

# Influencia de la adición de un 2% de carbonato de calcio en el proceso de fabricación de los ladrillos de cerámica roja: etapas de secado y cocción

## Influence of the addition of 2% calcium carbonate during the manufacturing process of red ceramic brick: drying and firing stage

Dania Betancourt<sup>1\*</sup>, Yosvany Díaz\*\*, Fernando Martirena\*\*

\* Universidad Central de Las Villas. CUBA

\*\* Centro de Investigación y Desarrollo de las Estructuras y los Materiales de Construcción (CIDEM) de la Universidad Central de Las Villas. CUBA

Fecha de Recepción: 02/05/2013

Fecha de Aceptación: 15/07/2013

PAG 113 - 124

### Resumen

El trabajo hace un estudio de la influencia de la adición del 2% de carbonato de calcio en la duración de la etapa de secado y la eficiencia de la etapa de cocción durante el proceso de fabricación de ladrillos de cerámica roja. Dicho estudio se realizó en una fábrica que produce ladrillos huecos con una capacidad instalada de 65000 ladrillos por cada quema. Los resultados del estudio realizado demostraron que la adición de un 2% de  $\text{CaCO}_3$  a la pasta arcillosa disminuye el tiempo de secado en un 35% con respecto a los ladrillos elaborados sin adición y provoca una disminución del consumo de combustible del 27% con respecto a quemas anteriores realizadas sin la adición de este fundente debido a la reducción del tiempo de cocción en los hornos.

**Palabras Clave:** Cocción, secado, eficiencia energética, fundentes, ladrillos de cerámica roja

### Abstract

The work studies the influence of the addition of 2% calcium carbonate during the drying stage and the efficiency of the firing stage during the manufacturing process of red ceramic bricks. The study was conducted in a factory producing hollow bricks with an installed capacity of 65,000 bricks per burning. Results from the study showed that the addition of 2%  $\text{CaCO}_3$  to the clay paste reduces the drying time by 35% compared with bricks made without addition, and causes a 27% reduction of the fuel consumption in relation to previous burnings without the addition of this flux, due to the reduction of the firing time in the ovens.

**Keywords:** Firing, drying, energy efficiency, fluxes, red ceramic bricks

## 1. Introducción

El proceso de fabricación de los ladrillos de cerámica roja de manera general consta de 5 etapas: Extracción de las materias primas, preparación de las pastas cerámicas, moldeado, secado y cocción. En todas se hace necesario el debido control de la calidad de los procesos.

Es indudable que el cumplimiento de las normas establecidas para cada una de las etapas de fabricación es importante para lograr tanto la eficiencia de estas como la calidad del producto final pero existen dos etapas claves que se enmarcan en los denominados "Procesos térmicos" que influyen significativamente en la eficiencia energética de la fabricación de los productos cerámicos en general, que son las de secado y cocción.

Si bien la cocción está considerada como la parte más importante del proceso de fabricación de los productos cerámicos el proceso de secado es de fundamental importancia. Durante esta etapa se producen diversas transformaciones de las dimensiones y características físicas de las piezas, las que de no transcurrir dentro de ciertas condiciones, producen defectos irreversibles tales como fisuras y deformaciones.

## 1. Introduction

Usually, the manufacturing process of red ceramic bricks is composed of 5 stages: extraction of raw materials, preparation of ceramic pastes, molding, drying and firing. All of them require an effective quality control of the processes.

There is no doubt that compliance with the standards set for each manufacturing stage is important to achieve both their efficiency and the quality of the end product, but there are two key stages which fall within the so-called "thermal processing", which have a significant impact on the energy efficiency in the manufacturing of ceramic products in general: that is, drying and firing.

Although firing is considered the most important part of the manufacturing process of ceramic products, the drying process is of major importance. During this stage, there are several alterations in the dimensions and physical characteristics of the pieces, which can entail irreversible defects, such as cracking and deformation, if certain conditions are not met.

<sup>1</sup> Autor de correspondencia / Corresponding author:  
E-mail: daniab@uclv.edu.cu

Razón por la cual es necesario optimizar en lo posible la calidad de esta etapa (Sisti, 2002; Sisti, 2004a; Xavier, 2001; Berteli, 2005).

El agua contenida en el cuerpo cerámico puede encontrarse de las siguientes maneras:

- Agua intersticial.
- Agua higroscópica.
- Agua de cristalización y/o composición

El agua intersticial es la que se encuentra entre las partículas de arcilla, débilmente adheridas a las mismas y con posibilidades de migración desde el interior del cuerpo hacia su superficie, por efecto de un gradiente de humedad en el cuerpo. Esta agua es eliminada del cuerpo desde su superficie, por efecto de su disolución en el aire circulante a su alrededor; es decir, que la velocidad de secado está controlada en primera instancia, por las condiciones de humedad del aire de secado (Sisti, 2002; Sisti, 2004a; Xavier, 2001; Berteli, 2005).

Por ello, el agua residual en las piezas cerámicas dependerá de factores como:

- Naturaleza de las arcillas.
- Temperatura del sistema.
- Tiempo de secado.

Tal y como se menciona anteriormente la naturaleza de las arcillas influye en el tiempo de secado; los suelos para hacer ladrillos deben ser suelos arcillo-arenosos con un contenido de arena con respecto al material arcilloso del 25 – 30%, si el suelo no contiene ese porcentaje de arena se le puede añadir directamente esta para mejorar sus propiedades. A este tamaño de partícula presente en el suelo o no, se le suele llamar desgrasantes; son los encargados de disminuir la plasticidad de las arcillas y su retracción al secado, ya que no retienen el agua al disminuir las retracciones bruscas de la masa, que conducen al agrietamiento de los elementos. Otras de sus funciones es la de incrementar la resistencia de las piezas y los mismos deben ser añadidos finamente molidos para no quitar homogeneidad a las pastas (Xavier, 2001).

En la literatura se refiere el uso del carbonato de calcio finamente molido como desgrasante, (Xavier, 2004; Sisti, 2004a; Juárez Badillo, 1972) se dice que actúa dadas sus características físicas y granulométricas como un desgrasante natural que interviene parcialmente en la reacciones que ocurren dentro de los ladrillos, regula en una primera fase el tiempo de secado y posteriormente acelera las reacciones que ocurren durante la cocción (Xavier, 2004).

También se ha reportado el uso del carbonato de calcio finamente molido en muy pequeñas adiciones (en un rango entre el 2-5%) (Betancourt, 2008) 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.

*Therefore, it is necessary to optimize the quality of this stage as much as possible (Sisti, 2002; Sisti, 2004a; Xavier, 2001; Berteli, 2005).*

*The water contained in the ceramic body can be found in the following ways:*

- *Interstitial water.*
- *Hygroscopic water.*
- *Crystallization and/or composition water.*

*Interstitial water is found among clay particles, weakly adhered to them and with migration possibilities from the body's interior towards the surface, due to a moisture gradient in the body. This water is eliminated from the body's surface, as a consequence of its dissolution in the air circulating around it; in other words, the drying speed is primarily controlled by the humidity conditions of the drying air (Sisti, 2002; Sisti, 2004a; Xavier, 2001; Berteli, 2005).*

*Therefore, residual water in ceramic pieces will depend on factors such as:*

- *Nature of the clays.*
- *Temperature of the system.*
- *Drying time.*

*As mentioned above, the nature of clays affects the drying time; bricks have to be made with sandy clay soils with a sand content of 25-30% in relation to the clay material content; if the soil does not have this sand percentage, it can be added directly in order to improve its properties. This particle size, either present or not, is usually called tempers, which are responsible for reducing clays' plasticity and their drying shrinkage, since they do not retain the water while reducing brusque mass shrinkage that lead to checking of the elements. Another function is to increase the strength of the pieces; these materials should be added in a finely ground manner so as not to reduce the homogeneity of the pastes (Xavier, 2001).*

*In the literature, the use of finely ground calcium carbonate is referred to as temper (Xavier, 2004; Sisti, 2004a; Juárez Badillo, 1972), stating that due to its physical and granulometric characteristics it acts as a natural temper that partially interferes in the reactions occurring inside the bricks; in a first phase, it regulates the drying time and then accelerates the reactions during firing (Xavier, 2004).*

*The use of finely ground calcium carbonate in very small doses (2-5% range) has also been reported (Betancourt, 2008), with the purpose of improving the energy efficiency of the firing process without affecting the properties of the baked red clay brick. It has been demonstrated that the addition of calcium carbonate quantities oscillating between 2% and 5% of the clay mass improves the bricks' compressive strength at temperatures close to 900°C, and sintering times of 1-3 hours.*

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, en cuya composición mineralógica se confirma la presencia de caolinita y montmorillonita (Betancourt, 2008).

El presente trabajo parte del principio de utilizar pequeñas dosis de carbonato de calcio (2% respecto al volumen de la arcilla) como aditivo fundente en la fabricación de ladrillos cocidos con el objetivo principal de estudiar el efecto de dicha adición en la duración de la etapa de secado y en la eficiencia energética de la etapa de cocción de los ladrillos de cerámica roja.

## 2. Discusión y desarrollo

El trabajo experimental se dividió en dos partes. En una primera etapa se estudiaron los posibles efectos que provoca en la etapa de secado la adición de un 2% de  $\text{CaCO}_3$  molido hasta un tamaño de partícula de  $150 \mu\text{m}$ . Primeramente se verificaron los cambios provocados en el tiempo de secado, asociados a cambios de la humedad del material y a la contracción volumétrica que experimentan los ladrillos cocidos durante esta etapa del proceso de fabricación.

La segunda fase de la experimentación consistió en medir el consumo de combustible, el tiempo y la temperatura de cocción en un horno de tipo discontinuo con capacidad para 6800 ladrillos en cada quema, con el objetivo de estudiar la influencia de la adición de un 2% de carbonato de calcio en la eficiencia energética de la etapa de cocción. Ambas fases del trabajo experimental se desarrollaron en el Combinado de Cerámica Roja: "Sergio Soto" ubicado en el municipio de Manicaragua, en la provincia de Villa Clara, Cuba.

### 2.1 Organización de la experimentación

En esta investigación se empleó un material arcilloso proveniente del yacimiento Carranchola, La Moza. El mismo es un depósito de gran tamaño ubicado al noroeste de la localidad de Manicaragua, provincia de Villa Clara. Es un yacimiento con arcillas caoliníticas y montmorilloníticas como se muestra en los ensayos de Difracción de Rayos X (DRX) (Ver Figura 1).

*This effect is attributed to the alterations of the clays' reactions during the thermal treatment by the presence of calcite mineral, which allows sintering at lower temperatures in the studied clays, in whose mineralogical composition the presence of kaolinite and montmorillonite is confirmed (Betancourt, 2008).*

*This paper is based on the principle of using small doses of calcium carbonate (2% in relation to the clay volume) as flux additive in the production of baked bricks, and its main purpose is studying the effect of this addition on the drying stage duration and the energy efficiency of the firing stage of red ceramic bricks.*

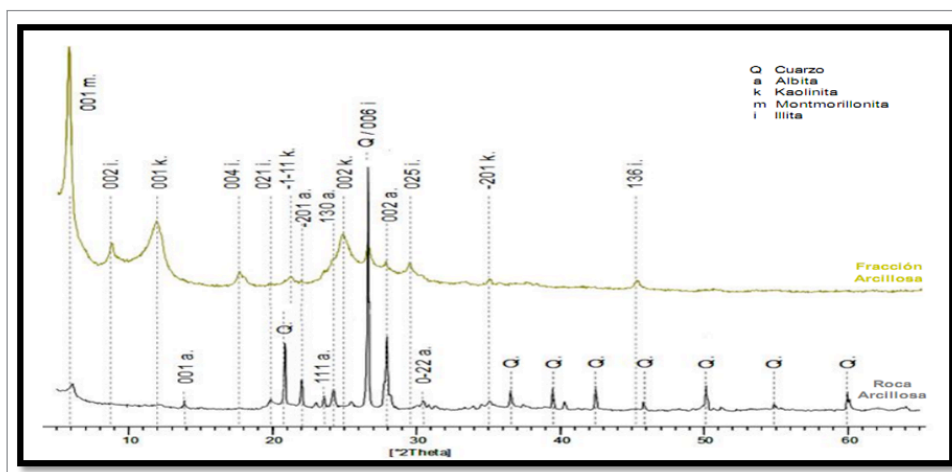
## 2. Discussion and development

*The experimental work was divided in two. In the first part, the possible effects on the drying stage of the 2%  $\text{CaCO}_3$  addition, ground to a particle size of  $150 \mu\text{m}$ , were studied. First, the changes during drying time were verified, associated to the material's moisture changes and the volumetric contraction of baked bricks in this stage of the manufacturing process.*

*The second stage of the experiment consisted in measuring fuel consumption, firing time and temperature in a discontinuous type of oven with capacity for 6,800 bricks per burning, with the aim of studying the influence of the 2% calcium carbonate addition on the energy efficiency of the firing stage. Both stages of the experimental work were performed in the Combinado de Cerámica Roja: "Sergio Soto" located in the township of Manicaragua, in the province of Villa Clara, Cuba.*

### 2.1 Organization of the Experiment

*In this research, clay material extracted from the Carranchola mineral deposit in La Moza was used, which is a large deposit located northwest of Manicaragua in the province of Villa Clara, containing kaolinite and montmorillonite clays, as shown in the X Ray Diffraction trials (XRD). (See Figure 1).*

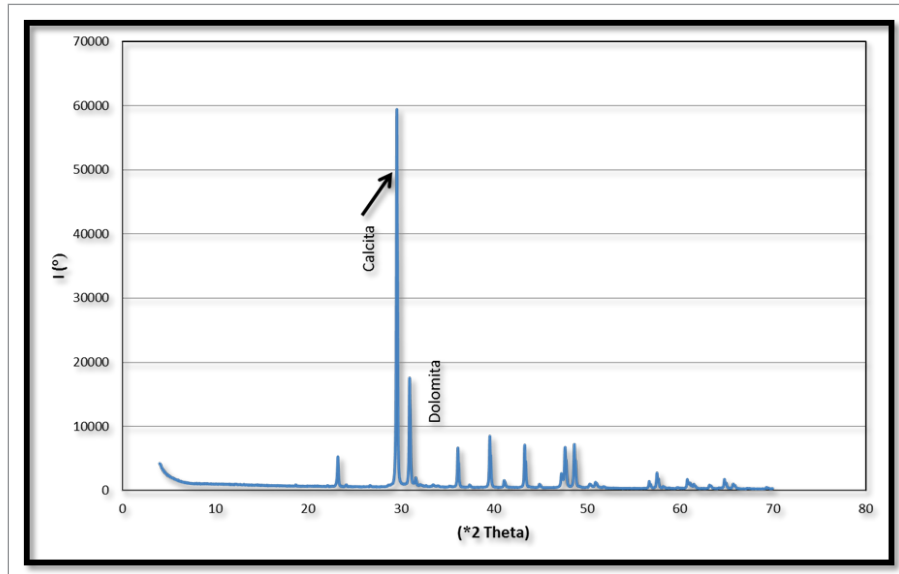


**Figura 1.** Resultados DRX de la comparación de fases en la roca arcillosa y la fracción arcillosa

**Figure 1.** XRD results for the phase comparison in the clay rock and the clay fraction

El carbonato de calcio utilizado como fundente procede de la cantera de Palenque en el municipio de Remedios en la provincia de Villa Clara. Los análisis realizados por DRX al  $\text{CaCO}_3$  (Figura 2.), mostraron que las principales fases minerales identificadas son la calcita, además de la presencia de dolomita  $[(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2)]$ , lo cual es muy común, ya que ambos minerales pueden encontrarse juntos dentro de la naturaleza.

*The calcium carbonate used as flux was extracted from the quarry of Palenque in the township of Remedios in the province of Villa Clara. The XRD analysis of the  $\text{CaCO}_3$  (Figure 2) identified the main mineral phases as kaolinite, as well as the presence of dolomite  $[(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2)]$ , which is very common, since both minerals can be found together in the nature.*



**Figura 2.** Resultados DRX del carbonato de calcio procedente de la cantera de Palenque

*Figura 2.* XRD results for calcium carbonate extracted from the Palenque quarry

## 2.2 Elaboración de los ladrillos

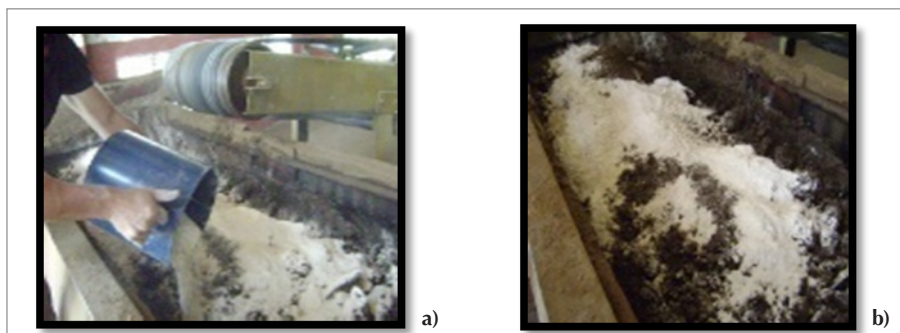
Se elaboraron ladrillos con y sin adición de carbonato de calcio tanto para el estudio de la etapa de secado como para la etapa de cocción.

Tanto para los ladrillos con o sin adición de carbonato el mezclado de las materias primas se realizó en un molino de paletas, para los fabricados con el 2% de  $\text{CaCO}_3$  con el objetivo de lograr la dosificación y homogenización adecuada de la pasta del material arcilloso más el aditivo fundente, la medición de la cantidad a adicionar se hizo en volumen, tomando como volumen de referencia el del mezclador. Para añadir el carbonato de calcio se utilizó un recipiente de  $0.01\text{m}^3$  de capacidad con el objetivo de medir la cantidad de  $\text{CaCO}_3$  que se debía suministrar al material arcilloso acumulado en el mezclador ( $0.7\text{m}^3$ ), suministrando  $0.014\text{m}^3$  de carbonato de calcio por cada amasada (Ver Figura 3).

## 2.2 Brick Manufacturing

Bricks were manufactured with and without calcium carbonate addition in the study of both the drying and firing stages.

For the bricks with and without calcium carbonate addition, the mixing of raw materials was made in a pallet mill. With the purpose of obtaining the right dosing and homogenization of the clay material paste plus the flux additive for bricks manufactured with 2%  $\text{CaCO}_3$ , the volume measurement of the added quantity considered the mixer's volume as reference volume. In order to add the calcium carbonate, a  $0.01\text{m}^3$  capacity container was used, with the aim of measuring the quantity of  $\text{CaCO}_3$  to be added to the clay material accumulated in the mixer ( $0.7\text{m}^3$ ), pouring  $0.014\text{m}^3$  of calcium carbonate per batch (see Figure 3).



**Figura 3.** Adición del  $\text{CaCO}_3$  al material arcilloso, a) Adición del  $\text{CaCO}_3$  b) Mezclado del material arcilloso con el  $\text{CaCO}_3$

*Figure 3.* Addition of  $\text{CaCO}_3$  to the clay material, a) Addition of  $\text{CaCO}_3$  b) Mixing of the clay material with  $\text{CaCO}_3$

Los ladrillos fueron conformados y prensados en una extrusora al vacío con una presión de 7 MPa, después de conformados presentaron una humedad inicial entre 15 y 17%, con dimensiones establecidas de 28 cm de largo, 11 cm de ancho, 7.5 cm de espesor.

El proceso de secado de las piezas con y sin adición de  $\text{CaCO}_3$  se desarrolló en las naves techadas que posee la fábrica, a la sombra y de manera natural con una humedad relativa del 90 % y una temperatura ambiente de 30°C.

Durante la cocción se utilizó el horno pequeño perteneciente a la fábrica, de funcionamiento intermitente, con quemador colocado en la parte inferior, y capacidad para procesar hasta 6800 unidades en cada quema. Se realizaron dos quemas: una primera denominada patrón o de control a ladrillos sin adición de carbonato de calcio y una segunda a la misma cantidad de piezas a las que se les adicionó un 2% de  $\text{CaCO}_3$ . Para ambos procesos de cocción, se efectuaron mediciones de la temperatura en puntos ubicados en las puertas del horno. El control de la temperatura se realizó mediante la introducción de un sensor de temperatura tipo K marca METRA – 202, colocado en tres orificios ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ), situados en las puertas del horno (Ver Figura 4), en la cual se realizaron mediciones con una frecuencia de una hora.

*The bricks were shaped and pressed in a vacuum extruder with a pressure of 7 MPa; after being shaped, they presented initial moisture between 15% and 17%, with established dimensions of 28cm long, 11cm wide and 7.5cm thick.*

*The drying process of the pieces with and without  $\text{CaCO}_3$  addition was performed in the factory's covered bay, in the shade and in a natural way, with relative humidity of 90% and room temperature of 30°C.*

*During firing, the factory's small oven with intermittent operation and burner in the lower part was used, with capacity to process up to 6,800 units per burning. Two burnings were carried out: the first one denominated standard or control burning for bricks without  $\text{CaCO}_3$  addition, and the second one for the same number of pieces with 2% added  $\text{CaCO}_3$ . In both firing processes, temperature measurements were made at points located in the oven's doors. The temperature control was made by introducing a K-type temperature sensor of the brand METRA–202, placed in three holes ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ), located in the oven doors (see Figure 4); measurements were made every hour.*

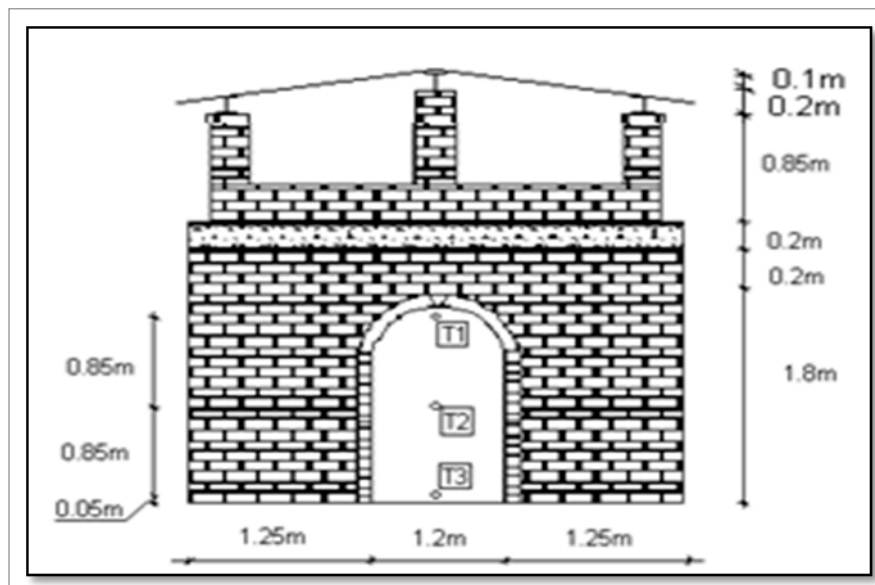


Figura 4. Esquema del horno con capacidad para 6800 ladrillos

Figure 4. Oven model with capacity for 6,800 bricks

### 3. Discusión de resultados

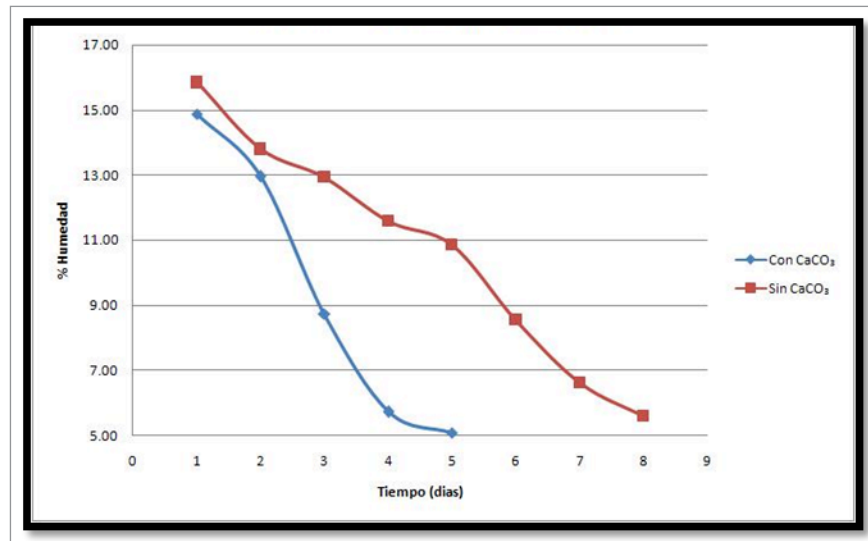
#### 3.1 Influencia del $\text{CaCO}_3$ en el proceso de secado de ladrillos de cerámica roja

En la Figura 5, se muestra la evolución de la variación porcentual de la humedad con respecto al tiempo, tanto para las muestras elaboradas con la adición de  $\text{CaCO}_3$ , como las elaboradas sin el aditivo.

### 3. Discussion of Results

#### 3.1 Influence of $\text{CaCO}_3$ in the drying process of red ceramic bricks

Figure 5 shows the evolution of the moisture percentage variation in relation to time, for the samples produced with and without  $\text{CaCO}_3$  addition.



**Figura 5.** Gráfico de tendencia de Reducción del contenido de Humedad vs. Tiempo de secado de los ladrillos en la fábrica  
**Figura 5.** Trend chart for moisture content reduction vs. drying time of the bricks at the factory

Claramente se puede observar en las gráficas que el porcentaje de humedad eliminado por unidad de tiempo está fuertemente ligado al contenido de  $\text{CaCO}_3$ . Se evidencia que el % de humedad disminuye desde aproximadamente un 16% (humedad de salida de la extrusora) hasta un 5% (humedad adecuada para entrar al horno) en un tiempo de 5 días para el caso del secado de ladrillos con adición de  $\text{CaCO}_3$  y en 8 días para el caso de los ladrillos sin adición.

A partir de este resultado se demuestra que el rendimiento alcanzado durante el secado de los ladrillos con la adición de  $\text{CaCO}_3$  es superior en más de un 35% del tiempo con respecto al secado de los ladrillos sin adición. Este resultado según los autores consultados (Xavier, 2004; Berteli, 2005; Juárez Badillo, 1972) podría indicar una influencia de las materias primas no plásticas como el  $\text{CaCO}_3$  en las pastas cerámicas mejorando el conformado y cambiando la estructura de los capilares hacia la formación de poros de mayor longitud y conectividad facilitando el secado y la eliminación del agua de composición durante el precalentamiento en la etapa de cocción de los ladrillos, lo cual propicia una posible disminución del consumo energético.

Para verificar de una manera sencilla la anterior aseveración relacionada principalmente con el fenómeno de capilaridad y tamaño de poros, se hace uso del ensayo "Edométrico" o también conocido como ensayo de consolidación de suelos, el cual se aplica en muestras de suelo con y sin adición de  $\text{CaCO}_3$ . En este se verifica la relación de vacíos ( $e$ ) contra una presión ( $P$ ) (ver Figura 6), lo que permite aplicando las ecuaciones físicas relacionadas con los efectos capilares provocados por la tensión superficial (Juárez Badillo, 1972) de ahí que se pueda determinar un diámetro de poros equivalente ( $D_p$ ) para cada una de las muestras con y sin la adición de  $\text{CaCO}_3$ . Los principales resultados se muestran a continuación en la Tabla 1.

*In the charts we can clearly observe that the moisture percentage eliminated by time unit is strongly related to the  $\text{CaCO}_3$  content. The moisture % decreases from approximately 16% (extruder's outgoing moisture) to 5% (suitable moisture to enter the oven) in a 5-day timespan for the drying of bricks with  $\text{CaCO}_3$  addition and 8 days for bricks without additive.*

*Based on this result, it is demonstrated that the performance reached during the drying process of the bricks with  $\text{CaCO}_3$  addition is higher in more than 35% of the time in relation to the drying process of bricks without additive. According to the consulted authors (Xavier, 2004; Berteli, 2005; Juárez Badillo, 1972), this result could indicate an influence of non-plastic raw materials such as  $\text{CaCO}_3$  on ceramic pastes, improving shaping and changing the structure of the capillary spaces towards the formation of pores with greater length and connectivity, facilitating the drying process and the elimination of the composition water during preheating in the bricks' firing stage, which favors a possible reduction of the energy consumption.*

*In order to verify the above statement in a simple way, mostly in relation to the capillary space phenomenon and the pore size, an "oedometer" test is carried out, also known as soil consolidation test, which is applied in soil samples with and without  $\text{CaCO}_3$  addition. The test verifies the void ratio ( $e$ ) under pressure ( $P$ ) (see Figure 6), which makes it possible, when applying the physical equations related to the capillary space effects provoked by the surface tension (Juárez Badillo, 1972), to determine an equivalent pore diameter ( $D_p$ ) for each sample with and without the  $\text{CaCO}_3$  addition. The main results are shown below in Table 1.*

**Tabla 1.** Relación de vacíos equivalente ( $e_0$ ) en ladrillos  
**Tabla 1.** Equivalent void ratio ( $e_0$ ) in bricks

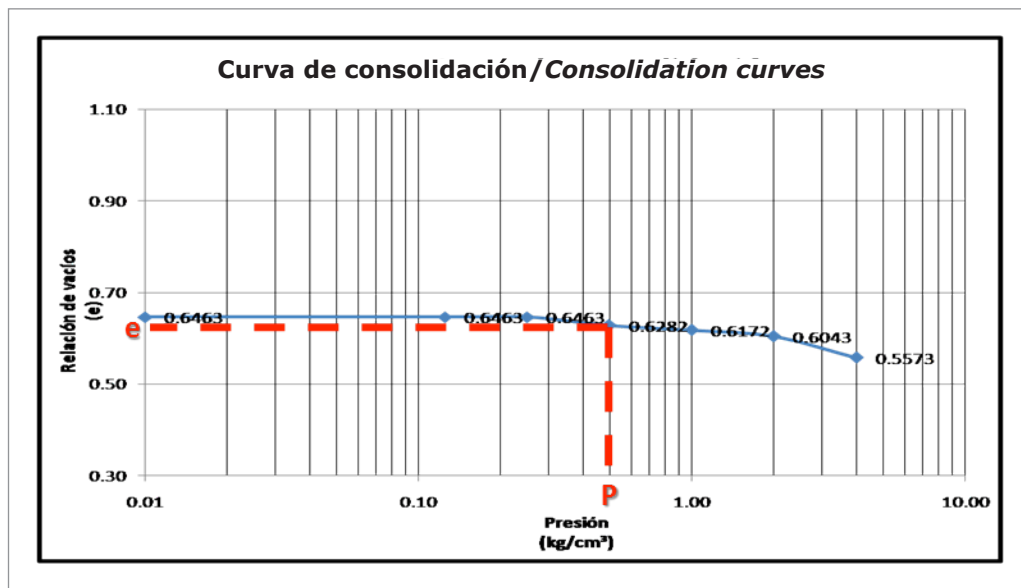
Relación de vacíos ( $e_0$ ) ladrillos/ Brick Vaid Ratio ( $e_0$ )		
	0% de $\text{CaCO}_3$ /0% de $\text{CaCO}_3$	2% de $\text{CaCO}_3$ /2% de $\text{CaCO}_3$
Peso promedio húmedo $W_s$ (g)/ Mean moist weight $W_s$ (g)	3270	3180
Volumen promedio seco $V$ ( $\text{cm}^3$ )/ Mean dry volume $V$ ( $\text{cm}^3$ )	1940.08	1957.18
Peso específico del suelo $\delta_d=W_s/V$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )/ Soil density $\delta_d=W_s/V$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.69	1.62
GS ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )/ Specific Gravity $SG$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.63	2.63
Relación de vacíos ( $e_0$ ) $e_0=(GS/\delta_d)-1$ / Void ratio ( $e_0$ ) $e_0=(GS/\delta_d)-1$	0.56	0.62

La Tabla 1 muestra la relación de vacíos obtenida ( $e_0$ ) para cada una de las muestras de ladrillos ensayadas. Al comparar ambos resultados se observó que los ladrillos con una adición del 2% de  $\text{CaCO}_3$ , muestran un ligero incremento de la relación de vacíos (0.62), en comparación con las muestras sin la adición (0.56). Esto manifiesta un aumento de la porosidad en las piezas elaboradas con adición de  $\text{CaCO}_3$ .

A partir de las relaciones de vacíos obtenidas de los ladrillos con y sin adición de  $\text{CaCO}_3$  y utilizando las curvas del ensayo Edométrico (ver Figura 6), se determinó la presión que debe aplicarse para llegar a cada una de las relaciones de vacíos determinadas anteriormente; la cual permite determinar un diámetro equivalente de poros, aplicando las ecuaciones de Terzaghi, como se muestra en la Tabla 2.

Table 1 shows the void ratio ( $e_0$ ) obtained for each tested brick sample. When comparing both results, we observe that bricks with addition of 2%  $\text{CaCO}_3$  show a slight increase in the void ratio (0.62), compared with the samples without additive (0.56). This evidences a porosity increase in the pieces produced with  $\text{CaCO}_3$  addition.

The void ratios obtained from the bricks with and without  $\text{CaCO}_3$  addition, together with the curves of the oedometer test (see Figure 6), allow determining the pressure to be applied to reach each one of the previously determined void ratios, which allows defining an equivalent pore diameter through the Terzaghi equations, as shown in Table 2.



**Figura 6.** Gráfico de relación de vacíos Vs Presión de compactación  
**Figure 6.** Chart of void ratio vs. compaction pressure

**Tabla 2.** Diámetro equivalente ( $D_0$ ) en ladrillos  
**Tabla 2.** Equivalent diameter ( $D_0$ ) in bricks

Diámetro equivalente de poros ( $D_0$ ) / Equivalent pore diameter ( $D_0$ )		
	0% de $\text{CaCO}_3$ / 0% of $\text{CaCO}_3$	2% de $\text{CaCO}_3$ / 2% of $\text{CaCO}_3$
Tensión superficial ( $T_0$ ) (g/cm) / Surface tension ( $T_0$ ) (g/cm)	0.074	0.074
Presión (P) (g/cm <sup>3</sup> ) / Pressure (P) (g/cm <sup>3</sup> )	4000.00	500.00
$D_0$ (cm) $D_0 = 4 \cdot T_0 / P$	0.000074	0.000592
$D_0$ (µm)	0.74	5.92

Al comparar los resultados, podría indicarse que la adición  $\text{CaCO}_3$  al suelo arcilloso utilizado para la fabricación de ladrillos provoca que los capilares faciliten el flujo de la humedad desde el interior hacia el exterior al encontrarse más abiertos en muestras que contienen un 2% de  $\text{CaCO}_3$ ; de forma tal, que proporciona una mejor eliminación del agua de poros siendo ésta una de las posibles razones por las que disminuye el tiempo de secado. Estos resultados han sido obtenidos por un ensayo que induce el diámetro de poros a partir de la presión de compactación (Juarez Badillo, 1972).

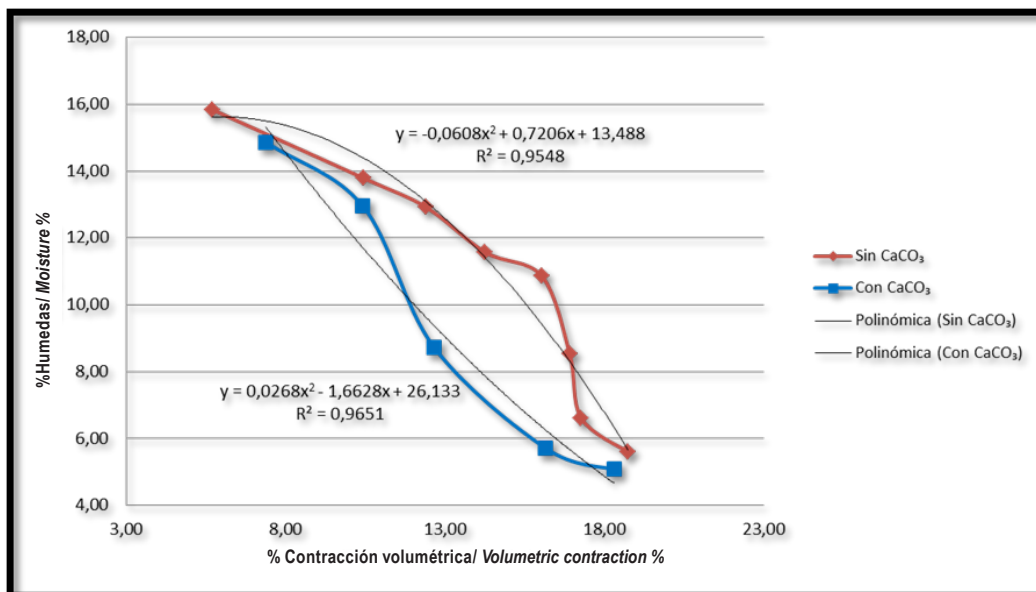
*In the results' comparison, we observe that when adding  $\text{CaCO}_3$  to the clay soil used for brick manufacturing, the capillary spaces facilitate the moisture flow from the inside to the outside, since they are more open in the samples containing 2%  $\text{CaCO}_3$ ; thus, it provides a better elimination of the pore water, and this could be one of the reasons explaining the lesser drying time. These results have been obtained by a test which induces the pore diameter through compaction pressure (Juarez Badillo, 1972).*

**3.1.1 Influencia del  $\text{CaCO}_3$  en la contracción durante el secado de los ladrillos**

**3.1.1 Influence of  $\text{CaCO}_3$  on the contraction during the bricks' drying process**

Los resultados anteriores se verifican a partir de la relación entre las variables % de humedad, contracción volumétrica y de la confección de las curvas de Bigot (Tari, 1997) como se muestra en la Figura 7. En primer lugar a pesar de que las curvas de Bigot guardan estrecha relación con la granulometría del material arcilloso (Fernández, 1990), en estos resultados se observó una profunda dependencia debido al uso del  $\text{CaCO}_3$  como aditivo sobre el mecanismo de secado, pues a pesar de que se trabajó con el mismo tipo de secado la relación de la contracción versus la variación porcentual de la pérdida de humedad siguen trayectorias diferentes.

*The above results are verified based on the relation between the variables of moisture %, volumetric contraction and the drawing of the Bigot curves (Tari, 1997), as shown in Figure 7. In the first place, even if the Bigot curves have a close relation with the clay material's granulometry (Fernández, 1990), these results showed a strong dependence due to the use of  $\text{CaCO}_3$  as additive on the drying mechanism; in spite of working with the same type of drying, the relation of contraction versus moisture loss percentage variation follows different paths.*



**Figura 7.** Gráfico de Perdida de Humedad vs. % Contracción volumétrica (curva de Bigot)  
**Figure 7.** Chart of moisture loss vs. volumetric contraction % (Bigot curve)





A partir de estas curvas se puede observar que para eliminar un mismo porcentaje de humedad hay una menor contracción en los ladrillos elaborados con adición de carbonato de calcio en comparación con los ladrillos sin la adición principalmente en el rango comprendido entre el 6 y el 13% de humedad, aunque ambos tienen una contracción final similar.

Estos resultados podrían indicar según la literatura consultada (Xavier, 2004; Fernández, 1990; Juárez Badillo, 1972; Cárdenas, 2009) una reformulación de la pasta cerámica a partir de la adición del mineral  $\text{CaCO}_3$ , que actúa como desgrasante o material no plástico, que baja la plasticidad de la pasta y disminuye la contracción debido fundamentalmente a que los desgrasantes pierden agua sin contraer (Xavier, 2004, Juárez Badillo, 1972). Por lo tanto un suelo arcilloso con un aumento del contenido de desgrasante presentará una menor contracción.

Para entender la influencia del  $\text{CaCO}_3$  en la plasticidad y poder aclarar y/o confirmar la hipótesis hecha anteriormente se decidió entonces realizar un ensayo de plasticidad (Límites de Atterberg) a muestras de suelo arcilloso con y sin la adición de  $\text{CaCO}_3$ . Los resultados se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Límites de plasticidad de muestras de suelo arcilloso con y sin  $\text{CaCO}_3$   
**Table 3.** Plastic limits of clay soil samples with and without  $\text{CaCO}_3$

LIMITES/LIMITS	0% de $\text{CaCO}_3$ /0% of $\text{CaCO}_3$	2% de $\text{CaCO}_3$ /2% of $\text{CaCO}_3$
Límite líquido (%) / Liquid limit (%)	34,1	32.2
Límite plástico (%) / Plastic limit (%)	16.9	19.1
Índice de plasticidad (%) / Plasticity index	17.2	13.2

Al comparar los resultados se observó que las muestras de material arcilloso mezcladas con un 2% de  $\text{CaCO}_3$  experimentan una disminución en sus índices de plasticidad en un 23,3 %, en comparación con las muestras de suelo arcilloso sin aditivo por lo tanto con el aumento del contenido de  $\text{CaCO}_3$ , la plasticidad es menor y la contracción disminuye, este resultado es consecuente con lo planteado en la bibliografía consultada sobre el tema.(Juárez Badillo, 1972; Xavier, 2004; Sisti, 2004b).

### 3.2 Evaluación de la influencia del $\text{CaCO}_3$ sobre la temperatura, tiempo de cocción y consumo de combustible en la producción de ladrillos

A continuación en la Figura 8 se muestra la evolución de la temperatura con respecto al tiempo tanto de la cocción de ladrillos elaborados con un 2% de  $\text{CaCO}_3$  como los elaborados sin adición. En estos tipos de hornos no existe un sistema confiable de control de la temperatura y tiempo de cocción, el cual que se subsanó con esfuerzo personal de los autores, los cuales controlaron estos fundamentales parámetros dentro del horno con el empleo de un termopar o sensor de temperatura tipo K marca METRA-202 y la constante vigilancia de las operaciones, en las cuales la pericia del hornero es definitiva.

*Based on these curves, we can infer that to eliminate the same moisture percentage there is less contraction in the bricks made with calcium carbonate addition, compared with the bricks without addition, mostly in the moisture range between 6% and 13%, although both have a similar final contraction.*

*According to the consulted literature (Xavier, 2004; Fernández, 1990; Juárez Badillo, 1972; Cárdenas, 2009), these results could indicate a reformulation of the ceramic paste with the addition of  $\text{CaCO}_3$  mineral that acts as a temper or non-plastic material, which reduces the plasticity of the paste and the contraction, mainly because tempers lose water without contracting (Xavier, 2004, Juárez Badillo, 1972). Therefore, a clay soil with higher temper content will present less contraction.*

*With the purpose of understanding the influence of  $\text{CaCO}_3$  on plasticity and being able to clarify and/or confirm the above hypothesis, a plasticity test was carried out (Atterberg Limits) on clay soil samples with and without  $\text{CaCO}_3$  addition. Results are shown in Table 3.*

*When comparing results, it was found that clay material samples mixed with 2%  $\text{CaCO}_3$  showed a 23.3% drop of the plastic indexes, compared with the clay material samples without additive; therefore, when increasing the  $\text{CaCO}_3$  content, there is less plasticity and contraction. This result is consistent with the consulted references on the matter (Juárez Badillo, 1972; Xavier, 2004; Sisti, 2004b).*

### 3.2 Evaluation of the $\text{CaCO}_3$ influence on temperature, firing time and fuel consumption in the production of bricks

*Figure 8 shows the evolution of the temperature-time ratio for the firing of bricks made with and without 2%  $\text{CaCO}_3$ . This type of oven does not have reliable control systems for temperature and time; this difficulty was overcome with the personal effort of the authors, who controlled these basic parameters inside the oven by means of a thermocouple or K-type temperature sensor of the brand METRA-202, and the permanent monitoring of the operations, in which the know-how of the baker was a deciding factor.*



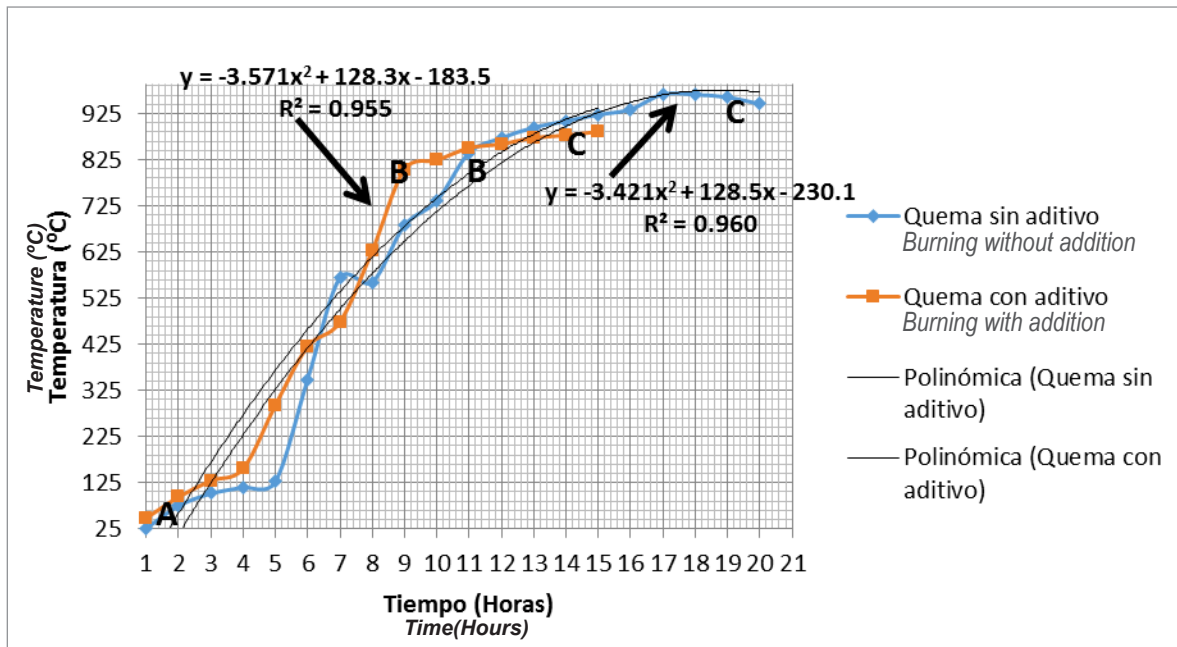


Figura 8. Curvas de Temperatura de Cocción Vs. Tiempo de las quemas con y sin adición de  $\text{CaCO}_3$

Figure 8. Curves of firing temperature vs. burning time with and without  $\text{CaCO}_3$  addition

En las gráficas se observa para ambos procesos de cocción la existencia de dos zonas bien definidas y con diferentes interpretaciones. La primera correspondiente a la etapa de precalentamiento, caracterizada fundamentalmente por un incremento gradual de la temperatura (Tramo A – B) y la segunda etapa, correspondiente a la cocción definida por una temperatura constante que oscila entre los 800 y 950°C (Tramo B – C). Cada una de estas etapas describe el proceso de cocción las cuales están asociadas con la eliminación del agua cristalográfica (Tramo A – B) y la formación de las fases cristalinas dándole dureza a los ladrillos (Tramo B – C) (Xavier, 2001; Betancourt, 2008; Cultrone, 2004; Vidal, 2001).

Como se puede apreciar en las curvas existen diferencias en cuanto a la duración del proceso de cocción el cual se dio por terminado, tomando como principal criterio la experiencia de los horneros. Durante la cocción de los ladrillos con adición de carbonato de calcio se produjo una reducción del tiempo en 5 horas, en comparación con la quema de ladrillos sin adición, lo que confirma la acción fundente del  $\text{CaCO}_3$  en las pastas cerámicas cuando se utilizan pequeñas dosis del mismo.

La Figura 9 muestra del consumo de combustible para cada una de las quemas. Se observó una significativa disminución de un 27 % del consumo de combustible para la cocción de ladrillos con adición de un 2% de  $\text{CaCO}_3$ , lo que significa un ahorro de combustible con respecto a la quema control o sin aditivo de 951 litros de combustible por quema. Este resultado es consecuente con la disminución del tiempo de cocción, pero también es influido por el efecto fundente del  $\text{CaCO}_3$  en pequeñas dosis, descrito en la literatura (Betancourt, 2008).

The charts show the existence of two well-defined zones with different interpretations for both firing processes. The first one corresponds to the preheating stage, mainly characterized by a gradual temperature increase (Segment A – B), and the second stage corresponds to the burning process defined by a constant temperature fluctuating between 800°C and 950°C (Segment B – C). Each one of the stages describes the firing process and they are associated to the elimination of crystallographic water (Segment A – B) and the formation of crystalline phases, which give hardness to the bricks (Segment B – C) (Xavier, 2001; Betancourt, 2008; Cultrone, 2004; Vidal, 2001).

As can be appreciated in the curves, there are differences in the duration of the firing process, which was considered finished using the main criterion of the bakers' experience. During firing of the bricks with calcium carbonate addition, time was reduced by 5 hours, compared with the burning of bricks without addition, which confirms the flux action of the  $\text{CaCO}_3$  in the ceramic pastes when small doses are used.

Figure 9 shows the fuel consumption for each burning. A significant 27% reduction was observed in the fuel consumption for the firing of bricks with 2% addition of  $\text{CaCO}_3$ , which means fuel savings in relation to the control burning or without additive of 951 fuel liters per burning. This result is consistent with the firing time reduction, but it is also influenced by the flux effect of the  $\text{CaCO}_3$  in small doses, described in the literature (Betancourt, 2008).

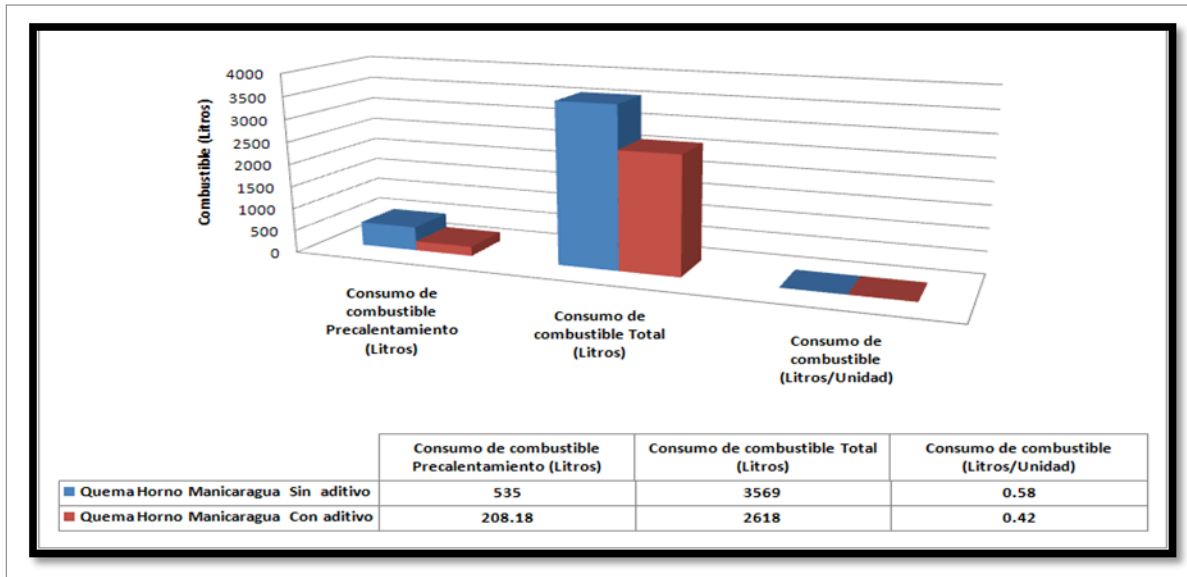


Figura 9. Consumo de combustible  
 Figure 9. Fuel consumption

#### 4. Conclusiones

1. Se demuestra que la adición de un 2% de  $\text{CaCO}_3$  a la pasta arcillosa utilizada para la fabricación de ladrillos, disminuye el tiempo de secado significativamente en un 35% con respecto a los ladrillos elaborados sin adición.
2. Los resultados de los ensayos de contracción y plasticidad indicaron que el  $\text{CaCO}_3$  actúa en las pastas cerámicas como un desgrasante, regulando las contracciones y facilitando la pérdida de humedad.
3. Los resultados logrados indican que la adición  $\text{CaCO}_3$  al suelo arcilloso utilizado para la fabricación de ladrillos provoca que los capilares faciliten el flujo de la humedad desde el interior hacia el exterior, al encontrarse más abiertos en muestras que contienen un 2% de  $\text{CaCO}_3$ ; de forma tal, que proporciona una mejor eliminación del agua de poros, siendo esta una de las posibles razones por las que disminuye el tiempo de secado.
4. La adición de  $\text{CaCO}_3$  al suelo arcilloso utilizado en la fabricación de ladrillos cocidos, provocó una disminución del tiempo de cocción, lo cual influye en la consiguiente disminución del consumo de combustible en un 27% en comparación con los ladrillos cocidos sin adición.

#### 4. Conclusions

1. It is demonstrated that the addition of 2%  $\text{CaCO}_3$  to the clay paste used in the manufacturing of bricks, significantly reduces the drying time by 35% in relation to the bricks made without addition.
2. The results of the contraction and plasticity tests indicated that the  $\text{CaCO}_3$  acts as a temper in the ceramic pastes, regulating the contractions and contributing to the moisture loss.
3. The obtained results indicate that  $\text{CaCO}_3$  addition to the clay soil used for brick manufacturing helps capillary spaces to facilitate the moisture flow from the inside to the outside, since they are more open in the samples containing 2%  $\text{CaCO}_3$ ; thus, it provides a better elimination of the pore water, and this could be one of the reasons explaining the lesser drying time.
4. The  $\text{CaCO}_3$  addition to the clay soil used in the manufacturing of baked bricks entailed a reduction of the firing time, which affects the resulting reduction of fuel consumption by 27%, compared with bricks baked without additive.

## 5. Referencias/References

---

- Berteli M. N. (2005)**, Evaluation of short cut pasta air dehydration assisted by microwaves as compared to the conventional drying process. *Journal of Food Engineering*, 68, 75-183.
- Betancourt D. (2008)**, Utilización del carbonato de calcio como adición mineral en la producción de ladrillos de cerámica roja. Doctorado, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Cárdenas C. (2009)**, Las microondas como una alternativa para el secado de materiales cerámicos tradicionales. Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales. Colombia.
- Cultrone G. (2004)**, Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. *Journal of the European Ceramic Society*, 24, 547-564.
- Fernández M. (1990)**, Fabricación y control de calidad de los materiales de arcilla cocida. En seminario Internacional Fabricación y Control de calidad de los materiales de arcilla cocida.
- Juarez Badillo E. (1972)**, Mecánica de Suelos, La Habana, Editorial: Pueblo y Educación.
- Sisti M. (2002)**, [Online]. Argentina. Available: <http://www.mariosisti.com.ar/inicio/index.php/notas-tecnicas.html>.
- Sisti M. (2004a)**, El secado en la Industria Cerámica [Online]. Available: <http://www.mariosisti.com.ar/inicio/index.php/notas-tecnicas.html>.
- Sisti M. (2004b)**, Parte II. El secado – Comportamiento de las arcillas [Online]. Available: <http://www.mariosisti.com.ar/inicio/index.php/notas-tecnicas.html>.
- Tari G. (1997)**, Curve di Bigot: Un metodo pratico ed efficaci di caratterizzazione di composti crudi attenuati per cologgio. *Ceramagia*, 27, 363-368.
- Vidal J. (2001)**, Aptitudes cerámicas de una arcilla tipo modificada por la adición de un residuo rico en carbonato cálcico. *Materiales de construcción* 51, 5-19.
- Xavier E. (2001)**, Optimización de procesos cerámicos industriales. 3ra Parte. la fabricacion de los materiales ceramicos [Online]. Available: <http://www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID57.pdf> [Accessed 2007].
- Xavier E. (2004)**, Optimización de procesos cerámicos industriales. 1ra Parte. Introducción al comportamiento de las pastas cerámicas [Online]. Available: [www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID57.pdf](http://www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID57.pdf). [Accessed 2007].