

Influencia de la finura de molido del carbonato de calcio en las propiedades físico mecánicas y de durabilidad de los ladrillos de cerámica roja

Influence of grinding fineness of calcium carbonate on physico-chemical properties and durability on red ceramic bricks

Yosvany Díaz*¹, Dania Betancourt*, Fernando Martirena*

* Universidad Central de las Villas. CUBA

Fecha de recepción: 03/ 03/ 2011
Fecha de aceptación: 09/ 07/ 2011
PAG. 269 - 283

Resumen

El trabajo hace un estudio de la influencia de la finura de molido del carbonato de calcio en las propiedades de Resistencia a la compresión, densidad, absorción y durabilidad de los ladrillos de cerámica roja, a través de la realización de ensayos físico- mecánicos y de envejecimiento acelerado, cuando este se adiciona por debajo del 10% en relación con el peso de la arcilla. Se demuestra que cuando dicho aditivo se muele hasta finuras entre las 72 μm y 150 μm , no se afectan las propiedades mencionadas anteriormente, sin embargo no ocurre así cuando es molido hasta un tamaño de partícula de 297 μm . El estudio realizado, demuestra que con esta superficie específica, la adición de calcita afecta tanto las propiedades físico-mecánicas como de durabilidad de los ladrillos de cerámica roja.

Palabras Clave: Ladrillos cocidos, agentes fundentes, durabilidad, propiedades mecánicas, carbonato de calcio

Abstract

The paper exposes the results of a study, at macro structural level, on the influence of the calcite grinding process fineness on the red ceramic bricks following properties: Compressive strength, Density, Absorption and Durability, though the performance of physical – mechanical and accelerated aging tests, when this is added in an amount inferior to the 10% in relation with the clay weight. It is proved that when this admixture is ground until fineness between 72 μm and 150 μm , the above mentioned properties are not affected, however it doesn't occur this way when it is ground until a particle size of 297 μm . The carried out study, demonstrates that with this specific surface, the calcite addition affects the red ceramic bricks physical-mechanical properties as well as their durability

Keywords: Ceramic bricks, fluxing agents, durability, mechanical properties, calcium carbonate

1. Introducción

El uso del carbonato de calcio como aditivo en la producción de ladrillos cocidos, ha sido estudiado por varios autores, (Cultrone et al., 2000; Jordan et al., 2001; Xavier, 2004) en estos casos, dicha adición, se reporta generalmente en grandes cantidades, para temperaturas de quema entre 900-1000°C. En estas condiciones hay que tener en cuenta los cambios que introduce la presencia de carbonatos en las propiedades mecánicas de los ladrillos, que consiste básicamente en reducción de resistencia y durabilidad.

1. Introduction

The use of calcium carbonate as additive for the elaboration of red bricks, has been studied by several authors, (Cultrone et al., 2000; Jordan et al., 2001; Xavier, 2004), in those cases, such addition is generally reported at high rates for burning temperatures, ranging from 900 to 1000 °C. Under such conditions, the changes introduced by the carbonates presence on bricks mechanical properties shall be taken into consideration, which basically lead to a reduction of strength and durability.

¹ Autor de correspondencia / Corresponding author:
E-mail: Yosvanyd@uclv.edu.cu

También se ha reportado el uso del carbonato de calcio finamente molido en muy pequeñas adiciones (en un rango entre el 2-5%) (Betancourt et al., 2007) con el objetivo de mejorar la eficiencia energética del proceso de cocción sin afectar las propiedades del ladrillo de arcilla roja cocido. Se demuestra que la adición de cantidades de carbonato de calcio que oscilen entre el 2-5% de la masa de arcilla mejora la resistencia a compresión de los ladrillos a temperaturas cercanas a los 900°C, y tiempos de sinterización de 1-3 horas. Este efecto se atribuye a las modificaciones de las reacciones que se producen en las arcillas durante el tratamiento térmico por la presencia del mineral calcita, que permite que la sinterización ocurra a temperaturas más bajas en las arcillas estudiadas, que tienen composición mineralógica donde predomina el mineral motmorillonita. (Betancourt et al., 2007).

Se conoce que la finura de molido del carbonato de calcio influye en la velocidad de la reacción de descarbonatación que ocurre cuando este es sometido a temperaturas cercanas a los 900 °C, a partir del estudio y modelación matemática de la cinética de dicha reacción (García, 2005). Además de influir en la velocidad de la descarbonatación de la calcita, se ha estudiado que la superficie específica del carbonato de calcio adicionado a la arcilla influye en las propiedades finales del producto cerámico: Resistencia a la compresión, absorción de agua, porosidad del material, densidad entre otras, debido a que a menor superficie específica quedará en la masa del producto cerámico gran cantidad de CaO sin reaccionar y combinarse químicamente con la sílice y la alúmina presentes en las arcillas, este último, al entrar en contacto con el vapor de agua de la atmósfera se convierte en CaOH, esta reacción es expansiva y produce fisuras y grietas en los productos cerámicos afectando las propiedades físico mecánicas y de durabilidad de los mismos. (Cultrone et al., 2000; Cultrone, 2005).

El presente trabajo parte del principio de utilizar pequeñas dosis de carbonato de calcio (menos del 10% del peso de arcilla) como aditivo fundente en la fabricación de ladrillos cocidos con el objetivo principal de estudiar la influencia de la finura de molido en las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad del ladrillo de cerámica roja, quemado a temperaturas entre los 800°C y 1000°C, con un tiempo de residencia en la combustión de 3 horas.

Se escogió para el trabajo investigativo este fundente y no otro; ya que para el caso de Cuba resulta muy viable su uso con este fin: es muy económico con respecto a otros fundentes, se encuentra disponible en el mercado de la construcción,

The use of finely ground calcium carbonate in very small additions (ranging from 2 to 5%) (Betancourt et al., 2007) has also been reported with the purpose of improving energetic efficiency on the firing process, without affecting red brick properties. It was demonstrated that the addition of calcium carbonate into the clay admixture in amounts ranging from 2 to 5% improves bricks compressive strength at temperatures close to 900°C and, it also improves sintering periods from 1 to 3 hours. Such effect is explained by the modification of reactions occurring in clays during a thermal treatment, due to the presence of calcite mineral, which enables the sintering process at lower temperatures in studied clays, which mineralogical composition is mainly montmorillonite mineral. (Betancourt et al., 2007).

From the research and kinetic mathematical modeling on the reaction (García, 2005), it was learnt that the grinding fineness of calcium carbonate influences decarbonization reaction rate taking place when it is placed at temperatures close to 900 °C. Besides influencing calcite decarbonization reaction rate, it has also been studied that the specific surface of calcium carbonate added into a clay admixture also influences the properties of the final ceramic product, such as: compressive strength, water absorption, material porosity and density among others, since at lower specific surface there will be a great amount of non-reactive CaO remaining on the product mass - which chemically combined with silica and alumina contained in clays – will get in contact with the atmosphere water vapor thus turning into CaOH. This is an expansive reaction that produces fissures and cracks on ceramic products by affecting their physic-mechanical properties and durability. (Cultrone et al., 2000; Cultrone, 2005).

The current research considers the principle of using small dosages of calcium carbonate (less than 10% of clay weight) as fluxing agents on the elaboration red bricks, so as to study the grinding fineness influence on physical-chemical properties and durability on red ceramic bricks, fired at temperatures ranging from 800°C and 1000°C, with a burning lifetime of 3 hours.

For this research work, the aforementioned fluxing agent was selected among others, because for the Cuban case its use becomes quite convenient due to economic reasons since it is very economical compared to other fluxing agents; it is available in construction field;

por su excelente calidad en cuanto a pureza y composición química tanto para el que oferta el mercado como para el que se obtiene como residuos de las canteras tanto de piedra caliza como de mármol.

its excellent quality regarding purity and chemical composition are the same in the market industry as well as for the ones obtained as residues from limestone and marble quarries.

2. Discusión y desarrollo

2. Discussion and execution

El trabajo investigativo se desarrolló en dos partes: la primera consistió en el estudio a escala de laboratorio de la influencia de la finura de molido del carbonato de calcio adicionado a una arcilla común usada para hacer ladrillos, en las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad en especímenes cilíndricos elaborados en el laboratorio y la segunda en la aplicación de los resultados de dicho estudio en la fabricación de ladrillos a escala real en una fábrica donde se producen tejas y ladrillos cocidos.

The current research job was executed in two stages: the first consisted in the laboratory test of the grinding fineness of calcium carbonate added into a regular clay admixture used to elaborate bricks, on physical-mechanical properties and durability of the cylindrical specimens elaborated at the laboratory. The second stage consisted in the application of such test results in the elaboration of bricks, at full scale, at a factory producer of tiles and bricks.

2.1 Organización de la experimentación

2.1 Experiment Layout

2.1.1 Trabajo experimental a escala de laboratorio

Para el estudio se uso una arcilla ordinaria con una composición muy heterogénea, procedente de la cantera de "La Mosa" ubicada en el municipio de Manicaragua en la provincia de Villa Clara. Los ensayos de rayos X a la arcilla indicaron que los minerales presentes en esta son motmorillonita y caolinita (los resultados del ensayo de rayos X a la arcilla usada en el experimento se muestran en la Figura 1). El carbonato de calcio de alta pureza procede de la cantera de Palenque en el municipio de Remedios en la provincia de Villa Clara. La Tabla 1 muestra la composición química de ambos materiales.

2.1.1 Experimental research at laboratory scale

In this research job, ordinary clay was used with quite heterogeneous composition coming from "La Mosa" quarry, located in the Manicaragua town, province of Villa Clara. Clay x-ray tests indicated that minerals contained in it are montmorillonite and kaolinite (x-ray test results from researched clay are shown in Figure 1). High purity calcium carbonate comes from Palenque quarry in Remedios town, province of Villa Clara. Table 1 shows chemical composition for both materials.

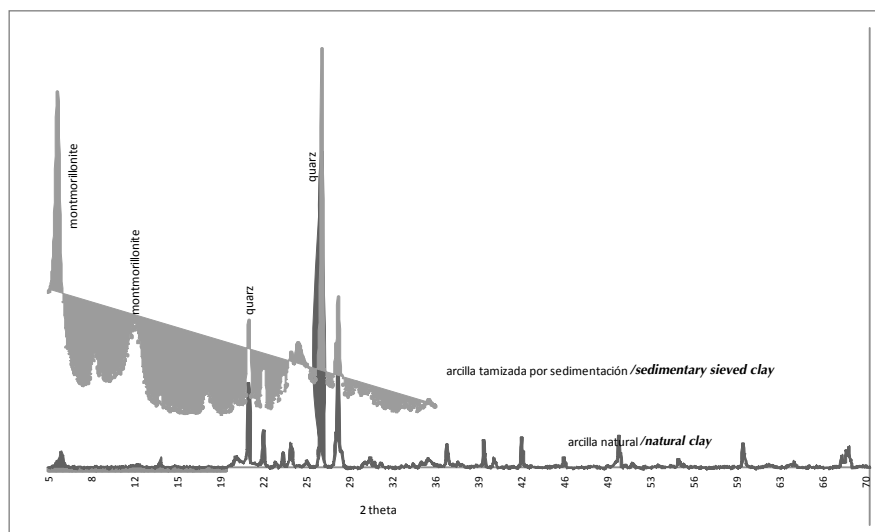


Figura 1. Resultados de la comparación de fases en arcilla natural y sedimentada
Figure 1. Results of comparison between natural clay and sedimentary clay phases



Tabla 1. Composición química de las materias primas
Table 1. Chemical composition of raw materials

Determinación %/Apportionment %	Arcilla/Clay	Carbonato de calcio/Calcium carbonate
SiO ₂	49.56	0.2
Al ₂ O ₃	10.41	0.5
Fe ₂ O ₃	10.73	0.13
TiO ₂	0.88	0.02
CaO	3.82	54.78
MgO	12.32	0.27
Na ₂ O	1.39	0.1
K ₂ O	0.22	0.1
P ₂ O ₅	0.07	0.09
MnO	0.16	0.01
SO ₃	<0.10	0.1
PPI	9.04	43
CaCO ₃ (%)	0	97.63

La arcilla seca fue mezclada con carbonato de calcio finamente molido a tres finuras diferentes: 297 μ m, 150 μ m y 72 μ m, la mezcla se elaboró en 2 proporciones: 5% y 8% de la masa total de arcilla. La masa fue humedecida entre un 8-10%, homogeneizada y moldeada en moldes cilíndricos de 3.1 cm de diámetro, que fueron sometidos a una presión de moldeo de 7 MPa. Las probetas cilíndricas del material se secaron a temperatura ambiente por 3-5 días, luego se sometieron a la cocción en un horno eléctrico. La Tabla 2 muestra toda la información sobre los especímenes fabricados.

El proceso de cocción se dividió en dos fases: a) La eliminación del agua combinada hasta los 400°C, y b) Alta temperatura de quema. Los especímenes se mantuvieron por 4 horas en la fase a) y 3 horas en la fase b). Se usaron tres temperaturas de cocción: 800°C, 900°C y 1000°C en la fase b). La Figura 2 muestra los diferentes regímenes de cocción.

Dry clay was mixed with finely ground calcium carbonate into three different finenesses: 297 μ m, 150 μ m and 72 μ m, the admixture was prepared in two proportions: 5% and 8% of total clay mass. The mass was moistened from 8 to 10%, well homogenized and molded in cylindrical test specimens with 3.1 cm diameter, which were placed at molding pressure of 7 MPa. Cylindrical test specimens were dried at environmental temperature during 3-5 days; subsequently they were fired by means of an electric furnace. Table 2 shows the whole information on elaborated specimens.

Firing process was divided into two phases: a) removal of combined water up to 400°C and b) hard burnt temperature. The specimens were kept during 4 hours in the phase a) and 3 hours in phase b). Three firing temperatures were: 800°C, 900°C and 1000°C in phase b). Figure 2 shows different firing regimens.

Tabla 2. Especímenes fabricados
Table 2. Elaborated specimens

Muestras ID/ID Samples	Tem °C	% CaCO ₃	Finura/Finness
M1	800	5	150 μm
M2	800	8	150 μm
M3	800	5	72 μm
M4	800	8	72 μm
M5	800	5	297 μm
M6	800	8	297 μm
M7	900	5	150 μm
M8	900	8	150 μm
M9	900	5	72 μm
M10	900	8	72 μm
M11	900	5	297 μm
M12	900	8	297 μm
M13	1000	5	150 μm
M14	1000	8	150 μm
M15	1000	5	72 μm
M16	1000	8	72 μm
M17	1000	5	297 μm
M18	1000	8	297 μm

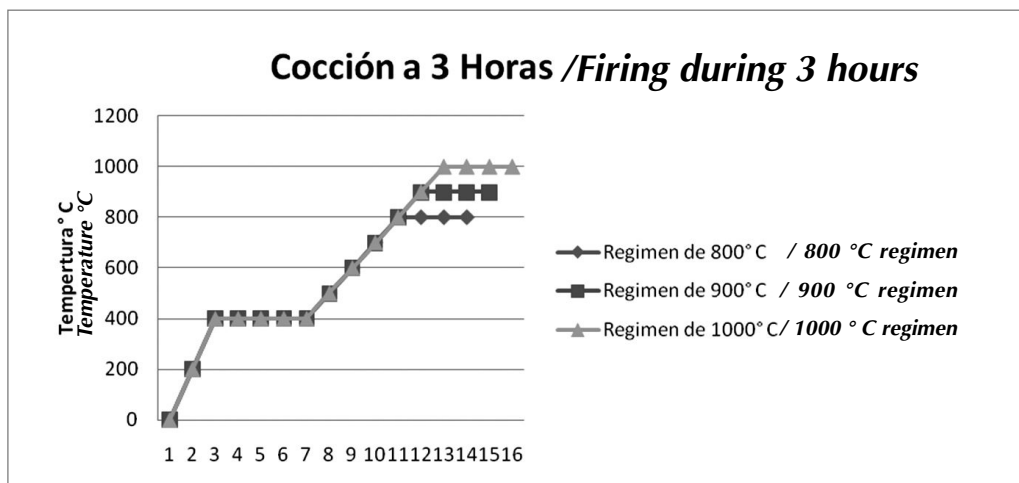


Figura 2. Regímenes de temperatura, con tiempo de quema de 3 horas
Figure 2. Temperature regimens for 3 hours of firing time

Los especímenes producidos fueron sometidos a los siguientes ensayos:

1. Resistencia a la compresión.
2. Densidad.
3. Absorción de agua.
4. Ciclos de humedecimiento y secado.
5. Cristalización de sales.

Los resultados obtenidos por las muestras ensayadas para el caso de los ensayos físico-mecánicos se compararon con los que establece la Norma cubana: NC 359-2005, que certifica la calidad de los ladrillos estándar de cerámica roja. En cuanto al estudio de durabilidad que consistió en la realización de los ensayos de Cristalización de sales y Ciclos de humedecimiento y secado; tanto los procedimientos como la comparación de los resultados se llevaron a cabo de acuerdo a lo establecido por la norma española UNE 7-136-58.

2.1.2 Trabajo experimental a escala de producción real

A partir de los mejores resultados obtenidos en el laboratorio, la experimentación concluyó con la fabricación de ladrillos a escala real en una fábrica de cerámica roja cuya capacidad instalada es de 100000 ladrillos al mes. Los ladrillos con adición del 5% de carbonato de calcio finamente molido hasta una finura de 150 μm , se quemaron en un horno discontinuo con capacidad para la cocción de 6800 ladrillos. Durante la quema se midió el tiempo de cocción, la temperatura y el consumo de combustible del horno y se tomaron muestras (ladrillos) con el objetivo de verificar la calidad del producto final a través de la realización de ensayos de resistencia a la compresión, densidad y absorción. El mismo procedimiento se llevó a cabo durante la cocción en ese mismo horno a ladrillos sin adición de carbonato de calcio, tomando esta quema como de control o patrón, con el objetivo de comparar los resultados de ambas quemas.

3. Discusión de los Resultados

3.1 Discusión de los resultados a escala de laboratorio

3.1.1 Propiedades físico- mecánicas

La Figura 3 muestra la relación entre la resistencia media a la compresión de los cilindros ensayados con la temperatura de cocción y la finura de molido del carbonato de calcio adicionado, que en este caso fue el 5%. Se ensayaron series de 9 especímenes, en los que se produjo una desviación estándar que osciló entre 0,25 – 0,55 MPa. Figura 3.

Specimens elaborated were subjected to the following tests:

1. Compressive strength
2. Density
3. Water absorption
4. Dampening and drying cycles
5. Salts crystallization

The results obtained from analyzed samples, for the case of physical-mechanical tests, were compared to the ones established by Cuban regulation: NC 359-2005, which certifies the quality for standard red ceramic bricks. Regarding to durability study, which consisted in the execution of salts crystallization tests and dampening and drying samples tests, the procedures as well as the results comparison were executed in accordance with Spanish regulation UNE 7-136-58.

2.1.2 Experimental research at full production scale

By using the best results obtained at the laboratory, the experiment concluded with the elaboration of bricks at full scale in a factory producer of red ceramic bricks, which installed capacity is 100000 units per month. Bricks with a 5% addition of finely ground calcium carbonate, which fineness was 150 μm , were burnt inside a discontinuous furnace with a 6800-bricks firing capacity. During burning process, firing time was measured as well as furnace's fuel consumption and samples were taken (bricks) in order to check the quality on final product by means of the execution of compressive strengths, density and absorption tests. The same procedure was carried out during firing process on bricks with no-addition of calcium carbonate in the same furnace, taking this burning as a control pattern in order to compare results from both burning processes.

3. Results discussion

3.1 Discussion of results at laboratory scale

3.1.1 Physical-chemical properties

Figure 3 shows the relation between average compressive strength on tested cylinders with firing temperature and added finely ground calcium carbonate, which in this case was 5%. A series of 9 specimens were tested, which provided a standard deviation oscillating from 0. 25 – 0.55 MPa, Figure 3.

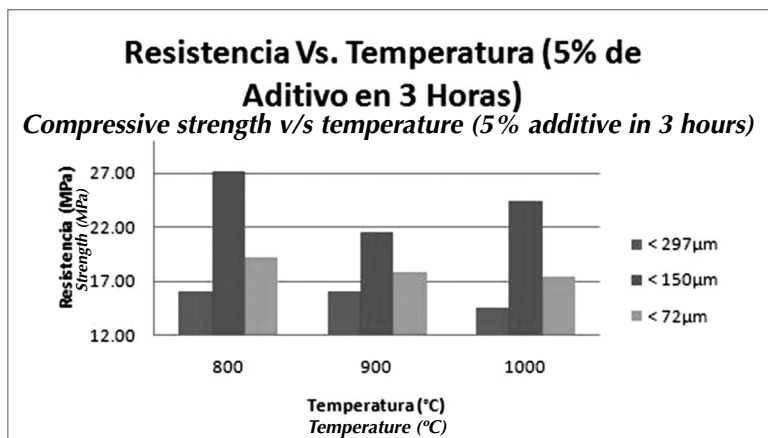


Figura 3. Gráfico de resistencia vs temperatura para las tres finuras de molido del carbonato de calcio. (5% de adición)
Figure 3. Graph Compressive Strength v/s temperature for the different finenesses of ground calcium carbonate (5% addition)

Tal y como se observa en la Figura 3, para las tres temperaturas de cocción los valores más altos de Resistencia a la compresión se obtienen con el tamaño de finura del carbonato de calcio de $150\mu\text{m}$ y $72\mu\text{m}$ y es significativa la caída de resistencia de las probetas ensayadas para la finura de molido de $297\mu\text{m}$.

Algo similar ocurre en el caso de la Densidad, a medida que aumenta la finura de molido del fundente, ocurre un aumento significativo de la densidad de las muestras y la diferencia significativa se manifiesta entre los las finuras $297\mu\text{m}$ y $150\mu\text{m}$. (Figura n° 4).

La Figura 5 muestra el considerable aumento de la absorción de agua que ocurre cuando la finura de molido disminuye, se aprecia que los especímenes fabricados con finura de molido de $297\mu\text{m}$ para las temperaturas de cocción de 800°C y 900°C alcanzan el valor máximo de absorción de agua que establece la norma cubana NC 359-2005 para los ladrillos de cerámica roja cocida estándar. (18%). Al aumentar la temperatura hasta 1000°C , disminuyen considerablemente los valores de absorción para las tres finuras del aditivo, debido a que a esta temperatura y a la adición de calcita comienza la vitrificación del material y disminuye la cantidad de poros. (Betancourt et al., 2007). Figuras 4 y 5.

As observed in Figure 3, at three firing temperatures the highest compressive strength values are obtained for calcium carbonate particle size of $150\mu\text{m}$ and $72\mu\text{m}$; and there is a significant compressive strength drop for specimens tested with $297\mu\text{m}$ grinding fineness.

Something similar occurs in the case of Density. As long as grinding fineness increases in the fluxing agent, there is a significant increase of density in the specimens and this relevant difference is demonstrated between $297\mu\text{m}$ and $150\mu\text{m}$ finenesses (Figure 4).

Figure 5 shows the considerable increase of water absorption taking place when grinding fineness decreases. It is noticed that specimens elaborated with grinding fineness of $297\mu\text{m}$ at firing temperatures of 800°C and 900°C , they achieve the maximum water absorption value allowed by Cuban regulation NC 359-2005 for standard red ceramic bricks (18%). By increasing temperature at 1000°C , water absorption values considerably decrease for the three fluxing agent fineness sizes, because at this temperature and, due to the calcite addition, the material vitrification takes place thus diminishing pores amount (Betancourt et al., 2007). Figures 4 and 5.



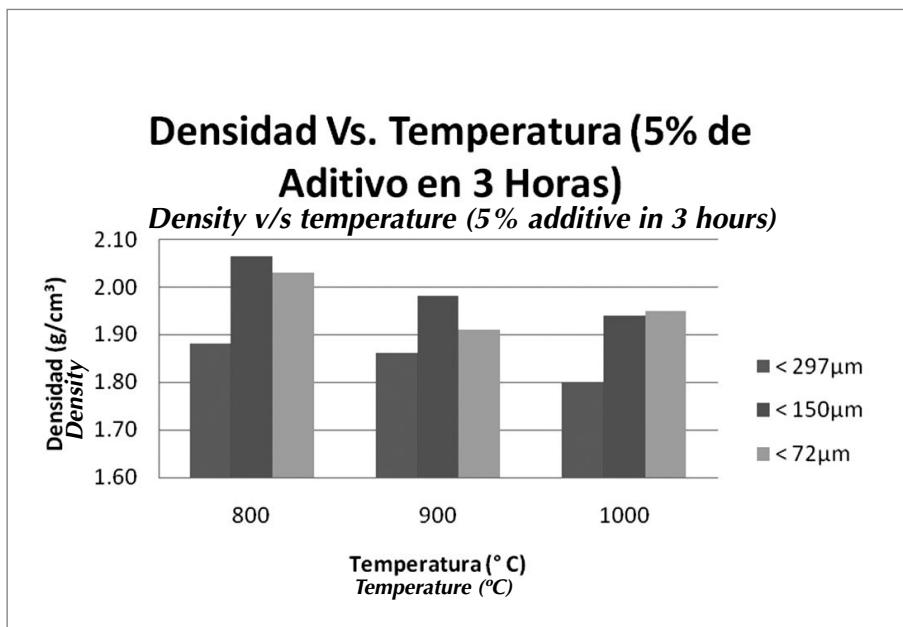


Figura 4. Gráfico de Densidad vs Temperatura para las tres finuras de molido del carbonato de calcio. (5% de adición)
 Figure 4. Graph Density v/s temperature for the three different calcium carbonate grinding finenesses (5% addition)

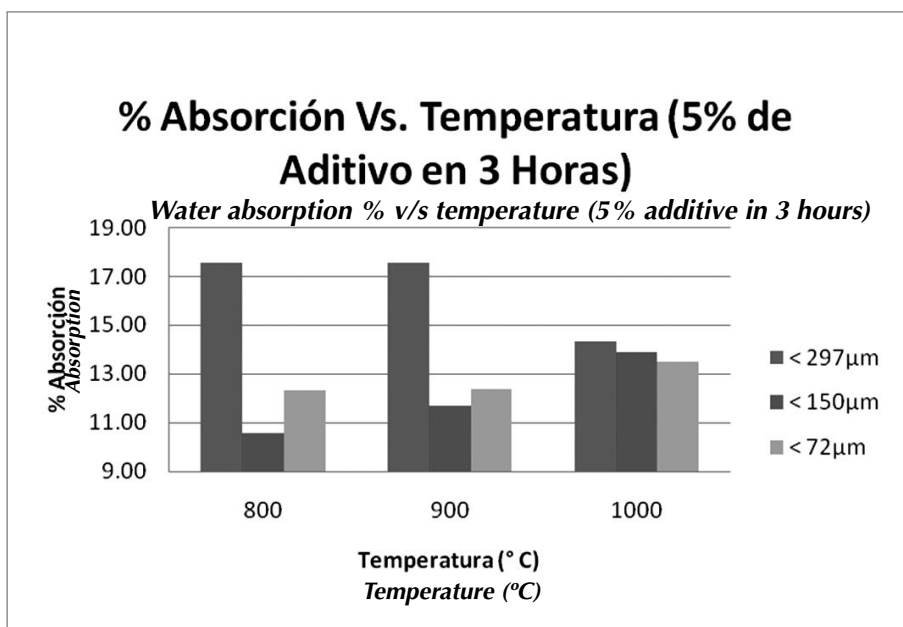


Figura 5. Gráfico de absorción vs temperatura para las tres finuras de molido del carbonato de calcio. (5% de adición)
 Figure 5. Graph water absorption v/s temperature for the three ground calcium carbonate finenesses (5% addition)

Cuando el porcentaje de adición de calcita, aumenta de un 5% hasta un 8%, tanto la resistencia a compresión como la densidad decrecen para todas las muestras ensayadas, dicha caída se hace muy significativa para las fabricadas con finura de molido del aditivo de 297 μ m tal y como se muestra en las Figuras 6 y 7.

Al igual que para el 5% de adición, para el 8% se ensayaron series de 9 especímenes, los resultados obtenidos arrojaron una desviación estándar entre 0,33 y 0,50 para el caso de la resistencia a compresión y entre 0,33 y 0,55 para el ensayo de densidad.

When increasing calcite addition percentage, from 5% up to 8%, compressive strength and density decrease for all tested samples. Such drop becomes quite significant for samples elaborated with additive grinding fineness of 297 μ m, as shown in Figures 6 and 7.

In the same way as 5% addition, for 8% series of 9 specimens were tested, and the obtained results delivered a standard deviation from 0.33 to 0.50 regarding compressive strength and from 0.33 to 0.55 for density test.

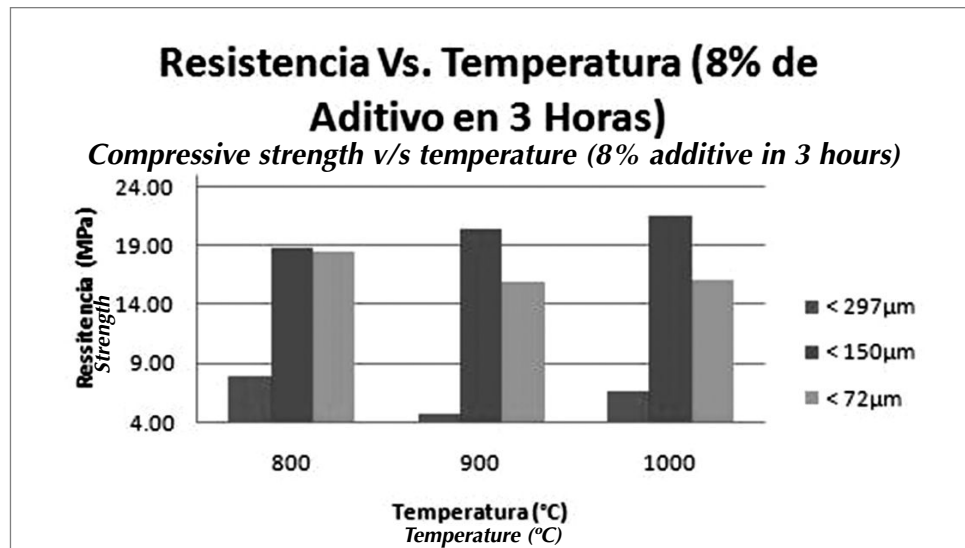


Figura 6. Gráfico de resistencia vs temperatura para las tres finuras de molido del carbonato de calcio. (8% de adición)
Figure 6. Graph Compressive strength v/s Temperature for three different calcium carbonate grinding finenesses (8% addition)

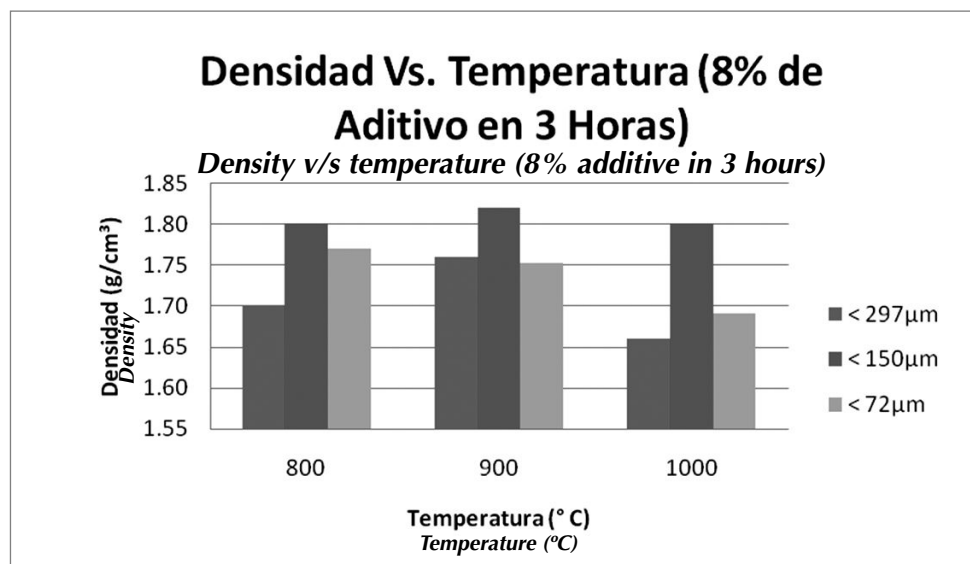


Figura 7. Gráfico de densidad vs temperatura para las tres finuras de molido del carbonato de calcio. (8% de adición)
Figure 7. Graph Density v/s Temperature for the three different calcium carbonate grinding finenesses (8% addition)

Para el caso del 8% de adición de calcita, la absorción de agua de los cilindros fabricados con una finura de molido de 297 μm y quemados a 900°C y 1000°C, sobrepasa el valor máximo establecido por la norma cubana NC 359-2005 (18%).

In the case of 8% calcite addition, water absorption in cylinders elaborated with a grinding fineness of 297 μm and burnt at 900°C and 1000°C, it exceeds the maximum value allowed by Cuban regulation NC 359-2005 (18%).

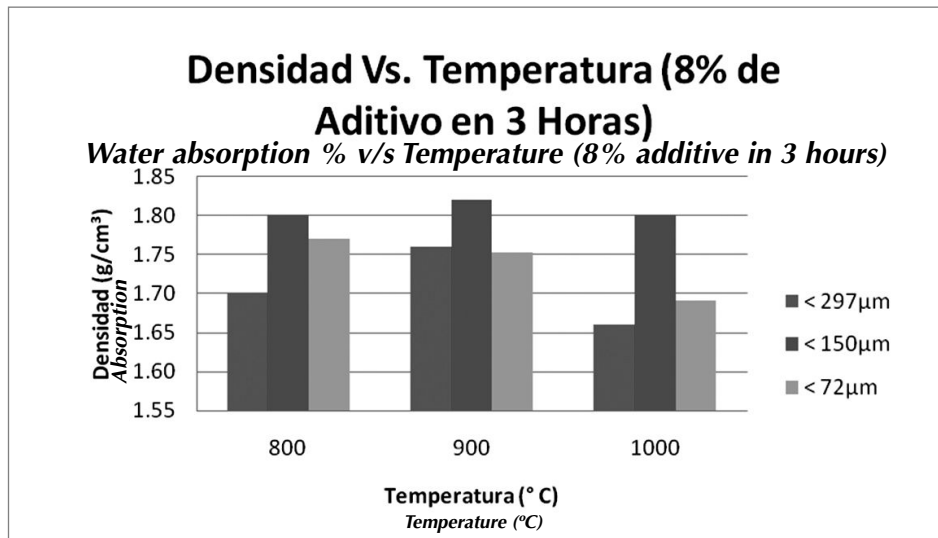


Figura 8. Gráfico de Absorción vs Temperatura para las tres finuras de molido del carbonato de calcio. (8% de adición)
 Figure 8. Graph Water Absorption v/s Temperature for the three different calcium carbonate grinding finenesses (8% addition)

3.1.2 Discusión de los resultados del estudio de durabilidad

Los resultados obtenidos en los ensayos de Envejecimiento acelerado son consecuentes con los alcanzados en el estudio de las propiedades mecánicas. Para el caso de las probetas fabricadas con finura del aditivo de 297 μm , todos los especímenes para las tres temperaturas de cocción estudiadas se destruyeron al pasar el primer ciclo de ambos ensayos debido a la presencia de gran cantidad de caliche en las muestras.

Muy diferente a ese comportamiento fue el mostrado por las probetas fabricadas con las finuras del carbonato de calcio de 150 μm y 72 μm , todos los especímenes resistieron los 15 ciclos de inmersión en Sulfato de sodio decahidratado al 14% en el caso del ensayo de Cristalización de sales y los 30 ciclos de Humedecimiento y secado establecidos para este ensayo.

En el estudio de Durabilidad, además de ensayar las probetas fabricadas con 5% y 8% de carbonato de calcio a las temperaturas mencionadas anteriormente, se fabricaron dos series de 9 probetas cada una con 0% de adición de calcita, las que se identifican en la Tabla 3 como MP-1 y MP-2, en el caso de la primera,

3.1.2 Results discussion on durability test

Results obtained from accelerated aging tests are in accordance with the ones achieved from mechanical properties test. In the case of specimens elaborated with additive fineness of 297 μm , all the specimens, at three studied firing temperatures in both tests, were destroyed by ending the first cycle, because of the great amount of calcrete contained in the samples.

A quite different behavior was presented by specimens elaborated with calcium carbonate finenesses of 150 μm and 72 μm . All specimens resisted the 15 immersion cycles in decahydrate sodium sulfate at 14% for the case of salts crystallization, and also the 30 dampening and drying cycles pre-established for this trial.

For durability research, besides testing specimens elaborated with 5% and 8% addition of calcium carbonate at above mentioned temperatures, it included the elaboration of two series of 9 specimens with 0% of calcite addition, which are identified in Table 3 as MP-1 and MP-2. For the first,

las probetas se quemaron a 800°C y en el caso de la segunda a 900°C, con el objetivo de comparar el comportamiento de las series elaboradas con adición con las probetas fabricadas sin adición de calcita.

the specimens were burnt at 800°C and for the second case at 900°C, so as to compare the behavior of series elaborated with addition to specimens elaborated without calcite addition.

Tabla 3. Resultados de los ensayos de Envejecimiento acelerado
Table 3. Results from accelerated aging tests

Muestras Samples	Pérdida de peso en gramos. Weight loss in grams Cristalización de sales. Salt Crystallization	Pérdida de peso en gramos. Weight loss in grams Humedecimiento y secado. Dampening and drying	Temperatura °C Temperature °C	Finura de molido del CaCO ₃ CaCO ₃ Grinding fineness
MP-1	-2.50	-0.5	800	
MP-2	-1.50	0	900	
M-1	-2.00	0	800	Finura/Fineness 150µm
M-2	-3.00	-1.00	800	Finura/Fineness 150µm
M-3	-2.00	0	800	Finura/Fineness 72µm
M-4	-2.50	-0.2	800	Finura/Fineness 72µm
M-5	Desintegrada/Desintegrated	Desintegrada/Desintegrated	800	Finura/Fineness 297µm
M-6	Desintegrada/Desintegrated	Desintegrada/Desintegrated	800	Finura/Fineness 297µm
M-7	-2.00	-0.5	900	Finura/Fineness 150µm
M-8	-3.00	-1.5	900	Finura/Fineness 150µm
M-9	-3.00	-0.1	900	Finura/Fineness 72µm
M-10	-3.00	-0.2	900	Finura/Fineness 72µm
M-11	Desintegrada/Desintegrated	Desintegrada/Desintegrated	900	Finura/Fineness 297µm
M-12	Desintegrada/Desintegrated	Desintegrada/Desintegrated	900	Finura/Fineness 297µm

Tal y como se muestra en la tabla anterior, los cilindros fabricados con finura de molido de 150µm y 72 µm mostraron un comportamiento excelente en ambos ensayos, muy similares a las elaboradas en iguales condiciones de fabricación sin adición de carbonato de calcio, excepto las muestras M-2 y M-8, debido a que en estas el porcentaje de adición el aditivo aumentó de un 5 a un 8%, el desempeño de ambas es ligeramente más deficiente que el resto de las muestras, incluyendo las patrones o series de control.

3.2 Discusión de los resultados de la cocción de los ladrillos a escala real (Horno discontinuo)

Después de haber realizado una quema a horno completo (6800 ladrillos con adición del 5% de carbonato de calcio) se demostró a escala de producción real que la finura de molido mínima para la adición de este a los ladrillos rojos en estas pequeñas dosis es la de 150 µm, que no es necesario ni para que sea efectivo como fundente ni para que influya positivamente en las propiedades físico-mecánicas de este material moler el aditivo hasta una finura mayor,

As clearly indicated in above table, cylinders fabricated with grinding fineness of 150µm and 72 µm, had an excellent behavior in both tests, quite similar to the specimens elaborated under same production conditions without calcium carbonate addition, excepting samples M-2 and M-8, since their addition percentage increased from 5 to 8%, thus their performance is slightly deficient compared to the other samples including patterns or control series.

3.2 Results discussion from red brick firing process at full scale (Discontinuous furnace)

After completing the burning process at full furnace capacity (6800 bricks with 5% calcium carbonate addition), at full scale production, it was demonstrated that the minimum grinding fineness to be added into a red brick admixture, at small dosages, is 150µm; then it is not necessary to grind additive up to a higher fineness or act effectively as fluxing agent neither to positively influence the physical-mechanical properties of this material,



esto conllevaría a un gasto de energía en su molienda innecesario cuando su producción se realice masivamente en pequeñas, medianas y grandes industrias.

Como resultado de la medición de la temperatura, de la duración de la etapa de cocción y del consumo de combustible en el horno discontinuo, se obtuvieron las curvas de Temperatura vs Tiempo (Figura 9) para la quema con adición de carbonato y para la quema patrón o de control como se muestra en la Figura 10.

Debido a la adición del carbonato de calcio, el consumo de combustible del horno se redujo en un 21.5% con respecto a la quema patrón, la temperatura media experimentó una descenso de 80°C y el tiempo de residencia en la combustión disminuyó en 3.5 horas, demostrando su efectividad como fundente a las arcillas cuando esta se realiza en pequeñas cantidades.

because it would lead to a higher energy consumption during grinding process which is useless for massive production at small, medium and big size industries.

As result from temperature measurement, duration of firing stage and fuel consumption by discontinuous furnace, temperature curves v/s time (Figure 9) were obtained for burning with calcium carbonate addition and for burning control pattern, as shown in Figure 10.

Due to the addition of calcium carbonate, the furnace fuel consumption was reduced in 21.5% regarding burning pattern. Average temperature experienced a decrease of 80°C and burning lifetime decreased in 3.5 hours, thus demonstrating its effectiveness as clay fluxing agent when used in small proportions.

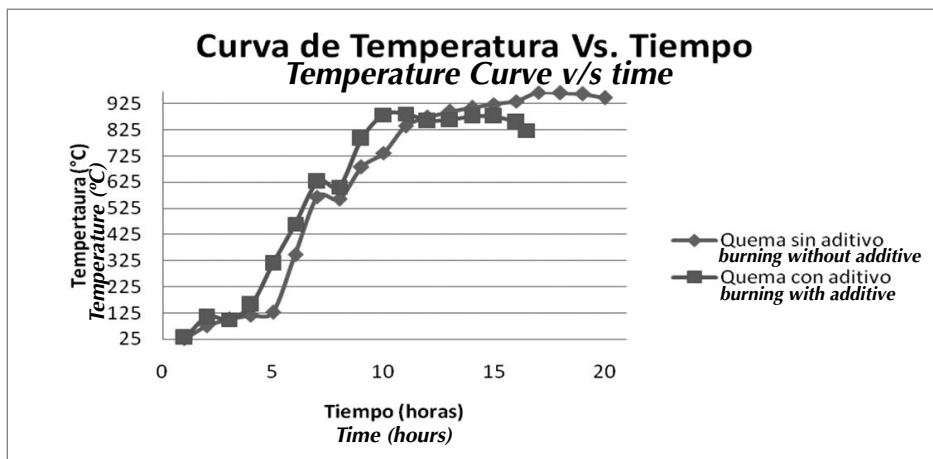


Figura 9. Curvas de la etapa de cocción de ambas quemas
Figure 9. curves from firing stage for both burning processes

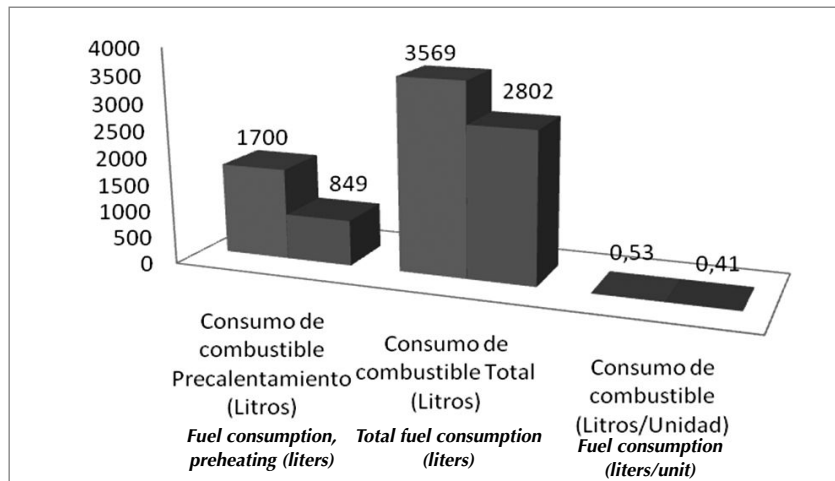


Figura 10. Consumo de combustible por etapas
Figure 10. Fuel consumption per stages

A continuación se muestran los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, densidad y absorción realizados a los ladrillos extraídos del horno.

The results of compressive strength, density and water absorption tests developed on bricks removed from the furnace are shown below.

Tabla 4. Resultados del ensayo de Resistencia a la compresión para ladrillos con y sin adición de CaCO_3

Table 4. Compressive strength test results obtained from bricks with and without CaCO_3 addition

Muestra/Sample	Resistencia/Strength (MPa)0% CaCO_3	Resistencia (MPa)5% CaCO_3
1	10.10	11.85
2	9.80	11.57
3	9.80	11.19
4	9.10	11.28
5	9.80	10.96
6	10.60	11.83
7	9.90	11.20
8	9.60	11.50
9	10.20	11.37
10	9.90	10.97
\bar{R}	9.88	11.37
Desviación estándar	0.39	0.32
Coefficiente de variación	0.04	0.03

Tabla 5. Resultados del ensayo de Absorción para ladrillos con y sin adición de CaCO_3

Table 5. Results from water absorption test on bricks with and without CaCO_3 addition

Muestra/Sample	Absorción/Absorption (%)0% CaCO_3	Absorción/Absorption (%)5% CaCO_3
M1	9.63	11.33
M2	12.10	10.17
M3	11.69	10.95
M4	10.79	10.99
M5	11.85	10.43
M6	11.75	10.89
M7	11.11	11.17
M8	9.66	11.84
M9	12.15	11.05
M10	12.17	11.92
\bar{A}	11.29	11.07
Desviación estándar Standard Deviation	0.97	0.55
Coefficiente de variación Coefficient of variation	0.09	0.05

Tabla 6. Resultados del ensayo de Densidad para ladrillos con y sin adición de CaCO₃
Table 6. Results from Density test on bricks with and without CaCO₃ addition

Muestra/Sample	Densidad/Density (g/cm ³)0%CaCO ₃	Densidad/ Density (g/cm ³)5%CaCO ₃
1	1.75	1.9
2	1.91	1.91
3	1.86	1.95
4	1.94	1.93
5	1.91	1.98
6	1.90	1.98
7	1.88	1.97
8	1.96	1.95
9	1.95	1.96
10	1.93	1.97
\bar{D}	1.90	1.95
Desviación estándar/Standard Deviation	0.06	0.03
Coefficiente de variación/Coefficient of variation	0.03	0.01

4. Conclusiones

1. Se demuestra que la finura del carbonato de calcio adicionado en muy pequeñas dosis y llevado hasta una finura de 297 μm influye negativamente en las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos de cerámica roja y que a partir de las 150 μm comienza a ser beneficiosa para la calidad del material la adición de calcita en pequeñas cantidades (menos del 10% del peso de la arcilla).
2. No se aprecian diferencias significativas entre los resultados de los ensayos de Resistencia a la compresión, densidad y absorción mostrados por las series de probetas fabricadas con finuras de molido del aditivo de 150 μm y 72 μm para los dos porcentos de adición usados en el experimento.
3. Los resultados de los ensayos de envejecimiento acelerado coinciden con los obtenidos en el estudio de las propiedades mecánicas, los dos ensayos realizados en esta parte de la experimentación corroboraron que la finura de molido del carbonato de calcio cuando es adicionado en muy pequeñas dosis, influye negativamente en la durabilidad de los ladrillos de cerámica roja cuando es molido hasta una finura de 297 μm , para este tamaño de partícula todas las muestras se desintegraron, mientras que los cilindros fabricados con finura de molido de 150 μm y 72 μm mostraron un comportamiento excelente en ambos ensayos.

4. Conclusions

1. It was demonstrated that calcium carbonate addition in very small dosages and grinded up to 297 μm fineness, influences negatively the physical-chemical properties of red ceramic bricks. Only from 150 μm , the addition of calcite becomes convenient for material quality in small quantities (less than 10% of clay weight).
2. Significant differences were not found in test results for compressive strength, density and absorption delivered by the series of specimens elaborated with additive grinding finenesses of 150 μm and 72 μm , for 2% addition used in this experiment.
3. Results for accelerated aging tests agree with the ones obtained from mechanical properties test, both studies carried out in the experimental phase proved that calcium carbonate grinding fineness added in small dosages, influenced negatively red ceramic bricks durability when it is ground up to 297 μm fineness. This particle size lead to the disintegration of all the samples, while cylinders elaborated with a grinding fineness of 150 μm and 72 μm experienced an excellent behavior in both tests.

4. Los resultados de los ensayos de calidad realizados a los ladrillos producidos a escala real quemados en el horno discontinuo y de la modelación de la etapa de cocción, confirman los obtenidos a escala de laboratorio y demuestran que la adición de carbonato de calcio puede ser una fuente de aumento de la eficiencia energética de la producción de este material.

4. Quality test results on bricks elaborated at full scale and burnt by a discontinuous furnace and also from firing stage modeling, do confirm the results obtained at laboratory scale and demonstrate that calcium carbonate addition may be an increasing source of energetic efficiency for the production of this material.

5. Referencias / References

- Betancourt D., Martirena J.F., Day R.L. y Diaz Y. (2007), *Influencia de la adición de carbonato de calcio en la eficiencia energética de la producción de ladrillos de cerámica roja*. Revista "Ingeniería de Construcción". No 3. Volumen 22. Pags.187-196 .Diciembre de 2007. Chile.
- Cultrone G., de la Torre M.J., Sebastián E., Cazalla O. y Rodríguez C. (2000), *Behaviour of bricks simples in aggressive environments*. Water, Air and Soil Pollution 119: 191-207, 2000.
- Cultrone G. et al. (2003), *Durability of bricks used in the conservation of historic buildings-influence of composition and micro structure*. Journal of Cultural Heritage 4 pág 91-99
- Cultrone G. (2004), *Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks*. Journal of the European Ceramic Society 24 (2004) 547-564
- Cultrone G. et al. (2005), *Mineralogical and Physical Behavior of Solid Bricks with Additives*. Construction and Building Materials 19 (2005) 39-48.
- Day R.L y Huizer A. (1994), *Fly-Ash Masonry Unit*, Report published at the Department of Civil Engineering, University of Calgary, Canada, February 28, 1994.
- Day R.L. et al. (1986), *Engineering and Microstructural studies of Western-Canadian fly ash bricks*. Department of Civil Engineering of the University of Calgary. Materials Research Society, Symposia Proceedings, volume 65, December 1986. 11p
- Jordán M. M. et al. (2001), *Aptitudes cerámicas de una arcilla tipo modificada por la adición de un residuo rico en carbonato calcico*. Materiales de Construcción 51 No. 261, 2001, pp 5-19.
- Karfa Traore, Tibo Simeon Kabre y Philippe Blanchart (2003), *Gehlenite and anorthite crystallization from kaolinite and cal cite mix*. Ceramics International 29 (2003) 377-383.
- Karfa Traore y Philippe Blanchart (2003), *Structural transformation of a kaolinite and calcite mixture to gehlenite and anorthite*. Journal of Material Research, Vol. 18, February 2003
- Mayoral M.C., Izquierdo M.T., Andres J.M. y Rubio B. (2001), *Aluminosilicates transformations in combustion followed by DSC*. Thermochemica Acta 373 (2001) 173-180.
- Xavier E. (2004), *Optimización de procesos cerámicos industriales. 1ra Parte. Introducción al comportamiento de las pastas cerámicas*. Publicado en internet en [http:// www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID57.pdf](http://www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID57.pdf).