



Prospectiva

ISSN: 1692-8261

Universidad Autónoma del Caribe, Facultad de Ingeniería

Espinel Blanco, Edwin; Velásquez Pérez, Torcoroma; Pallares, Carlos Alberto
Propiedades físicas y mecánicas de bloques cerámicos H10 y
su relación con la temperatura durante el proceso de cocción
Prospectiva, vol. 15, núm. 2, 2017, Julio-Diciembre, pp. 74-84
Universidad Autónoma del Caribe, Facultad de Ingeniería

DOI: <https://doi.org/10.15665/rp.v15i2.788>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496254902009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEV
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Propiedades físicas y mecánicas de bloques cerámicos H10 y su relación con la temperatura durante el proceso de cocción

Physical and mechanical properties of H10 ceramic blocks and their relation to temperature during the cooking process

Edwin Espinel Blanco¹, Torcoroma Velásquez Pérez², Carlos Alberto Pallares³

¹ Magister en Ingeniería, Docente Departamento de Ingeniería Mecánica

² Magister en Ciencias de la Computación, Docente Departamento Sistemas e Informática

³ Ingeniero Mecánico

^{1,2,3} Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería GYTID, Ocaña-Colombia.

Email:eespinelb@ufpso.edu.co

Recibido 29/06/2016

Aceptado 15/05/2017

Cite this article as: E. Espinel, T. Velásquez, C. Pallares "Physical and mechanical properties of H10 ceramic blocks and their relation to temperature during the cooking process", Prospectiva, Vol 15, N° 2, 74-84, 2017.

RESUMEN

El presente trabajo analiza las propiedades físicas de tasa de absorción inicial agua TIA y porcentaje de absorción final de agua a las 24 horas y las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y a la flexión, respecto a los perfiles de temperatura registrados durante la cocción de bloques cerámicos H10. Se implementó un sistema para monitorear las temperaturas en el horno utilizando el software Labview, con termopares tipo K con bulbo de aleación cromo-aluminio instaladas en la pared del horno. Los ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas fueron realizados siguiendo la Norma Técnica Colombiana NTC 4017. Se clasificó el horno en cuatro niveles del más alto al más bajo y se tomaron muestras de bloques por niveles, en los niveles superiores del horno se alcanza en menor tiempo los 500 °C y se supera los 900 °C, produciendo un mejor proceso de cocción de productos con más alta resistencia a la compresión y a la flexión cumpliendo los requerimientos de la NTC 4205, así mismo en los bloques ubicados en la parte inferior del horno se presenta mayor tasa de absorción de agua que en los producidos en los niveles superiores.

Palabras claves: Temperatura; Bloque cerámico; Propiedades físicas; Propiedades mecánicas.

ABSTRACT

The present work analyzes the physical properties of the initial absorption rate TIA water and the percentage of final absorption of water at 24 hours and the mechanical properties of resistance to compression and bending, with respect to the temperature profiles recorded during the firing of blocks Ceramics H10. A system for monitoring oven temperatures was implemented using Labview software, with K-type chrome-aluminum alloy bulb thermocouples installed in the oven wall. The tests to determine the physical and mechanical properties were performed according to the Colombian Technical Standard NTC 4017. The oven was classified in four levels from the highest to the lowest and samples of blocks by levels were taken, in the upper levels of the oven it is reached in Less time 500 °C and exceeds 900 °C, producing a better process of cooking products with higher resistance to compression and bending, complying with the requirements of NTC 4205, as well in the blocks located at the bottom Of the oven presents a higher rate of water absorption than those produced at higher levels.

Key words: Temperature; Ceramic block; Physical properties; Mechanical properties.

1. INTRODUCCIÓN

Al nororiente del departamento Norte de Santander se encuentra ubicada la ciudad de Ocaña, en la cual funciona la empresa Ladrillera Ocaña, dedicada a la fabricación de bloques cerámicos H10 para mampostería. La empresa realiza la cocción del producto en un horno Hoffman de tiro inducido, que funciona con dos carbojets ubicados en la parte superior del horno y son los encargados de inyectar el carbón pulverizado a cada recámara.

La inyección de carbón se realiza manualmente por un operario, quien mediante su experiencia por una rejilla observa el interior del horno y discrecionalmente decide si permite o no la inyección de carbón, esto ocasiona que la cocción del bloque cerámico no se produzca adecuadamente y que el producto final no adquiera las propiedades y características esperadas.

Durante el proceso de cocción se genera una movilidad atómica que conduce a la unión de las partículas y a la disminución de la porosidad, la variación de dimensiones que se produce modifica la porosidad, dependiendo del proceso de fabricación y del grado de cocción [1]. Si las variaciones de volumen no se producen de modo regular durante el proceso de cocción, las piezas presentarán falta de uniformidad y tensiones [2]. Es necesario, controlar la velocidad a la que se incrementa la temperatura durante la cocción ya que una contracción rápida puede llevar a tensiones y provocar la rotura [3]. La cocción de los productos cerámicos constituye, en consecuencia, la etapa más importante del proceso de fabricación de bloques cerámicos, en esta fase se pone de manifiesto si las operaciones o etapas de fabricación anteriores se han desarrollado convenientemente y si el producto cocido ha adquirido las propiedades y características deseadas fijadas por las normas [4].

El proceso físico - químico de calentamiento, de acuerdo con un plan preestablecido de las piezas crudas moldeadas, seguido de un enfriamiento según un plan igualmente bien definido, es lo que se conoce como cocción [5], dicho proceso transforma la arcilla en silicato de aluminio cristalino sin hidratar [6]. No se conoce exactamente la influencia de algunos factores que intervienen en la cocción, no bastando con elevar la temperatura, pues cada tipo de producto necesita una determinada temperatura en función de su composición química, sus dimensiones y sobre todo del espesor del espécimen [7].

El producto terminado puede no poseer las propiedades físicas y mecánicas requeridas para ser utilizado en la industria de la construcción del país. Es importante determinar la relación entre la temperatura de cocción y las propiedades mecánicas finales para me-

jorar el proceso de cocción de acuerdo a las características de la arcilla [8].

2. METODOLOGÍA

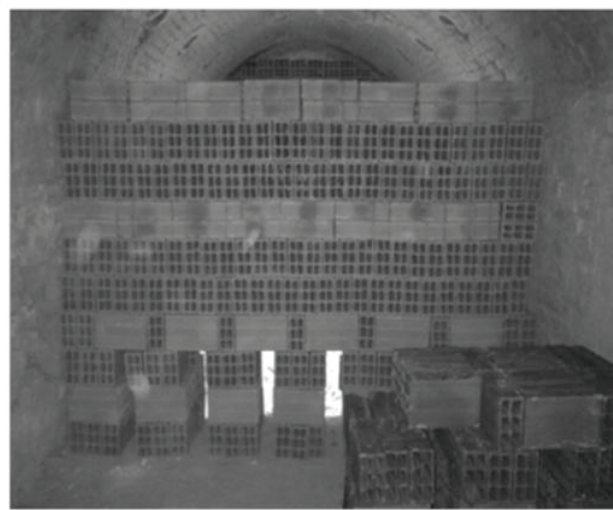
Para conocer el perfil de temperaturas presentado durante el proceso de cocción se desarrolló un sistema de monitoreo utilizando el software LabVIEW para lo cual se utilizó una tarjeta de adquisición de datos marca National Instruments, seguidamente se realizaron ensayos para determinar las propiedades físicas como la tasa de absorción inicial y la absorción de agua a las 24 horas, finalmente se determinaron las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y a la flexión.

2.1. Ubicación de los termopares en el horno

El horno utilizado para la cocción del bloque cerámico es un Hoffman de tiro inducido de 10 metros de ancho, 20 metros de alto y 30 metros de largo, con capacidad para producir 500.000 bloques cerámicos al mes, en quemas de 74.400 unidades, los cuales se distribuyen uniformemente en las 24 recamaras del horno, cada recámara almacena 5 hileras de 620 bloques por monto, posicionados de tal manera, que puedan circular los gases entre las recamaras, los bloques están separados 60 centímetros entre sí.

El proceso de cocción del bloque cerámico, desde que se sellan las puertas de las recamaras del horno, tarda de 36 a 38 horas, para obtención del producto terminado, luego se le suministra aire mediante ventiladores para disminuir la temperatura hasta los 60°C aproximadamente, es en este momento que es accesible el ingreso de los obreros para el retiro del material cocido por medio de carretas, para llevarlo al patio de almacenamiento.

Figura 1. Ubicación de bloques en el horno
Figure 1. Location of blocks in the oven

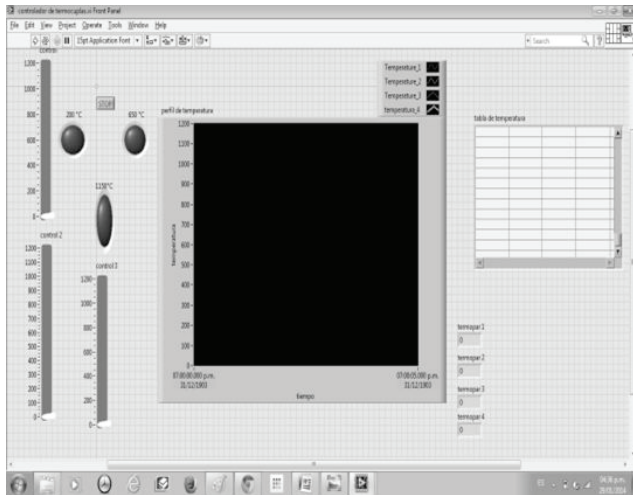


2.2. Programación de la interfaz en labVIEW

Para la creación del ejecutable de adquisición de datos se tuvieron en cuenta las variables de control y monitoreo; temperatura y tiempo de almacenamiento, necesarias para obtención de los datos, con base en las cuales se seleccionaron los comandos adecuados, de esta forma se programaron y diseñaron el panel frontal y el diagrama de bloques.

El panel frontal se diseñó enfocado en la visualización de las etapas del ciclo de cocción para evidenciar los respectivos cambios de temperatura y poder almacenar o tabular en un libro de Excel, haciendo más fácil la manipulación de dichos datos al momento de graficarlos. Los comandos utilizados fueron leds (boléanos), tablas gráficas y numéricas, e indicadores numéricos individuales para cada uno de los termopares y temporizadores.

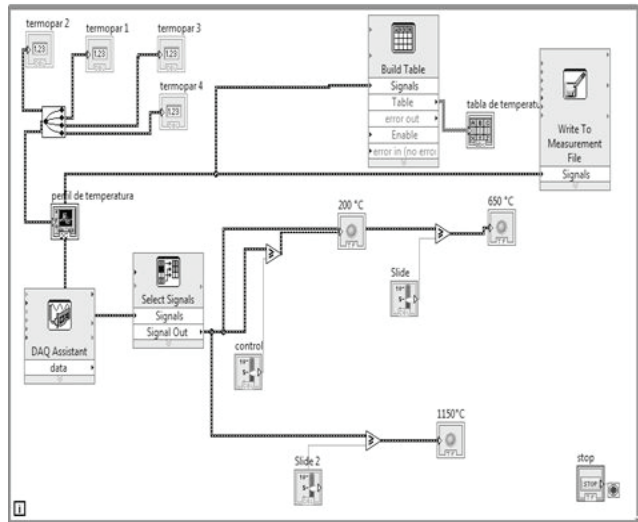
Figura 2. Panel frontal interfaz LabVIEW.
Figure 2. Front panel interface LabVIEW.



El diagrama de bloques constituye el código fuente incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora LabVIEW. En el lenguaje G las funciones y las estructuras son nodos elementales, análogos a los operadores o librerías de funciones de los lenguajes convencionales.

Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el panel frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales.

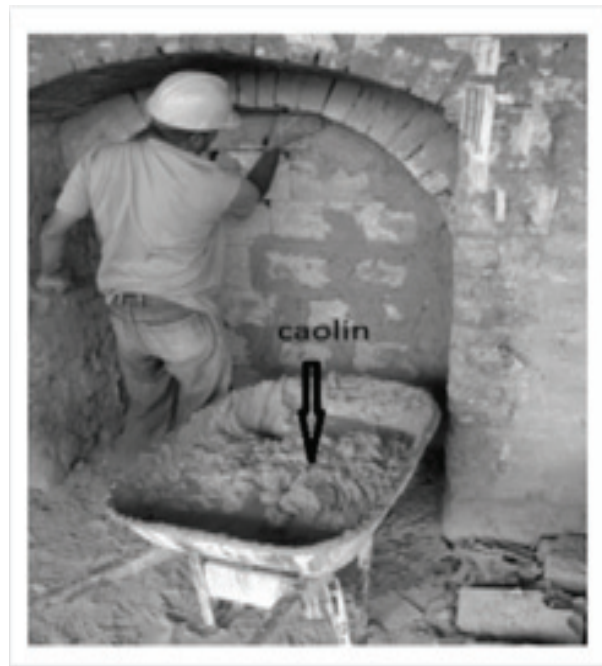
Figura 3. Diagrama de bloques.
Figure 3. Blocks diagram.



2.3. Implementación del sistema de monitoreo

La instalación del sistema se realiza en el instante en que se llenan las recámaras con los bloques cerámicos, se procede a sellar las puertas con caolín y a posicionar los termopares tipo K, con bulbo de aleación cromo-aluminio, verificando las distancias al monto donde se quiere detectar la temperatura en determinado tiempo, antes de comenzar la quema se asegura que no hayan fugas térmicas en las puertas.

Figura 4. Sellado de la puerta de la recámara del horno.
Figure 4. Sealing the door of the furnace chamber.



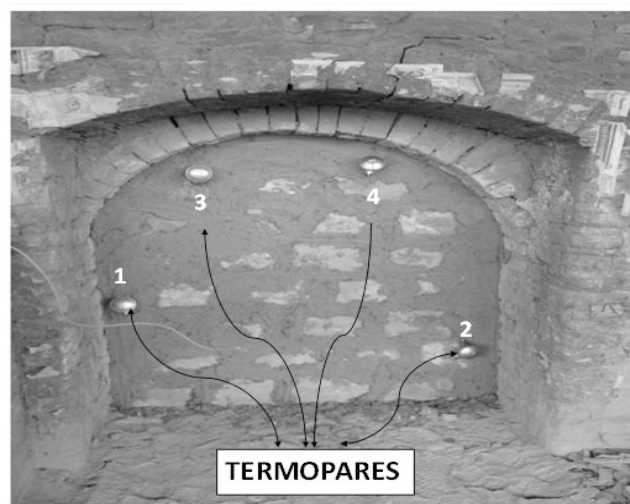
La distancia de la puerta de la recámara seleccionada para la toma de datos, al cuarto de monitoreo donde van a ir situados los dispositivos es de 20 metros, a

través de cable extendido se realiza la conexión de los termopares a la tarjeta de adquisición de datos NI 9211 (módulo para termopares), que a su vez va conectada al chasis NIcDAQ 9174 (contenedor de módulos) el cual se conecta al computador que contiene el software LabView.

La instalación de los termopares en la puerta de la recámara se realizó de forma que registre las temperaturas en el nivel superior y en el inferior de la recámara. Este sistema brinda la posibilidad de registrar más temperaturas en distintos lugares de la puerta de la recámara o en otro sitio donde se quieran conocer.

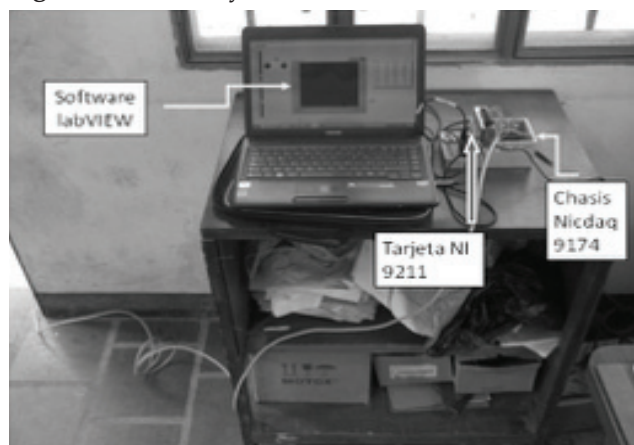
En la figura 5 se observa la instalación de los termopares en la compuerta de una de las recamaras del horno.

Figura 5. Instalación de termopares.
Figure5. Thermocouple installation.



De igual forma en la figura 6, se observa la instalación del cableado proveniente de los termopares en el horno a la tarjeta de adquisición de datos y al chasis, que se conectan al computador.

Figura 6. Sistema de control.
Figure 6. Control system.



2.4. Selección de bloques para los ensayos

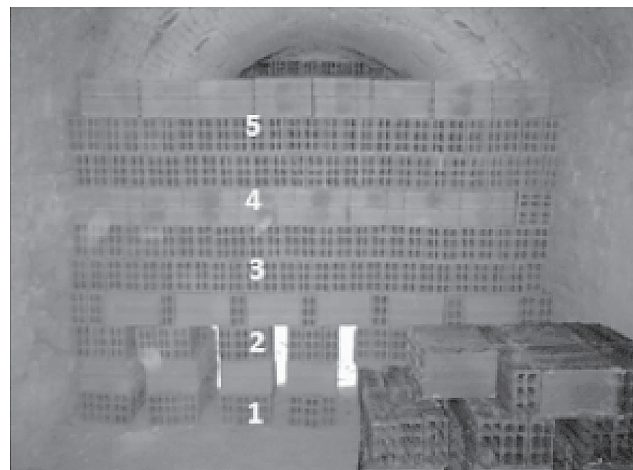
Para seleccionar los especímenes para realizar los ensayos se clasificaron los bloques según su ubicación en el horno tipo Hoffman, se organizaron cuatro niveles; bajo (1), medio (2), medio alto (3) y alto (4), como se muestra en la figura 7, para los ensayos se tomaron 20 bloques de cada nivel y se utilizaron cinco para cada prueba como lo establece las normas NTC 4017 y NTC 4205, se determinó la Resistencia a la flexión, la Resistencia a la compresión, la tasa de absorción inicial y final de agua, con el fin de analizar el comportamiento de los bloques durante el proceso de cocción [9].

Tabla 1. Distribución de niveles en el horno.
Table 1. Distribution of levels in the oven.

Nivel	Muestra (Especimen)
Nivel 4 (Alto)	M1,M2,M3,M4,M5
Nivel 3 (Medio Alto)	M7,M8,M9,M10,M11
Nivel 2 (Medio)	M12,M13,M14,M15
Nivel 1 (Bajo)	M16,M17,M18,M19,M20

Figura 7. Niveles en el horno para la selección de bloques.

Figure 7. Levels in the oven for selecting blocks.



2.5. Ensayo de absorción inicial (TIA)

Se tomaron cinco muestras de cada nivel y se utilizó un calibrador pie de rey digital marca STANDARD-GAGE con rango $350 \text{ mm} \pm 0.1 \mu\text{m}$, para pesarlos una balanza electrónica digital marca PINZUAR modelo PG89.

La evaluación de la tasa de absorción inicial para cada muestra se determinó con la expresión:

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

Donde:

TIA= Tasa de Absorción (gr/cm²/min)

G = Diferencia entre la masa inicial seca y la final (g/min)
 A = Área neta en contacto con el agua (cm²)

2.6. Ensayo de inmersión durante 24 horas

Este ensayo determina la capacidad de absorber agua durante un periodo de 24 horas siguiendo los requerimientos de la norma técnica colombiana NTC 4017, dicha propiedad afecta la vida del bloque cerámico, es decir si absorbe cantidades de agua por encima de lo permitido se ve comprometida su estructura física.

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

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

Donde:

% absorción= porcentaje de absorción de agua

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).

2.7. Ensayo flexión en los bloques

Se realiza los ensayos de flexión de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 utilizando soportes que permiten que el espécimen esté libre para rotar en dirección longitudinal y transversal de manera que no ejerzan fuerza en estas direcciones como se observa en la figura 8. Los ensayos se realizaron en un gato hidráulico marca SOILTEST modelo CN-472 equipado con medidor de carga y deformímetro análogo calibrado por laboratorios PINZUAR de Colombia, para medir los especímenes se utilizó un calibrador digital marca STANDARDGAGE de 350 (mm) con tolerancias de 0,1 μ m.

Figura 8. Ensayo de flexión en los bloques.

Figure 8. Bending test blocks.

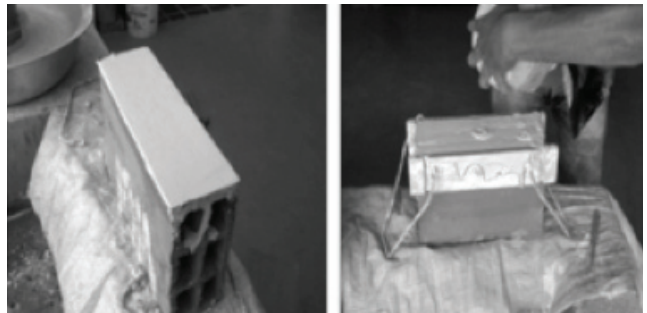


2.8. Ensayo de compresión de los bloques

Los ensayos de compresión se realizaron en una máquina universal marca PINZUAR modelo PV-100-600 serie 109 con capacidad de 1000 KN y para medir los especímenes un calibrador digital marca STANDARDGAGE de 350 (mm) con tolerancias de 0,1 μ m., el muestreo y preparación de cada bloque se realizó según la Norma NTC 4017 refrentando cada espécimen de perforación horizontal con yeso de secado rápido supermold aplicado en la cara superior e inferior con un espesor máximo de 3 mm como se muestra en la figura 9, el cual se deja secar 24 horas para su óptimo secado y posterior realización de la prueba, para que al momento de realizar la compresión haya uniformidad de carga en el área de contacto [10].

Figura 9. Refrentado de los Bloques H10.

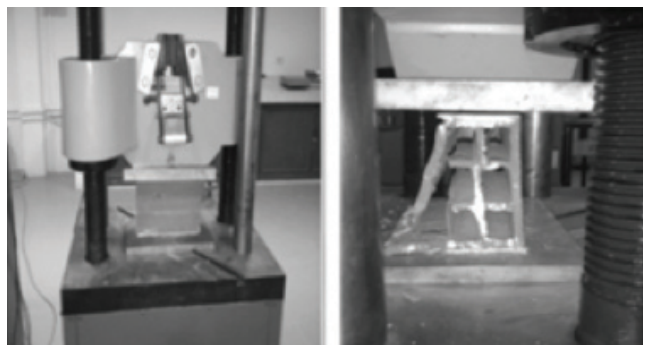
Figure 9. Facing Blocks H10.



En la figura 10 se observa el momento durante el cual se aplica la carga a un espécimen durante el ensayo de compresión.

Figura 10. Ensayo de compresión.

Figure 10. Compression Test.



3. RESULTADOS

3.1. Implementación del sistema de monitoreo de temperaturas

Luego de ubicar los termopares en el horno y realizar la instalación de los dispositivos de monitoreo, se procede a registrar las temperaturas durante una quema de bloque, se almacenan los datos obtenidos en un libro de

Excel. El software LabVIEW, tiene la capacidad de registrar infinitos datos de cada termopar en un intervalo de 1 a 10 segundos dependiendo de su configuración.

Durante la cocción de producto en el horno se registraron las temperaturas y se graficaron los respectivos perfiles para cada nivel de acuerdo a la ubicación del material.

Figura 11. Perfil de temperaturas niveles 1 y 2.
Figure 11. Thermocouple profile levels 1 and 2.

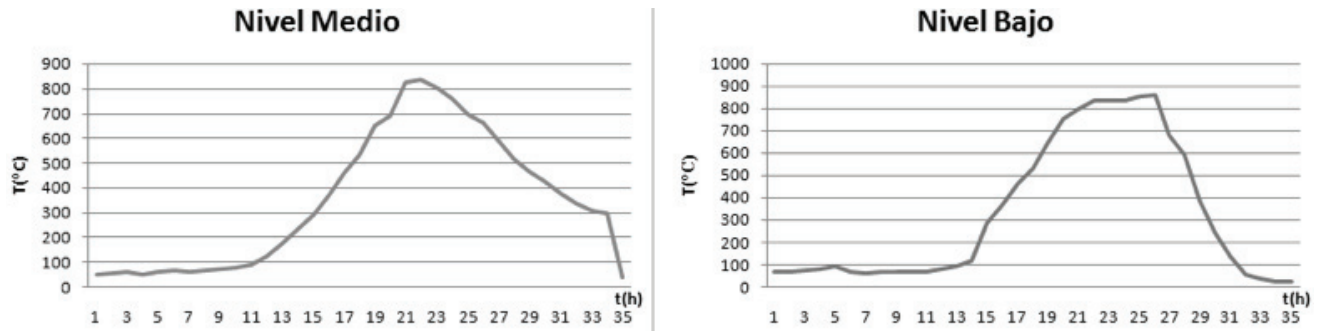
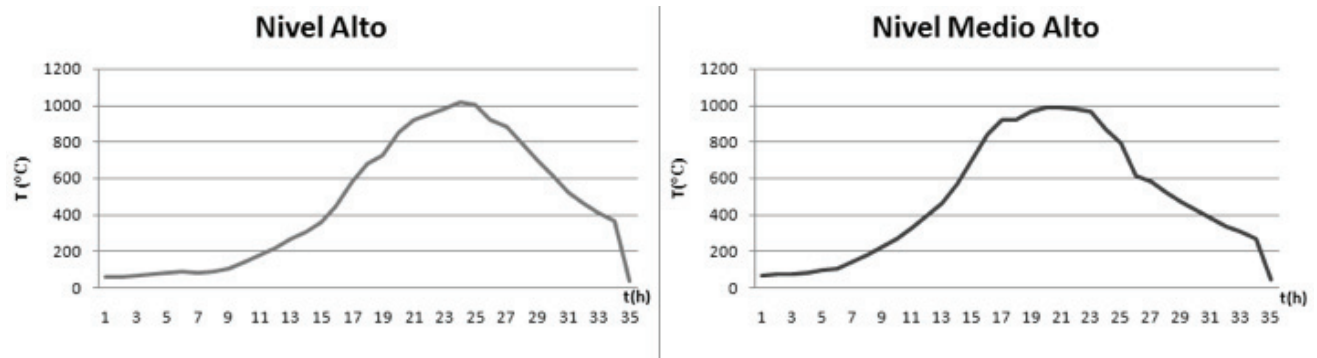


Figura 12. Perfil de temperaturas niveles 3 y 4.
Figure 12. Thermocouple temperature levels 3 and 4.



Se encontró que en los bloques de los niveles superiores (medio alto y alto) se superan los 900 °C durante la cocción, mientras que en los niveles bajo y medio del horno con dificultad se superan los 800 °C, de la misma forma en los dos niveles se alcanza en menor tiempo los 500 °C.

3.2. Resultado ensayo de flexión

Con la realización de este ensayo se determinó el módulo de rotura de bloques aplicando la ecuación 1.

$$MR = 3W \left(\frac{l}{2} - x \right) bd^2 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

MR = Módulo de rotura de la muestra en el plano de falla

Para cada uno de los termopares instalados en las recamaras del horno se registraron las temperaturas, en la figura 11 se observa el perfil de temperatura obtenido con los datos registrados por los termopares para los niveles (1) bajo y (2) medio. En la figura 12 se muestra los perfiles de temperaturas que se registraron para los niveles (3) medio alto y (4) alto.

W = Carga máxima indicada por la maquina
l = Distancia entre los soportes (medida de centro a centro)
b = Ancho neto (distancia de cara a cara) de la muestra en el plano de falla
d = Profundidad (distancia de la cara superior hasta el plano de apoyo) de la muestra en el plano de falla
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.

En la tabla 2 se observan los resultados del módulo de rotura obtenido para las cinco muestras tomadas de cada nivel del horno.

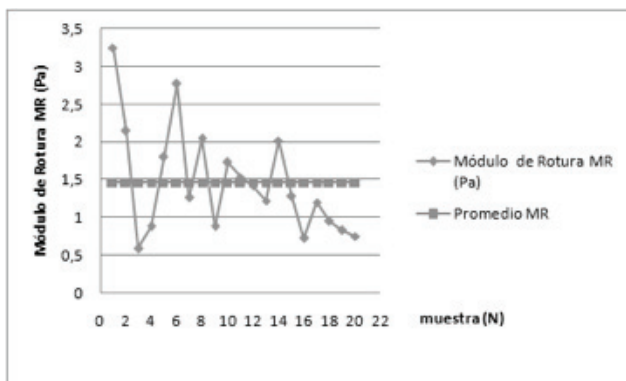
Tabla 2. Módulo de rotura.

Table 2. Modulus of rupture.

Nivel	Muestra	Carga máxima W (kN)	<i>l</i> (mm)	<i>b</i> (mm)	<i>d</i> (mm)	<i>x</i> (mm)	Módulo de Rotura MR (Pa)	Módulo de Rotura Promedio MR (Pa)	Desviación estándar
Nivel Alto	1	10.229	213	114,05	74,2	14,33	3,25	1,73	1,06
	2	4.352,93	211	112,15	71,23	11,67	2,15		
	3	1.396,79	214	115,16	72,48	22,33	0,59		
	4	2.215,6	210	114,4	74,73	20,67	0,88		
	5	4.106,08	215	115,17	77,89	5,33	1,80		
Nivel Medio Alto	6	5.551,04	209	116,22	67,62	16	2,77	1,74	0,73
	7	2.974,2	214	116,12	68,81	29,33	1,26		
	8	4.286,7	213	115,47	69,35	18,33	2,04		
	9	1.667,72	213	115,49	71,22	3,33	0,88		
	10	3.552,18	211	115,84	69,7	14	1,73		
Nivel Medio	11	3.293,2	225	115,77	77,27	5,33	1,53	1,49	0,32
	12	3.510	224	114,7	78,6	16,67	1,42		
	13	2.606,94	225	117,9	76,13	5,67	1,22		
	14	5.587,164	226	113	78,03	30	2,02		
	15	2.841,7	225	115,67	76,67	10,67	1,28		
Nivel Bajo	16	1.366,69	216	112,28	72,23	5,67	0,72	0,89	0,20
	17	2.215,6	214	111,53	71,23	4,67	1,20		
	18	1.788,13	216	112,57	71,66	6	0,95		
	19	1.806,2	213	111,58	72,05	17,67	0,83		
	20	1.721,91	217	112,19	70,61	27	0,75		

En la figura 13 se observa la dispersión del módulo de rotura y el valor promedio de los datos obtenidos.

Figura 13. Dispersión módulo de rotura.

Figure 13. Dispersion modulus of rupture.


3.3. Resultado ensayo de compresión

La máquina universal grafica la curva esfuerzo vs deformación para cada prueba que se realiza, el esfuerzo es determinado con base en la ecuación 4.

$$f'_{cp} = \frac{W}{A} \text{ (Ecuación 4)}$$

Dónde:

Resistencia de la muestra a la compresión (MPa)

W = Carga máxima de rotura (N)

A = Promedio de áreas brutas superior e inferior de la muestra (mm²)

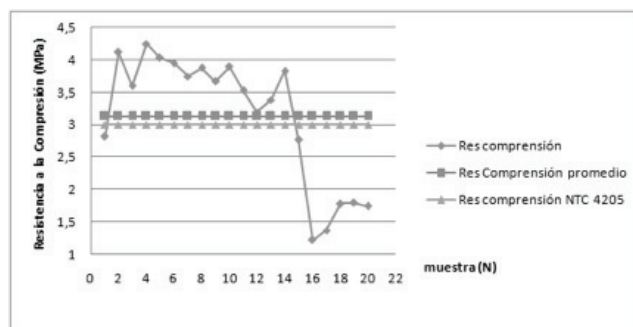
En la tabla 3 se muestra los resultados de los ensayos de compresión realizados a cada uno de las cinco muestras tomadas de cada nivel del horno.

Tabla 3. Resultado ensayo resistencia a la compresión.
Table 3. Test result resistance to compression.

Nivel	Muestra N°	Área A()	Carga máxima W (N)	Resistencia a la compresión f' cp (MPa)	f' cp promedio (MPa)	Desviación estándar
Nivel Alto	1	27.296,38	107.750	3,95	3,83	0,11
	2	27.418,92	102.950	3,75		
	3	27.706,02	107.600	3,88		
	4	27.992,02	102.840	3,67		
	5	27.852,47	108.470	3,89		
Nivel Medio Alto	6	27.762,49	78.410	2,82	3,76	0,58
	7	26.693,31	10.9920	4,12		
	8	26.977,63	97.110	3,60		
	9	26.081,97	110.860	4,25		
	10	27.048,2	108.910	4,03		
Nivel Medio	11	27.350,56	96.440	3,53	3,34	0,4
	12	27.783,51	88.530	3,19		
	13	27.345,05	92.450	3,38		
	14	26.625,48	102.070	3,83		
	15	27.071,16	74.890	2,77		
Nivel Bajo	16	45.422	55.610	1,22	1,58	0,26
	17	32.595	44.540	1,37		
	18	32.205	57.180	1,78		
	19	32.382	57.940	1,79		
	20	32.200	56.090	1,74		

En la figura 14 se observa la variación de la resistencia a la compresión para cada muestra en relación al valor promedio y al requerido en la norma NTC 4205 para bloque cerámico para mampostería con perforación horizontal.

Figura 14. Resultado ensayo de compresión.
Figure 14. Compression test result.



3.4. Resultados absorción de agua

El bloque cerámico se seca durante 24 horas a 110°C en un Horno digital de precisión marca PINZUAR modelo PG 190 y se registra el peso de cinco muestras como está descrito en la norma NTC 4017 en una balanza electrónica digital marca PINZUAR modelo PG89, para después sumergirlas en un recipiente con agua y se dejan por 24 horas. En la tabla 4, se muestran los porcentajes de absorción de agua obtenidos.

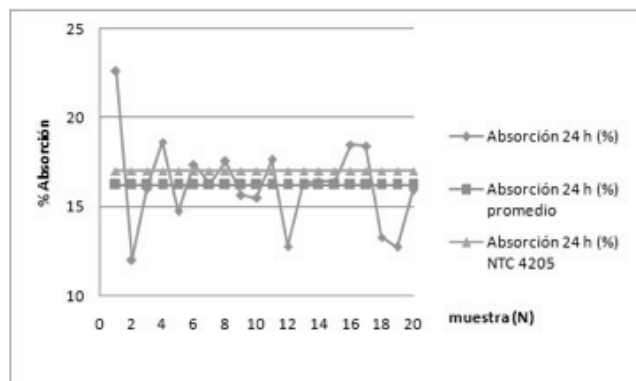
Tabla 4. Porcentaje de absorción de agua.
Table 4. Percentage of water absorption.

Nivel	Muestra N°	Masa seca Ws (gr)	Masa sumergida Wss (gr)	Absorción 24 h (%)	Absorción 24 h promedio (%)	Desviación Estandar (%)
Nivel Alto	1	3.387	3.984	17,63	15,91	1,84
	2	3.643	4.108	12,76		
	3	3.657	4.254	16,32		
	4	3.694	4.300	16,40		
	5	3.629	4.225	16,42		
Nivel Medio Alto	6	3.030	3.591	18,51	15,77	2,74
	7	3.009	3.563	18,41		
	8	2.965	3.359	13,29		
	9	3.001	3.383	12,73		
	10	3.041	3.525	15,92		
Nivel Medio	11	3.064	3.758	22,65	16,82	4,04
	12	3.322	3.721	12,01		
	13	3.153	3.658	16,02		
	14	3.141	3.727	18,66		
	15	3.188	3.658	14,74		
Nivel Bajo	16	2.902	3.406	17,37	16,46	0,96
	17	3.085	3.587	16,27		
	18	3.106	3.651	17,55		
	19	3.189	3.688	15,65		
	20	3.089	3.567	15,47		

En la figura 15, se presenta la dispersión, el valor promedio de los datos obtenidos y el valor recomendado por la NTC 4205 para el porcentaje de absorción de agua a las 24 horas, el valor p.

Figura 15. Resultados ensayo de absorción de agua a 24 horas.

Figure 15. Results 24 hour water absorption test.



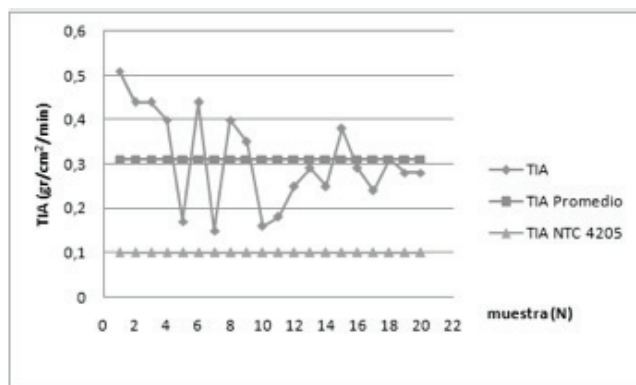
3.5 Tasa de absorción inicial TIA

La tasa inicial de absorción (T.I.A.) dada en gramos por centímetro cuadrado por minuto ($\text{gr}/\text{cm}^2/\text{min}$), la cual mide la cantidad de agua que absorbe el ladrillo en 1 minuto[11], debido a que los poros de los bloques cerámicos perforados horizontalmente, esta propiedad tiene relación con la capacidad adherencia y el comportamiento del mortero[12],. Una adherencia deficiente afecta la resistencia de la mampostería como también la durabilidad y la penetración de agua.

Tabla 5. Resultado de la tasa de absorción inicial de agua.**Table 5.** Result of initial water absorption rate.

Nivel	Muestra N°	Área de contacto (cm ²)	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	T.I.A (gr/cm ² /min)	T.I.A Promedio (gr/cm ² /min)	Desviación Estándar (gr/cm ² /min)
Nivel Alto	1	270,15	3.209	3.257	0,18	0,27	0,07
	2	289,80	3.586	3.659	0,25		
	3	270,92	3.457	3.536	0,29		
	4	267,57	3.343	3.410	0,25		
	5	279,57	3.328	3.435	0,38		
Nivel Medio Alto	6	272,84	3.194	3.220	0,29	0,28	0.02
	7	272,81	3.138	3.206	0,24		
	8	274,23	3.035	3.121	0,31		
	9	271,89	3.122	3.200	0,28		
	10	272,33	3.113	3.190	0,28		
Nivel Medio	11	263,87	3.056	3.191	0,51	0,39	0,13
	12	258,07	2.707	2.822	0,44		
	13	255,40	2.829	2.942	0,44		
	14	259,51	2.870	2.974	0,40		
	15	265,95	2.920	2.966	0,17		
Nivel Bajo	16	271,96	3.026	3.147	0,44	0,30	0,14
	17	272,44	3.318	3.358	0,15		
	18	273,01	3.197	3.305	0,40		
	19	268,48	3.497	3.591	0,35		
	20	275,51	3.477	3.521	0,16		

En la figura 16, se presenta la dispersión de la tasa de absorción inicial TIA, comparada con el valor promedio y el recomendado por la norma NTC 4205.

Figura 16. Resultados ensayo tasa de absorción inicial de agua.**Figure 16.** Results test initial water absorption rate.

4. CONCLUSIONES

Se observó que en los niveles superiores (alto y medio alto) donde se superan los 900 °C se obtienen los valores más altos de resistencia a la compresión de 3,83 MPa y 3,76 MPa respectivamente y en los niveles inferiores (medio y bajo) donde escasamente se llega a los 800 °C la resistencia es menor, incluso en el nivel inferior es de 1,58 MPa, estando este valor por debajo del mínimo aceptado por la norma NTC 4205 que es de 3,0 MPa.

La tasa de absorción inicial de agua TIA es superior en todas las muestras examinadas a 0,1 gr/cm²/min, que es el máximo permitido por la NTC 4205, encontrándose los valores más altos para los bloques ubicados en los niveles inferiores (medio y bajo) donde toma más tiempo alcanzar los 500°C con un TIA de 0,39 gr/cm²/min para el nivel medio.

Los mayores valores para el módulo de rotura se encuentran al igual que para la resistencia a la compresión en las muestras de los niveles superiores del horno, donde más fácilmente se alcanza los 500°C y se superan durante el ciclo de cocción los 900°C, por lo que se origina una contracción y un endurecimiento irreversible como resultado de la transformación del cuarzo [13], lo cual mejora sus propiedades mecánicas finales a la compresión y a la flexión.

La tasa de absorción inicial de agua TIA es superior en todas las muestras examinadas a 0,1 gr/cm²/min, que es el máximo permitido por la NTC 4205, encontrándose los valores más altos para los bloques ubicados en los niveles inferiores (medio y bajo) donde toma más tiempo alcanzar los 500°C.

La dispersión de la tasa de absorción de agua a las 24 horas es alta para los diferentes niveles del horno alcanzando una desviación estándar de 4,04 siendo mayor en los niveles inferiores (medio y bajo), sin embargo el valor promedio para todas las muestras de 16,24 % es inferior al máximo permitido por la NTC 4205 que es 17%.

5. REFERENCIAS

- [1] M. Fernandez, Manual de Fabricación de Baldosas, Tejas y Ladrillos. España: Beralmar. Barcelona, 2000, pp.
- [2] M. Rahaman, Sintering of Ceramics. Estados Unidos: Taylor & Francis Group, 2007, pp.1-172.
- [3] K. Cornelis, H. Cornelius, Manual de Mineralogía Basado en la Obra de J. D. Dana. España: Reverté S.A, 2003, pp. 275-303.
- [4] W. Bustamante, A. Bodadilla, B. Navarrete, "Uso Eficiente de la Energía en Edificios Habitacionales. Mejoramiento Térmico de Muros de Albañilería de Ladrillos Cerámicos", Revista de Construcción, Vol 4, N 2, pp. 5-13, 2005.
- [5] D. Betancurt, F. Martirena, R. Day, Y. Diaz, "Influencia de la Adición de un 2% de Carbonato de Calcio en la Eficiencia Energética en la Producción de la Ladrillos de Cerámica Roja", Revista Ingeniería de Construcción, Vol 23, N3, pp. 187-196, 2007.
- [6] J. Salazar, E. López, J. Vreeland, "Medida de las Temperaturas de un Horno Artesanal de Mórrope, Departamento de Lambayeque, Utilizado para la Fabricación Tradicional de Alfarería", Etudes Andines, Vol 23, N3, pp. 685-699, 1993.
- [7] J. Rodríguez, F. Diego, C. Martínez, L. Méndez, M. Aguilar, "Perfiles de Temperatura en un Horno Ladrillero", Revista mexicana de Ingeniería Química, Vol 3, pp. 209-214. 2004.
- [8] G. Peña, A. Miranda, G. Santafe, "Efecto de la Temperatura y Tiempo de Cocción en la Porosidad de Mezclas a Base de Arcillas de Caolines", Revista Colombiana de Física, Vol. 41, N1, pp. 27-30, 2009
- [9] R. Sepúlveda, Bladimir. Valencia, Yebrail Romero, "Efecto de la concentración de silicato de sodio y ácido fosfórico en la reducción de la temperatura de cocción de las baldosas cerámicas", Respuestas, Vol 19, N2, pp. 25-31, 2014
- [10] Instituto Colombiano de Normas Técnicas, "Métodos para Muestreo y Ensayos de Unidades de Mampostería y otros productos de Arcilla Norma Técnica Colombiana 4017", 2005.
- [11] Instituto Colombiano de Normas Técnicas, "Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida. Ladrillos y Bloques Cerámicos. parte 1: mampostería estructural Norma Técnica Colombiana 4017", 2009.
- [12] R. Muñoz, Muñoz. J, Mancilla. P, "Caracterización Físicoquímica de Arcillas del Municipio de Guapi – Costa Pacífica Cauca (Colombia)", Revista Academia Colombiana de Ciencias. Vol. 31, pp 537-544, 2007.
- [13] S. Roza, J. Sanchez, D. Alvarez, "Propiedades Físico Mecánicas de Bloques H10 Fabricados en el Área Metropolitana de Cúcuta", Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 24, pp. 67-78, 2014.
- [14] J. Álvarez, V. Sáez, J. Jiménez, J.M. Cintas, J.A. Laguna, Herramientas para la Optimización Energética en la fabricación de materiales cerámicos. España: Centro Tecnológico de la Cerámica, 2012, pp. 53-81.
- [15] A. Aranguren, J. Sancho, B. Sanz, J. Planas, "Método de Caracterización de las Propiedades mecánicas de la Fractura del Ladrillo", Anales de Mecánica de Fractura, Vol. 2, pp. 725-730, 2011.
- [16] N. Afanador, G. Guerrero, R. Sepúlveda, "Propiedades Físicas y Mecánicas de Ladrillos Macizos Cerámicos para Mampostería", Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 22-1, pp 43 – 58, 2012.