

# DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA APTITUD A LA EXPANSIÓN TÉRMICA DE ARCILLAS

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE APTITUDE TO THE THERMAL CLAY EXPANSION

KARYN ALEXANDRA GIRALDO CÁRDENAS

*Ingeniera de Minas y Metalurgia, Universidad Nacional de Colombia, karyn\_giraldo@universia.net.co*

JORGE ORLANDO GARCÍA ESCOBAR

*Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia, jogarcia@unal.edu.co*

Recibido para revisar 1 de Mayo de 2005, aceptado 29 de Agosto de 2005, versión final 16 de Enero de 2006

**RESUMEN:** El presente trabajo tuvo como objeto fundamental estudiar, a escala de laboratorio, la aptitud a la expansión térmica de diferentes muestras de arcillas variando la temperatura de quema y modificando la composición de éstas con la adición de agentes promotores de la expansión térmica, como carbonato de calcio y cenizas volantes de carbón. El procedimiento experimental comprendió cuatro etapas: *preparación, caracterización, pruebas preliminares de quema y ensayos de quema específicos*; utilizando como criterio de expansión térmica el cambio porcentual de volumen de las muestras, y como criterios de calidad de los productos obtenidos, la densidad, la porosidad abierta y la absorción de agua. Finalmente, se encontró que una de las arcillas estudiadas presentó aptitud a la expansión térmica de manera natural y que otras cinco arcillas, mezcladas con diferentes proporciones de aditivos, también expandieron térmicamente a temperaturas comprendidas entre 1100°C y 1250°C.

**PALABRAS CLAVE:** Expansión térmica de arcillas, cocción de arcillas, agregados ligeros, LECA.

**ABSTRACT:** The main goal of this job was to study, at laboratory level, the ability of several clays to expand at high temperatures up to become lightweight aggregates. The study was carried out varying burning temperature and clay composition (clays and clays plus expansion promoter agents, such as Calcium Carbonate and coal fly ashes). The experimental procedure included four stages: preparation, characterization, preliminary burning tests and specific burning tests; it was used the percentage volume change of each sample as a thermal expansion comparison parameter and density, open porosity and water absorption of the obtained products were used as quality parameters. It was found that one of the studied clays showed ability to expand in a natural way and there were other five modified clays (clays mixed with different proportions of additives) that also expanded at temperatures between 1100°C and 1250°C.

**KEY WORDS:** Thermal Expansion, burning, Light Weight Aggregates, LECA.

### 1 INTRODUCCIÓN

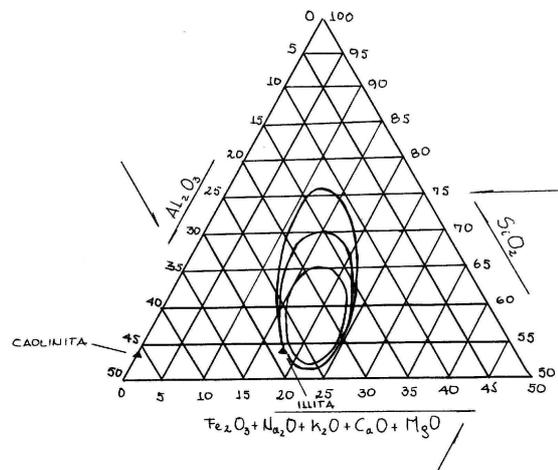
La Arcilla Expandida Térmicamente, AET, posee diferentes usos, entre los cuales se destaca su función como agregado ligero en la industria de la construcción: elaboración de concretos ligeros estructurales, fabricación de bloques aligerados, aislante térmico y

acústico en paredes y muros, y en la adecuación de terrenos. Si bien, sus tecnologías de obtención y de utilización son suficientemente conocidas en países industrializados, y aún en vía de desarrollo, como Brasil y Venezuela, en Colombia, estas tecnologías se encuentran en una fase

incipiente de investigación, producción y aplicación. En tal sentido, este estudio pretende no sólo evaluar el comportamiento a la expansión térmica de arcillas, estudiando a escala de laboratorio, el efecto de la temperatura y la composición de la materia prima, como variables principales, sino también divulgar regionalmente los aspectos teóricos y prácticos ligados a la producción y a los usos de la AET, pues la literatura especializada en el tema señala la factibilidad técnica y económica de reconvertir plantas ladrilleras en plantas productoras de AET, modificando básicamente el horno.

No obstante que en la actualidad existen técnicas avanzadas de caracterización de minerales, la simple caracterización química sigue siendo una herramienta válida en la selección de la materia prima para la producción de AET; en tal sentido, algunos autores, como *Schmidt, 1971* y *Cormon, 1974*, establecen diferentes intervalos de composición química para las arcillas con aptitud a la expansión térmica. Bajo este mismo enfoque, *Riley*, citado por *Cubaud y Murat, 1969*, determinó sobre un diagrama triangular una zona de composición química para las arcillas, expresada como porcentaje en peso en base calcinada, que tienen mayor probabilidad a la expansión térmica, tal como se ilustra en la *figura 1*; según *Riley*, las arcillas cuya composición se ubica por fuera de esta zona no tienen posibilidad de expandir térmicamente, aunque pueden ser mezclas con aditivos que promuevan la expansión. No obstante, este criterio no es único, pues desconoce dos aspectos importantes del fenómeno, como son, en primer lugar, la composición mineralógica, pues ciertos puntos en el interior de la zona definida por *Riley* corresponden a productos que pueden formar una masa con la viscosidad necesaria, pero que no tienen la posibilidad de producir desprendimientos gaseosos en el curso de su tratamiento térmico; y en segundo lugar, los aspectos cinéticos del proceso. En efecto, el principal problema radica en obtener de manera simultánea, en un intervalo estrecho de temperaturas, la generación de los gases responsables de la expansión y la fusión

parcial de la superficie de los gránulos de arcilla, siendo entonces necesario conocer no sólo la composición química y compararla con los criterios que permiten inferir su comportamiento en cuanto a viscosidad e hinchamiento, sino también realizar pruebas directas de expansión térmica que simulen las condiciones industriales del proceso, pues se trata de alcanzar simultáneamente la temperatura de fusión parcial y la temperatura de liberación de gases con aquellas muestras que se sabe tienen aptitud a la expansión térmica.



**Figura 1.** Diagrama de Riley modificado por el Grupo OPTIROC. *Siljan, 2000.*

**Figure 1.** Diagram of Riley, modified by Group OPTIROC. *Siljan, 2000*

## 2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para la realización de este estudio fue necesario formular una metodología de trabajo que se ajustara a sus objetivos y alcances, basada en los trabajos de *De Suaza Santos, 1972*, *Schellmann y Fastabend, 1972* y *Viera de Suaza y Bergström, 1973*; dicho procedimiento, esquematizado en la *figura 2*, comprende cuatro etapas: preparación, caracterización, pruebas preliminares de quema y ensayos de quema específicos.

## 2.1 Preparación

Debido a que las muestras de arcillas se presentan comúnmente en “terrones”, fue necesario realizar una etapa preliminar de “reducción de tamaño” y homogenización; en este caso se utilizó una trituradora de rodillos con la cual se obtuvo una laminación parcial. Posteriormente, las diferentes muestras de arcilla se secaron en estufa de laboratorio. La molienda se efectuó en un molino cilíndrico para cerámicos, con cilindros de porcelana como medio molidor.

Para determinar el comportamiento en quema de las muestras se fabricaron dos tipos de probeta: placas (50mm x 50mm x 20mm) obtenidas por moldeo en prensa manual y partículas aproximadamente esféricas, moldeadas a mano y de diámetro comprendido entre 2,00 y 2,50 cm. La humedad de moldeo fue variable, dependiendo principalmente del tipo de arcilla y de los aditivos utilizados. Las probetas se dejaron secar al ambiente y posteriormente a 110°C por 24 horas.

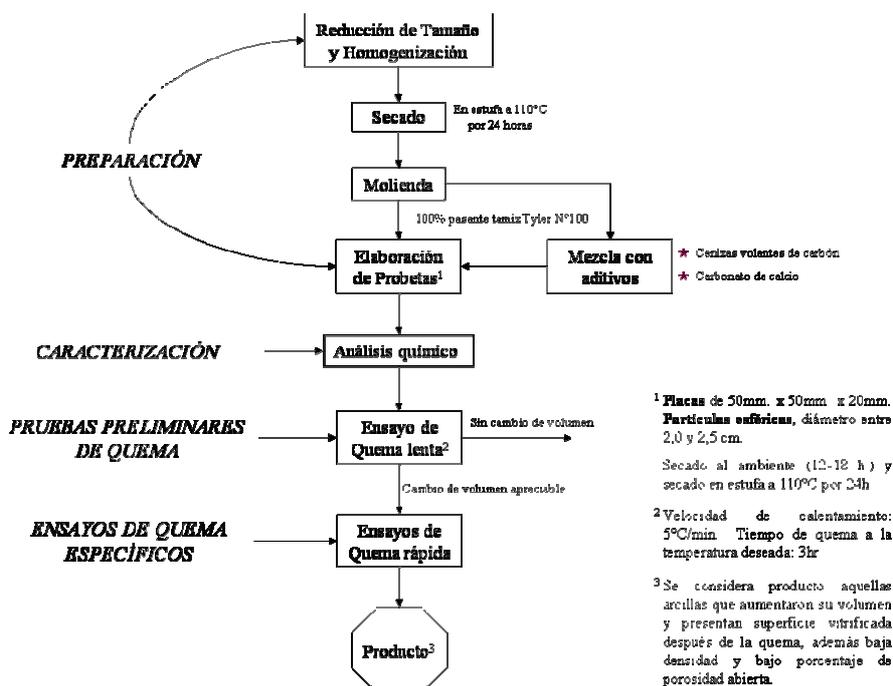


Figura 2. Diagrama de flujo del procedimiento experimental.

Figure 2. Flow chart experimental procedure.

## 2.2 Caracterización

Con el propósito de correlacionar la aptitud a la expansión térmica de las materias primas utilizadas con su composición química y comparar esta última con los intervalos de composición reportados como apropiados para la expansión térmica, principalmente, con el diagrama de Riley, se realizó caracterización química a las muestras de arcilla y de cenizas volantes de carbón. Los análisis químicos de las materias primas se

realizaron según la Norma Técnica Colombiana NTC 864.

## 2.3 Pruebas preliminares de quema

Consisten en *ensayos de quema lenta*, también conocidos como “ensayos preliminares para uso cerámico” *Viera de Suaza y Bergström, 1973*, que tienen como propósito diferenciar dos tipos de arcilla en

relación con su aptitud a la expansión térmica:

- i* Las que poseen aptitud a la expansión térmica, que pueden clasificarse en dos tipos:
  - ✓ Arcillas que expanden de manera natural, es decir, aquellas que presentan un aumento apreciable de volumen a temperaturas entre 1100°C y 1300°C.
  - ✓ Arcillas que, aunque no cumplen la condición anterior, aumentan de volumen en el mismo intervalo de temperatura cuando son mezcladas con aditivos que favorecen la generación de gases o que actúan como fundentes.
- ii* Las que no poseen aptitud a la expansión térmica.

Los ensayos de quema lenta se realizaron, sobre las placas, en mufla a 1100°C y a 1250°C durante tres horas, en un ciclo de quema de siete horas. Como aditivos se utilizaron cenizas volantes de carbón, con alto contenido de fundentes y bajo porcentaje de inquemados, generadas en la empresa textil Fabricato en su planta de energía, denominadas CF, y carbonato de calcio, con 98.8% de CaCO<sub>3</sub>, alta blancura y  $d_{98} = 7 \mu\text{m}$ ., correspondiente a la referencia *OMYACARB I – CG* de la empresa **OMYA Colombia S.A.** Los ensayos de quema lenta se realizaron a tres tipos de materia prima, a saber: arcillas naturales, mezclas de arcilla con cenizas volantes de carbón y mezclas de arcilla con carbonato de calcio.

Se utilizó el cambio del volumen como indicador de la aptitud a la expansión térmica de las arcillas, entendiéndose como aptas aquellas arcillas que presentaron aumento de volumen después de la quema. En aquellas situaciones en las cuales las placas de arcilla se deformaron por fusión total o parcial, siendo imposible medir sus dimensiones, se recurrió al principio de Arquímedes para obtener el volumen final después de quema.

## 2.4 Ensayos de quema específicos

Estos consisten en realizar *ensayos de quema rápida* sobre aquellas materias primas, arcillas y mezclas, que presentaron cambio de volumen apreciable en las pruebas preliminares de quema, pretendiendo así comprobar los resultados obtenidos en dichas pruebas y simular algunas de las condiciones industriales del proceso.

Las partículas esféricas fueron precalentadas a 600°C durante 45 minutos en mufla, con el fin de evitar fisuras por evaporación súbita de agua. La quema de las diferentes muestras se realizó en un horno rotatorio a escala de laboratorio, a diferentes temperaturas y en intervalos cortos de tiempo, 10 a 15 minutos. Las características del horno utilizado se muestran en la *tabla 1*.

Los criterios utilizados para juzgar la calidad de los productos obtenidos fueron la densidad, conocida en la literatura cerámica como densidad “bulk”, y el porcentaje de porosidad abierta. Se clasifican como “buenos productos” aquellos que presentaron valores bajos de densidad y porosidad abierta, en tanto que estas características garantizan a su vez un producto con superficie sinterizada, parcialmente sellada, y una resistencia mecánica apropiada para utilizarse como agregado liviano.

**Tabla 1.** Características del horno rotatorio  
**Table 1.** Characteristics of the rotatory furnace.

Largo	47,5 cm.
Diámetro interno	8,4 cm.
Inclinación	1°30' - 2°
Velocidad de rotación	2.89 rpm.
Combustible	Propano – Oxígeno (3/1)

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras rotuladas AA provienen de la zona de Amagá, tomadas del frente de explotación del antiguo tejar San Fernando, están identificadas así: AA-01 de color amarillo, AA-02 de color amarillo claro y AA-03 de color gris.

Las arcillas rotuladas como *AI* pertenecen al miembro superior de la formación Amagá y fueron extraídas del frente de explotación de una ladrillera cercana al municipio de Irra y son: *AI-04* de color café rojizo, *AI-05* de color amarillo ocre y *AI-06* de color vinotinto oscuro,.

Las arcillas rotuladas *AC*, provienen de Cartago y se identifican como: *AC-14*, perteneciente al saprolito de la formación Dagua, de color ocre anaranjado, utilizada en la fabricación de cerámica roja y *AC-15*,

asociada a los depósitos cuaternarios de los ríos Cauca y La Vieja, de color negro y rica en materia orgánica. La muestra *1415* corresponde a una mezcla en iguales proporciones de las arcillas *AC-14* y *AC-15*.

Los resultados de los análisis químicos de las muestras de arcilla y de las cenizas se presentan en la **tabla 2** y la ubicación de la composición química sobre el diagrama de Riley, tanto de las arcillas como de las mezclas, se ilustra en la *figura 3*

**Tabla 2.** Composición química de las muestras de arcilla y de las cenizas Fabricato.

**Table 2.** Chemical composition of clays samples and Fabricato ashes

% en peso	AA-01	AA-02	AA-03	AI-04	AI-05	AI-06	AC-14	AC-15	CF
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,47	20,81	22,02	19,37	23,45	15,29	22,43	19,78	33,04
SiO <sub>2</sub>	62,68	60,54	57,56	62,36	54,34	70,90	59,34	63,46	44,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,95	4,79	7,65	6,39	8,55	4,38	7,32	4,08	5,92
TiO <sub>2</sub>	0,96	1,09	1,04	0,66	0,91	0,56	0,75	0,44	1,10
CaO	0,84	0,56	0,73	0,27	0,45	0,16	0,22	2,71	5,15
MgO	0,97	1,21	1,82	1,58	2,18	1,62	0,52	1,40	2,70
Na <sub>2</sub> O	0,47	0,43	0,60	0,52	0,41	1,03	0,31	1,58	4,20
K <sub>2</sub> O	0,47	0,70	0,77	0,79	1,32	0,63	1,50	0,37	1,35
PPC	6,86	9,62	7,60	7,64	8,38	5,08	7,26	5,88	1,67
<b>Total</b>	<i>99,67</i>	<i>99,74</i>	<i>99,79</i>	<i>99,58</i>	<i>99,99</i>	<i>99,65</i>	<i>99,65</i>	<i>99,70</i>	<i>99,99</i>

### 3.1 Pruebas preliminares de quema

#### 3.1.1 Arcillas

Los resultados de la quema a 1100°C, *figura 4*, muestran que a esta temperatura no se favorece la expansión de ninguna de las muestras de arcilla natural; aunque después de esta quema la mayoría de las placas mostraron evidencia de cocción y en algunas se identificó vitrificación parcial. De otro lado, la mayoría de las arcillas quemadas a 1250°C presentaron colores rojizos oscuros y vitrificación, más no expansión, no obstante que la composición química original de estas muestras las clasificaba como aptas para expandir según criterios establecidos por *Schmidt,1971* y *Cormon,1974*; siendo entonces conveniente no descartar de plano el

seguir trabajando con estas arcillas, pues a la luz de las sugerencias de *Vieira De Souza y Bergström,1973*, en el sentido de someter a ensayos de quema específicos aquellas muestras que presenten coloración oscura, rojo bermellón, y vitrificación, se conserva la posibilidad de expandirlas someténdolas bien sea a una temperatura más alta o a un cambio de composición, mediante la mezcla con aditivos, pues los criterios de aptitud a la expansión de las arcillas, presentados por distintos autores no necesariamente son excluyentes. Solamente la muestra *AC-15* se deformó, aumentando su volumen, adicionalmente, presentó alta porosidad y vitrificación en la superficie. Este comportamiento favorable a la expansión, obedece a su alto contenido de fundentes y a la presencia también de un alto contenido de

sílice, tal como lo estableció Solovieva según *Cormon, 1974*, habilitándola en consecuencia como una arcilla con aptitud a la expansión

térmica de manera natural y apta para ser estudiada a temperaturas inferiores y en presencia de aditivos.

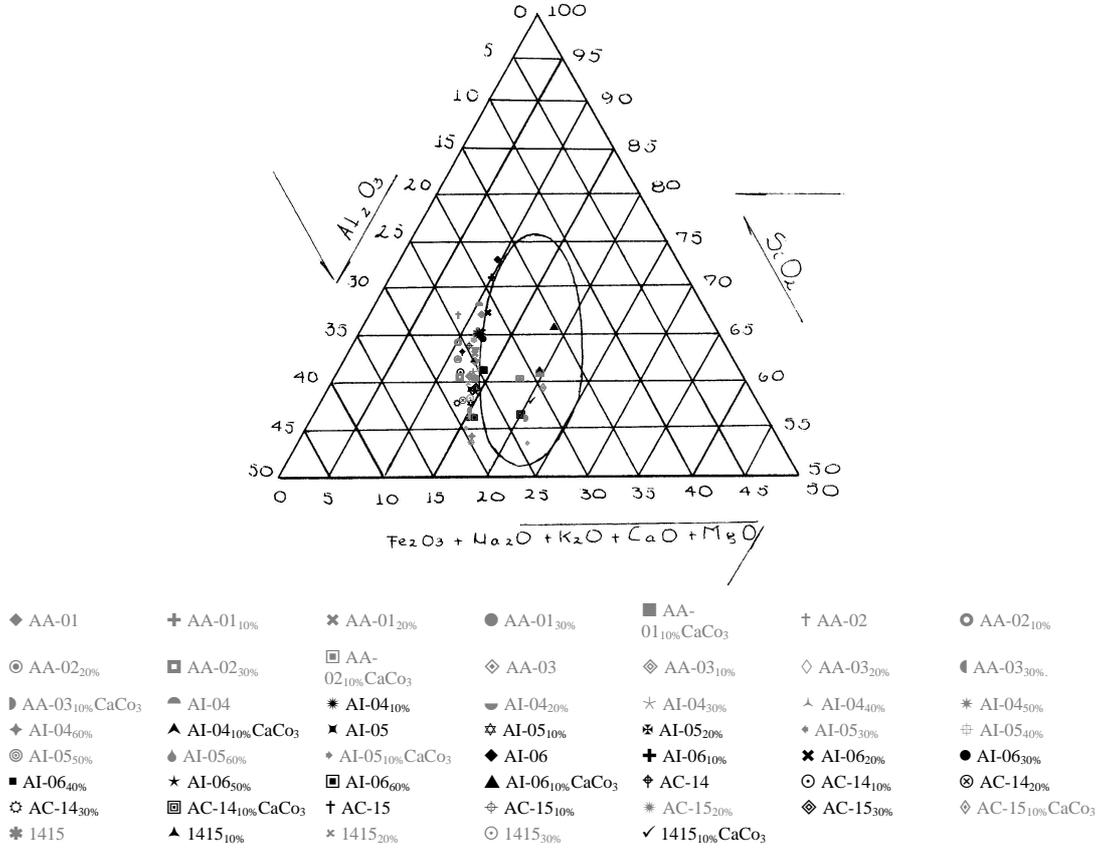


Figura 3. Composición química de las arcillas y las mezclas ubicadas en el diagrama de Riley.

Figure 3. Chemical composition of clays and the mixtures, located in the diagram of Riley.

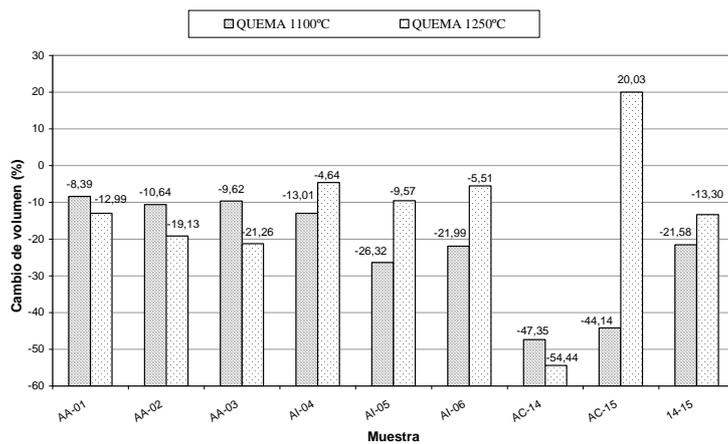


Figura 4. Resultados de los ensayos de quema lenta realizados con las muestras de arcilla.

Figure 4. Results of the slow burning tests made to the clay samples

3.1.2 Mezclas: arcilla – cenizas volantes de carbón

Inicialmente, se realizaron mezclas variando la proporción de cenizas en 10%, 20% y 30%.

En la quema a 1100°C ninguna muestra presentó aumento de volumen, sin embargo, se hizo más evidente la vitrificación y la coloración oscura de las mezclas con arcillas procedentes de Irra y Cartago, indicando como ya se ha señalado previamente, y según

criterio de *Vieira De Souza y Bergström, 1973*, la posibilidad de someterlas a temperaturas más elevadas para lograr su expansión. En la quema a 1250°C, la mayoría de las muestras presentaron también coloración oscura y algunas aumentaron su volumen, como se indica en la *figura 5* para las mezclas con 10% de cenizas, en la *figura 6* para las mezclas con 20% de cenizas y en la *figura 7* para las mezclas con 30% de cenizas.

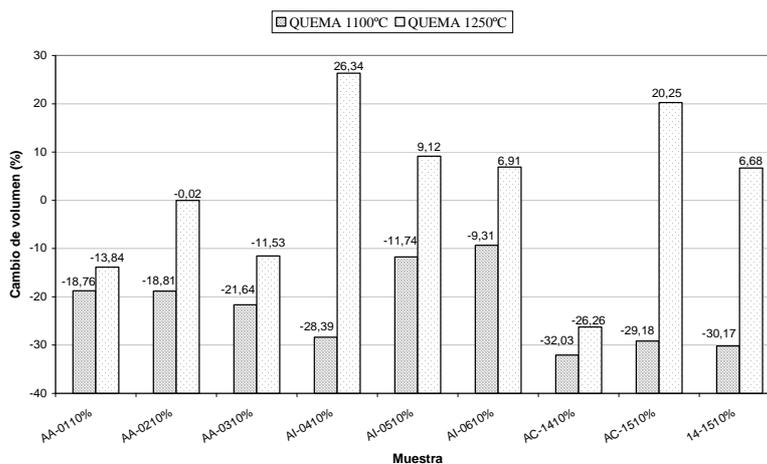


Figura 5. Resultados de los ensayos de quema lenta realizados con las mezclas con 10% CF.

Figure 5. Results of the slow burning tests made to the mixtures with 10% CF

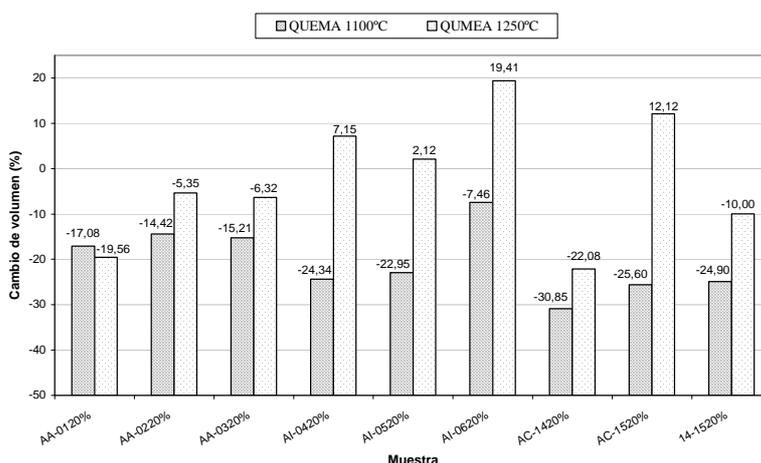
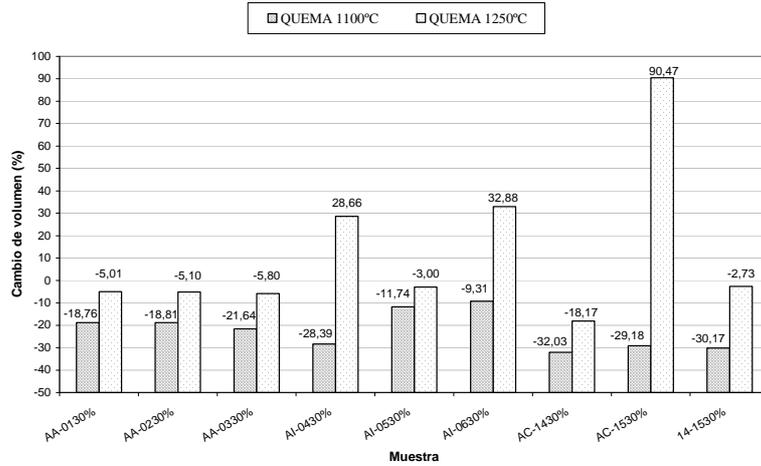


Figura 6. Resultados de los ensayos de quema lenta para las mezclas con 20% de CF

Figure 6. Results of the slow burning tests made to the mixtures with 20% CF

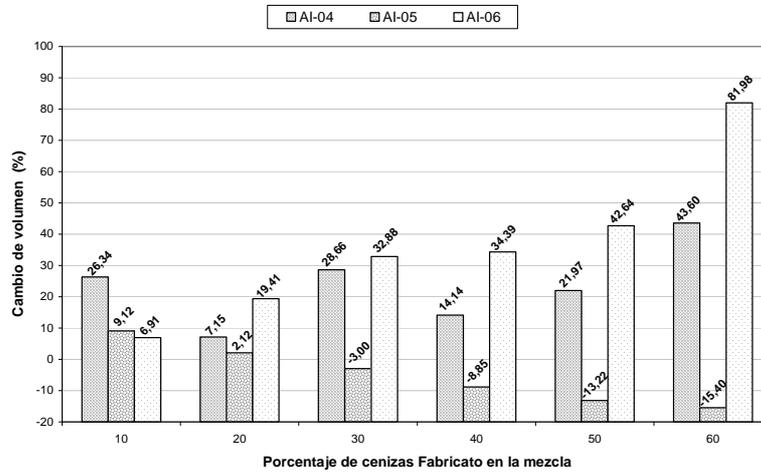


**Figura 7.** Resultados de los ensayos de quema lenta para las mezclas con 30% de CF

**Figure 7.** Results of the slow burning tests made to the mixtures with 30% CF

Con base en los resultados obtenidos se determinó que las mezclas con cenizas, de las arcillas: AI-04, AI-05, AI-06, 1415 y AC-15 son aptas para expandir térmicamente y en consecuencia se decidió estudiar su comportamiento a la expansión en los ensayos de quema específicos. Con las arcillas provenientes del Municipio de Irra se

realizó una quema lenta a 1250°C, aumentando el contenido de cenizas a 40%, 50% y 60%, con el fin de establecer, empíricamente, la máxima cantidad de este aditivo que mejora la expansión. En la *figura 8* se presentan los resultados y se comparan con los obtenidos en la quema a 1250°C con 10%, 20% y 30% de cenizas.



**Figura 8.** Resultados de los ensayos de quema lenta, 1250°C, para mezclas de las arcillas AI-04, AI-05 y AI-06 con diferentes porcentajes de CF.

**Figure 8.** Results of the slow burning tests, 1250°C, made to the mixtures of clays AI-04, AI-05 and AI-06 with different percentage from CF

Las mezclas de las arcillas AI-06 muestran un marcado incremento en la expansión con el aumento en el contenido de cenizas, pues en éstas se favoreció no sólo el aumento en el

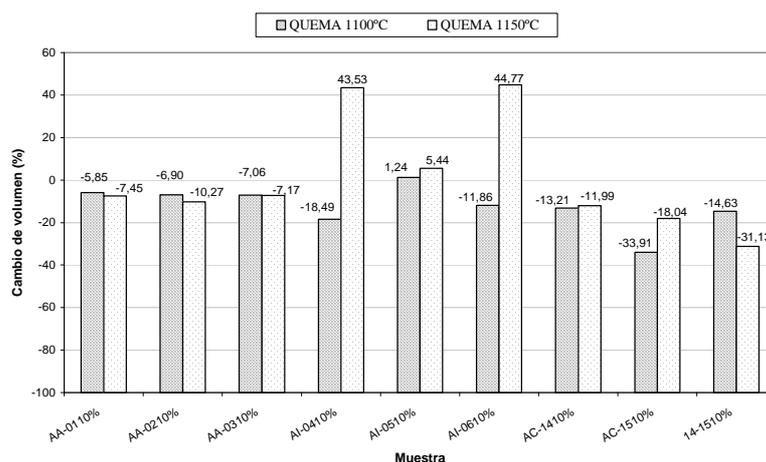
contenido de fundentes sino también la generación de gases en el momento de lograrse la temperatura de fusión parcial superficial. Las mezclas de las arcillas AI-04,

aunque no exhiben una tendencia a aumentar de volumen significativamente con el incremento en el contenido de cenizas, presentan mayor expansión cuando se adiciona 60% de cenizas. Cabe señalar que para las mezclas AI-04 y AI-06, se evidenció un incremento de la porosidad superficial de las placas con el aumento del contenido de cenizas en la mezcla, lo cual se manifestó directamente con una disminución de la densidad.

En cuanto a las mezclas con la arcilla AI-05 que expandieron, esto es, con 10% y 20% de cenizas Fabricato, sus composiciones se encuentran ubicadas próximas a la parte inferior izquierda de la frontera de la zona de aptitud a la expansión definida por Riley, ver *figura 3*. Sin embargo, la reducción del contenido de sílice afecta el fenómeno de expansión hasta el punto que un incremento en el contenido de cenizas Fabricato hasta 30% impide la expansión posterior. Posiblemente, esta muestra en particular pone en evidencia la importancia de mantener la relación fundentes - alúmina en un valor cercano a 0,5, pero sin reducir sustancialmente el contenido de sílice.

### 3.1.3 Mezclas: arcilla - $\text{CaCO}_3$

Para la realización de estas pruebas, se prepararon mezclas con 10% de carbonato de calcio, pues ensayos preliminares con contenidos más altos de este aditivo ocasionaron la fusión total de las muestras. Para la quema realizada a  $1100^\circ\text{C}$ , se observó que únicamente la mezcla AI-05<sub>10%</sub>  $\text{CaCO}_3$  mostró un ligero aumento en el volumen, mientras que la muestra AC-15<sub>10%</sub>  $\text{CaCO}_3$  presentó fusión y se deformó sin aumentar su volumen. En cuanto a la quema a  $1250^\circ\text{C}$ , la mayoría de las muestras fundieron, dado el alto contenido del óxido fundente,  $\text{CaO}$ . Por tal motivo, se decidió realizar una quema a menor temperatura,  $1150^\circ\text{C}$ , en la cual las muestras AI-04<sub>10%</sub>  $\text{CaCO}_3$ , AI-05<sub>10%</sub>  $\text{CaCO}_3$  y AI-06<sub>10%</sub>  $\text{CaCO}_3$  presentaron aumento en el volumen, mientras que la muestra AC-15<sub>10%</sub>  $\text{CaCO}_3$  fundió completamente. Las mezclas con 10% de carbonato de calcio de las arcillas AI-04 y AI-06, quemadas a  $1150^\circ\text{C}$ , fueron cortadas para exponer su porosidad interna y compararla con el exterior sinterizado; notándose además la diferencia en la forma de los poros, redondeados para la mezcla AI-06<sub>10%</sub> y alargados para la mezcla AI-04<sub>10%</sub>.



**Figura 9.** Resultados de los ensayos de quema lenta para las mezclas con 10% de carbonato de calcio

**Figure 9.** Results of slow burning tests made to mixtures with 10%  $\text{CaCO}_3$ .

Las composiciones químicas de las mezclas AI-04<sub>10%</sub>  $\text{CaCO}_3$ , AI-05<sub>10%</sub>  $\text{CaCO}_3$  y AI-

06<sub>10%</sub>  $\text{CaCO}_3$  no pertenecen a los intervalos de composición propuestos por Schmidt, 1971 y

Cormon, 1974, debido, entre otros aspectos, al elevado porcentaje de CaO. De otro lado, al ubicar la composición de estas mezclas en el diagrama de Riley, se observa que la mayoría de las arcillas mezcladas con carbonato de calcio, están ubicadas dentro de la zona de aptitud a la expansión térmica y no obstante, sólo las cuatro muestras reseñadas previamente expandieron, confirmándose entonces que no sólo basta cumplir con el criterio de composición química establecido por Riley, sino también que la temperatura de generación de gases aportados por el aditivo, en nuestro caso carbonato de calcio, debe coincidir con la temperatura del intervalo pirolítico de la mezcla.

### 3.2 Ensayos de quema rápida

Para la realización de estas pruebas se seleccionaron las arcillas y las mezclas con mejor comportamiento de expansión en las

pruebas de quema lenta, tal es el caso de la arcilla AC-15, las mezclas con cenizas Fabricato AI-04<sub>60%</sub>, AI-05<sub>20%</sub>, AI-06<sub>50%</sub>, AI-06<sub>60%</sub>, AC-15<sub>30%</sub> y 1415<sub>10%</sub>, y las mezclas con carbonato de calcio AI-04<sub>10%</sub>, AI-05<sub>10%</sub> y AI-06<sub>10%</sub>. Después de algunas pruebas preliminares, no reportadas en este trabajo, se definió un tiempo promedio de residencia para las muestras, de 11 minutos. Los resultados de estas pruebas, mostrados en la **tabla 3**, indican que todas las muestras respondieron favorablemente a las condiciones de temperatura, composición y tiempo de residencia fijados. Adicionalmente, el carácter rápido del ensayo garantiza una superficie menos porosa, característica que se evidencia con los valores relativamente bajos de la porosidad abierta y el porcentaje de absorción de agua. También se notó que los gránulos quemados a 1120°C eran más frágiles que los obtenidos a 1250°C.

**Tabla 3.** Resultados de las pruebas de quema rápida

**Table 3.** Test resultses of burn fast

<i>ADITIVO</i>	<i>TEMPERATURA (°C)</i>	<i>TIEMPO DE RESIDENCIA (minutos)</i>	<i>MUESTRA</i>	<i>DENSIDAD (g/cm<sup>3</sup>)</i>	<i>POROSIDAD ABIERTA (%)</i>	<i>ABSORCIÓN DE AGUA (%)</i>
Cenizas F	1160	13	*AI-04 <sub>60%</sub>	0,31	5,99	19,50
	1150	13	*AI-06 <sub>60%</sub>	0,85	1,19	1,39
	1150	12	AI-06 <sub>60%</sub>	0,74	3,12	4,21
	1120	13	AI-06 <sub>50%</sub>	1,18	20,41	17,24
	1250	11	AI-06 <sub>50%</sub>	0,80	10,49	13,17
	1260	10	*AI-06 <sub>50%</sub>	0,74	5,69	7,68
-	1050	12	AC-15	1,23	16,13	13,14
-	1100	10	AC-15	1,21	5,32	4,38
-	1150	10	AC-15	1,16	3,31	2,85
CaCO <sub>3</sub>	1150	12	AI-05 <sub>10%</sub>	1,12	4,00	3,57
	1250	10	*AI-05 <sub>10%</sub>	1,04	2,11	2,04
	1200	10	AI-04 <sub>10%</sub>	1,37	1,05	0,76
	1250	10	AI-04 <sub>10%</sub>	1,49	0,66	0,44
	1200	13	AI-06 <sub>10%</sub>	0,82	2,64	3,21
Cenizas F	1200	10	1415 <sub>10%</sub>	1,32	1,59	1,21

	1250	11	*1415 <sub>10%</sub>	0,83	1,25	1,51
<i>Continuación Tabla 3</i>						
	1250	10	*AC-15 <sub>30%</sub>	0,90	3,52	3,92
	1250	10	*AC-15 <sub>30%</sub>	0,94	3,50	3,71
	1200	10	AI-05 <sub>20%</sub>	0,69	11,90	17,20
	1150	12	AI-05 <sub>20%</sub>	1,00	11,02	11,02

\* Valores de densidad, porosidad y absorción similares a los reportados en iguales condiciones por productos comerciales tipo LECA.

#### 4 CONCLUSIONES

De las nueve arcillas estudiadas en esta investigación, sólo la arcilla AC-15, posee aptitud a la expansión térmica de manera natural, cambio porcentual de volumen, cpv, 20,03%, a temperaturas comprendidas entre 1200°C y 1250°C en quema lenta; la adición de cenizas Fabricato mejora en un 350% el comportamiento de expansión térmica de esta arcilla en el mismo intervalo de temperatura.

Las arcillas AI-04 (cpv entre 7,15%-43,55%), AI-05 (cpv entre 2,12% - 9,12%) y AI-06 (cpv entre 6,91% - 81,98%), mostraron aptitud a la expansión térmica mezcladas con cenizas Fabricato, a temperaturas comprendidas entre 1200°C y 1250°C, y con carbonato de calcio a temperaturas entre 1100°C y 1150°C. De otro lado, la mezcla de las arcillas de Cartago, arcilla 1415 (cpv 6,68%), expande cuando se mezcla con cenizas Fabricato en baja proporción a 1250°C en quema lenta.

La composición química de las arcillas que en este trabajo mostraron aptitud a la expansión térmica, ya sea de manera natural o con la adición de agentes de expansión, se ubica para todos los casos en los siguientes intervalos:

Base seca	% en peso
$Al_2O_3$	15 - 20
$SiO_2$	62 - 70
$Fe_2O_3$	4,0 - 7,0
$CaO$	0,15 - 3,0
$MgO$	1,0 - 1,6
$Na_2O$	0,5 - 1,6
$K_2O$	0,3 - 1,4

PPC (1000°C)	5 - 8
--------------	-------

Las cenizas Fabricato se consideran agentes de expansión térmica para las arcillas que cumplen con las condiciones anteriores. Esto se debe al porcentaje de fundentes, ( $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$  y  $K_2O$ ) que aportan, independientemente del alto contenido de alúmina.

La composición química aproximada de las mezclas, arcilla más aditivos, que presentaron expansión térmica, se ubica en los siguientes intervalos:

Base calcinada	% en peso
$Al_2O_3$	14,5 - 28,5
$SiO_2$	54,5 - 72,0
$Fe_2O_3$	4,7 - 6,8
$CaO$	0,68 - 3,6
$MgO$	1,20 - 2,45
$Na_2O$	0,8 - 3,0
$K_2O$	0,5 - 1,5

Aunque las mezclas con carbonato de calcio ubican la composición de las muestras dentro de la zona de aptitud a la expansión térmica marcada por Riley, no siempre hay expansión, debido a que la temperatura de calcinación de este aditivo no es la misma del intervalo pirolástico de la arcilla. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la adición de carbonato de calcio disminuye la temperatura de fusión de las arcillas.

Los ensayos de quema rápida corroboran y reproducen los mejores resultados obtenidos en los ensayos de quema lenta, pues las muestras expanden a condiciones similares de temperatura y composición; adicionalmente, se obtienen valores semejantes y aun mejores

de densidad y significativamente mejores de porosidad y absorción de agua, lo cual permite afirmar que este tipo de ensayo simula el proceso a escala industrial de aquellas arcillas o mezclas que de antemano se sabe tienen aptitud a expandir térmicamente.

Además de los resultados anteriores, este estudio aporta una metodología de trabajo para la realización de las pruebas experimentales a escala de laboratorio que determinan la aptitud a la expansión térmica de las arcillas.

### REFERENCIAS

- [1]. CORMON P. Agregados de arcilla y de esquisto expandidos, *Revista IMCYC*, Vol. XII, No. 70, pp. 35 - 43, Sep - Oct 1974.
- [2]. CUBAUD J. C. Y MURAT M., Fabricación industrial de arcilla expandida, *Materiales de construcción*, N° 133, pp. 5-16, Madrid, Ene - Mar 1969.
- [3]. DAVIS RAYMOND E. AND KELLY J. W., *Lightweight aggregates*, Symposium on mineral aggregates. pp. 160-171
- [4]. DE SUAZA SANTOS PÉRSIO. Argilas para a fabricação de agregados leves, En: *Tecnologia de argilas - aplicada às argilas Brasileiras*, Cap 20, pp 439-467, São Paulo, Fevereiro do 1972.
- [5]. LEHMANN HANS Y DIETRICH HELMUT. Contribución a la determinación de las propiedades expansivas de las materias primas cerámicas, *Materiales de construcción*, N° 146, pp. 27 - 40. Madrid, Abr - Jun 1972.
- [6]. NEUMANN-VEEVERE P. Expansión natural y controlada de las arcillas dilatadas para la producción de áridos ligeros, *Materiales de Construcción*, N° 146, pp. 15-26, Madrid, Abr - Jun 1972.
- [7]. SCHELLMANN W. AND FASTABEND H., *Investigaciones de laboratorio para la apreciación de las arcillas dilatadas*, *Materiales de construcción*, N°147, pp. 5-19, Madrid, Jul - Sep 1972.
- [8]. SCHMIDT HEINZ, La producción y la utilización de gránulos de arcilla expandida en la literatura del ramo, *Materiales de construcción* N° 144, pp. 5-19, Madrid, Oct - Dic 1971.
- [9]. SILJAN MARTIN, A study of impact factors in the L.W.A. production process with emphasis on the kiln process [Dr. Ing. Thesis]. Norwegian University of Science and technology, 2000
- [10]. SMART, G. M. Fábricas FLS / LECA de áridos ligeros, *Cemento - Hormigón* N°491, febrero 1975. pp. 171-180
- [11]. VIEIRA DE SOUZA J. E BERGSTRÖM LOURENÇO O. Notas preliminares sobre o emprego de argilas e folhelho do recôncavo do estado da Bahia para a fabricação de agrregados leves. Instituto Brasileiro do concreto – IBRACON, São Paulo, 1973.
- [12]. LECA The world of LECA.
- [13]. Available: <http://www.leca.com/engelsk/index.htm> [citado 18 de Enero de 2005]
- [14]. Process Equipment Research Group Decide the impact of process factors on the LWA process with priority on the kiln process.
- [15]. Available: <http://www-pors.hit.no/tf/forskning/prosut/hjemmes/dring%20oppgave%20for%20martin.htm> [citado 18 de Enero de 2005]