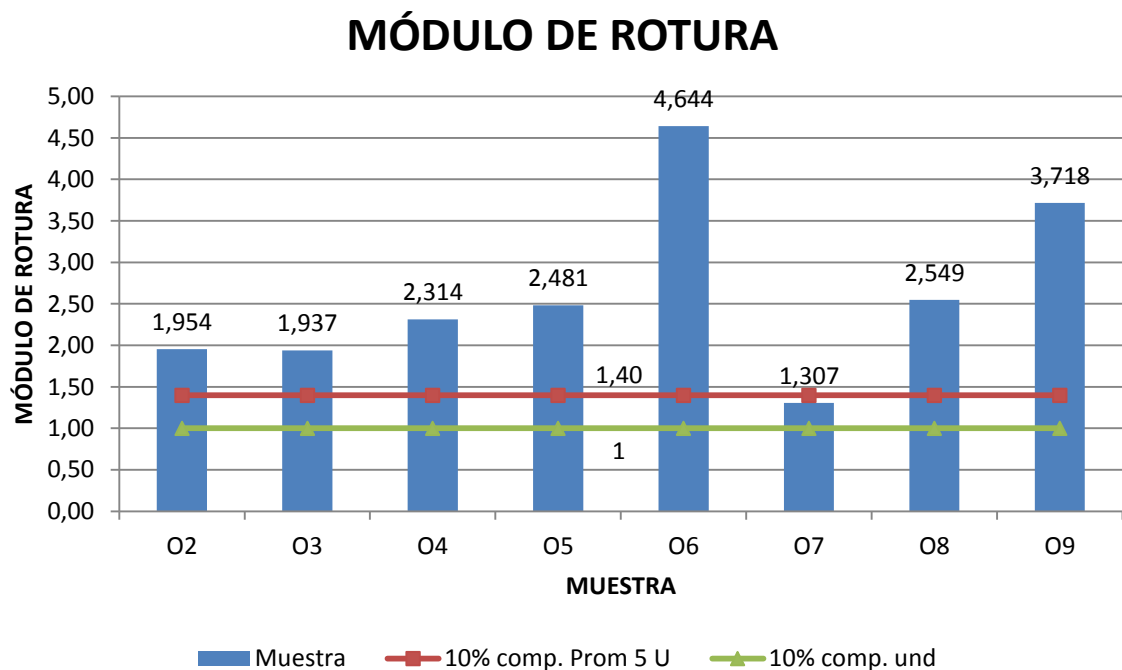
Tabla 12 Resultados promedio Módulo de Rotura para cada ladrillera

MODULO DE ROTURA			10% COMP NO ESTRUCTURAL - NORMA	
Muestra	MR (Kgf/cm2)	MR (Pa)	Prom 5 U (Pa)	Unidad (Pa)
O2	19,541	1,954	1,40	1
O3	19,372	1,937	1,40	1
O4	23,138	2,314	1,40	1

MODULO DE ROTURA			10% COMP NO ESTRUCTURAL - NORMA	
O5	24,811	2,481	1,40	1
O6	46,437	4,644	1,40	1
O7	13,065	1,307	1,40	1
O8	25,492	2,549	1,40	1
O9	37,177	3,718	1,40	1

Fuente: autor

Ilustración 13. Modulo de rotura



Fuente: autor

Como se puede observar en el grafico anterior la muestra número O6 perteneciente a la ladrillera el sol obtiene los resultados más altos con 4,64 MPa, por lo contrario la muestra O7 correspondiente a la ladrillera en propiedad del señor Jorge A. Unrriza tiene el resultado más bajo con 1,307 MPa estando en el límite de cumplimiento con lo dicho en el libro de “propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural”.

Con los resultados obtenidos se puede concluir que todas las ladrilleras ensayadas cumplen con el valor mínimo exigido de 10% del valor mínimo de la resistencia a la compresión para unidades de mampostería no estructural la cual es de 10 MPa por lo tanto se deduce que todas las ladrilleras ensayadas cumplen con el módulo de rotura requerido para garantizar un buen comportamiento a la hora de ser utilizado.

8.2.4 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión de ladrillo de arcilla, f'_{cu} , se usa como control de calidad en su elaboración (dosificación de los materiales, temperatura y tiempo de horneado) con el fin de conocer la calidad de los materiales y la materia prima utilizada en la fabricación de la unidad, esto permite estimar la resistencia a la compresión de la mampostería f'_m , a partir de fórmulas que relacionan las propiedades de la unidad y los morteros⁵¹.

Las unidades de mampostería ensayadas deben cumplir con la resistencia mínima a la compresión indicada en las tablas 1 y 2 del documento y de igual manera estas se encuentran en la norma NTC 4205 para lo cual se realizaron los ensayos correspondientes a las muestras obtenidas en las ladrilleras.

Para el cálculo de resultados se utilizó la formula encontrada en el numeral 6,4 de la norma técnica colombiana NTC 4017 en donde:

$$\text{Resistencia a la compresion, } C = \frac{W}{A}$$

Dónde:

C = resistencia del espécimen a la compresión

W = carga máxima.

⁵¹ TAKEUCHI, C. (2007). *Comportamiento en la mampostería estructural*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia

A = promedio del área total de las superficies de soporte superior e inferior⁵².

Tabla 13 Resistencia a la compresión para la muestra O8

Muestra O8			
Propiedades	Ladrillo 1	Ladrillo 2	Ladrillo 3
W (Kgf)	13018	12601	12243
B (cm)	20,2	20,5	20,2
L (cm)	10,2	10,4	10,3
C (Kgf/cm ²)	63,182	59,104	58,844
C prom (Kgf/cm ²)	60,377		

Fuente: autor

EL procedimiento anterior se realizó para cada una de las ladrilleras. Los resultados individuales se pueden observar en el anexo 3.

Tabla 14 Resultados generales del ensayo de resistencia a la compresión para cada una de las ladrilleras

RESISTENCIA A LA COMPRESION PA			
Muestra N°	Valor (PA)	Valor mínimo requerido prom 5U (PA)	Valor mínimo requerido und. (PA)
O2	13,972	14	10
O3	9,079	14	10
O4	11,956	14	10
O5	6,165	14	10
O6	15,133	14	10
O7	8,061	14	10
O8	6,038	14	10
O9	6,695	14	10

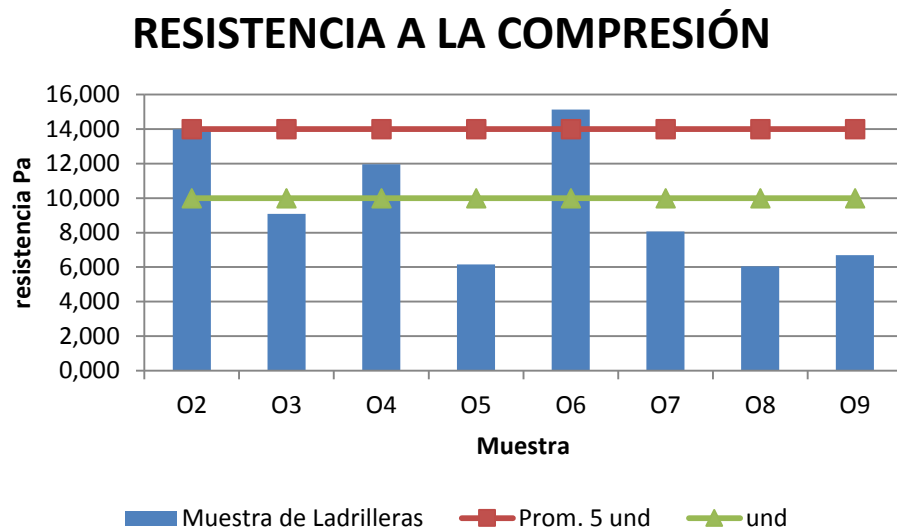
Fuente: autor.

De acuerdo a lo expuesto en la tabla 2 y en siguiente gráfico, solo el 37,5 por ciento de las ladrilleras ensayadas en la vereda de pigua de la ciudad de Tunja

⁵² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS NTC. (2005). Norma Técnica Colombiana . En I. C. NTC, *Metodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla NTC 4017* (pág. 13). Bogota D.C.

cumplen con el valor mínimo de resistencia a la compresión estipulado en la NTC 4205, tabla 2. Para unidades de mampostería no estructural, encontrando como valor máximo el de la muestra O6 con 15,133 PA de resistencia y como valor mínimo la muestra O8 con solo 6,038 PA de resistencia.

Ilustración 14 Valores mínimos de resistencia a la compresión



Fuente: autor

9. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los valores obtenidos en la tasa inicial de absorción (T.I.A) en tres de las ocho ladrilleras evaluadas es necesario vigilar el cumplimiento de los requisitos de absorción, resistencia, diseño de los morteros de pega y tiempos de pre-humedecimiento apropiados ya que los valores obtenidos superan $0,250 \text{ g/cm}^2 / \text{min}$; valor máximo exigido por la norma técnica colombiana.
- El ensayo de compresión a las unidades entregadas por las ladrilleras arrojó resultados muy bajos, en donde dos de las ocho ladrilleras evaluadas cumplen para compresión promedio de 5 unidades (14 Pa) y tres ladrilleras cumplen con la resistencia requerida por unidad (10 Pa). haciendo un llamado de atención a los propietarios de las ladrilleras con el fin de evitar posibles sanciones de los entes de control encargados del cumplimiento.
- Con la realización de las encuestas se elevó el nivel en el desarrollo de la investigación toda vez que ocho de las diez ladrilleras encuestadas fueron seleccionadas por la fabricación de “ladrillo macizo o tolete común”. De igual manera se obtuvieron datos como: título minero, licencia ambiental y productos fabricados; los cuales complementaron la información solicitada por los entes de control.
- Los entes a cargo del control de las ladrilleras ubicadas en la vereda de Pirgua Tunja-Boyacá, como la Alcaldía Municipal de Tunja, la secretaria de salud y la corporación autónoma de Boyacá, suministraron una base de datos incompleta en donde no se encontraban datos básicos de las empresas como los tipos de hornos usados o que productos fabrican, dificultando la comprobación de las respuestas dadas por las personas encuestadas.

- Con el ánimo de fortalecer el sector alfarero de la vereda de Pirgua, Tunja – Boyacá se requiere el apoyo y colaboración directo del estado ya que únicamente se encarga de la parte ambiental y de la expedición de licencias; dejando de lado el control de calidad de los productos ofrecidos y la capacidad humana de las personas que allí laboran.

10. BIBLIOGRAFIA

- B, Kaushik Hemant, y Durgesh C. «Stress-strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression.» *Journal of materials in civil engineering ASCE.*, 2007: 728-739.
- BENAVIDES, E. O. «Informe de caracterización y asesoría técnica para realizar el mejoramiento, acondicionamiento y manejo de hornos para cerámica en los municipios de Planeta Rica, Ciénaga de Oro y Momil, departamento de Córdoba, República de Colom.» 2006.
- Boyacá, Corporación autonoma de. «Corpoboyaca.» 23 de abril de 2014.
http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/Resolucion_0742_2014.pdf (último acceso: 02 de diciembre de 2016).
- CASTELLAR, Luis Felipe Aguirre, y Alfredo Andrés Arrieta TORRES. «Estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados en la restauración de edificaciones de tipología colonial y republicano en la ciudad de Cartagena.» 2014.
- CASTILLO, Oscar A Rojas, y Nelson Eduardo Rodriguez MONTAÑA.
«Características de hornos para productos ceramicos del parque minero industrial El Mochuelo, localidad 19 de Bogotá D.C.» *CON-CIENCIAS*, 2004: 8.
- CORPOBOYACÁ. «Decreto municipal 0241 de 2014.» Tunja, 2014.
- CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL, CAR. «programa de sensibilización sanitario ambiental para la pyme del area de jurisdicción de la CAR, guia ambiental pequeñas ladrilleras .» Bogota , 2000.
- CULQUECHICON, Thalila Judith. «Comportamiento fisico-mecánico del ladrillo de concreto tipoIV.» 2016.
- CULTRONE, Giuseppe. «Estudio mineralógico- petrográfico y físico-mecánico de ladrillos macizos para su aplicación en intervenciones del patrimonio histórico.» *Universidad de Granada*, 2013.
- DIAZ, Jorge Alberto Galindo, Andrés Mauricio MUÑOZ, y Marisol Caicedo MUÑOZ. «Caracterizacion de los ladrillos constitutivos de un puente historico en Popayan (COLOMBIA).» *Ingeniería e investigación*, 2008: 7.

- EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS, EELA. «PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS DE AMERICA LATINA PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMATICO, “Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera”.» 2015.
- FERNÁNDEZ, Montiel M, y Alanís J F. «Estudios de Factibilidad para Plantas de Gasificación de Carbón y de Combustóleo Integradas a Ciclos Combinados.» 1994.
- GALINDO, Jorge, Jairo PAREDES, y andrés MUÑOZ. «Estudio y Caracterizacion de los ladrillos de un puente historico en buga (VALLE DEL CAUCA).» *facultad de ingenieria universidad de antioquia*, 2009: 11.
- GALLOPÍN, Gilberto C. «Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico.» *Cepal*, 2003.
- GÁLVES, F. Pérez, y C. Rodriguez, P. Rubio LIÑARÍ. «Determinacion de las características mecanicas de los muros de fabrica de ladrillo en la arquitectura doméstica sevillana de los siglos XVIII Y XIX.» *Informes de la construccion*, 2008: 10.
- GARCÍA, Eddy González, y Liliana Lizárraga MENDIOLA. «Evaluacion de las propiedades fisico mecánicas de ladrillos de arcilla recocida, elaborados con incorporacion de residuos agrícolas, caso chiapas, mexico.» 2015: 11.
- GARCÍA, Nelson Afanador, y Gustavo Guerrero GÓMEZ. «Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería.» *Ciencia e Ingenieria Neogranadina*, 2012: 16.
- GENTILI, Geraldin Alejandra Carvajalino, y Jahaira Patricia Hernandez PALLARES. «Eestudio de las propiedades físicas y mecánicas de los bloques H-10 utilizados en el municipio de Ocaña .» Ocaña, 2014.
- GIL, Ana Yanet Sánchez, y Fredy Yadir Mejía ANGARITA. «Análisis de los esfuerzos de compresion en unidades de mamposteria estructural y muretes E-9, E- 11 Y E -14 de una empresa ladrillera de santander.» 2009.
- IGAG. *instituto geografico agustin codazzi*. 10 de junio de 2015.
<http://noticias.igac.gov.co/en-los-ultimos-15-anos-el-numero-de-predios-urbanos-en-tunja-se-ha-incrementado-en-mas-del-60-por-ciento/> (último acceso: 20 de diciembre de 2016).

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS NTC 4017. «Norma Técnica Colombiana.» En *Metodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla NTC 4017*, de INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS NTC, 13. Bogotá D.C., 2005.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS NTC 4205. «Norma Técnica Colombiana.» En *Unidades de mampostería de arcilla cosida, ladrillos y bloques ceramicos NTC 4205*, de INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS NTC, 12. Bogotá D.C., 2000.
- Instituto Geografico Agustin Codazzi. *Instituto Geografico Agustin Codazzi*. 10 de junio de 2105. <http://noticias.igac.gov.co/en-los-ultimos-15-anos-el-numero-de-predios-urbanos-en-tunja-se-ha-incrementado-en-mas-del-60-por-ciento/> (último acceso: 16 de diciembre de 2016).
- Ministerio de Comercio, Industria y Tturismo . «Caracterización de los hornos usados en la industria ladrillera.» bogota, 2011.
- RINCON, Sandra Milena Rozo, Jorge Sánchez MOLINA, y Diana Álvarez ROZO. «Propiedades físico mecánicas de bloques H10 fabricados en el área metropolitana de cúcuta.» *ciencia e ingeniería neogranadina*, 2014: 12.
- ROCHA, Jose Antonio Esparza, Laura Silvia Gonzáles VALDÉS, y Rene Payán GONZÁLES. «Diseño de ladrillos refractarios (K-26) para construccion de obradores en la ciudad de durango.» *Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional*, 2002: 11.
- RODRÍGUEZ, Rafael Rojas, Obed Cortés ABURTO, y Carlos Marin DÁVILA. «Perspectivas de Automatización del proceso de fabricación de ladrillo rojo en la región de Cholula, Puebla.» *ResearchGate*, 2015: 10.
- SERVICIO NACIONAL DE APRENDEZAJE, SENA. «Estudio de caracterización de la industria de la arcilla, mesa sectorial de minería.» 2003.
- SILVA, Mauricio Sanchez. «impacto ambiental y gestión del riesgo de ladrilleras en la vereda los Gómez de Itagüí.» *Cuaderno activa*, 2013: 15.
- SWISSCONTACT, Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico. «Manual de capacitación sector ladrillero en américa latina.» (CCAC) 2016.
- TAKEUCHI, C. *Comportamiento en la mampostería estructural*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2007.

UNESCO. *UNESCO*. s.f. <http://www.unesco.org/new/es/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/sustainable-development> (último acceso: 27 de DICIEMBRE de 2016).

ANEXOS

Anexo 1: Ensayo de inmersión durante 24 horas.

Anexo 2: Tasa inicial de absorción.

Anexo 3: Resistencia a la compresión.

Anexo 4: Módulo de rotura.

Anexo 5: encuesta ladrilleras

Anexo 6: fuente de emisiones y licencias ambientales