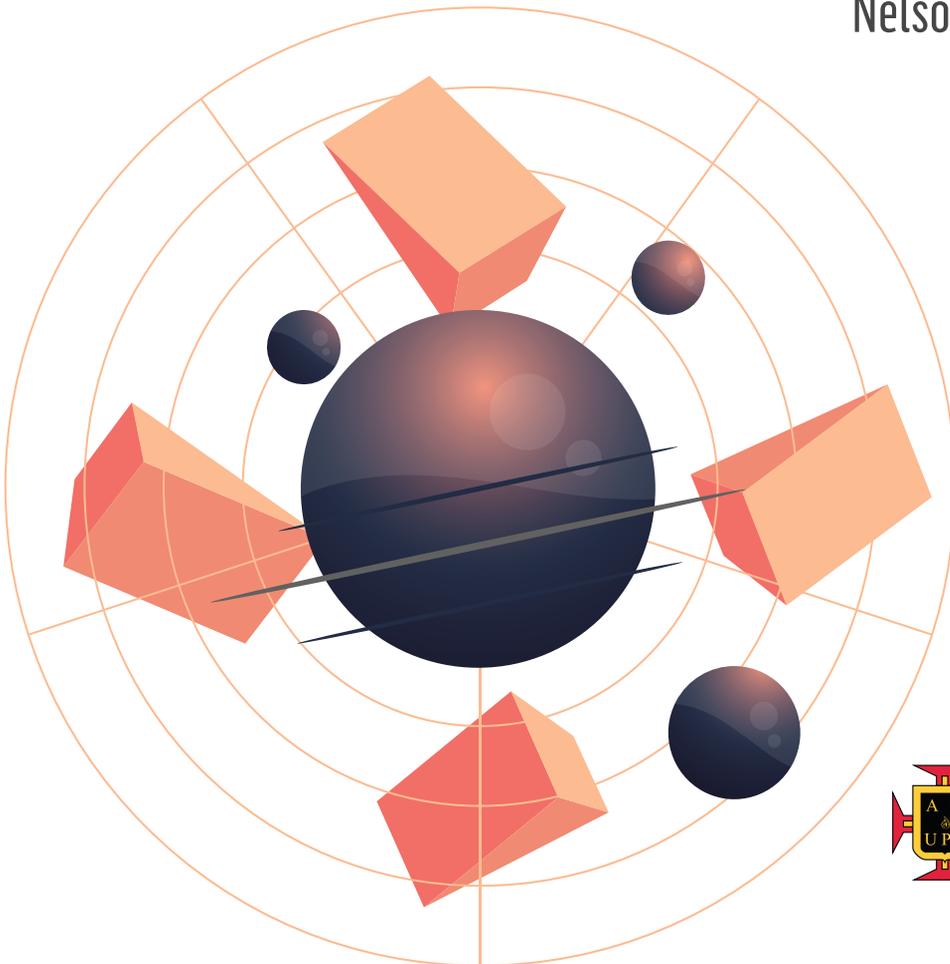


¿CÓMO INFLUYEN LAS MALAS PRÁCTICAS EN LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS CERÁMICOS?

Gustavo Guerrero Gómez

Carlos Humberto Acevedo Peñaloza

Nelson Escobar Mora



Universidad
Pontificia
Bolivariana



Gustavo
Guerrero Gómez

Ingeniero mecánico de la Universidad Francisco de Paula Santander, Especialista en Práctica Docente de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Magíster en Sistemas Energéticos Avanzados de la Universidad de Santander Bucaramanga.

Profesor Asistente de la Universidad Francisco de Paula Santander, desempeñando cargos como Coordinador Plan de Estudios de Ingeniería Mecánica, Jefe de Departamento Ingeniería Mecánica y Coordinador de Bienestar Universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, ha impartido las cátedras: Estática, Dinámica, Resistencia de materiales, Diseño de Máquinas, Mecánica de Fluidos, Máquinas Hidráulicas y Transferencia de Calor. Es autor de varios artículos y ponente en eventos nacionales e internacionales y miembro del grupo de investigación en Tecnología y Desarrollo en Ingeniería GITYD de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, categoría B.



Carlos Humberto
Acevedo Peñaloza

Ingeniero mecánico de la Universidad Francisco de Paula Santander, Magíster en Ingeniería Mecánica de la Universidad de los Andes (Bogotá D.Colombia) Diplomado en elementos finitos de la Universidad Oscar Luecro Moya (Holguín—Cuba) y Doctor en In-

geniería Mecánica de la Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona—España).

Profesor titular de la Universidad Francisco de Paula Santander, con más de 20 años de experiencia, ha impartido las cátedras: Estática, Dinámica, Resistencia de materiales, Mecánica de Fluidos, Diseño de Máquinas y Teoría de vibraciones. Es autor de varios artículos y ponente en eventos nacionales e internacionales y miembro del grupo de investigación Diseño Mecánico y Mantenimiento de la Universidad Francisco de Paula Santander, categoría A.



Nelson Javier
Escobar Mora

Ingeniero mecánico de la Universidad INCCA de Colombia, Magíster en Ingeniería Mecánica de la Universidad de los Andes Bogotá D.C.

Profesor titular de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín e Investigador Senior de Colciencias, con más de 15 años de experiencia se ha desempeñado como Director de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Montería, Coordinador del Grupo de Investigación en Bioingeniería, Líder de la Línea de Ingeniería Clínica y actualmente Coordinador de los Laboratorios de Ingeniería Química y de Operaciones Unitarias de la Universidad Pontificia Bolivariana, ha impartido las cátedras: Física, Dibujo Técnico, Mecánica de Fluidos y Reología, Termodinámica, Uso Racional de la Energía, Refrigeración y Aire acondicionado, Transferencia de Calor, Diseño de Equipos. Es autor y coautor de varios artículos y ponente en eventos nacionales e internacionales y miembro del Grupo de investigación en Bioingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana, categoría B.

¿CÓMO INFLUYEN LAS MALAS PRÁCTICAS EN LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS CERÁMICOS?

Gustavo Guerrero Gómez
Carlos Humberto Acevedo Peñaloza
Nelson Escobar Mora

738.12
6934

Guerrero Gómez, Gustavo, autor
¿Cómo influyen las malas prácticas en la calidad de los productos cerámicos? /
Gustavo Guerrero Gómez, Carlos Humberto Acevedo Peñaloza y Nelson Escobar
Mora-- Medellín : UPB, 2018. -- 92 p. : 19 x 24 cm.
ISBN: 978-958-764-564-4

1. Productos cerámicos -- Producción -- 2. Buenas prácticas manufactureras -- 3.
Mampostería -- I. Acevedo Peñaloza, Carlos Humberto, autor -- II. Escobar Mora,
Nelson, autor -- III. Título

CO-MdUPB / spa / rda
SCDD 21 / Cutter-Sanborn

© Gustavo Guerrero Gómez
© Carlos Humberto Acevedo Peñaloza
© Nelson Escobar Mora
© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana
Vigilada Mineducación

¿Cómo influyen las malas prácticas en la calidad de los productos cerámicos?

ISBN: 978-958-764-564-4
Primera edición, 2018
Escuela de Ingenierías
Facultad de Ingeniería Química

Gran Canciller UPB y Arzobispo de Medellín: Mons. Ricardo Tobón Restrepo

Rector General: Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda

Vicerrector Académico: Álvaro Gómez Fernández

Decano Escuela de Ingenierías: Roberto Carlos Hincapié Reyes

Editor: Juan Carlos Rodas Montoya

Coordinación de Producción: Ana Milena Gómez Correa

Diagramación: Geovany Snehider Serna Velásquez

Corrección de Estilo: Natalia Uribe

Dirección Editorial
Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2018
E-mail: editorial@upb.edu.co
www.upb.edu.co
Telefax: (57)(4) 354 4565
A.A. 56006 - Medellín - Colombia

Radicado: 1692-05-04-18

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito, sin la autorización
escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

Tabla de contenido

Introducción.....	11
1. Marco legal.....	13
1.1 Norma técnica colombiana NTC 4017	13
1.2 Norma técnica colombiana NTC4205	14
2. Marco conceptual.....	15
2.1 Descripción del proceso productivo.....	15
2.2 Producción de materiales cerámicos.....	16
2.3 Proceso de cocción.....	16
2.3.1 Caldeo	16
2.3.2 Precocido	16
2.4 Etapa final de cocción	16
2.4.1 Etapa de vitrificación	17
2.4.2 Etapa de enfriamiento.....	17
2.5 Control de calidad del producto cocido.....	18
2.5.1 Absorción de agua o densidad del producto.....	18
2.5.2 Resistencia mecánica.....	18
2.6 Estado actual	19
3. Problemática en la industria de la arcilla en Ocaña	23
4. Antecedentes del problema.....	25
4.1 Marco contextual.....	25
5. Descripción de las ladrilleras seleccionadas.....	27
5.1 Descripción ladrillera El Recreo 2.....	27
5.1.1 Proceso de producción.....	28

5.2	Descripción de la ladrillera Ocaña	30
5.2.1	Proceso de producción.....	31
6.	Pruebas a los productos en el marco de la norma NTC 4017	35
6.1	Ensayos de unidades de mampostería y bloques de arcilla	35
6.1.1	Ensayo "tasa de absorción inicial"	36
6.1.2	Ensayo "inmersión durante 24 horas"	44
6.1.3	Ensayo "resistencia a la compresión"	52
6.1.4	Ensayo "módulo de rotura o flexión"	58
6.1.5	Ensayo "tasa de absorción inicial"	70
6.1.6	Ensayo "inmersión durante 24 horas"	71
6.1.7	Ensayo "resistencia a la compresión"	71
6.1.8	Ensayo "módulo de rotura o flexión"	71
6.1.9	Análisis estadístico en los ensayos de unidades de mampostería de bloques de arcilla.....	72
6.1.10	Regresión lineal entre la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"	72
6.1.11	Regresión inversa-cuadrado a la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"	76
6.1.12	Regresión lineal entre la variable dependiente "módulo de rotura" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"	78
6.1.13	Regresión cuadrada-inversa a la variable dependiente "módulo de rotura" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"	80
6.1.14	Regresión lineal entre la variable dependiente "inmersión durante 24 horas" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"	82
7.	Análisis y síntesis.....	85
8.	Referencias	89

Lista de figuras

Figura 1.	Horno ladrillera El Recreo 2.....	28
Figura 2.	Preparación de la arcilla.....	28
Figura 3.	Moldeo del ladrillo	28
Figura 4.	Secado de los ladrillos	29
Figura 5.	Cargue del ladrillo y combustible.....	29
Figura 6.	Sellado de la puerta de cargue y descargue de productos	30
Figura 7.	Esquema horno Hoffman	30
Figura 8.	Banda transportadora	31
Figura 9.	Desterronador	31
Figura 10.	Amasadora.....	31
Figura 11.	Cortadora automática	32
Figura 12.	Configuración apile de bloques.....	33
Figura 13.	Puerta de cargue y descargue de bloques.	33
Figura 14.	Orificios de inyección de combustible en el horno Hoffman.	34
Figura 15.	Medición de las muestras seleccionadas.....	37
Figura 16.	Determinación de la masa seca de las muestras.....	37
Figura 17.	Nivelación de la bandeja y ubicación de los soportes metálicos	37
Figura 18.	Absorción de agua en la muestra durante 60 segundos	38
Figura 19.	Determinación de la masa de las muestras después de 60 segundos de inmersión.....	38
Figura 20.	Resultados ensayo "tasa de absorción inicial en ladrillos"	42
Figura 21.	Resultados ensayo "tasa de absorción inicial en bloques"	43
Figura 22.	Determinación de la masa seca de la muestra	44

Figura 23. Inmersión de la muestra durante 24 horas	44	Figura 45. Residuos entre la variable dependiente "módulo de rotura" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"	79
Figura 24. Determinación de la masa sumergida de la muestra	45	Figura 46. Modelo ajustado cuadrada- inversa a la variable dependiente "módulo de rotura" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"	82
Figura 25. Resultados "ensayo inmersión 24 horas en ladrillos"	49	Figura 47. Modelo lineal ajustado entre la variable dependiente "inmersión durante 24 horas" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"	83
Figura 26. Resultados ensayo "absorción durante 24 horas en tejas" de la ladrillera Las Violetas	51	Figura 48. Residuos entre la variable dependiente "inmersión durante 24 horas" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"	84
Figura 27. Resultados ensayo "absorción durante 24 horas en bloques" de la ladrillera Ocaña	51		
Figura 28. Proceso de secado de las muestras en el horno mufla.	52		
Figura 29. Cámara de enfriamiento de las muestras	52		
Figura 30. Refrentado de las muestras.....	53		
Figura 31. Máquina universal PV 100-60	53		
Figura 32. Ensayo de resistencia a la compresión.....	53		
Figura 33. Resistencia a la compresión en ladrillos.....	57		
Figura 34. Resistencia a la compresión en bloques.	57		
Figura 35. Ubicación de soportes para el ensayo "módulo de rotura"	59		
Figura 36. Montaje del ensayo "módulo de rotura o flexión"	60		
Figura 37. Falla de la muestra del ensayo de rotura o flexión	61		
Figura 38. Diagrama de cuerpo libre para la deducción de la fórmula del módulo de rotura.	61		
Figura 39. Módulo de rotura o flexión en ladrillos	68		
Figura 40. Módulo de rotura o flexión en bloques de la ladrillera Ocaña	68		
Figura 41. Modelo lineal ajustado entre la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"	74		
Figura 42. Residuos entre la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"	74		
Figura 43. Modelo ajustado inversa-cuadrado a la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"	77		
Figura 44. Modelo lineal ajustado entre la variable dependiente "módulo de rotura" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"	79		

Lista de tablas

Tabla 1. Resistencia a la compresión de diferentes unidades de mampostería.....	19
Tabla 2. Inventario de las empresas dedicadas a la explotación y transformación de arcilla en el municipio de Ocaña.....	20
Tabla 3. Resultados ensayo "tasa de absorción inicial en ladrillos"	39
Tabla 4. Resultados ensayo "tasa de absorción inicial en bloques"	43
Tabla 5. Resultados del ensayo "inmersión 24 horas en ladrillos"	46
Tabla 6. Resultados ensayo "inmersión 24 horas en tejas"	50
Tabla 7. Resultados ensayo "inmersión 24 horas en bloques"	50
Tabla 8. Resistencia a la compresión en ladrillos	54
Tabla 9. Resistencia a la compresión en bloques.....	58
Tabla 10. Resultados del ensayo "módulo de rotura o flexión en ladrillos"	62
Tabla 11. Resultados del ensayo "módulo de rotura o flexión en ladrillos"	65
Tabla 12. Resultados del ensayo "módulo de rotura o flexión en bloques"	69
Tabla 13. Resultados del ensayo "módulo de rotura o flexión en bloques"	70
Tabla 14. Comparación de modelos alternos entre la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable independiente "tasa de absorción inicial" ...	75
Tabla 15. Comparación de modelos alternos a la variable dependiente "módulo de rotura" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"	81

Introducción

Se conocen como productos cerámicos todos aquellos objetos que se elaboran al modelar arcilla húmeda, que, posteriormente, se endurece con calor. Existen diversos productos cerámicos que van desde vasijas y porcelanas, hasta materiales usados en la industria aeroespacial.

La industria de cerámica es, quizá, la más representativa que tiene el departamento de Norte de Santander, región colombiana. En el municipio de Ocaña este sector representa una fuente importante de empleo y se estima que la producción, solamente allí, abarca alrededor de 1 000 000, de productos anuales, especialmente de ladrillo bloque y tejas; sin embargo, la industria alfarera de Ocaña no es precisamente la más tecnificada en los procesos productivos, hay falencias que afectan la calidad de los productos al no cumplir los requerimientos técnicos estipulados en la norma NTC 4205.

La mampostería es la técnica de apilar ladrillos para erigir muros, teniendo en cuen-

ta que es de vital importancia que dichos ladrillos cuenten con la suficiente rigidez estructural. En este libro se muestran algunos estudios de las características de los bloques, mediante ensayos destructivos de compresión y flexión y no destructivos de absorción inicial y durante 24 horas. Los resultados de estas pruebas se comparan con los parámetros establecidos en la norma técnica NTC 4205. También, se hace una serie de recomendaciones, especialmente en el proceso productivo.

1. Marco legal

En el apartado siguiente se expone la reglamentación que deben tener los ensayos en las unidades de mampostería, así como también la normativa que deben cumplir desde el punto de vista estructural.

1.1 Norma técnica colombiana NTC 4017

Esta norma cubre los procedimientos de muestreo y ensayo de unidades de mampostería y bloques de arcilla y de otros productos, tales como adoquines y tejas. Los ensayos incluyen módulo de rotura, resistencia a la compresión, absorción de agua, coeficiente de saturación, efecto de congelamiento y descongelamiento, eflorescencia, tasa inicial de absorción, determinación de la masa, tamaño, alabeo, uniformidad dimensional, área de las perforaciones, análisis térmico-diferencial y expansión por humedad, aunque no todos los ensayos son

aplicables necesariamente a todos los tipos de unidades.

1.2 Norma técnica colombiana NTC4205

Esta regulación establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla cocida utilizados como unidades de mampostería estructural en muros interiores o exteriores, e indica los parámetros con los que se determinan los distintos tipos de unidades.

2. Marco conceptual

2.1 Descripción del proceso productivo

Para producir materiales cerámicos, se requieren las siguientes etapas: extracción de la materia prima, trituración, humectación, compactación, extrusión, corte, secado, cocción y apilado. El proceso se maneja en tres medidas estratégicas: la explotación minera, la transformación de la arcilla y la comercialización del producto final. Una de las fases definitivas de este proceso es la cocción, realizada en los hornos. Para su ejecución, el horno pasa por tres momentos: precalentamiento, quema y enfriamiento; estos deben controlarse en forma correcta, con el objeto de obtener productos con mínimos defectos y reducir el impacto ambiental.

2.2 Producción de materiales cerámicos

Los procesos por los cuales el material cerámico cambia su estructura en función de la temperatura, es el siguiente: De 0 °C a 400 °C, se elimina el residuo de humedad con dilatación de la pasta; de 400 °C a 600 °C, se da la eliminación del agua combinada, descomposición en óxidos, retracción de la pasta y aumento de porosidad; de 600 °C a 900 °C, la formación de un metacaolín inestable; de 900 °C a 1000 °C, se presenta la formación de silicatos por reacción de los óxidos; a más de 1000 °C, ocurre la transformación molecular de los silicatos cristalizando en agujas, y sobre 1800 °C, la fusión del material, lo que conlleva a la vitrificación (Fernández, 2000).

2.3 Proceso de cocción

Terminado el proceso de secado, las piezas cerámicas se someten a la cocción; en este tratamiento térmico los productos pasan por una serie de transformaciones fisicoquímicas complejas, las cuales se reflejan en cambios dimensionales, color de la pieza terminada, así como la vitrificación (relacionada a la porosidad y a la resistencia mecánica).

Los productos se disponen en el interior del horno, de acuerdo con un arreglo que puede variar, aunque por lo general se mantiene un patrón. Para el proceso se distinguen varias etapas:

2.3.1 Caldeo

Fase en el cual se elimina el agua residual que no se removió en el secado. Esta eliminación debe ser gradual, y si el contenido del agua es muy elevado, pueden producirse roturas debido a la contracción. Dependiendo de la cantidad, del tipo de material y la humedad que contenga esta etapa puede durar entre 18 y 20 horas, para llevar la temperatura desde 30 °C hasta 150 °C. En esta primera fase de cocción, cualquier irregularidad en el calentamiento produce vapor a alta presión en ciertas partes de la pieza, lo que puede fracturarla. La eliminación del agua deberá realizarse por completo a una temperatura lo más baja posible, ya que el vapor de agua formado bloquea las reacciones de oxidación y descomposición que comienza alrededor de los 400 °C.

2.3.2 Precocido

Momento en el cual se oxida el material orgánico y ocurre la deshidroxilación de la arcilla; esto se da entre 150 °C y 450 °C, y puede durar entre 14 y 16 horas.

2.4 Etapa final de cocción

También se denomina de fuego rápido o apurado, el rango de temperaturas es desde 450 °C hasta 950 °C o 1050 °C.

Entre los 450 °C y 650 °C se elimina el agua químicamente combinada, se modifica la estructura del material arcilloso, lo que

produce una contracción y un endurecimiento irreversible. A los 573 °C tiene lugar la transformación alotrópica del cuarzo, lo que provoca una dilatación. Este proceso es reversible y tiene gran importancia en la etapa de enfriamiento.

Entre 680 °C y 800 °C sucede la descarbonatación de las arcillas calcáreas, que consiste en el desprendimiento rápido de CO₂, y puede producir roturas o burbujas. Esta debe finalizar antes de iniciar la vitrificación para evitar fluorescencias posteriores. Esta etapa puede durar entre 30 y 36 horas, y luego el horno es "puyado" (apurado térmicamente), hasta alcanzar la temperatura de 1 020 °C (Fernández, 2000).

2.4.1 Etapa de vitrificación

Es un proceso que dura entre 10 y 13 horas, empieza por encima de los 800 °C y consiste en la formación de la fase vítrea, en la cual algunos de los constituyentes más fácilmente fundibles producen cantidades crecientes de líquidos, a medida que aumenta la temperatura. Este líquido, al enfriarse, forma una capa cristalina. El grado de vitrificación depende de las propiedades mineralógicas, composición química, distribución granulométrica y la composición del mineral no arcilloso.

Para mejorar y darle mayor brillo a esta capa, cuando el horno ha alcanzado los 1020 °C, se le agrega cierta cantidad de agua-sal, que por efecto de la alta temperatura se volatiliza y reacciona en la

atmósfera del horno y se descompone en óxido de sodio y ácido clorhídrico, que se depositan sobre el material formando una capa de barniz salada y sutil (0,01mm), que es resistente al ataque de los ácidos.

En el proceso de cocción deben controlarse las curvas de temperatura - tiempo si se desean buena calidad y bajo desperdicio de material; debe tenerse especial cuidado cuando se llega a la proximidad de los 270 °C y 573 °C, puntos donde existen transformaciones químicas reversibles. Las curvas temperatura - tiempo se basan, en algunos casos, en la curva dilatométrica de la pasta, y se debe tener en cuenta que, a mayor cambio de tamaño por grado de temperatura, debe ser menor la velocidad de calentamiento o de enfriamiento.

2.4.2 Etapa de enfriamiento

El enfriamiento satisfactorio de las piezas maduras está vinculado a la consideración de aquellas transformaciones fisicoquímicas que puedan ocurrir. Un enfriamiento rápido puede dar lugar a la aparición de tensiones que ocasionen agrietamiento, bien sea inmediatamente o durante los primeros días después de la extracción del horno.

En esta etapa de enfriamiento hay que tener en cuenta los cambios bruscos de temperatura y deben evitarse velocidades de enfriamiento superiores a los 10 (Fernández, 2000), ya que pueden producir tensiones dentro de la pieza que causen grietas.

2.5 Control de calidad del producto cocido

Las unidades de arcilla para mampostería no estructural deben cumplir con la norma NTC 4205 (ASTM C56, C212, C216); las unidades de arcilla macizas (tolete) para mampostería estructural deben acatar la norma NTC 4205 (ASTM C652, C62), y las unidades (bloque) de perforación vertical de arcilla para mampostería estructural, deben seguir la norma NTC 4205 (ASTM C34).

La Norma técnica colombiana NTC 4205 – unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos establece los requisitos que deben cumplir estos elementos utilizados como unidades de mampostería, y fija los parámetros con los que se determinan los distintos tipos de unidades (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2005).

Por su parte, la Norma técnica Colombiana NTC 4017 -métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla cubre los procedimientos de muestreo y ensayo de unidades de mampostería de arcilla, bloques de este mismo material y de otros productos tales como adoquines y tejas. Los ensayos incluyen tasa de absorción inicial, inmersión durante 24 horas, resistencia a la compresión y módulo de rotura o flexión.

2.5.1 Absorción de agua o densidad del producto

El contenido de humedad es la masa de agua por unidad de volumen, y se puede ex-

presar en términos absolutos o relativos a la densidad de la unidad, cuando está seca.

La capacidad de las unidades de mampostería para absorber agua se mide por dos parámetros principalmente: la tasa de absorción inicial y la inmersión durante 24 horas. El primero representa la cantidad de agua requerida para saturar la unidad de mampostería, y según los valores estipulados por la norma NTC 4205, la tasa de absorción inicial debe ser inferior a 0.25 g//min., mientras que para las unidades de perforación horizontal H-10, esta debe ser inferior a 0.25 g//min., mientras la inmersión durante 24 horas es la masa de agua por unidad de área y por unidad de tiempo, con un valor máximo permitido por la norma NTC 4205, para ladrillo de mampostería no estructural interior, de 17.5 %, y de 13 % para ladrillo de mampostería no estructural exterior, mientras que para las unidades de perforación horizontal H-10, lo recomendado se encuentra por encima del valor mínimo del 5 % y por debajo del valor máximo del 17 % (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2005).

2.5.2 Resistencia mecánica

Esta propiedad también se relaciona en forma directa con el aumento de la resistencia mecánica de la pieza durante la cocción, en esta se mide la resistencia a la compresión y el módulo de rotura o flexión.

La resistencia a la compresión de los ladrillos (f'_{cu}) depende del material y del tipo de unidad. Por lo general, los valores de las resistencias a la compresión en unidades

disminuyen drásticamente cuando hacen parte de los muros de mampostería (Claro Lázaro, 2013). En la Tabla 1 se muestran los valores de las resistencias a compresión de algunas unidades de mampostería.

Tabla 1. Resistencia a la compresión de diferentes unidades de mampostería.

MATERIAL	INTERVALO, f'_{cu} ($\frac{ton}{m^2}$)
Piedra	$4.000 < f'_{cu} < 10\ 000$
Hormigón macizo	$1.500 < f'_{cu} < 2\ 500$
Arcilla	$500 < f'_{cu} < 2\ 000$
Hormigón aligerado	$400 < f'_{cu} < 600$
Adobe	$100 < f'_{cu} < 150$

Fuente: J. Claro Lázaro.

Según la norma NTC 4205, la resistencia mínima promedio para ladrillo de mampostería no estructural es de 14 MPa, mientras que para las unidades de perforación horizontal H-10, establece una resistencia a la compresión mínima de 2,94 MPa, y para el módulo de rotura o flexión, de 1,40 MPa. Si se tiene en cuenta que la resistencia a la flexión varía entre el 10 % al 30 % de la resistencia a la compresión (Takeuchi, 2007), establece una resistencia a la compresión mínima de 10 MPa, lo cual indica que, tomando el intervalo bajo de resistencia, se espera resistencia a la flexión entre 1.0 a 1.4 MPa (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2000), mientras que para las unida-

des de perforación horizontal H-10, la regulación establece una resistencia a la flexión en el rango de 0,29 MPa, hasta 0,88 MPa.

2.6 Estado actual

La población objeto del trabajo se compone por 30 chircales activos que se encuentran en el municipio de Ocaña, en el departamento Norte de Santander. El área de estudio comprende el municipio en mención, con una extensión aproximada de 7.74 Km². Los chircales activos ubicados en diferentes zonas del casco urbano de la ciudad producen aproximadamente 1027600 productos por mes, y se caracterizan por emplear procesos manuales y rudimentarios en las diferentes etapas para la fabricación de estas piezas de mampostería.

Para el desarrollo de la investigación se consultó la información existente sobre la producción de materiales cerámicos (ladrilleras, ubicación, método de explotación, tipos de hornos utilizados, capacidad de los hornos, producción), en el municipio de Ocaña, y esta información se obtuvo de la oficina de Planeación y de la Unidad Técnica Ambiental - UTA, de la Alcaldía municipal (ver Tabla 2). Además, se recopiló información a través de visitas de campo, en las que se observó el estado actual de funcionamiento de los hornos en el mencionado municipio.

Tabla 2. Inventario de las empresas dedicadas a la explotación y transformación de arcilla en el municipio de Ocaña.

Nombre del chircal	Tipo de horno	Total	Capacidad (ladrillo-teja)	Cantidad de producto transformado por mes
Bolívar	Cuadrado y circular	4	4 000 – 9 000 – 12 000	20 000
La Palma	Cuadrado	3	5 000 – 6 000	10 000
Sánchez	Cuadrado	3	10 000 – 15 000	15 000
Los Espineles	Circular	1	4 000	12 000
Bética	Cuadrado	2	6 000	10 000
Los Lemus	Cuadrado	4	8 000 – 10 000	20 000
Los Sánchez	Cuadrado	5	5 000 – 6 000	10 000
La Pradera	Cuadrado	6	8 000	16 000
Los Raros	Cuadrado	2	8 000 – 10 000	16 000
Pasos abajo del terminal	Cuadrado	2	4 000 – 8 000	8 000
Los Raros	Cuadrado	2	5 000 – 7 000	12 000
Granito de Oro	Cuadrado	1	9 000	9 000
Las Violetas	Cuadrado	1	3 000	3 000
El Recreo 2	Circular	1	4 300	8 600
Los Mellos	Cuadrado	2	7 000 - 9 000	16 000
El Recreo	Cuadrado	3	6 000 – 15 000	21 000
Los Guayabos	Circular	2	5 000	10 000
Estanco	Cuadrado y circular	4	7 000 – 4 000 – 11 000	15 000
Estanco 1	Cuadrado	4	7 000 – 12 000 – 16 000	28 000
Estanco 2	Cuadrado	3	9 000 – 10 000	19 000
Estanco 3	Circular	3	6 000 – 10 000 - 16 000	26 000
Ocaña	Hoffman	1	986 Apiles	611 320
El Bosque	Cuadrado y circular	2	10 000	10 000

Nombre del chircal	Tipo de horno	Total	Capacidad (ladrillo-teja)	Cantidad de producto transformado por mes
San Antonio	Cuadrado	1	10 000 – 20 000	20 000
El Líbano	Cuadrado	2	4 000 – 5 000	10 000
Los Pinos	Cuadrado	3	4 000	12 000
San Fernando	Cuadrado y circular	4	5 000 – 10 000	10 000
Villa Venecia	Cuadrado	2	8 000 – 12 000	32 000
El Tejar	Circular	2	3 000 – 5 000	5 000
Buenavista	Circular	3	6 000 - 7 000	13 000

Fuente: Alcaldía Municipal de Ocaña, Plan Básico de Ordenamiento Territorial PBOT.

Las empresas ladrilleras o *chircales* que operan en la región poseen hornos a cielo abierto con capacidades de producción de bloque común, ladrillo H-10 y tejas, que oscilan entre 5 000 a 20 000 ladrillos por hornada, excepto la ladrillera Ocaña, que posee un horno continuo con una producción de 611320 bloques en este mismo lapso de tiempo.

Los hornos tradicionales utilizados en Ocaña no fueron construidos con materiales refractarios y aislantes, lo que conduce a grandes pérdidas de calor al medio ambiente cuando se operan, pérdida que ocurre por la parte superior y en las paredes de la cámara de cocción, y esto produce la quema de más combustible de lo que se requiere, e igualmente, se incrementa el tiempo de operación. En la cámara de cocción no hay una distribución uniforme de temperatura, y existe, entonces, un gradiente apreciable de la misma. Además, no poseen controles de temperatura, ni del

proceso de combustión ni para los controles de aire y combustible.

El combustible que se utiliza es carbón mineral sin procesar o aserrín, y su incorporación se hace en forma manual. Los hornos no queman completamente el combustible, es decir, no existe combustión completa por falta de oxígeno, situación originada por la ausencia de una chimenea que mejoraría el tiro en el horno, y como consecuencia directa de ello se puede concluir que no se aprovecha eficientemente el combustible. Los gases producto de la combustión salen directamente al ambiente; algunos de estos tejares se ubican en áreas cercanas a las zonas urbanas, lo que deriva en el surgimiento de problemas de salud, de convivencia y afectaciones al paisaje.

Por otra parte, las ladrilleras presentan un manejo inadecuado de residuos sólidos, pues no poseen lugares especialmente acondicionados para depositar los rema-

nentes de cenizas, ladrillos y tejas rotas. Tampoco hay programas para el reciclaje de estos materiales, que pueden ser usados como abonos—en el caso de las cenizas— y como insumos de la misma industria cerámica.

Como consecuencia de las quemas deficientes se ofertan productos de baja calidad, pues la mezcla de cerámica no llega a la quema completa, por lo cual queda con un alto nivel de porosidad, baja resistencia al golpe, cizallamiento, abrasión y tracción. Esto, sin contar la presencia de gránulos calcáreos o caliche que, al quemarse, generan nódulos de cal que, por higroscopia, rompen las estructuras de los ladrillos (Cuéllar Henríquez, 2011).

3. Problemática en la industria de la arcilla en Ocaña

El sector cerámico en Colombia cuenta con tecnificación en sus operaciones de producción, lo que implica que su metodología de combustión sea deficiente y genere problemas ambientales y de salud por sus emisiones contaminantes, así como la generación de costos innecesarios para las empresas. Un inadecuado tratamiento de estas características requiere la utilización de mayores cantidades de combustibles y expone a las empresas al pago de multas, al no acatar las normas ambientales vigentes.

En la actualidad, la industria de la arcilla del municipio de Ocaña debe cumplir con las exigencias de ley establecidas por las entidades ambientales, las cuales vienen creando y aplicando medidas más estrictas en lo referente al control de las emisiones atmosféricas emitidas desde sus sistemas como, por ejemplo, lo estipulado en la Resolución 909 del 5 de junio de 2008, del Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y en el *Protocolo para*

el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, de octubre de 2010, por mencionar algunos marcos institucionales de interés.

4. Antecedentes del problema

4.1 Marco contextual

En el municipio de Ocaña se encuentran diversas empresas pertenecientes a la industria de la arcilla, las cuales, en su gran mayoría, desarrollan los procesos productivos de forma artesanal, por su bajo costo de construcción y mantenimiento, con un régimen de operación intermitente, excepto la ladrillera Ocaña, que ha tecnificado sus medios y opera de manera continua.

Las pequeñas ladrilleras poseen hornos de fuego dormido a cielo abierto, que son artesanales y elaborados en forma circular, lo que genera una especie de bóveda abierta. Se construyen de cámaras individuales o en batería, donde el cargue de los productos y el enfriamiento quedan en posición fija durante la totalidad del procedimiento, y poseen una puerta lateral por donde se adiciona el material.

Estos hornos se cargan con una capa de carbón, posteriormente una de ladrillos, y

así, sucesivamente, hasta que se alcanza el tope del mismo. Una vez se ha terminado el cargue de productos se enciende el horno. La cocción dura aproximadamente entre 3 y 30 días, y la producción de ladrillos es de 3000 a 20000 ladrillos por 'hornada'. Estos aparatos no poseen controles ni de temperatura ni de aire, y mucho menos combustible. Son de baja producción y eficiencia, situación influenciada por las grandes pérdidas de calor en su operación. Son hornos de elevada contaminación debido a una quema no homogénea y a una combustión incompleta. El material producido es de baja calidad, pues algunos ladrillos se pasan de 'horneo', por lo que quedan requemados, mientras otros no alcanzan el punto de cocción y, en consecuencia, quedan crudos.

5. Descripción de las ladrilleras seleccionadas

5.1 Descripción ladrillera El Recreo 2

Esta ladrillera se ubica en el municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander, Colombia, a una altitud de 1 227 m sobre el nivel del mar, y una temperatura ambiente de 21 °C, aproximadamente. El horno es de sección transversal circular y tiene un diámetro interior de 2,12 m y una altura de 4,52 m con espesor de pared de 0,24 m; la cantidad de ladrillos por quema es de 4300 y este proceso tiene un consumo de carbón de 1 500 kg por cada cocción, (Ver Figura 1).

Figura 1. Horno ladrillera El Recreo 2



Fuente: S. A. Jácome Manzano.

Figura 2. Preparación de la arcilla



Fuente: S.A. Jácome Manzano.

Figura 4. Secado de los ladrillos



Fuente: S. A. Jácome Manzano.

A medida que se carga el horno con ladrillos de forma ordenada, se deposita el combustible necesario para la combustión en los espacios que quedan entre los ladrillos (ver Figura 5).

En el proceso de cocción, al terminar de cargar el horno se sella la puerta de carga y descarga de productos a través de una pared de ladrillos (ver Figura 6). Se inicia la combustión al proporcionarle a este artefacto aire, por medio de un ventilador, hasta que se haya quemado todo el carbón mineral. Luego se abre la puerta del horno y se deja expuesto por un periodo de enfriamiento para poder sacar el ladrillo.

5.1.1 Proceso de producción

En el horno de la ladrillera El Recreo 2, el proceso de producción se realiza de forma artesanal. El trabajo inicia con la preparación de la arcilla, en la que se utiliza una pileta con tierra seca y donde luego se deposita cierta cantidad de agua, que se deja reposar por un determinado tiempo para que el material se logre humedecer. El proceso de mezclado implica que caballos caminen sobre el material por dos horas, para lograr que la arcilla quede en un punto adecuado para luego ser almacenada y moldeada (ver Figura 2).

Para el moldeo del ladrillo, la arcilla preparada se lleva a un molde de forma manual (ver Figura 3), donde se compacta manualmente, y se garantiza que no quede con espacios interiores que puedan dañar el bloque a la hora de la quema.

Figura 3. Moldeo del ladrillo



Fuente: S. A. Jácome Manzano.

Para el secado de los ladrillos, como no se cuenta con secaderos artificiales, los ladrillos se dejan a la exposición directa al sol para un secado natural (ver Figura 4), tarea que, por obvias razones, puede durar varios días dependiendo de las condiciones climatológicas.

Figura 5. Cargue del ladrillo y combustible



Fuente: S. A. Jácome Manzano.

Figura 6. Sellado de la puerta de cargue y descargue de productos



Fuente: S.A. Jácome Manzano.

5.2 Descripción de la ladrillera Ocaña

La ladrillera Ocaña es la única que cuenta con un cierto nivel tecnológico en el municipio. Está ubicada a una altitud de 1 212 m sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 21 °C. La ladrillera Ocaña se dedica a la producción en serie de ladrillos para la construcción, y para ello cuenta con un horno tipo Hoffman de proceso continuo que está compuesto de 24 cámaras o puertas (12 en cada lado) (ver figura 7).

En cada puerta se le introducen hasta cinco apiles, cada uno de 620 ladrillos aproximadamente, con una separación de 60 cm entre cada apile. El combustible utilizado para la cocción del material es carbón pulverizado, con un consumo por mes es de 170 ton. /mes.

Figura 7. Esquema horno Hoffman



Fuente: S. A. Jácome Manzano.

5.2.1 Proceso de producción

En la ladrillera Ocaña, este procedimiento es mecanizado. Primero se transporta la materia prima de la mina La Tova, fuente de alimentación, para luego dosificarse en proporciones establecidas por la extrusora, para, de esta manera, por medio de bandas transportadoras, ser guiadas por rodillos. En estos rodillos se transportan entre 11 y 16 toneladas de materia prima por hora (ver Figura 8).

Figura 8. Banda transportadora



Fuente: S. A. Jácome Manzano.

La disminución del tamaño del grano de la arcilla se efectúa en el 'desterronador' y en el desintegrador. Estos equipos transforman la materia prima en granulometrías de entre 5 a 20 mm, y el equipo prepara de 15 a 30 toneladas de arcilla por hora (ver Figura 9).

Figura 9. Desterronador



Fuente: S. A. Jácome Manzano.

Para la homogenización y mezclado de la arcilla se utilizan dos amasadoras (ver Figura 10), que conducen la arcilla final para entrar a la extrusora.

Figura 10. Amasadora



Fuente: S. A. Jácome Manzano.

Para la extrusión de los bloques, la mezcla de arcilla cae por la parte superior de la extrusora, compuesta de un sistema de dos ejes paralelos con paletas y un tornillo sin fin que reciben la mezcla y se encargan de impulsarla para la extrusión de la arcilla en un ladrillo compacto.

Para cortar el material se utiliza una cortadora automática que procesa el material ya extruido; esta realiza 4000 cortes por hora, (ver la Figura 11). Luego, estos ladri-

llos finalmente se llevan y se almacenan en los secadores.

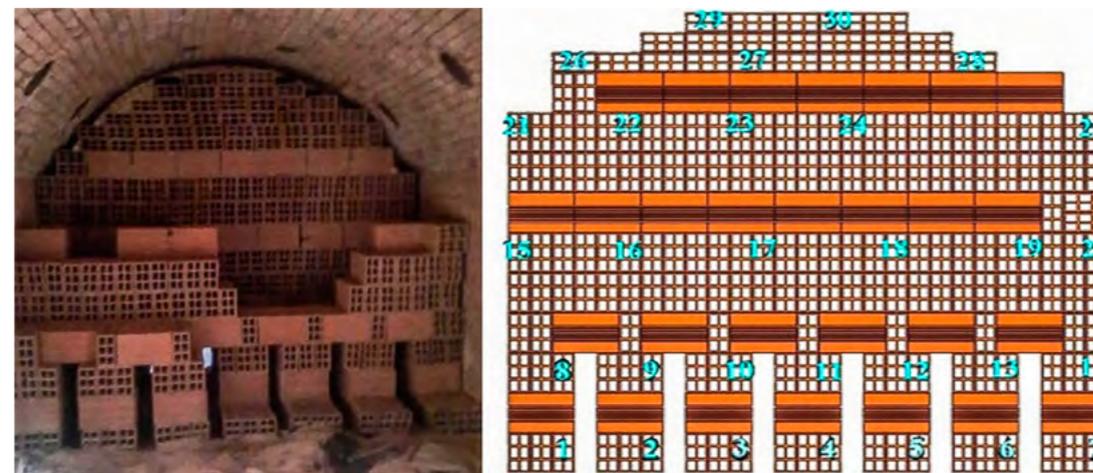
Después de la extrusión de los bloques, estos se llevan al secadero para disminuir su porcentaje de humedad. Esto se realiza a través de un extractor que se encarga de inyectar o conducir los gases producto de la combustión, al secadero. Luego, se dispone a cargarles en apiles en el horno bajo una configuración establecida (ver Figura 12). Posteriormente, se dispone a sellar las puertas con una pared provisional (ver Figura 13).

Figura 11. Cortadora automática



Fuente: S. A. Jácome Manzano.

Figura 12. Configuración apile de bloques



Fuente: S. A. Jácome Manzano.

Figura 13. Puerta de cargue y descargue de bloques.



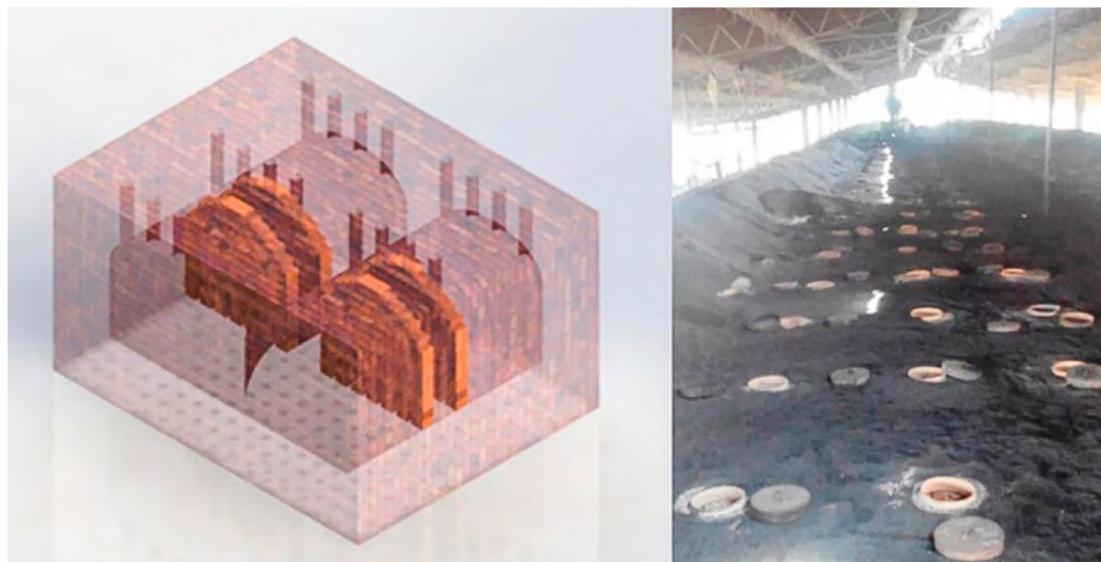
Fuente: S. A. Jácome Manzano.

En este horno se utiliza carbón mineral, el cual se prepara a través de molinos de martillos, que lo transforman en partículas diminutas, y se utiliza un sistema de bandas transportadoras para dirigir el carbón a la parte superior del horno. Este material se inyecta al horno con dos *carbojets*, los cuales son desplazados y recargados de carbón de forma manual por el operador durante un tiempo de una hora, para el precalentamiento y requema de producto. Un *carbojet* inicia la inyección de carbón para el precalentamiento en dos cámaras antes de que pase el segundo *carbojet* y requeme el bloque. Esto lo hacen por los agujeros ubicados en la cúpula del horno (ver Figura 14), a través de mangueras metálicas que desplazan el combustible dentro del horno a razón de 8 kg a 12 kg (Serrano Trillos, 1995) de carbón por minuto, para mantener

La temperatura requerida en el horno. Después de que el *carbojet* realice la quema de cierta cantidad de apiles, se dispone a tumbar las puertas de estos y a sacar el calor

por medio de un ventilador, para retirar el material, almacenarlo y proceder a su respectiva comercialización.

Figura 14. Orificios de inyección de combustible en el horno Hoffman.



Fuente: autores.

6. Pruebas a los productos en el marco de la norma NTC 4017

Se realizaron cuatro ensayos para la evaluación de las propiedades mecánicas de los ladrillos macizos y bloques cerámicos. Para cada ensayo se seleccionaron cinco muestras de ladrillos para un total de 375 muestras en los hornos a cielo abierto y el horno continuo tipo Hoffman de la ladrillera Ocaña, ubicados en la ciudad que recibe el mismo nombre,

6.1 Ensayos de unidades de mampostería y bloques de arcilla

El propósito de este ejercicio es la evaluación de las propiedades mecánicas de los ladrillos macizos y bloques cerámicos fabricados en Ocaña de forma artesanal. Se aplican pruebas estandarizadas de control de calidad no destructivas y destructivas de los ladrillos de mampostería que se seleccionaron de los diferentes chircales o uni-

dades productivas del sector, y para esta tarea se utiliza, como referencia, la norma técnica colombiana NTC-4017:2005, *Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla*, en donde se exponen los procesos de selección y preparación de la muestra. Dichas pruebas son: tasa de absorción inicial, ensayo de inmersión durante 24 horas, resistencia a la compresión y módulo de rotura o flexión. Este test se le aplica a una muestra de 375 elementos seleccionados a partir de un proceso de fabricación. Se determina, entonces, la tasa de absorción inicial e inmersión durante 24 horas y los valores máximos y mínimos de resistencia a la compresión y a la flexión, que permitan identificar las características y propiedades de los materiales que conforman los elementos estructurales, y establecer una comparación con los parámetros de absorción según la normatividad, así como la resistencia a la compresión y flexión, como parámetros que influyen directamente en la rigidez de las edificaciones y que concuerden con las investigaciones, todo esto amparado en el código colombiano de construcción *Norma sismo resistente del 2010* (NSR-10).

Para el manejo de la base de datos se utilizó el reporte dado en Excel por la máquina universal de ensayos tipo Pinzuar PU-100, equipo que pertenece a la Universidad Francisco de Paula Santander, en Ocaña, y el *software* estadístico Statgraphics.

6.1.1 Ensayo “tasa de absorción inicial”

El ensayo se aplica de acuerdo con la norma técnica colombiana NTC 4017, en las cinco unidades de mampostería para cada uno de los fabricantes de cerámicos que hacen parte de la muestra de esta investigación (16 chircales y la ladrillera Ocaña), para un total de 90 muestras.

La tasa de absorción inicial de agua (TIA), dada en $g/cm^2/min$, es una propiedad física estudiada en los ladrillos, tejas y bloques, esta mide la cantidad de agua que absorbe el ladrillo en un minuto (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2000). Dado que los poros de los ladrillos funcionan como capilares en presencia de agua, cuando se coloca el mortero de pega o de relleno, los ladrillos succionan parte del agua de este elemento, lo que afecta su adherencia y el comportamiento. Una adherencia deficiente afecta la resistencia de la mampostería y también la durabilidad y la penetración de agua.

El ensayo consistió en determinar el área de la superficie, la masa seca y la masa final de la muestra. Para medir las muestras se utilizó un calibrador digital marca Standardgage de 350 mm, con tolerancias de $0.1 \mu m$, y para pesarlos se empleó una balanza electrónica digital marca Pinzuar modelo PG89, que se encuentra en el laboratorio de materiales y sísmica de la Universidad Francisco de Paula Santander.

Las muestras seleccionadas se secaron durante 24 horas en un horno mufla, marca Pinzuar, a temperaturas entre $110^\circ C$ y $115^\circ C$. Luego, estas se enfriaron en una cámara especial para dicho propósito a una temperatura de $24^\circ C (\pm 8^\circ C)$, con humedad de entre el 30 % y 70 %, durante cuatro horas. Después se midieron de sus longitudes y pesos, por medio de tres mediciones para cada dimensión de cada muestra (largo, ancho y alto), para establecer el promedio de cada longitud. Con esta información se determinó el área de la superficie que va a estar en contacto con el agua (Chandia Moraga, 2004) (ver figuras 15 y 16).

Luego de pesar las muestras, se puso la bandeja metálica sobre una superficie plana, y se niveló su superficie. Se ubicaron los dos soportes metálicos rectangulares donde se apoyó la muestra, y se agregó agua hasta que su superficie estuviese a 3,2 mm por encima de la superficie de los soportes metálicos (Icontec, 2000) (ver Figura 17).

Figura 15. Medición de las muestras seleccionadas



Fuente: autores.

Figura 16. Determinación de la masa seca de las muestras



Fuente: autores.

Figura 17. Nivelación de la bandeja y ubicación de los soportes metálicos



Fuente: autores.

Puestos los soportes metálicos y con el nivel de agua indicado, se dispone cada muestra durante 60 segundos, para medir su capacidad de succión al contacto con el mortero. Pasados 60 segundos se seca superficialmente y se toma su masa nuevamente (ver figuras 18 y 19).

Figura 18. Absorción de agua en la muestra durante 60 segundos



Fuente: autores.

Figura 19. Determinación de la masa de las muestras después de 60 segundos de inmersión



Fuente: autores.

Para la evaluación de la tasa de absorción inicial de cada muestra se utiliza la siguiente expresión:

$$TIA = \frac{G}{A} \quad (1)$$

Donde:

- TIA = Tasa de absorción inicial (g/ cm²/min.)
- G = Diferencia en gramos entre la masa inicial seca y final por cada minuto ($\frac{g}{min}$)
- A = Área neta en contacto con el agua (cm²)

El resultado del ensayo denominado “tasa de absorción inicial para cada una de las muestras” se expone en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Resultados ensayo “tasa de absorción inicial en ladrillos”

Ladrillera	Muestra N.º	Absorción inicial					
		Área de contacto (cm ²)	Masa inicial (g)	TIA (g/cm ² /min)	TIA promedio (g/cm ² /min)	Desviación estándar (g/cm ² /min)	CV (%)
El Estanco I	6	271,96	3 026	0,44	0,30	0,14	45,97
	7	272,44	3 318	0,15			
	8	273,01	3 197	0,40			
	9	268,48	3 497	0,35			
	10	275,51	3 477	0,16			
Los Espineles	6	271,14	3 064	0,66	0,51	0,10	19,50
	7	276,01	3 322	0,50			
	8	271,22	3 153	0,38			
	9	268,45	3 141	0,51			
	10	272,25	3 188	0,49			
El Tejar	6	284,99	3 413	0,33	0,34	0,10	30,81
	7	278,31	3 408	0,32			
	8	283,66	3 351	0,25			
	9	280,08	3 549	0,28			
	10	277,12	3 411	0,52			
Sánchez	6	263,87	3 056	0,51	0,39	0,13	32,97
	7	258,07	2 707	0,44			
	8	255,40	2 829	0,44			
	9	259,51	2 870	0,40			
	10	265,95	2 920	0,17			
La Palma	11	280,86	3 153	0,39	0,41	0,04	8,66
	12	276,99	3 130	0,42			
	13	283,57	3 251	0,46			
	14	280,20	3 152	0,38			
	15	277,28	3 098	0,38			

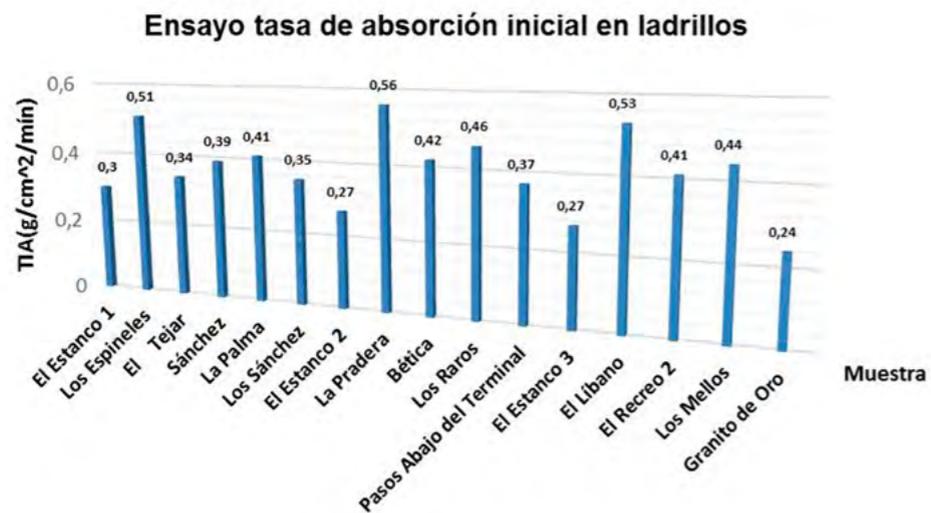
Absorción inicial							
Ladrillera	Muestra N.º	Área de contacto (cm²)	Masa inicial (g)	TIA (g/cm²/min)	TIA promedio (g/cm²/min)	Desviación estándar (g/cm²/min)	CV (%)
Los Sánchez	1	270,84	3 077	0,24	0,35	0,12	33,41
	2	277,98	3 186	0,30			
	12	275,61	3 025	0,38			
	13	274,94	2 936	0,29			
	14	262,61	2 976	0,54			
El Estanco 2	7	270,15	3 209	0,18	0,27	0,07	27,63
	9	289,80	3 586	0,25			
	11	270,92	3 457	0,29			
	13	267,57	3 343	0,25			
	17	279,57	3 328	0,38			
La Pradera	1	255,51	3 519	0,31	0,56	0,18	31,55
	2	254,12	3 328	0,79			
	3	254,44	3 294	0,64			
	5	260,24	3 255	0,51			
	8	252,57	3 126	0,56			
Bética	1	248,55	2 888	0,33	0,42	0,13	30,16
	3	257,51	3 357	0,32			
	6	250,70	3 010	0,41			
	8	255,53	3 007	0,41			
	9	250,27	2 982	0,63			
Los Raros	6	270,00	2 918	0,37	0,46	0,10	20,64
	9	264,32	3 068	0,59			
	11	282,36	3 057	0,40			
	18	272,46	2 968	0,42			
	19	266,15	3 001	0,54			

Absorción inicial							
Ladrillera	Muestra N.º	Área de contacto (cm²)	Masa inicial (g)	TIA (g/cm²/min)	TIA promedio (g/cm²/min)	Desviación estándar (g/cm²/min)	CV (%)
Pasos Abajo del Terminal	1	284,61	3 543	0,38	0,37	0,18	48,64
	7	282,47	3 364	0,66			
	12	284,80	3 427	0,39			
	16	285,39	3 587	0,18			
	5	290,17	3 586	0,25			
El Estanco 3	1	272,92	3 100	0,46	0,27	0,15	55,56
	7	268,80	3 120	0,42			
	12	282,44	3 137	0,17			
	16	275,99	3 211	0,14			
	5	270,51	3 209	0,18			
El Líbano	1	277,50	3 157	0,53	0,53	0,02	3,77
	2	277,53	3 121	0,51			
	3	280,63	3 288	0,52			
	4	277,15	3 223	0,51			
	5	270,26	2 950	0,56			
El Recreo 2	6	284,82	3 365	0,32	0,41	0,12	29,3
	7	277,76	3 390	0,32			
	8	284,44	3 315	0,58			
	9	282,53	3 307	0,49			
	10	273,39	3 411	0,36			
Los Mellos	11	280,82	2 842	0,38	0,44	0,05	12,90
	12	282,42	2 804	0,53			
	13	283,83	2 956	0,40			
	14	286,16	2 987	0,43			
	15	279,61	2 939	0,45			

Absorción inicial							
Ladrillera	Muestra N.º	Área de contacto (cm²)	Masa inicial (g)	TIA (g/cm²/min)	TIA promedio (g/cm²/min)	Desviación estándar (g/cm²/min)	CV (%)
Granito de Oro	6	272,84	3 194	0,09	0,24	0,08	33,33
	7	272,81	3 138	0,24			
	8	274,23	3 035	0,31			
	9	271,89	3 122	0,28			
	10	272,33	3 113	0,28			

Fuente: autores. Los resultados obtenidos en el ensayo "tasa de absorción inicial en ladrillos" se pueden ver en la Figura 20.

Figura 20. Resultados ensayo "tasa de absorción inicial en ladrillos"



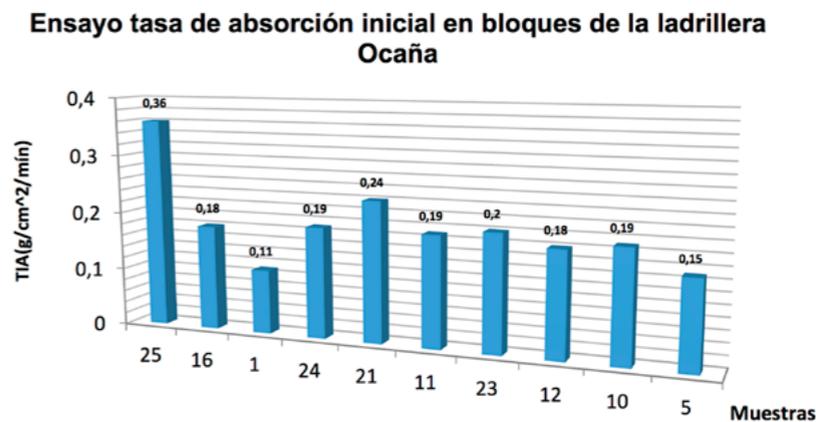
Fuente: autores.

Tabla 4. Resultados ensayo "tasa de absorción inicial en bloques"

Absorción inicial							
Ladrillera	Muestra N.º	Área de contacto (cm²)	Masa inicial (g)	TIA (g/cm²/min)	TIA promedio (g/cm²/min)	Desviación estándar (g/cm²/min)	CV (%)
Ocaña	25	381,00	6 735	0,36	20	0,066	33
	16	383,00	6 765	0,18			
	1	380,00	6 969	0,11			
	24	384,46	6 816	0,19			
	21	379,36	6 825	0,24			
	11	381,48	6 700	0,19			
	23	378,34	6 724	0,20			
	12	376,38	6 696	0,18			
	10	386,20	6 775	0,19			
	5	378,57	6 817	0,15			

Fuente: autores. Los resultados obtenidos en el ensayo "tasa de absorción inicial en bloques" se pueden ver en la Figura 21.

Figura 21. Resultados ensayo "tasa de absorción inicial en bloques"



Fuente: autores.

6.1.2 Ensayo “inmersión durante 24 horas”

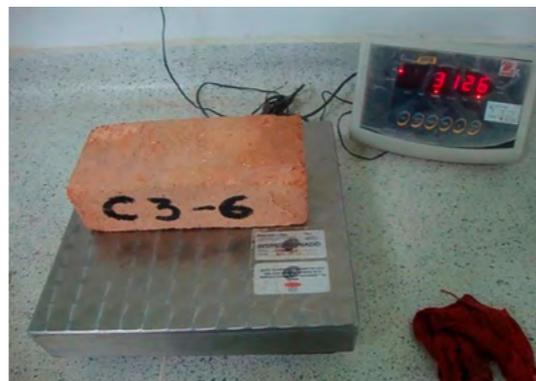
Esta prueba se les realiza, de acuerdo con la norma técnica colombiana NTC4017, a las cinco unidades de mampostería para cada uno de los fabricantes de cerámicos que hacen parte de la muestra de esta investigación (18 chircales y la ladrillera Ocaña), para un total de 100 procedimientos.

Este ensayo consiste en obtener la masa seca y la masa final de la muestra que se sumerge en agua por 24 horas.

La absorción de agua afecta la durabilidad de la unidad y de la mampostería. Si la unidad tiene absorción alta, puede presentar cambios volumétricos significativos o permeabilidad alta a la penetración de este líquido.

Las muestras seleccionadas se secaron durante 24 horas en un horno mufla marca Pinzuar, que se encuentra en el laboratorio de materiales y sísmica de la Universidad Francisco de Paula Santander, en Ocaña, a temperaturas entre los 110 ° C y los 115° C. Luego, dichos objetos se enfriaron en una cámara a una temperatura de 24 ° C ± 8° C con humedad entre el 30 % y 70 % durante cuatro horas. Después, se determinó su masa seca, para luego sumergirse en un tanque con agua limpia a una temperatura de entre 15 ° C y 30 ° C durante 24 horas (lcontec, 2000)(ver figuras 22 y 23).

Figura 22. Determinación de la masa seca de la muestra



Fuente: autores.

Figura 23. Inmersión de la muestra durante 24 horas



Fuente: autores.

Luego de 24 horas de inmersión, la muestra se retiró del tanque y se secó superficialmente, para luego proceder con el cálculo de su masa saturada (ver Figura 24).

Figura 24. Determinación de la masa sumergida de la muestra



Fuente: autores.

Para la evaluación de la absorción durante las 24 horas para cada muestra, se utiliza la siguiente expresión:

$$\% \text{ absorción} = \frac{(W_{ss} - W_s)}{W_s} * 100 \quad (2)$$

Donde:

% absorción = absorción de agua de las muestras durante 24 horas

W_{ss} = masa sumergida en agua del espécimen saturado luego de inmersión en agua fría (g)

W_s = masa seca del espécimen antes de inmersión (g)

Los resultados del ensayo de inmersión durante 24 horas para cada una de las muestras se observan en las tablas 5,6 y 7.

Los resultados del ensayo “inmersión durante 24 horas en ladrillos” se pueden ver en la Figura 25.

Tabla 5. Resultados del ensayo “inmersión 24 horas en ladrillos”

Absorción 24 horas						
Ladrillera	Muestra N.º	Masa seca Ws (g)	Absorción 24 horas (%)	Absorción 24 horas promedio (%)	Desviación estándar (%)	CV (%)
El Estanco 1	11	3 026	34,04	21,30	8,21	38,5
	12	3 318	23,48			
	13	3 197	20,30			
	14	3 497	15,81			
	15	3 477	12,86			
Los Espineles	11	3 064	22,65	16,82	4,05	24,0
	12	3 322	12,01			
	13	3 153	16,02			
	14	3 141	18,66			
	15	3 188	14,74			
El Tejar	14	3 251	15,47	15,30	0,68	4,44
	16	3 196	14,74			
	17	3 215	15,93			
	18	3 209	16,30			
	20	3 195	14,95			
Sánchez	11	3 056	9,46	21,77	9,65	44,3
	12	2 707	36,28			
	13	2 829	20,50			
	14	2 870	23,38			
	15	2 920	19,25			
La Palma	6	3 153	18,78	17,51	7,60	43,4
	7	3 130	18,75			
	8	3 251	4,61			
	9	3 152	20,78			
	10	3 098	24,63			

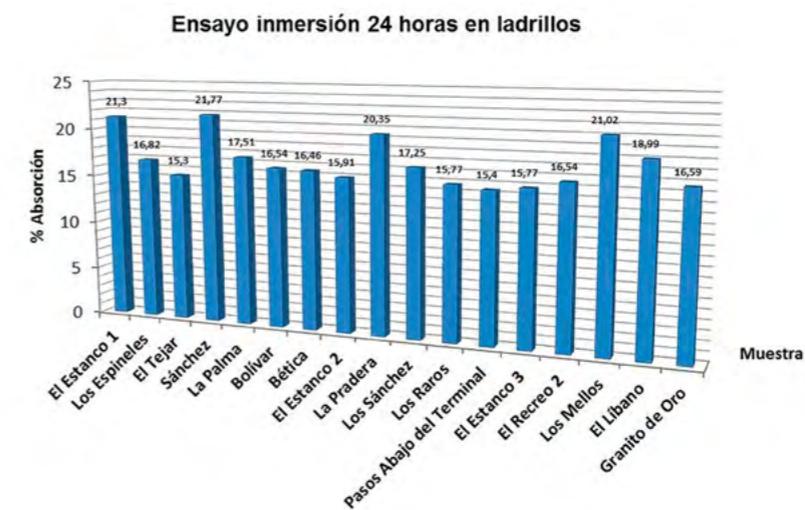
Absorción 24 horas						
Ladrillera	Muestra N.º	Masa seca Ws (g)	Absorción 24 horas (%)	Absorción 24 horas promedio (%)	Desviación estándar (%)	CV (%)
Bolívar	6	3 180	18,11	16,54	1,41	8,52
	7	3 217	14,42			
	8	3 095	16,28			
	9	3 143	16,39			
	10	3 264	17,49			
Bética	4	2 902	17,37	16,46	0,96	5,82
	5	3 085	16,27			
	7	3 106	17,55			
	10	3 189	15,65			
	13	3 089	15,47			
El Estanco 2	2	3 387	17,63	15,91	1,84	11,5
	4	3 643	12,76			
	5	3 657	16,32			
	6	3 694	16,40			
	8	3 629	16,42			
La Pradera	4	2 965	34,33	20,35	7,83	38,4
	6	3 285	16,96			
	7	3 393	17,21			
	9	3 345	17,13			
	10	3 385	16,13			
Los Sánchez	3	3 206	16,22	17,25	1,11	6,45
	4	2 946	18,36			
	5	2 851	17,78			
	6	2 861	15,90			
	9	2 828	18,00			

Absorción 24 horas						
Ladrillera	Muestra N.º	Masa seca Ws (g)	Absorción 24 horas (%)	Absorción 24 horas promedio (%)	Desviación estándar (%)	CV (%)
Los Raros	1	3 030	18,51	15,77	2,74	17,3
	2	3 009	18,41			
	10	2 965	13,29			
	12	3 001	12,73			
	15	3 041	15,92			
Pasos Abajo del Terminal	2	3 468	15,92	15,40	0,48	3,12
	6	3 418	15,83			
	11	3 555	14,77			
	17	3 426	15,21			
	10	3 564	15,26			
El Estanco 3	2	3 077	15,31	15,77	1,34	8,45
	6	3 195	13,62			
	11	3 361	16,78			
	17	3 282	16,70			
	10	3 311	16,46			
El Recreo 2	6	3 283	17,51	16,54	1,78	10,7
	7	3 279	17,90			
	8	3 369	17,28			
	9	3 265	13,48			
	10	3 350	16,51			
Los Mellos	11	2 934	21,75	21,02	1,53	7,28
	12	2 966	21,07			
	13	2 968	18,36			
	14	2 901	21,92			
	15	2 896	22,00			

Absorción 24 horas						
Ladrillera	Muestra N.º	Masa seca Ws (g)	Absorción 24 horas (%)	Absorción 24 horas promedio (%)	Desviación estándar (%)	CV (%)
El Líbano	1	3 386	18,55	18,99	1,07	5,63
	2	3 255	20,86			
	3	3 538	18,20			
	4	3 649	18,85			
	5	3 758	18,49			
Granito de Oro	6	2 988	17,97	16,59	1,04	6,39
	7	2 936	16,95			
	8	3 053	15,17			
	9	3 065	16,22			
	10	2 965	16,96			

Fuente: autores

Figura 25. Resultados "ensayo inmersión 24 horas en ladrillos"



Fuente: autores.

Tabla 6. Resultados ensayo “inmersión 24 horas en tejas”

Absorción 24 horas						
Ladrillera	Muestra N.º	Masa seca Ws (g)	Absorción 24 horas (%)	Absorción 24 horas promedio (%)	Desviación estándar (%)	CV (%)
Las Violetas	13	1742	16,30	16,79	0,40	2,36
	15	1825	16,99			
	18	1820	16,43			
	19	1919	17,04			
	20	1827	17,19			

Fuente: Autores

Tabla 7. Resultados ensayo “inmersión 24 horas en bloques”

Absorción 24 horas						
Ladrillera	Muestra N.º	Masa inicial (g)	Absorción 24 horas (%)	Absorción 24 horas promedio (%)	Desviación estándar (%)	CV (%)
Ocaña	2	6803	12,45	12,55	0,14	1,12
	3	6743	12,55			
	6	6758	12,68			
	7	6867	12,31			
	13	6740	12,69			
	14	6768	12,41			
	15	6790	12,55			
	17	6837	12,59			
	19	6844	12,51			
	20	6729	12,77			

Fuente: autores

Los resultados del ensayo “inmersión durante 24 horas en tejas” de la ladrillera Las Violetas se pueden ver en la Figura 26.

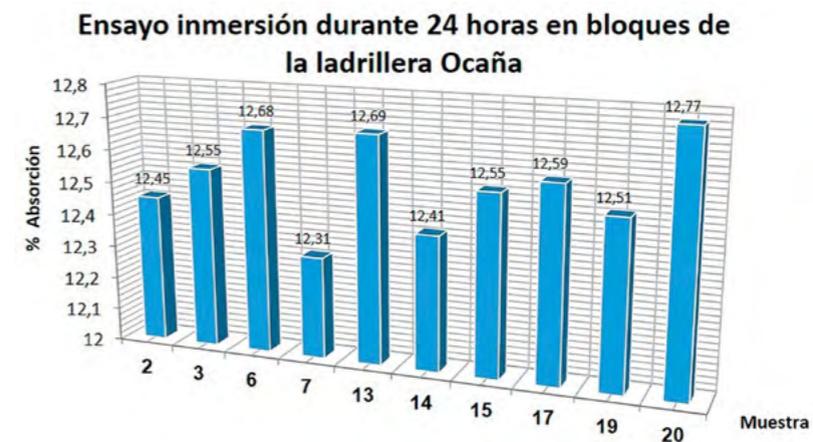
Los resultados del ensayo “inmersión durante 24 horas en bloques” de la ladrillera Ocaña se pueden ver en la Figura 27.

Figura 26. Resultados ensayo “absorción durante 24 horas en tejas” de la ladrillera Las Violetas



Fuente: autores.

Figura 27. Resultados ensayo “absorción durante 24 horas en bloques” de la ladrillera Ocaña



Fuente: autores.

6.1.3 Ensayo “resistencia a la compresión”

Esta prueba se realizó de acuerdo con la norma técnica colombiana NTC 4017, en las cinco unidades de mampostería, para cada uno de los fabricantes de productos cerámicos que hacen parte de la muestra de esta investigación (14 chircales y la ladrillera Ocaña), lo que equivale a un total de 85 muestras.

La resistencia a la compresión del ladrillo de arcilla, se usa como control de calidad en la elaboración de este tipo de objetos (dosificación de los materiales, temperatura y tiempo de horneado), así como para conocer la calidad de los materiales y de la materia prima utilizados en la fabricación del ladrillo.

El ensayo “resistencia a la compresión” consiste en llevar la muestra al punto de falla y registrar la carga de rotura en el área de contacto, para determinar el esfuerzo de compresión.

El procedimiento inicia con el secado de las muestras, las cuales deben permanecer en un horno mufla durante 24 horas a una temperatura entre 110 ° C y 115 ° C, hasta que en dos pesajes sucesivos, a intervalos de dos horas, no se presente una pérdida de masa superior al 0,2 % del último peso (ver Figura 28).

Una vez secadas las muestras se procede a enfriarlas, a través de su introducción en una cámara especial a una temperatura cercana a los 24° C ($\pm 8^\circ$ C), con humedad entre el 30 % y 70 % durante 4 horas (ver Figura 29).

Figura 28. Proceso de secado de las muestras en el horno mufla.



Fuente: autores.

Figura 29. Cámara de enfriamiento de las muestras



Fuente: autores.

Luego de enfriadas las muestras se procedió a alisar con yeso de secado rápido denominado “*supermold*” la parte de su superficie que ha de entrar en contacto con el dispositivo de la máquina universal, por medio de la aplicación de una capa delgada de 3,2 mm sobre cada una de las caras opuestas a la aplicación de la carga, hasta quedar aproximadamente paralelas entre sí, esto, con el objetivo de lograr uniformidad en la carga aplicada sobre la superficie de la muestra (ver Figura 30).

Figura 30. Refrentado de las muestras



Fuente: autores.

Finalmente, las muestras se llevan a una máquina universal marca Pinzuar, modelo PV-100-600, serie 109, con capacidad de 1 000 KN, que se encuentra en el laboratorio de materiales y sísmica de la Universidad Francisco de Paula Santander, en Ocaña, y se aplica una carga en el área de contacto hasta el punto de quiebre o falla (ver figuras 31 y 32).

Figura 31. Máquina universal PV 100-60



Fuente: autores.

Figura 32. Ensayo de resistencia a la compresión



Fuente: autores.

Para cada una de las muestras ensayadas, la máquina universal suministra un formato con la gráfica *fuerza aplicada vs. tiempo*, en la que registra el valor de resistencia a la compresión.

Donde:

f'_{cp} = resistencia de la muestra a la compresión (MPa)

W = carga máxima de rotura (N)

A = promedio de las áreas brutas de las superficies superior e inferior de la muestra (mm^2)

En la evaluación de la resistencia a la compresión para cada muestra, se utilizó la siguiente expresión:

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

Los resultados obtenidos en el ensayo "resistencia a la compresión para cada una de las muestras" se observan en las tablas 8 y 9.

Tabla 8. Resistencia a la compresión en ladrillos

Resistencia a la compresión						
Ladrillera	Muestra N.º	Carga máxima W (N)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión promedio (MPa)	Desviación estándar (MPa)	CV (%)
El Estanco 1	16	78 410	2,82	3,76	0,58	15,38
	17	109 920	4,12			
	18	97 110	3,60			
	19	110 860	4,25			
	20	108 910	4,03			
El Tejar	11	77 200	2,83	2,93	0,10	3,38
	12	81 500	3,03			
	13	82 960	3,04			
	15	78 500	2,88			
	19	76 850	2,87			
La Palma	16	107 750	3,95	3,83	0,11	2,94
	17	102 950	3,75			
	18	107 600	3,88			
	19	102 840	3,67			
	20	108 470	3,89			

Resistencia a la compresión						
Ladrillera	Muestra N.º	Carga máxima W (N)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión promedio (MPa)	Desviación estándar (MPa)	CV (%)
Los Espineles	16	96 440	3,53	3,34	0,4	11,91
	17	88 530	3,19			
	18	92 450	3,38			
	19	102 070	3,83			
	20	74 890	2,77			
Los Sánchez	15	94 340	4,03	4,05	1,07	26,42
	16	155 330	5,77			
	17	102 120	3,78			
	19	79 080	2,82			
	20	104 870	3,87			
Bética	11	93 200	3,69	4,32	0,57	13,29
	14	100 010	3,70			
	15	113 190	4,63			
	17	121 590	4,75			
	20	116 110	4,83			
Los Raros	3	135 510	5,17	5,23	2,57	49,17
	7	124 990	4,76			
	13	86 400	3,30			
	16	91 750	3,34			
	20	257 100	9,57			
El Estanco 2	3	102 540	3,63	4,26	0,59	13,87
	12	110 790	4,10			
	14	104 090	3,87			
	15	136 640	5,10			
	16	121 790	4,59			
Pasos Abajo del Terminal	3	182 640	6,44	7,28	0,59	8,10
	9	197 610	7,02			
	14	218 070	7,72			
	18	228 850	7,91			
	15	201 325	7,14			

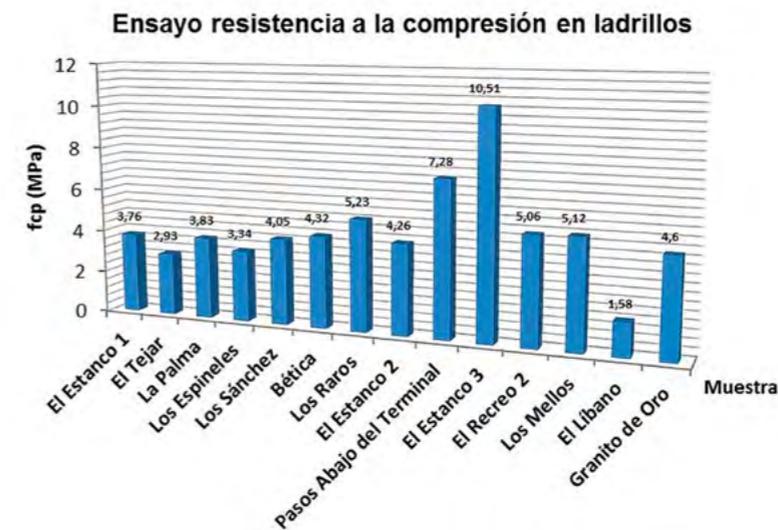
Resistencia a la compresión						
Ladrillera	Muestra N.º	Carga máxima W (N)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión promedio (MPa)	Desviación estándar (MPa)	CV (%)
El Estanco 3	3	275 190	10,17	10,51	1,04	9,95
	9	311 810	11,80			
	14	297 610	11,00			
	18	262 520	9,09			
	15	282 354	9,99			
El Recreo 2	6	254 380	9,07	5,06	2,45	48,37
	7	147 270	5,07			
	8	128 290	4,55			
	9	118 320	4,20			
	10	68 660	2,43			
Los Mellos	11	254 380	9,03	5,12	2,43	47,44
	12	147 270	5,38			
	13	128 290	4,56			
	14	118 320	4,21			
	15	68 660	2,44			
El Líbano	1	55 610	1,22	1,58	0,26	16,76
	2	44 540	1,37			
	3	57 180	1,78			
	4	57 940	1,79			
	5	56 090	1,74			
Granito de Oro	6	105 390	4,01	4,60	0,43	9,26
	7	129 510	5,01			
	8	126 360	4,82			
	9	127 200	4,88			
	10	112 830	4,31			

Fuente: autores.

Los resultados del ensayo "resistencia a la compresión en ladrillos para cada fabricante" se muestran en la Figura 33.

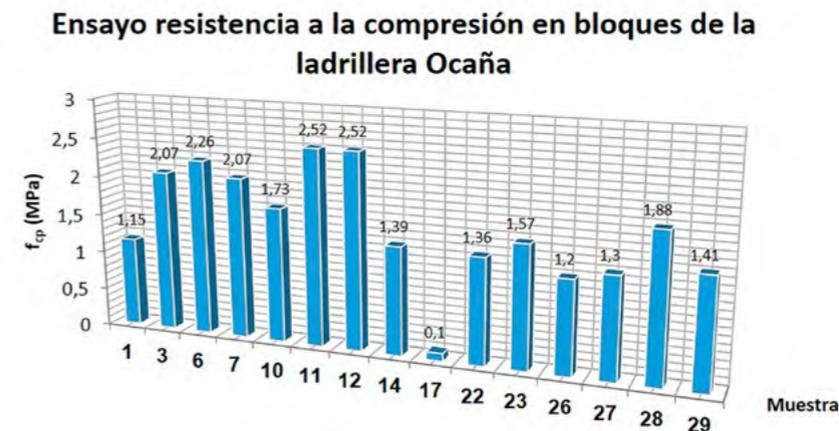
Los resultados del ensayo "resistencia a la compresión en bloques para cada fabricante" se muestran en la Figura 34.

Figura 33. Resistencia a la compresión en ladrillos



Fuente: autores.

Figura 34. Resistencia a la compresión en bloques.



Fuente: autores.

Tabla 9. Resistencia a la compresión en bloques

Resistencia a la compresión						
Ladrillera	Muestra N.º	Carga máxima W (N)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión promedio (MPa)	Desviación estándar (MPa)	CV(%)
Ocaña	22	51 980	1,36	1,63	0,626	38,41
	26	45 680	1,20			
	27	50 480	1,30			
	28	71 680	1,88			
	29	54 050	1,41			
	1	43 820	1,15			
	10	66 910	1,73			
	11	96 010	2,52			
	12	94 740	2,52			
	23	59 579	1,57			
	7	80 330	2,07			
	3	79 410	2,07			
	14	52 960	1,39			
	17	3 710	0,10			
6	86 020	2,26				

Fuente: autores.

6.1.4 Ensayo “módulo de rotura o flexión”

Este se les realiza, de acuerdo con la norma técnica colombiana NTC 4017, a las cinco unidades de mampostería para cada uno de los fabricantes de productos cerámicos que hacen parte de la muestra de esta investigación (17 chircales y la ladrillera Ocaña), para un total de 100 muestras.

El módulo de rotura o flexión es una propiedad importante como criterio de durabilidad, y es fundamental para entender el mecanismo de falla de la mampostería, cuando la misma está expuesta a esfuerzos de compresión y flexión, situaciones recurrentes para esta clase de objetos.

En el ensayo de rotura o flexión el ladrillo se somete a una carga puntual en el centro de la pieza, con una velocidad de carga

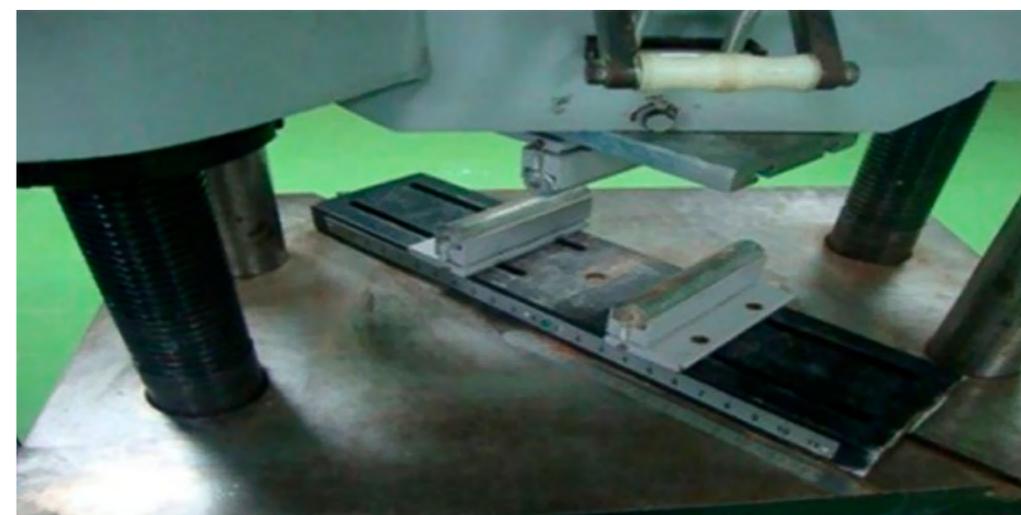
inferior a $1,3 \frac{mm}{min}$, para registrar la carga de rotura y obtener el módulo de rotura MR.

El procedimiento inicia con el secado de las muestras, las cuales deben permanecer en un horno mufla durante 24 horas a una temperatura entre 110 ° C y 115 ° C, hasta que en dos pesajes sucesivos, a intervalos de dos horas, no se presente una pérdida de masa superior al 0,2 % del último peso. Una vez secadas las muestras se realiza el enfriamiento, que consiste en la introducción de las unidades de mampostería en una cámara (antes mencionada) a una temperatura de 24°C (± 8 °C), con humedad entre el 30 % y 70 % durante cuatro horas. Después de enfriadas las muestras se procede a alisar con una capa delgada de yeso (no superior a 3 mm) sobre cada una de las caras opuestas al uso de la carga, hasta

quedar aproximadamente paralelas entre sí, con el objetivo de lograr uniformidad en la carga aplicada sobre la superficie de la muestra (Icontec, 2000).

Para la realización del ensayo “módulo de rotura o flexión” se utiliza la máquina universal PV-100-60, número de serie 109, que se encuentra en el laboratorio de materiales y sísmica de la Universidad Francisco de Paula Santander. El procedimiento inicia con la ubicación de dos barras sólidas como soportes a aproximadamente 12,5 mm de los bordes de la muestra. Luego, se coloca la misma con el lado plano hacia abajo, es decir, que se aplica la carga en la dirección de la profundidad de la muestra, y se hace la carga en el centro de la luz de la cara superior con una placa de acero de apoyo de 6 mm de espesor (ver figuras 35 y 36).

Figura 35. Ubicación de soportes para el ensayo “módulo de rotura”



Fuente: autores.

Figura 36. Montaje del ensayo “módulo de rotura o flexión”



Fuente: autores.

Después de que ocurre la falla, se procede a medir el plano de quiebre. Se realizan tres mediciones y se obtiene el promedio (ver figuras 37 y 38).

Para cada una de las muestras ensayadas, la maquina universal suministra un formato con la gráfica *fuerza aplicada a la muestra vs. tiempo*.

Para la evaluación del módulo de rotura para cada muestra se emplea la siguiente expresión:

$$MR = \frac{3W * (\frac{L}{2} - X)}{b * d^2} \quad (4)$$

Donde:

- MR = módulo de rotura de la muestra (Pa)
- W = carga máxima de rotura (N)
- L = distancia entre los soportes (mm)
- B = ancho neto de la muestra en el plano de falla (mm)
- d = profundidad de la muestra en el plano de falla (mm)
- X = distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, medida en la dirección de la línea central de la superficie sometida a tensión (mm).

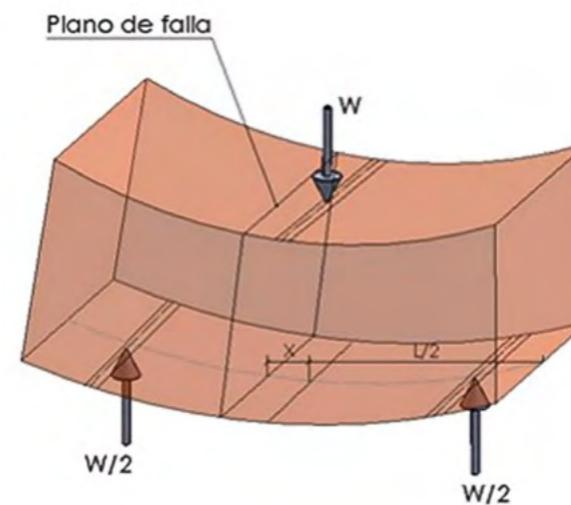
Los resultados del ensayo “módulo de rotura o flexión de las muestras” se observan en las tablas 10, 11,12 y 13.

Figura 37. Falla de la muestra del ensayo de rotura o flexión



Fuente: autores.

Figura 38. Diagrama de cuerpo libre para la deducción de la fórmula del módulo de rotura.



Fuente: autores.

Tabla 10. Resultados del ensayo "módulo de rotura o flexión en ladrillos"

Ladrillera	Muestra	Carga máxima W (N)	L (mm)	B (mm)	d (mm)	X (mm)
El Estanco 1	1	10 229,00	213,00	114,05	74,20	14,33
	2	4 352,93	211,00	112,15	71,23	11,67
	3	1 396,79	214,00	115,16	72,48	22,33
	4	2 215,60	210,00	114,40	74,73	20,67
	5	4 106,08	215,00	115,17	77,89	5,33
El Tejar	1	3 425,75	214,00	114,34	75,24	45,33
	2	3 124,72	218,00	113,14	94,73	25,00
	3	3 040,43	217,00	115,42	76,08	14,00
	4	3 016,35	215,00	114,14	72,93	10,67
	5	4 377,01	213,00	113,73	72,38	11,00
La Palma	1	5 551,04	209,00	116,22	67,62	16,00
	2	2 974,20	214,00	116,12	68,81	29,33
	3	4 286,70	213,00	115,47	69,35	18,33
	4	1 667,72	213,00	115,49	71,22	3,33
	5	3 552,18	211,00	115,84	69,70	14,00
Los Espineles	1	1 366,69	216,00	112,28	72,23	5,67
	2	2 215,60	214,00	111,53	71,23	4,67
	3	1 788,13	216,00	112,57	71,66	6,00
	4	1 806,20	213,00	111,58	72,05	17,67
	5	1 721,91	217,00	112,19	70,61	27,00
Bolívar	1	6 123,00	210,00	113,35	69,48	9,00
	2	5 888,20	214,00	111,98	69,58	20,90
	3	9 018,93	209,00	112,23	69,67	8,67
	4	6 694,96	214,00	111,07	69,22	16,33
	5	4 226,50	211,00	112,35	67,94	3,33

Ladrillera	Muestra	Carga máxima W (N)	L (mm)	B (mm)	d (mm)	X (mm)
Sánchez	1	1 968,75	214,00	112,52	67,62	12,33
	2	3 937,51	215,00	110,54	67,56	8,67
	3	2 594,90	217,00	111,3	74,30	18,33
	4	2 071,10	217,00	111,76	65,87	8,33
	5	3 786,99	213,00	111,79	74,54	3,00
El Estanco 2	1	3 293,20	225,00	115,77	77,27	5,33
	19	3 510,00	224,00	114,70	78,60	16,67
	10	2 606,94	225,00	117,9	76,13	5,67
	18	5 587,16	226,00	113,00	78,03	30,00
	20	2 841,70	225,00	115,67	76,67	10,67
Bética	12	3 588,30	225,00	106,67	61,77	26,67
	18	2 986,20	224,00	109,33	67,33	17,00
	19	2 167,40	225,00	108,33	56,33	30,67
	2	1 577,40	225,00	106,33	57,70	31,67
	16	1 806,19	224,00	108,33	67,53	18,00
Los Sánchez	10	4 485,30	227,00	110,70	65,70	21,67
	7	3 485,90	223,00	110,90	67,50	24,00
	8	3 516,00	225,00	111,80	70,67	18,67
	11	2 095,10	225,00	115,97	69,77	15,67
	18	2 679,10	223,00	115,53	73,40	11,67
La Pradera	13	1 0120,70	224,00	110,67	65,00	5,00
	15	1 1776,30	225,00	108,33	68,00	7,33
	14	1 1240,50	226,00	111,67	67,33	7,33
	12	4 027,80	222,00	109,00	65,67	8,00
	11	2 811,64	224,00	108,67	68,00	4,33
Los Raros	1	2 179,40	223,00	110,83	67,27	9,67
	19	4 045,80	225,00	113,50	68,15	13,00
	10	3 166,80	226,00	113,00	66,17	6,30
	18	2 257,70	226,00	113,83	67,33	24,33
	20	3 341,46	225,00	115,40	67,17	24,67

Ladrillera	Muestra	Carga máxima W (N)	L (mm)	B (mm)	d (mm)	X (mm)
Pasos Abajo del Terminal	4	1 456,99	241,00	115,20	72,40	30,30
	8	6 454,14	244,00	117,20	72,50	13,60
	13	2 763,48	242,00	116,00	75,00	10,00
	19	1 318,52	224,00	114,40	72,00	62,30
	20	3 510,04	224,00	114,70	78,60	16,67
El Estanco 3	4	4 666,00	242,00	112,03	72,00	20,00
	8	6 454,14	243,00	115,17	73,00	22,66
	13	3 883,32	243,00	113,67	71,00	9,67
	19	3 130,74	246,00	114,67	73,00	12,66
	20	3 293,30	225,00	115,77	77,27	5,33
El Líbano	1	6 393,93	239,00	115,00	72,00	2,00
	2	3 642,49	242,00	114,67	73,00	12,33
	3	3 269,21	214,00	115,16	72,48	22,33
	4	3 347,48	242,67	117,00	72,00	8,33
	5	3 943,52	241,67	115,67	72,33	12,67
El Recreo 2	6	2 920,01	258,00	131,33	69,67	34,00
	7	1 709,86	253,00	130,00	66,67	13,00
	8	2 739,39	256,67	131,67	64,00	18,67
	9	3 136,75	255,33	130,00	66,67	13,00
	10	2 366,11	257,33	131,00	63,00	23,00
Granito de Oro	6	3 823,11	237,00	115,00	67,33	12,67
	7	3 672,59	238,00	115,33	67,33	35,33
	8	3 871,27	237,00	116,33	68,33	12,00
	9	3 485,95	240,00	116,00	66,67	36,33
	10	5 081,42	240,00	113,67	68,67	22,67
Los Mellos	11	6 743,12	241,00	115,33	68,00	15,33
	12	7 038,14	246,00	114,67	63,67	7,33
	13	11 053,91	245,33	113,67	65,33	6,67
	14	11 523,52	242,00	114,00	66,67	12,67
	15	11 914,86	238,33	117,33	70,67	34,00

Fuente: autores.

Tabla 11. Resultados del ensayo "módulo de rotura o flexión en ladrillos"

Ladrillera	Muestra	Módulo de rotura MR(Pa)	Módulo de rotura promedio MR(Pa)	Desviación estándar(Pa)	CV (%)
El Estanco	1	4,50	1,98	1,55	78,03
	2	2,15			
	3	0,59			
	4	0,88			
	5	1,80			
El Tejar	1	0,98	1,32	0,51	38,75
	2	0,78			
	3	1,29			
	4	1,44			
	5	2,10			
La Palma	1	2,77	1,74	0,73	41,95
	2	1,26			
	3	2,04			
	4	0,88			
	5	1,73			
Los Espineles	1	0,72	0,89	0,20	21,99
	2	1,20			
	3	0,95			
	4	0,83			
	5	0,75			
Bolívar	1	3,22	3,34	0,87	26,05
	2	2,81			
	3	4,76			
	4	3,42			
	5	2,50			

Ladrillera	Muestra	Módulo de rotura MR(Pa)	Módulo de rotura promedio MR(Pa)	Desviación estándar(Pa)	CV (%)
Sánchez	1	1,09	1,54	0,54	34,72
	2	2,31			
	3	1,15			
	4	1,28			
	5	1,89			
El Estanco	1	1,53	1,49	0,32	21,35
	19	1,42			
	10	1,22			
	18	2,02			
	20	1,28			
Bética	12	2,27	1,53	0,51	33,25
	18	1,72			
	19	1,55			
	2	1,08			
	16	1,03			
Los Sánchez	10	2,59	1,71	0,58	34,13
	7	1,81			
	8	1,77			
	11	1,08			
	18	1,29			
La Pradera	13	6,95	5,17	2,71	52,40
	15	7,42			
	14	7,04			
	12	2,65			
	11	1,81			
Los Raros	1	1,33	1,70	0,47	27,79
	19	2,29			
	10	2,05			
	18	1,16			
	20	1,69			

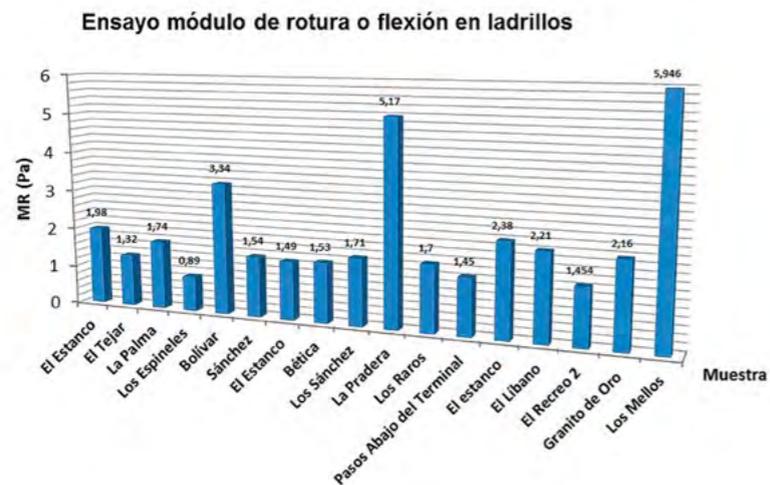
Ladrillera	Muestra	Módulo de rotura MR(Pa)	Módulo de rotura promedio MR(Pa)	Desviación estándar(Pa)	CV (%)
Pasos Abajo del Terminal	4	0,65	1,45	1,38	95,17
	8	3,41			
	13	1,40			
	19	0,33			
	20	0,13			
El Estanco	4	2,43	2,38	1,24	51,10
	8	3,12			
	13	2,27			
	19	1,70			
	20	0,12			
El Líbano	1	3,78	2,21	0,91	41,36
	2	1,94			
	3	1,37			
	4	1,87			
	5	2,11			
El Recreo 2	6	1,3	1,454	0,33	22,71
	7	1,00			
	8	1,67			
	9	1,86			
	10	1,44			
Granito de Oro	6	2,32	2,16	0,44	20,42
	7	1,76			
	8	2,27			
	9	1,69			
	10	2,76			
Los Mellos	11	3,98	5,946	1,65	27,72
	12	5,25			
	13	7,92			
	14	7,39			
	15	5,19			

Fuente: autores

Los resultados del ensayo “módulo de rotura o flexión en ladrillos para cada fabricante” se muestran en la Figura 39.

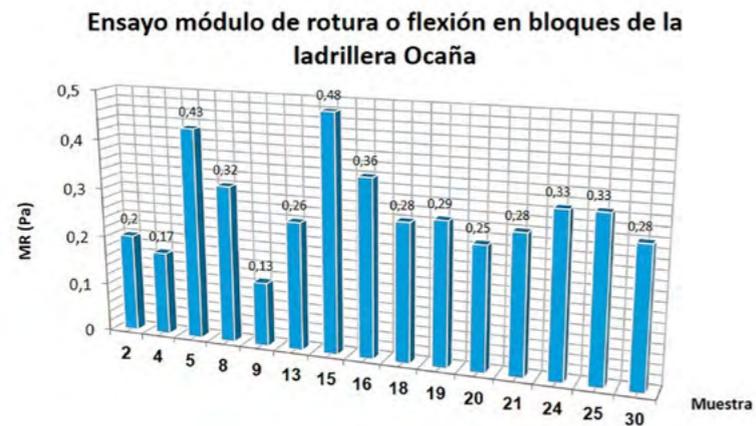
Los resultados del ensayo “módulo de rotura o flexión en bloques para cada fabricante” se muestran en la Figura 40.

Figura 39. Módulo de rotura o flexión en ladrillos



Fuente: autores.

Figura 40. Módulo de rotura o flexión en bloques de la ladrillera Ocaña



Fuente: autores.

Tabla 12. Resultados del ensayo “módulo de rotura o flexión en bloques”

Ladrillera	Muestra	L (mm)	B (mm)	D (mm)	X (mm)
Ocaña	4	374,60	399,60	196,00	0,02
	18	397,50	400,00	195,30	0,04
	9	398,50	401,00	195,70	0,01
	8	376,80	401,80	194,90	0,01
	25	394,80	397,30	193,17	0,70
	21	399,80	402,30	194,00	0,33
	5	393,50	396,00	193,00	1,37
	24	402,20	404,70	195,30	0,80
	16	393,50	396,00	195,70	1,13
	30	375,00	409,00	194,00	0,09
	13	373,00	398,00	195,00	11,67
	2	374,00	399,00	196,30	4,37
	20	376,00	401,00	194,30	13,67
	19	375,00	400,00	195,00	124,33
	15	374,00	399,00	195,70	2,33

Fuente: autores

Tabla 13. Resultados del ensayo "módulo de rotura o flexión en bloques"

Ladrillera	Muestra	Carga máxima W(N)	Módulo de rotura MR(Pa)	Módulo de rotura promedio MR(Pa)	Desviación estándar (Pa)	CV (%)
Ocaña	4	4 714,10	0,17	0,27	0,12	44,14
	18	7 122,84	0,28			
	9	3 431,40	0,13			
	8	8 594,93	0,32			
	25	8 206,10	0,33			
	21	7 056,20	0,28			
	5	10 722,80	0,43			
	24	1 549,30	0,33			
	16	9 247,70	0,36			
	30	7 616,10	0,28			
	13	1 780,00	0,06			
	2	5 590,00	0,20			
	20	7 380,00	0,25			
	19	7 190,00	0,09			
	15	13 230,00	0,48			

Fuente: autores.

6.1.5 Ensayo "tasa de absorción inicial"

Se encuentra que el valor mínimo y máximo en la tasa de absorción inicial de agua se presentan en las muestras de la ladrillera Ocaña y La Pradera, con valores de 0,20 g/cm²/min. y 0,56 g/cm²/min., respectivamente. El valor promedio global de todas las muestras seleccionadas es de 0,38 g/cm²/min. Solo la ladrillera Granito de Oro, de las 16 generadoras de unidades de mampostería, cumple lo estipulado por la norma, con un valor de 0,25 g/cm²/min., lo

que representa el 6,25 % de la muestra total, mientras que el 93,75 % de las ladrilleras no cumplen con lo reglamentario. En las unidades de perforación horizontal h-10 no se cumple con la norma, pues el estudio se encuentra con un valor de 0,20 g/cm²/min., que es superior a lo establecido en la reglamentación (0,10 g/cm²/min.).

Las muestras ensayadas de los fabricantes de las ladrilleras Los Espineles, La Pradera y El Líbano presentan una tasa de absorción inicial alta de agua con valores de 0,51g/cm²/min., 0,56g/cm²/min. y 0,51g/cm²/min

respectivamente, lo cual influye y deriva en altos tiempos de prehumedecimiento de las piezas. En contraste, los resultados de los ensayos realizados a las muestras de los fabricantes de la ladrillera Ocaña, El Estanco 1,2 y 3 y Granito de Oro presentan tasas de absorción inicial de agua más ajustadas a las recomendadas en la norma NTC 4205, lo que significa menores tiempos de prehumedecimiento para las piezas.

6.1.6 Ensayo "inmersión durante 24 horas"

Se encuentra que los valores mínimo y máximo en el ensayo "inmersión durante 24 horas" se presentan en las muestras de la ladrillera Ocaña y Sánchez, con valores de 12,55 % y 21,77 % respectivamente. El valor promedio global de todas las muestras seleccionadas es de 17,30 %. Para ladrillo de mampostería no estructural interior, 13 de las 19 ladrilleras cumplen lo estipulado por la norma, lo que representa el 68,42 % de la muestra de la prueba, mientras que el 31,58 % de las ladrilleras no cumplen con el estándar. En el producto de ladrillo de mampostería no estructural exterior, solo la ladrillera Ocaña cumple lo estipulado por la norma, lo que equivale al 5,26 %, mientras que el 94,74 % de las ladrilleras no cumplen con lo reglamentado. El valor promedio para las unidades de perforación horizontal H-10 es de 12,55 %, dato que se encuentra por encima del valor mínimo del 5 % y por debajo del valor máximo del 17 %, dentro de los márgenes de la norma.

Las muestras ensayadas de los fabricantes de las ladrilleras El Estanco 1, Sánchez, La

Pradera y Los Mellos presentan una absorción final alta con valores de 21,30 %, 21,77 %, 20,35 % y 21,02 % respectivamente, superior a lo establecido en la norma, de 17,50 %.

6.1.7 Ensayo "resistencia a la compresión"

Esta propiedad, en piezas de ladrillo macizo de arcilla cocida, tiene una variación que oscila entre 1,58 MPa y 10,51 MPa, con un valor promedio de todas las muestras seleccionadas de 4,71MPa, valor inferior a lo establecido por la norma, equivalente 14 MPa. De forma paralela, la resistencia a la compresión para las unidades de perforación horizontal H-10 es de 1,63 MPa, cantidad inferior a lo establecido por la norma (2,94 MPa).

Se encuentra, entonces, que los valores mínimo y máximo en la resistencia a la compresión en piezas de ladrillo macizo se presentan en las muestras de la ladrillera El Líbano y El Estanco 3, con 1,58 MPa y 10,51 MPa, respectivamente. Ninguna de las 13 ladrilleras que fabrican ladrillo macizo cumple con lo indicado por la regulación.

6.1.8 Ensayo "módulo de rotura o flexión"

Se encuentra que los valores mínimo y máximo en la resistencia a la flexión en piezas de ladrillo macizo se presentan en las muestras de las ladrilleras Los Espineles y Los Mellos, con 0,89 MPa y 5,95 MPa, respectivamente, y con un valor promedio de todas las muestras seleccionadas de 2,24 MPa. Solo la ladrillera Los Espineles, de las 17 en total, no

cumple con lo estipulado por la norma, lo que representa el 5,88 % de la muestra total, mientras que el 94,12 % de las ladrilleras satisface, con resultados superiores, lo establecido en la norma, en el rango de 1 MPa a 1,40 MPa. Por otro lado, el valor promedio en el módulo de rotura o flexión en las unidades de perforación horizontal H-10 es de 0,27 MPa, es decir, por fuera del rango de 0,29 MPa a 0,88 MPa permitido por el estándar.

6.1.9 Análisis estadístico en los ensayos de unidades de mampostería de bloques de arcilla

Se realizó un análisis utilizando el *software* de paquete estadístico SPSS para observar si existe correlación entre las variables "resistencia a la compresión", "tasa de absorción inicial", "módulo de rotura" e "inmersión durante 24 horas"; primero, se realizó una regresión lineal entre las variables, y después, con los resultados de varios modelos curvilíneos que proporcionó el programa, se escogió el modelo que más se ajusta y se analizó cada caso.

El primer supuesto que debe cumplir el modelo de regresión lineal es, precisamente, el de linealidad; es decir, que la variable dependiente puede expresarse como la suma de una constante, una combinación lineal de variables predictivas ponderadas por los coeficientes de regresión y un término error (Moreno González, 2008), que se expresa formalmente como:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n + e \quad (5)$$

6.1.10 Regresión lineal entre la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"

La ecuación del modelo lineal ajustado para describir la relación entre la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable independiente "tasa de absorción inicial" es:

$$\text{Resistencia a la compresión} = 5,55477 - 2,12822 * \text{tasa de absorción inicial} \quad (6)$$

La lectura del modelo lineal indica dos cuestiones importantes: en primer lugar, que la tasa de absorción inicial disminuye un factor de 2,12822 g/cm²/min por cada MPa en aumento que se da en la resistencia a la compresión de las muestras; en segundo lugar, que la resistencia a la compresión de las muestras que no tuviesen tasa de absorción inicial sería, en promedio, de 5,55477 MPa. Este coeficiente (intercepto) es una información extrapolada del conjunto de datos, en el sentido de que no hay ninguna muestra que tenga un valor nulo en la resistencia a la compresión, razón por la cual es poco informativo y, sobre todo, engañoso, dado que el *software* de paquete estadístico SPSS hace predicciones fuera del rango de datos, y esto, en el contexto del análisis de regresión, es inadecuado por su carácter arriesgado (nada impide que fuera de ese rango de datos observados, la relación entre las variables pueda ser de un tipo diferente al lineal).

El ajuste lineal indica que, para todas las predicciones de resistencia a la compresión que se hagan en las muestras, estas no estarán sobre la propia recta, incluso hasta para los valores más pequeños en la tasa de absorción inicial. Por ejemplo, en la ladrillera Granito de Oro, con un valor de 0,24 g/cm²/min y con resistencia a la compresión de 4,6 MPa, se pronostica, según el ajuste, un valor de 5,04 MPa; mientras que en las muestras con valores mayores de tasa de absorción inicial, como el de la ladrillera El Líbano, con un valor de 0,53 g/cm²/min y resistencia a la compresión de 1,58 MPa, se advierte, según el ajuste, un valor de 4,43 MPa. Esto es, ninguno de los valores reales coincide con los observados, lo que supone que al efectuar pronósticos con la recta se cometen una serie de errores, que son las diferencias entre los valores pronosticados y los valores reales u observados (ver Figura 41).

Para los valores estadísticos encontrados entre las variables "resistencia a la compresión" y "tasa de absorción inicial", el coeficiente de correlación de Pearson es 0,924519 y, por lo tanto, la raíz cuadrada es 0,854736. Esto significa que, al hacer predicciones de resistencia a la compresión con base en la información de la tasa de absorción inicial, se mejora el pronóstico en un 85,47 % respecto de aquel en el que solo se hubiese tomado en consideración la propia variable, "resistencia a la compresión". Es decir, en términos de variabilidad asociada, el 85,47 % de la varianza de la resistencia a la compresión se debe a la varianza de la tasa de absorción inicial. Como los pronósticos son una transformación lineal de la variable independiente X, entonces, ese porcentaje de varianza de la

variable dependiente Y es el explicado por los pronósticos, mientras que el resto del porcentaje de la variabilidad (100 - 85,47 = 14,53) es el que se atribuye al error que se comete al pronosticar.

Un valor del coeficiente de correlación entre 0,7 y 1 y entre -0,7 y -1 indica que hay una correlación alta entre las variables, ya que el número del coeficiente de correlación es -0,0924519, esto indica que el vínculo entre las variables "resistencia a la compresión" y "tasa de absorción inicial" es débil. Así mismo, el signo negativo del coeficiente de correlación indica que mientras una variable aumenta, la otra disminuye.

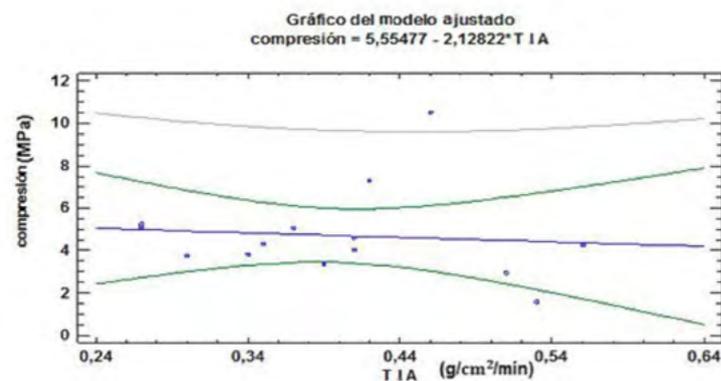
En el diagrama de dispersión parcial entre la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable predictiva "tasa de absorción inicial", se observa que, para valores pequeños en la segunda, estos se encuentran muy cerca a la recta, mientras que para valores mayores de tasa de absorción inicial se alejan cada vez más de la misma, por lo que los datos no pueden ser satisfactoriamente ajustados por un modelo lineal y habría que, por tanto, ensayar el ajuste de otro tipo de modelos.

Si el modelo ajustado es lineal, los errores o residuos deben ser independientes entre sí, y para ello, el *software* SPSS calcula el estadístico de Durbin-Watson, que oscila entre 0 y 4, y toma el valor 2 cuando los residuos son independientes; valores menores que 2 indican autocorrelación positiva, y los mayores que 2 autocorrelación negativa. No obstante, se asume independencia con valores entre 1,5 y 2,5 (Moreno González, 2008); en segundo lugar, la varianza de

los residuos debe ser constante para cada elemento de la variable independiente. En este caso, el valor del estadístico de Durbin-Watson es 1,19131, que indica que los residuos no son independientes y, por tanto,

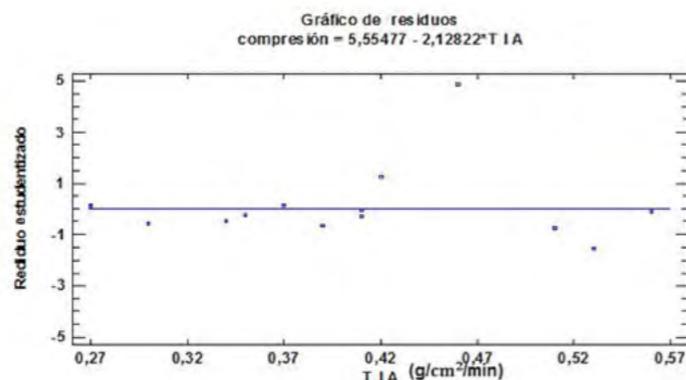
no existe linealidad en el ajuste; además, el diagrama no presenta signos de heterocedasticidad, presentando varianzas heterogéneas (ver Figura 42).

Figura 41. Modelo lineal ajustado entre la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"



Fuente: autores.

Figura 42. Residuos entre la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"



Fuente: autores.

Debido a que el ajuste lineal no es el adecuado para los datos, se utiliza el software de paquete estadístico SPSS para deter-

minar cuál modelo curvilíneo es el que se ajusta mejor a los datos; estos, ajustados a los datos, se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Comparación de modelos alternos entre la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"

Modelo	Correlación	R-cuadrada
Inversa-Y cuadrado-X	0,4236	17,95 %
Inversa de Y	0,4001	16,00 %
Inversa-Y log-X	0,3717	13,82 %
Doble inverso	-0,3411	11,63 %
Log-Y cuadrado-X	-0,2968	8,81 %
Exponencial	-0,2714	7,36 %
Logarítmico-Y raíz cuadrada-X	-0,2581	6,66 %
Multiplcativa	-0,2448	5,99 %
Curva S	0,2194	4,82 %
Raíz cuadrada-X cuadrado-X	-0,2075	4,31 %
Raíz cuadrada de Y	-0,1813	3,29 %
Raíz cuadrada doble	-0,1684	2,84 %
Raíz cuadrada-Y log-X	-0,1561	2,44 %
Raíz cuadrada-Y inversa de X	0,1339	1,79 %
Cuadrado de X	-0,1191	1,42 %
Lineal	-0,0925	0,85 %
Cuadrado-Y inversa de X	-0,0811	0,66 %
Raíz cuadrada de X	-0,0800	0,64 %
Logaritmo de X	-0,0685	0,47 %
Cuadrado-Y log-X	0,0662	0,44 %
Cuadrado-Y raíz cuadrada-X	0,0561	0,31 %
Inversa de X	0,0494	0,24 %

Modelo	Correlación	R-cuadrada
Cuadrado de Y	0,0444	0,20 %
Cuadrado doble	0,0174	0,03 %
Inversa-Y raíz cuadrada-X	sin ajuste	
Logístico	sin ajuste	
Log probit	sin ajuste	

Fuente: autores.

De los modelos ajustados, el modelo Y-inversa X-cuadrado es el que arroja el valor más alto de R-cuadrado con 17,95 %.

6.1.11 Regresión inversa-cuadrado a la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"

La ecuación del modelo inversacuadrado ajustado para describir la relación entre la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable independiente "tasa de absorción inicial" es:

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{1}{(0,135922 + 0,702457 * (\text{tasa de absorción inicial}^2))} \quad (7)$$

El ajuste inversacuadrado indica que todas las predicciones de resistencia a la compresión que se hagan en las muestras no estarán sobre la propia recta, incluso hasta para los valores más pequeños en la tasa

de absorción inicial, por ejemplo, en la ladrillera El Estanco 3, con un valor de 0,27 g/cm²/min y resistencia a la compresión de 10,51MPa, se pronostica, según el ajuste, un valor de 5,34 MPa; mientras que en las muestras con valores mayores de tasa de absorción inicial, como el de la ladrillera El Líbano, con un valor de 0,53 g/cm²/min y resistencia a la compresión de 1,58 MPa, se pronostica, según el ajuste, un valor de 3,00 MPa. Es decir, ninguno de los valores reales coincide con los observados, lo que supone que, al efectuar pronósticos con el modelo inversacuadrado, se cometen una serie de errores, que son las diferencias entre los valores pronosticados y los reales u observados (ver Figura 43).

Para los valores estadísticos encontrados entre las variables "resistencia a la compresión" y "tasa de absorción inicial", el coeficiente de correlación de Pearson es 4,236319, y, por lo tanto, con R-cuadrado de 16,9464. Esto implica que, al hacer pronósticos de resistencia a la compresión con base en la información de la tasa de absorción inicial, este se mejora en 1694,64 %

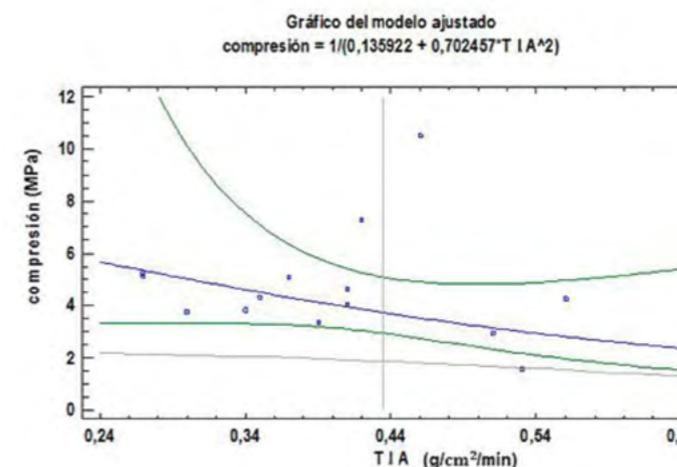
respecto de aquel en el que solo se hubiese tomado en consideración la propia variable, "resistencia a la compresión". Es decir, en términos de variabilidad asociada, el 1694,64 % de la varianza de la resistencia a la compresión se debe a la varianza de la tasa de absorción inicial.

Como el valor del coeficiente de correlación es 0,423633, esto indica que la correlación entre las variables "resistencia a la compresión" y "tasa de absorción inicial" es baja; así mismo, el signo positivo del coe-

ficiente de correlación indica que mientras una variable aumenta, la otra también.

En el diagrama de dispersión parcial entre la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable predictiva "tasa de absorción inicial" se observa que, los valores pequeños y grandes en la tasa de absorción inicial se encuentran sobre el modelo, mientras que para el valor promedio de 0,44 g/cm²/min de tasa de absorción inicial, se incumple lo necesario y no se disponen sobre el modelo.

Figura 43. Modelo ajustado inversa-cuadrado a la variable dependiente "resistencia a la compresión" y la variable independiente "tasa de absorción inicial".



Fuente: autores.

6.1.12 Regresión lineal entre la variable dependiente "módulo de rotura" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"

La ecuación del modelo lineal ajustado para describir la relación entre la variable dependiente "módulo de rotura" y la variable independiente "tasa de absorción inicial" es:

$$\text{Módulo de rotura} = 1,32022 + 1,75063 * \text{tasa de absorción inicial} \quad (8)$$

La lectura del modelo lineal indica dos cuestiones importantes: en primer lugar, que la tasa de absorción inicial aumenta en un factor de 1,75063 g/cm²/min por cada Pa, aumento que se da en el módulo de rotura de las muestras; en segundo lugar, que el módulo de rotura de las muestras que no tuviesen tasa de absorción inicial sería, en promedio, de 1,32022 Pa. Este coeficiente (intercepto) es una información extrapolada del conjunto de datos, en el sentido de que no hay ninguna muestra que tenga un valor nulo en el módulo de rotura, razón por la cual es poco informativo y sobre todo engañoso, dado que el *software* de paquete estadístico SPSS hace predicciones fuera del rango de datos, y esto, en el contexto del análisis de regresión, es inadecuado por arriesgado (nada impide que fuera de ese rango de datos observados, la relación entre las variables pueda ser de un tipo diferente al lineal).

El ajuste lineal indica que todas las predicciones de módulo de rotura que se hagan en las muestras no estarán sobre la propia recta, incluso hasta para valores pequeños

en la tasa de absorción inicial, por ejemplo, en la ladrillera El Estanco 3, con un valor de 0,27 g/cm²/min y módulo de rotura de 1,24 Pa, se pronostica, según el ajuste, un valor de 1,79 Pa; mientras que en las muestras con valores mayores de tasa de absorción inicial, como las de la ladrillera El Líbano, con un valor de 0,53 g/cm²/min y módulo de rotura de 0,91 Pa, se pronostica, de acuerdo con el ajuste, un valor de 2,24 Pa. Esto es, ninguno de los valores reales coincide con los valores observados, lo que supone que al efectuar pronósticos con la recta se cometen una serie de errores, que son las diferencias entre los valores pronosticados y los valores reales u observados (ver Figura 44).

Para los valores estadísticos encontrados entre las variables "módulo de rotura" y "tasa de absorción inicial", el coeficiente de correlación de Pearson es 0,1644767, y por lo tanto, el R-cuadrado es 0,0270526. Esto significa que, al pronosticar sobre el módulo de rotura con referencia en la información de la tasa de absorción inicial, se mejora el pronóstico en 270,526 %, respecto de aquel en el que solo se hubiese tomado en consideración la propia variable módulo de rotura.

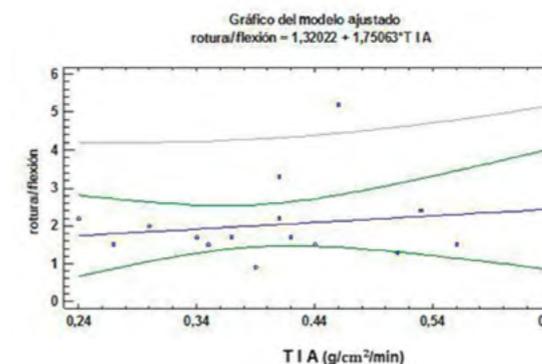
Como el valor del coeficiente de correlación es 0,164477, se concluye que este indica que la correlación entre las variables "módulo de rotura" y "tasa de absorción inicial" es débil. Así mismo, el signo positivo del coeficiente de correlación indica que, mientras una variable aumenta, la otra también.

En el diagrama de dispersión parcial entre la variable dependiente "módulo de rotura" y la variable predictiva "tasa de absorción inicial" se observa que, a valores pequeños

en la tasa de absorción inicial corresponden similares cantidades en el módulo de rotura, e igual sucede con los valores mayores en la tasa de absorción inicial, a los que les corresponden números mayores en el módulo de rotura, pero diferentes al valor esperado en la recta; por lo tanto, es necesario el ajuste de otro tipo de modelos.

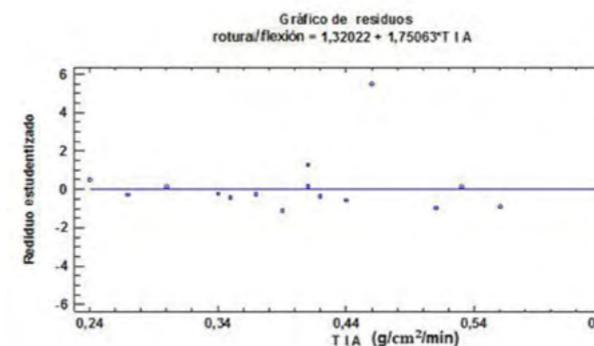
En este caso, el valor del estadístico de Durbin-Watson es 2,41501, que indica que los residuos no son independientes y, por ello, no existe linealidad en el ajuste. Además, el diagrama no presenta signos de heterocedasticidad al evidenciar varianzas heterogéneas (ver Figura 45).

Figura 44. Modelo lineal ajustado entre la variable dependiente "módulo de rotura" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"



Fuente: autores.

Figura 45. Residuos entre la variable dependiente "módulo de rotura" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"



Fuente: autores.

Debido a que el ajuste lineal no es el adecuado para los datos, se utiliza el *software* de paquete estadístico SPSS, para determinar cuál modelo curvilíneo es el que se ajusta mejor a los datos, y dichos modelos en tales circunstancias se muestran en la Tabla 15.

De los modelos ajustados, el modelo Y-cuadrado X-inversa es el que arroja el valor más alto de R-cuadrado, con 4,19 %.

6.1.13 Regresión cuadrada-inversa a la variable dependiente “módulo de rotura” y la variable independiente “tasa de absorción inicial”

La ecuación del modelo ajustado cuadrada-inversa para describir la relación entre la variable dependiente “módulo de rotura” y la variable independiente “tasa de absorción inicial” es:

$$\text{Módulo de rotura} = \sqrt{\frac{8,13494}{\text{tasa de absorción inicial}}} \quad (9)$$

El ajuste cuadrada - inversa indica que todas las predicciones de módulo de rotura que se hagan en las muestras no estarán sobre el propio modelo, incluso hasta para los valores más pequeños en la tasa de absorción inicial; por ejemplo, en la ladrillera El Estanco 3, con un valor de 0,27 g/cm²/min y módulo de rotura de 1,24 Pa, se pro-

nostica, según el ajuste, un valor de 5,49 Pa; mientras que en las muestras con valores mayores de tasa de absorción inicial, como el de la ladrillera El Líbano, de 0,53 g/cm²/min y módulo de rotura de 0,91 Pa, se pronostica, según el ajuste, un valor de 3,92 Pa. Esto quiere decir que ninguno de los valores reales coincide con los valores observados, lo que supone que, al efectuar pronósticos con el modelo cuadrada - inversa, se cometen una serie de errores, que son las diferencias entre los valores pronosticados y los valores reales u observados.

Para los valores estadísticos encontrados entre las variables “módulo de rotura” y “tasa de absorción inicial”, el coeficiente de correlación de Pearson es 2,0463 y, por lo tanto, el R-cuadrado es 4,1874. Esto significa que, al hacer pronósticos de módulo de rotura fundamentados en la información de la tasa de absorción inicial, se mejora el pronóstico en 418,74 %, respecto de aquel en que solo se hubiese tomado en consideración la propia variable “módulo de rotura”. Es decir, en términos de variabilidad asociada, el 418,74 % de la varianza del módulo de rotura se debe a la varianza de la tasa de absorción inicial (ver Figura 46).

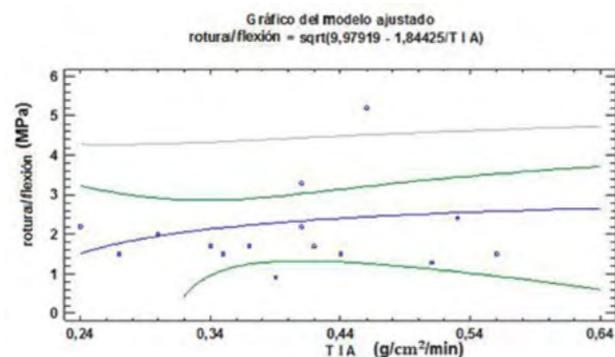
El coeficiente -0,204633 indica que la correlación entre las variables “módulo de rotura” y “tasa de absorción inicial” es baja; así mismo, el signo negativo del coeficiente de correlación indica que, mientras una variable aumenta, la otra también.

Tabla 15. Comparación de modelos alternos a la variable dependiente “módulo de rotura” y la variable independiente “tasa de absorción inicial”

Modelo	Correlación	R-Cuadrado
Cuadrado-Y inversa de X	-0,2046	4,19 %
Cuadrado-Y log-X	0,2027	4,11 %
Cuadrado-Y raíz cuadrada-X	0,1982	3,93 %
Cuadrado de Y	0,1914	3,66 %
Logaritmo de X	0,1725	2,97 %
Cuadrado doble	0,1714	2,94 %
Inversa de X	-0,1713	2,94 %
Raíz cuadrada de X	0,1696	2,88 %
Lineal	0,1645	2,71 %
Cuadrado de X	0,1480	2,19 %
Raíz cuadrada-Y log-X	0,1464	2,14 %
Raíz cuadrada doble	0,1450	2,10 %
Raíz cuadrada-Y inversa de X	-0,1429	2,04 %
Raíz cuadrada de Y	0,1414	2,00 %
Raíz cuadrada-X Cuadrado-X	0,1283	1,65 %
Logarítmico-Y raíz Cuadrada-X	0,1142	1,30 %
Multiplicativa	0,1138	1,30 %
Exponencial	0,1126	1,27 %
Curva S	-0,1074	1,15 %
Log-Y cuadrado-X	0,1040	1,08 %
Inversa-Y cuadrado-X	-0,0523	0,27 %
Inversa de Y	-0,0502	0,25 %
Inversa-Y raíz cuadrada-X	-0,0471	0,22 %
Inversa-Y log-X	-0,0426	0,18 %
Doble inverso	0,0300	0,09 %
Logístico	sin ajuste	
Log probit	sin ajuste	

Fuente: autores

Figura 46. Modelo ajustado cuadrada- inversa a la variable dependiente "módulo de rotura" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"



Fuente: autores.

En el diagrama de dispersión parcial entre la variable dependiente "módulo de rotura" y la variable predictiva "tasa de absorción inicial" se observa que, para valores pequeños y grandes en la tasa de absorción inicial, estos se encuentran por debajo del modelo, mientras que para el valor promedio de 0,44 g/cm²/min de tasa de absorción inicial, los mismos están por encima del modelo.

6.1.14 Regresión lineal entre la variable dependiente "inmersión durante 24 horas" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"

La ecuación del modelo lineal ajustado para describir la relación entre la variable dependiente "inmersión durante 24 horas" y la variable independiente "tasa de absorción" inicial es:

$$\text{Inmersión durante 24 horas} = 18,7646 - 2,79632 * \text{tasa de absorción inicial (10)}$$

La lectura del modelo lineal indica dos asuntos importantes: en primer lugar, que la tasa de absorción inicial disminuye 2,79632 g/cm²/min veces la tasa de absorción inicial; en segundo lugar, que la inmersión durante 24 horas de las muestras que no tuviesen tasa de absorción inicial es de 18,7646 %. Este coeficiente (intercepto) es una información extrapolada del conjunto de datos, en el sentido de que no hay ninguna muestra que tenga un valor nulo en la inmersión durante 24 horas, razón por la cual es poco informativo y, sobre todo, engañoso, dado que el *software* SPSS hace predicciones fuera del rango de datos.

El ajuste lineal indica que para todas las predicciones de inmersión durante 24 horas que se hagan en las muestras, estas se ubicarán sobre la propia recta, para los valores más pequeños en la tasa de absorción inicial.

Por ejemplo, en la ladrillera Granito de Oro, con un valor de 0,24 g/cm²/min e inmersión durante 24 horas de 16,59 % de absorción, se pronostica, en relación con el ajuste, un valor de 18,094 % de absorción; mientras que en las muestras con valores mayores de tasa de absorción inicial, como el de la ladrillera El Líbano, con un valor de 0,53 g/cm²/min en inmersión durante 24 horas de 18,99 % de absorción, se pronostica, según el ajuste, un valor de 17,29 % de absorción. Es decir, los valores reales están muy cerca de los valores observados (ver Figura 47).

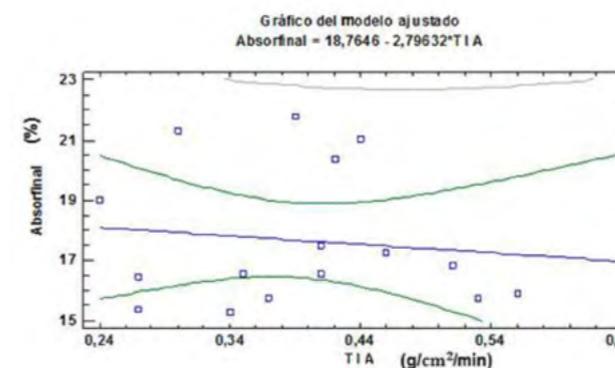
Para los valores estadísticos encontrados entre las variables "inmersión durante 24 horas" y "tasa de absorción inicial", el coeficiente de correlación de Pearson es 1,180949 y, por lo tanto, el R-cuadrado es 1,39464. Esto significa que, al hacer pronósticos de inmersión durante 24 horas

con base en la información de la tasa de absorción inicial, se mejora el pronóstico en 139,464 % respecto del pronóstico en el que solo se hubiese tomado en consideración la propia variable "inmersión durante 24 horas".

El valor -0,118095 indica que la correlación entre las variables "inmersión durante 24 horas" y "tasa de absorción inicial" es débil. De igual manera, el signo negativo del coeficiente de correlación indica que mientras una variable aumenta, la otra disminuye.

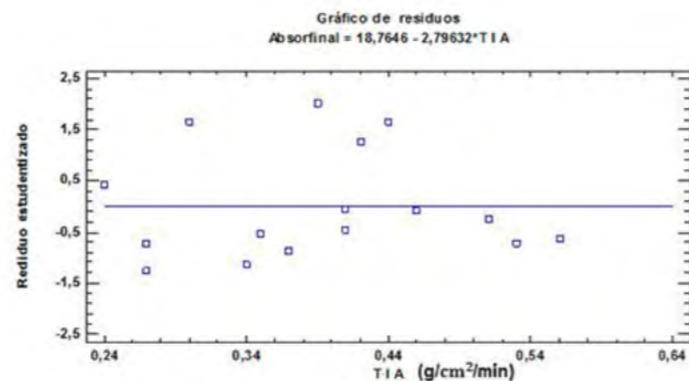
En este caso, el valor del estadístico de Durbin-Watson es 1,85907, el cual indica que los residuos son independientes y, por ende, existe linealidad en el ajuste, además, el diagrama no presenta signos de heterocedasticidad, al mostrar varianzas homogéneas (ver Figura 48).

Figura 47. Modelo lineal ajustado entre la variable dependiente "inmersión durante 24 horas" y la variable independiente "tasa de absorción inicial"



Fuente: autores.

Figura 48. Residuos entre la variable dependiente “inmersión durante 24 horas” y la variable independiente “tasa de absorción inicial”



Fuente: autores.

7. Análisis y síntesis

Los ladrillos de mampostería no estructural, producidos en el municipio de Ocaña, no cumplen con los requisitos establecidos en la norma técnica colombiana NTC 4205, para unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos, en lo atinente a las resistencias establecidas para Colombia.

El valor promedio en la tasa de absorción inicial de agua en las muestras seleccionadas es de 0.38 g/cm²/min., superior a lo establecido en la norma técnica colombiana anteriormente mencionada (el valor estipulado es 0.25 g/cm²/min.), lo cual indica que las piezas de ladrillos deberán tener un prehumedecimiento mínimo de 24 horas. Estos valores altos podrían deberse a una mezcla deficiente, a un deficiente proceso de trituración artesanal, y de cocción por parte del fabricante, lo que genera presencia de poros superficiales que le facilitan al ladrillo absorber gran cantidad de agua rápidamente, lo que afecta la adherencia y consistencia de mortero.

El valor promedio en el ensayo “inmersión 24 horas para ladrillo de mampostería no estructural interior” es de 17,30 %, número cercano al tope establecido en la norma técnica colombiana NTC 4205 (Icontec) de 17,50 %, pero excede en 4,30 % su utilización en ladrillo de mampostería no estructural exterior, pues su absorción máxima permitida es de 13 %.

El valor promedio en la resistencia a la compresión en piezas de ladrillo macizo de arcilla cocida es de 4,71 MPa, lo que es inferior a lo establecido en la norma técnica colombiana NTC 4205, de 14 MPa, y su restricción de usar solo el 80 % de esta resistencia, es decir, 11,2 MPa. Esto es señal del alto grado de vulnerabilidad a la compresión en muros de ladrillo macizo, que se usa principalmente en viviendas construidas mediante el sistema de resistencia sísmica de mampostería confinada, la cual se puede presentar en viviendas de dos pisos.

Las unidades de perforación horizontal H-10, producidas en el municipio de Ocaña, no cumplen con los requisitos establecidos en la norma técnica antes mencionada, según los hallazgos de este estudio.

El valor promedio en la tasa de absorción inicial de agua para las unidades de perforación horizontal H-10 es de 0.20 g/cm²/min., superior a lo establecido en la norma técnica colombiana NTC 4205 — de 0.10 g/cm²/min. —. Por esta razón, se puede afirmar que dichos materiales no cumplen con lo establecido en la norma, debido a una falta de cocción en los bloques, o a la falta de un porcentaje adecuado de arcillas y

limos, que causa mucho material granular, que ocasiona, a su vez, perforaciones al interior, y es por eso que se absorbe más agua de lo permitido.

El valor promedio en el ensayo de inmersión por 24 horas para las unidades de perforación horizontal H-10 es de 12,55 %, cifra que se encuentra por encima del valor mínimo del 5 % y por debajo del valor máximo (17 %), lo que permite concluir que se cumple lo estipulado por la norma técnica colombiana NTC 4205.

La resistencia a la compresión para las unidades de perforación horizontal H-10 es de 1,63 MPa, inferior a lo establecido por la norma (2,94 MPa) y el módulo de rotura o flexión presenta un valor de 0,27 MPa, que está por fuera del rango de 0,29 MPa a 0,88 MPa, permitido por la regulación.

Al analizar los resultados obtenidos en todos los ensayos realizados, para determinar las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos de mampostería no estructural y las unidades de perforación horizontal H-10, producidos y comercializados en la ciudad de Ocaña, mediante conceptos estadísticos, se puede concluir que la regresión lineal confiable es la encontrada entre las variables “inmersión 24 horas” y “tasa de absorción inicial”; las otras regresiones lineales presentan dispersiones importantes entre los datos, lo que genera una falta de homogeneidad en los resultados.

El ajuste lineal entre las variables “tasa de absorción inicial” y “resistencia a la compresión” indica que, para todas las predicciones de resistencia a la compresión que se hagan

en las muestras, ninguno de los valores reales coincide con los valores observados.

Debido a que el coeficiente de correlación en el ajuste lineal entre las variables “tasa de absorción inicial” y “resistencia a la compresión” es -0,0924519, la correlación entre las variables “resistencia a la compresión” y “tasa de absorción inicial” es débil; de la misma manera, cuando la variable “tasa de absorción inicial” aumenta, la variable “resistencia a la compresión” disminuye. Además, el valor del estadístico de Durbin-Watson es 1,19131, por lo que los residuos no son independientes, lo cual produce la no linealidad en el ajuste y el diagrama de residuos no presenta signos de heterocedasticidad, ya que se evidencian varianzas heterogéneas.

En el ajuste inversa-cuadrado entre las variables “tasa de absorción inicial” y “resistencia a la compresión”, como el valor del coeficiente de correlación es 0,423633, se observa que se acerca más al rango de correlación fuerte, por lo que el modelo inversa-cuadrado se ajusta mejor que el modelo lineal.

El ajuste lineal entre las variables “tasa de absorción inicial” y “módulo de rotura” indica que para todas las predicciones en el módulo de rotura que se hagan en las muestras, ninguno de los valores reales coincide con los valores observados.

Debido a que el coeficiente de correlación en el ajuste lineal entre las variables “tasa de absorción inicial” y “módulo de rotura” es 0,164477, la correlación entre estas es débil, y de la misma manera, cuando la variable “tasa de absorción inicial” aumenta, “módulo de rotura” también lo hace. A pesar de que

el valor del estadístico de Durbin-Watson es 2,41501 y se encuentre en el rango de linealidad en el ajuste, el diagrama de residuos no presenta signos de heterocedasticidad, ya que se dan varianzas heterogéneas.

En el ajuste inversa-cuadrado entre las variables “tasa de absorción inicial” y “módulo de rotura”, como el valor del coeficiente de correlación es -0,204633, este se acerca más al rango de correlación fuerte, por lo que el modelo inversa-cuadrado se ajusta más que el modelo lineal.

El ajuste lineal entre las variables “tasa de absorción inicial” e “inmersión durante 24 horas” indica que en las predicciones de inmersión durante 24 que se hagan en las muestras los valores reales están muy cercanos de los valores observados.

El valor positivo del coeficiente de correlación presentado entre las variables “módulo de rotura” y “tasa de absorción inicial” indica que la recta de mínimos cuadrados tiene pendiente positiva, lo que significa que los valores mayores de módulo de rotura están asociados con valores mayores de la tasa de absorción inicial, y por el contrario, el valor negativo indica que la recta de mínimos cuadrados tiene pendiente negativa, lo anterior muestra que valores mayores de resistencia a la compresión se vinculan con valores menores de tasa de absorción inicial y, de igual manera, con los valores de inmersión durante 24 horas y tasa de absorción inicial.

Los valores tan cercanos a cero en los coeficientes de correlación obtenidos de -0,0924519, 0,164477 y -0,118095, presentados entre las variables comparadas

“resistencia a la compresión” y la “tasa de absorción inicial”, “módulo de rotura” y “tasa de absorción inicial”, e “inmersión durante 24 horas” y “tasa de absorción inicial” respectivamente, no reflejan la fuerte relación lineal entre las variables, por lo que los puntos en el diagrama no tienden a agruparse alrededor de la recta de mínimos cuadrados.

La diferencia en la coloración de los productos, de otro lado, es un defecto que se observa y que es un factor determinante en la calidad de los mismos. Esta se da, principalmente, por la falta de uniformidad de la temperatura dentro del horno, lo que provoca que los materiales que soportan mayores temperaturas tiendan a oscurecer el tono rojizo dado por los óxidos de hierro. Otro defecto que se evidenció en la industria cerámica en el municipio de Ocaña son los agrietamientos en los bloques, que se deben a la falta de control en la cocción. .

Es conveniente que todas las ladrilleras del sector cerámico en el municipio de Ocaña conozcan y cumplan los requisitos mínimos establecidos por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial en la normatividad vigente. La autoridad ambiental corporación autónoma regional de la frontera nororiental Corponor debería ofrecer capacitaciones periódicas a los empresarios del sector cerámico sobre la normatividad ambiental vigente.

En el municipio de Ocaña a pesar de que ya hubo unas reuniones por parte del gobierno estatal y los empresarios del sector cerámico que cuentan con hornos a cielo abierto, para asociarse, estudiar y construir un prototipo de horno continuo de mejor desempeño y bajos índices de emisión, esta propuesta debería materializarse.

Hacer una alianza entre la Universidad, los propietarios de las ladrilleras y el estado para buscar soluciones que conlleven a la realización de proyectos para la cooperación interinstitucional que genere un beneficio común en el sector de la industria cerámica.

Establecer un plan de salud ocupacional para asegurar las condiciones mínimas de trabajo, dotando a los operarios de las ladrilleras de elementos de seguridad para disminuir la exposición a la radiación que se presenta en el horno y evitar posibles quemaduras.

El cambio de combustible a gas natural puede permitir una reducción en el tiempo del ciclo de cocción, el procedimiento de carga de los productos en el horno se realizará como lo quieran hacer los operadores sin las dificultades que se presentan en la actualidad, ya que el gas se expandirá en todo el horno, mayor uniformidad de la temperatura dentro de la carga, reducción en el consumo de energía, mejora de la calidad del producto final y aumento de la productividad.

8. Referencias

- 
- Alcaldía Municipal de Ocaña. (2011). *Plan básico de ordenamiento territorial PBOT*. Recuperado de: Secretaria Municipal de Ocaña.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS. (2000). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá: AIS.
- Chandía Moraga, A. (2004). *Desarrollo de un ladrillo de trayectoria térmica máxima*. Concepción: Universidad del Bio Bio.
- Claro Lazaro, J. (2013). *Resistencia de la mampostería reforzada exteriormente usando malla electrosoldada con fines de reforzamiento en viviendas de la ciudad de Ocaña*. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Cuéllar Henríquez, E. O. (2006). *Evaluación de la resistencia a la fractura de los ladrillos de barro fabricados por compresión*. San Salvador: Universidad Centroamericana José Simeón Cañes.
- Fernández, M. (2000). *Cocción de productos cerámicos*. Barcelona: Laboratorio Técnico Cerámico.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas NTC. (2005). *Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla NTC 4017*. Bogotá: Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas NTC. (2000). *Unidades de mampostería de*

arcilla cocida: ladrillos y bloques cerámicos.

Bogotá: Icontec.

Jácome Manzano S. A. (2015). *Evaluación termodinámica del proceso de cocción y análisis de gases en hornos a cielo abierto y Hoffman en Ocaña*. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander. .

Moreno González, E. (2008). *Manual de uso de SPSS*. Madrid: Instituto Universitario de Educación a Distancia .

Serrano Trillos, C. (1995). *Estudio teórico práctico del proceso de combustión de los hornos de tiro invertido para el chircal San Luis de Cúcuta*. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.

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

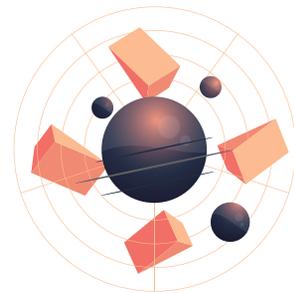
 Universidad Pontificia Bolivariana	SU OPINIÓN	
<p>Para la Editorial UPB es muy importante ofrecerle un excelente producto. La información que nos suministre acerca de la calidad de nuestras publicaciones será muy valiosa en el proceso de mejoramiento que realizamos. Para darnos su opinión, comuníquese a través de la línea (57)(4) 354 4565 o vía e-mail a editorial@upb.edu.co Por favor adjunte datos como el título y la fecha de publicación, su nombre, e-mail y número telefónico.</p>		

Este trabajo inicia con los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla cocida, utilizados como unidades de mampostería estructural y la reglamentación que deben tener los ensayos en las unidades de mampostería.

En el capítulo 2 se realizó una descripción del proceso de producción de materiales cerámicos, identificando las empresas ladrilleras dedicadas a la producción de materiales cerámicos en el municipio de Ocaña y se realizó una descripción de la línea de producción en las ladrilleras seleccionadas.

En los capítulos 3 y 4 se relacionaron las exigencias de ley establecidas por las entidades ambientales en lo referente al control de las emisiones atmosféricas emitidas desde sus procesos y se identificó la problemática de las empresas pertenecientes a la industria de la arcilla en el municipio de Ocaña.

Finalmente se muestran los resultados de los ensayos realizados a las muestras seleccionadas en el marco de la norma NTC 4017 en el que se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los productos acompañado de un análisis estadístico a las muestras seleccionadas en los ensayos.



ISBN: 978-958-764-564-4

