

# NUEVAS TÉCNICAS EN LA FUNDICIÓN ESCULTÓRICA. USO DE LAS CALCARENITAS CON MODELO GASIFICABLE

## NEW TECHNICS FOR SCULPTORIC FOUNDRY. THE USING OF CALCARENITES WITH VAPORISABLE MODEL

SORROCHE CRUZ, A. RODRÍGUEZ GORDILLO, J. Y DURÁN SUÁREZ, J. A.  
Universidad de Granada.

### RESUMEN

El trabajo de investigación presentado no se puede encuadrar como invento o patente; es, a modo de resumen, la adaptación de un proceso industrial de fundición, inventado hace aproximadamente 40 años, aplicado al campo de la creación en Bellas Artes, y más concretamente a la creación escultórica.

La comunicación que seguidamente les vamos a presentar responde principalmente a una iniciativa surgida como consecuencia de la concesión de un Proyecto de Investigación I+D MAT-95-1071 E de la CICYT para el estudio y perfeccionamiento de dicha técnica, utilizable en el campo plástico y artístico. Así mismo, y gracias a la colaboración entre dos Departamentos Universitarios de la Universidad de Granada (Escultura y Mineralogía y Petrología), se pretende, una vez desarrollado y perfeccionado el método anteriormente citado, profundizar en el conocimiento de los materiales constitutivos y, mejorar en la medida de lo posible, una técnica por sí misma novedosa.

Concretamente, la posterior investigación se ha centrado en la caracterización de las propiedades físico-químicas y, plásticas térmicas (entre otras) del recubrimiento refractario empleado, que es una roca denominada Calcarenita-bioclástica, localizada principalmente en La Rambla-Córdoba.

### ABSTRACT

The present research work can not elucidate like an invention or patent; it is, as summary, the adaptation of a industrial process of fusion, which was invented forty years ago approximately, It was applied to fields of Fine Arts creation, specifically to the sculpture creation.

This communication is mainly an initiative, which emerges as consequence of the concession of a research project: I + D MAT-95-1071 E (CICYT), for the study and improving of this technique, which is valid in the plastic and artistic fields. Likewise, and thanks to collaboration between University Departments of Granada University (Sculpture and Mineralogy and Petrology). When that method is developed and better, we try to deep in to the knowledge of constitutive materials and get better, in the possible proportions, a inventive technique.

Expressly, the ulterior research has been centred in the demarcation of physical and chemical properties, and thremo-plastic of the used refractory recovered, that is a rock called: *calcarenita-bioclástica*, localised in La Rambla-Córdoba.

### Introducción

El trabajo de investigación presentado no se puede encuadrar como invento o patente, es, a modo de resumen, la adaptación de un proceso industrial de fundición,

inventado hace aproximadamente 40 años, aplicado al campo de la creación en Bellas Artes, y más concretamente a la creación escultórica.

La comunicación que seguidamente les vamos a presentar responde principalmente a una iniciativa surgida como consecuencia de la concesión de un Proyecto de Investigación I+D MAT-95-1071 E de la CICYT para el estudio y perfeccionamiento de dicha técnica, utilizable en el campo plástico y artístico. Así mismo, y gracias a la colaboración entre dos Departamentos Universitarios de la Universidad de Granada (Escultura y Mineralogía y Petrología), se pretende, una vez desarrollado y perfeccionado el método anteriormente citado, profundizar en el conocimiento de los materiales constitutivos y, mejorar en la medida de lo posible, una técnica por sí misma novedosa.

Concretamente, la posterior investigación se ha centrado en la caracterización de las propiedades físico-químicas y plásticas térmicas (entre otras) del recubrimiento refractario empleado, que es una roca denominada Calcarenita-bioclástica, localizada principalmente en La Rambla-Córdoba.

### **Método de Fundición**

El proceso de fundición escultórica mediante moldeo en verde, con modelo en Poliestireno expandido gasificable, consiste fundamentalmente en formar un molde rígido en dos mitades, dentro de las cuales, se encuentra el modelo perdido (Figura 1). Los distintos pasos para la consecución de este molde son los siguientes: una vez terminado el modelo en este tipo de material (polímero de baja densidad), lo que todos conocemos como corcho blanco, se introduce en una caja o madreforma, abierta tanto por su parte superior como por la inferior, cubriéndose posteriormente con el recubrimiento refractario (roca molida y tamizada, mezclada con una pequeña cantidad de agua). Una vez que se ha compactado perfectamente (se ha concluido la primera mitad), procediéndose a formar la 2ª mitad. Previamente se utiliza un material (grafito o polvo de carbón) que evite la adhesión de las dos mitades. Se coloca una segunda madreforma sobre la primera mitad y, se rellena y compacta igualmente con la roca amasada con agua (no más de un 20%).

Conformadas las dos partes, se procede a su apertura, para practicar (tallando) el canal de distribución de metal y el embudo de colada.

Unidas nuevamente ambas mitades (fuertemente), se procede a colar el metal fundido, el cual gasifica instantáneamente el modelo en poliestireno expandido, ocupando el volumen que anteriormente rellenaba este.

Todo el vapor de agua (procedente del amasado del recubrimiento refractario), y gran parte de los exiguos vapores que se forman en la reacción térmica, son disipados a través de la elevada porosidad que presenta este tipo de calcarenita.

Transcurrido cierto tiempo, se procede a romper el molde refractario y extraer la pieza solidificada.

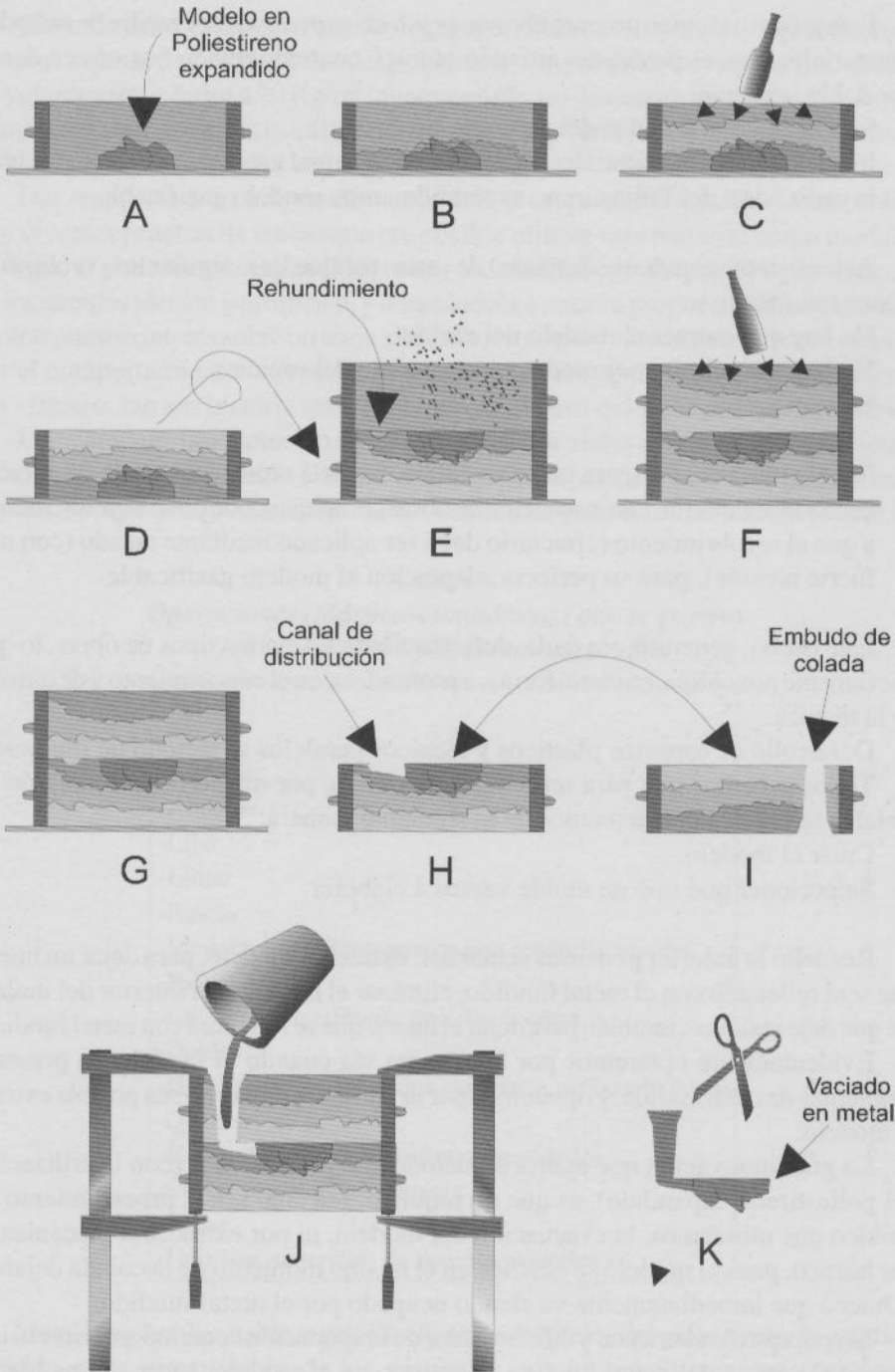


Fig. 1. Esquema gráfico del método de fundición con moldeo de arena en verde.

Este proceso técnico procura abrir nuevas vías expresivas por medio de métodos y materiales que, el panorama artístico-técnico contemporáneo nos ofrece desde una doble vertiente:

1. Simplificación práctica del proceso
2. Incorporación de materiales en desuso en la actual creación artística gracias a la utilización del Poliestireno expandido como modelo gasificable.

Así mismo, conviene destacar de esta técnica las siguientes ventajas e inconvenientes:

1. No hay que extraer el modelo del molde
2. No hay que eliminar el modelo previamente del molde
3. Es reutilizable

Por el contrario, presenta una desventaja, frente a otras técnicas de fundición:

1. Cierta limitación en la consecución de obras complejas o, de poco espesor, debido a que el recubrimiento refractario debe ser aplicado mediante tacado (con una fuerte presión), para su perfecta adaptación al modelo gasificable.

Este hecho, generaría sin duda, deformaciones en ciertos tipos de obras, lo que nuevamente nos obliga, en cierta forma, a profundizar en el conocimiento y desarrollo de la técnica.

Desarrollo de aspectos plásticos y técnicos paralelos al método de fundición

Todos sabemos que para reproducir un objeto, por medio de la fundición de metales se precisa que actuemos de la siguiente manera:

- 1) Crear el modelo.
- 2) Seleccionar qué tipo de molde vamos a elaborar.

Resuelto lo anterior podemos actuar así: extraer el modelo, para dejar un hueco que será rellenado con el metal fundido, eliminar el modelo del interior del molde, sin que deje residuos, también para dejar el hueco que se rellenará con metal fundido.

Evidentemente optaremos por la primera vía cuando el modelo no presente problemas de contrasalida, y optaremos por la vía 2ª b) cuando no sea posible extraer el modelo.

La gran innovación que aporta el método que proponemos (con la utilización del poliestireno expandido), es que no requiere, sea cual sea el procedimiento de moldeo que utilicemos, la evacuación del modelo, ni por extracción mecánica ni por horneado, pues el modelo se gasifica en el mismo momento de la colada dejando el hueco que inmediatamente va siendo ocupado por el metal fundido.

El concepto fundamental y diferenciador de la aportación contemporánea consiste en que el vertido del metal fundido se realiza con el modelo dentro del molde, lo cual aporta una gran simplificación en el proceso.

Naturalmente, esta nueva metodología operatoria nos impone el empleo forzoso de una materia, como es el caso del poliestireno expandido, cuyo peso por unidad de volumen sea inferior a  $20 \text{ Kg/m}^3$  (aunque en el caso de nuestra investigación hemos demostrado que es válida la utilización de cualquier variedad de poliestireno expandido, obteniéndose buenos resultados plásticos).

Dar respuesta a un trabajo de esta índole suponía lo siguiente: comprobar con diversas pruebas de tanteo que era posible utilizar este material como modelo, es decir, el poliestireno expandido; reunir toda la bibliografía posible, proveniente de los campos técnico y estilístico, y adaptándola a nuestra propuesta; plásticamente, centrar nuestro interés sobre un tema aleatorio, en nuestro caso la puerta, para comprobar el comportamiento expresivo de un material, tan aparentemente inexpresivo, tan efímero, tan sin historia artística como es el caso del poliestireno expandido.

Lógicamente, la adaptación de las técnicas industriales a nuestras consecuciones escultóricas nos ha sugerido el estudio de algunos aspectos relativos al poliestireno expandido, que de alguna manera vamos a sintetizar en esta comunicación (Tabla 1).

TABLA 1.  
*Operaciones (plástico-escultóricas) que se pueden realizar con el Poliestireno expandido*

-Tallar
-Unir
-Perforar
-Ahuecar
-Lijar
-Limar
-Rascar
-Modelar por calentamiento con espátula caliente
-Rallar
-Eliminar parcialmente con disolventes
-Doblar
-Hacer reservas sobre una superficie utilizando jabón
-Quemar
-Unir poliestireno de distintas densidades
-Cortar con alambre caliente
-Sellar
-Unir con materiales de distinta naturaleza

Metal Handbook, establece una clasificación en grados del poliestireno expandido referido a las dimensiones de las partículas que lo constituyen, así como sus correspondientes aplicaciones. También hemos comprobado las aplicaciones que se pueden realizar con el poliestireno expandido (Tabla 2).

Por tanto, disponemos de un material que tiene las siguientes características: una porción enorme de aire, hasta un 95% de su volumen; no deja residuos al gasificarse por la acción de un metal fundido; podemos obtenerlo en bloques expandidos, cortados a cualquier tamaño solicitado y definir con él, rápida y sensiblemente, formas y específicamente texturas de difícil consecución por otros medios.

TABLA 2.

*Clasificación en grados del Poliestireno expandido por diámetros de partículas*

Grado	Diámetro de la materia prima en mm	Diámetro p.e. para 42kg/m <sup>3</sup> (mm)	Aplicación
A	0.83-2.0	2.5-5.9	Aislante
B	0.58-1.2	1.7-3.5	Empaquetado
C	0.33-0.71	1-2.1	Recipientes Domésticos
T	0.25-0.51	0.74-1.5	Rec. Domésticos-Modelos
X	0.20-0.33	0.61-1	Modelos

Operaciones de unión utilizando obras escultóricas elaboradas con poliestireno expandido.

Este apartado puede estar referido a dos aspectos: unión de las partes que forman una misma escultura y unión de los accesorios de colada.

El primer caso está referido a la unión de las distintas partes de una misma composición escultórica, cuando sea necesario dividirla (por ejemplo para ahuecarla). El segundo caso comprende las operaciones necesarias para la conexión de los sistemas de alimentación y de llenado. Nuestras experiencias han sido realizadas con los medios que se exponen en el siguiente esquema (Tabla 3).

TABLA 3.

*Sistemas de unión con el Poliestireno expandido*

ADHESIVOS	Ceys-Porex para Poliestireno expandido Bostik de contacto 1454 para Poliestireno expandido
COLAS	Colas Blanca Unifix
SUJECIÓN MECÁNICA	Alfileres metálicos Puntas metálicas Grapas Alambres
SISTEMA MIXTO	Con sujeción mecánica y adhesivos o colas

El método de moldeo, objeto de esta investigación nos ha permitido el inicio de un nuevo lenguaje expresivo que surge de la confluencia de nuevas tecnologías, que con el empleo de nuevos materiales nos permiten recuperar (y he aquí la esencia de este trabajo) algunos procesos de moldeo que en el ámbito escultórico han tenido hasta ahora escasa o nula incidencia. Este método de moldeo se llama **moldeo en verde con arena natural reutilizable** (calcarenita bioclástica).

La arena proveniente de la cantera de las Ramblas, ligeramente humedecida, presenta con las siguientes características genéricas (Tabla 4):

Además de estas características genéricas esta calcarenita presenta otras específicas:

- a) *Plasticidad* para copiar sobre ella cualquier tipo de huella.
- b) *Firmeza* para dar una buena calidad superficial a la producción.
- c) *Refractariedad* para que soporte perfectamente el metal fundido que entra en forma de aluvión, y evacue con facilidad los gases que se puedan producir en su interior.

TABLA 4.

*Condiciones generales de las arenas de moldeo*

Estabilidad térmica y dimensional a elevadas temperaturas
Posibilidad de obtenerlas en diferentes granulometrías
Que, por su composición, no reaccionen con el metal fundido
Que, entre los elementos que las constituyan, no existan componentes volátiles que produzcan gases
Que sus existencias sea abundante y su precio razonable
Que presenten una gran limpieza y homogeneidad
Que su comportamiento sea estable por la acción de resinas y endurecedores
Que sean resistentes a la erosión que produce el flujo de metal fundido

**Conclusiones plástico-técnicas.**

Como en todo trabajo de investigación surgen constantemente vías que nos conducen a nuevos campos.

No obstante, hemos dividido las conclusiones en dos bloques:

- 1.- Conclusiones técnicas (Tablas 5, 6 y 7).

TABLA 5.  
*Ventajas que afectan al molde*

Durante y después del moldeo, no hay que extraer el modelo
No hay que hacer vaciados para obtener el modelo
No es necesario: – elaborar madreforma – elaborar molde de elastómero – elaborar molde de escayola – fabricar linterna para sujetar el núcleo – retocar modelos de cera – eliminar cera por horneado

TABLA 6.  
*Ventajas económicas en el molde*

– La arena es reutilizable
– La compactación no requiere la utilización de resinas y catalizadores
– No hay que elaborar moldes para el vaciado de la cera
– No se precisa horneado del molde

TABLA 7.  
*Ventajas económicas en el molde*

– El costo de los materiales es prácticamente despreciable
– El Poliestireno expandido para modelos puede provenir de materiales desechables

1.- Conclusiones plásticas (Tablas 8, 9 y 10).

TABLA 8.  
*Posibilidades expresivas del Poliestireno expandido*

– Posee un lenguaje específico
– Permite cambiar ese lenguaje de manera total o parcial
– El Poliestireno expandido se puede mezclar con cera, total o parcialmente para obtener texturas diversas



TABLA 9.  
*Conjunción de materiales de distinta naturaleza*

- Las posibilidades de unir materiales de distinta naturaleza utilizando el Poliestireno expandido se pueden considerar ilimitadas

TABLA 10.  
*Ventajas referidas a los procesos de moldeo*

- El moldeo en verde sólo era posible aplicarlo de manera industrial. Con el empleo de modelos en Poliestireno expandido, hemos ampliado su utilización al ámbito escultórico.

Quizás la conclusión más amplia sería decir que, la aplicación del poliestireno expandido como modelo escultórico introduce un conjunto de alternativas de extraordinarias posibilidades plásticas.

Si los primeros ensayos con el poliestireno expandido como modelo gasificable no tenían otro objeto que constatar su viabilidad, corroboramos que los presupuestos técnicos de los que participamos eran ciertos, debido a que se presentaron propuestas que iban más allá de la mera propuesta técnica.

Además de destacar la facilidad de inserción de elementos metálicos o no metálicos que se agarran o se compenentran al material base en el propio proceso de la colada lo cual permite la obtención de resultados que definitivamente se conseguirían de otro modo.

Finalmente, no nos ha interesado ocultar la naturaleza del material en muchos casos, e incluso en algunas obras nos hemos dejado guiar por las sugerencias del propio material

### **Ensayos y análisis a la roca que constituye el recubrimiento refractario**

Los objetivos del estudio realizado en la segunda parte presentan los siguientes objetivos: caracterización de materiales (caracterización físico-química de la roca utilizada como recubrimiento refractario), y conocimiento de su comportamiento plástico y térmico, con la finalidad de introducir variantes sustanciales en el proceso escultórico y, consecuentemente mejorar la técnica de fundición escultórica.

## **Técnicas de estudio**

Las técnicas de estudio utilizadas han sido, además de la localización geológica de la cantera de extracción de material refractario

1. Estudio óptico-petrográfico de la roca sin moler.
2. Análisis de fases mineralógicas, mediante Difracción de Rayos X
3. Análisis químico de elementos mayoritarios, mediante Fluorescencia de Rayos X.
4. Estudio de diversas muestras mediante microscopía electrónica de barrido; roca sin moler, pasta amasada con agua sin haber contactado con el metal, pasta utilizada en fundición (zona de contacto y zona de no contacto con el metal) y pasta reutilizada en fundiciones durante al menos 10 años.
5. Retracción/contracción volumétrica y secado (a temperatura ambiente) de la pasta amasada con un 50% de agua (es decir una papilla), utilizable como recubrimiento refractario, pero aplicada mediante colada al molde.
6. Análisis térmico de las pastas citadas en el punto 5 (con un rango térmico de 50 a 1000 °C), evaluando la contracción volumétrica y la pérdida de agua.

## **Resultados geológicos**

Los primeros resultados aplican a la localización y caracterización geológica de las canteras, las cuales se localizan en el pago denominado El Tejar, de La Rambla, localidad muy próxima a la de Montilla-Córdoba, cuya potencia geológica no supera los 15m por aproximadamente 1 hectárea

La roca es una calcarenita bioclástica (rica en fragmentos fósiles, principalmente de conchas y caparazones) y rica en cuarzo, muy poco compactada, cuya cronología se sitúa en el Terciario, período mioceno (messiniense superior), localizada en La Rambla, Montilla y Aguilar de la frontera.

Según pudimos constatar verbalmente, este tipo de roca fue usada como material refractario en fundiciones fundamentalmente de tipo industrial y, actualmente, se utiliza como aditivo (desgrasante) de pastas cerámicas de la propia localidad de La Rambla.

## **Petrografía, mineralogía y análisis de elementos químicos mayoritarios**

La visualización de láminas delgadas mediante microscopía óptica, confirma la elevada porosidad de la roca y, consecuentemente, confirma la óptima disponibilidad para disipar los gases que se forman durante la reacción térmica, así mismo se observan la gran cantidad de cristales de cuarzo y fósiles (carbonato cálcico) cementados por una matriz de arcillas y carbonatos. Esta observación está confirmada mediante la visualización del diagrama de Difracción de Rayos X (Figura 2), por la presencia de fases minerales principales de cuarzo, calcita y dolomita y plagioclasa. El análisis químico (FRX) evidencia como óxido mayoritarios  $\text{SiO}_2$  y  $\text{CaO}$  (Tabla 11). Estos resultados son congruentes con la capacidad refractaria de la roca y su plasticidad.

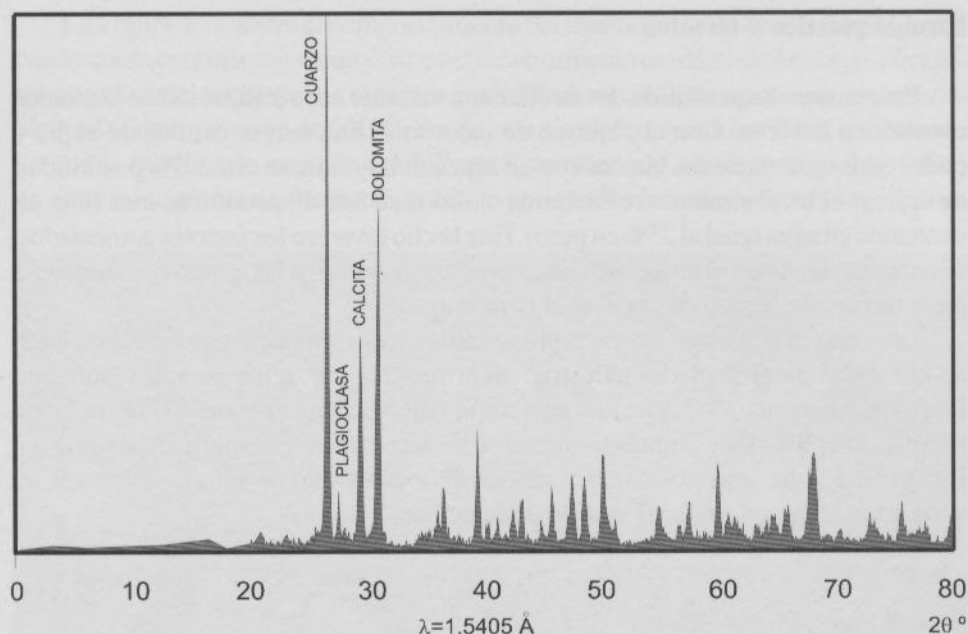


Figura 2. Diagrama de difracción de rayos X, correspondiente a la roca de la Rambla (Montilla-Córdoba)

TABLA 11.

Composición química (% en óxidos) de la roca de las canteras del Tejar (La Rambla-Córdoba). PC = pérdida por calcinación.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PC
48.16	4.47	1.79	0.03	3.93	19.09	0.24	1.28	0.32	0.10	19.78

### Microscopía electrónica (SEM)

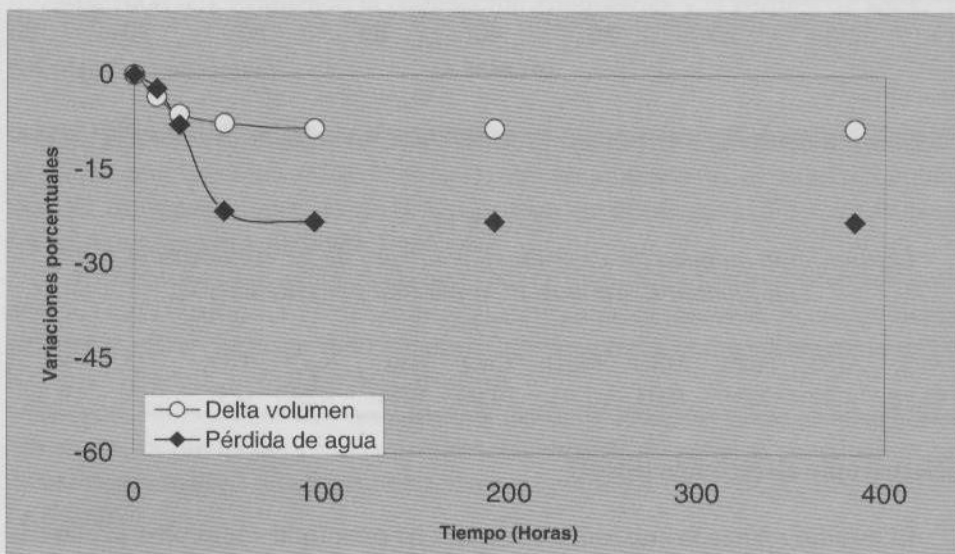
El estudio realizado con esta técnica nos ha permitido comprobar la elevada porosidad de la roca y del recubrimiento refractario antes de ser utilizado. Igualmente hemos observado geles de arcillas y carbonatos; minerales de la arcilla, con morfología fibrosa (sepiolita o paligorskita), los cuales pese a su escasa proporción permiten una elevada plasticidad.

Así mismo, se han estudiado muestras del recubrimiento sometido al choque térmico del metal fundido; tras un estudio minucioso (a escala micrométrica) hemos constatado que no se producen cambios mineralógicos en la pasta debido a la elevada temperatura. Como hecho curioso se ha constatado una zona de aproximadamente 150 mm, correspondiente a un vitrificado de arcillas, consecuencia del recalentamiento de la pasta. Este material es un producto mineralógicamente diferente, exento de plasticidad; pero de extensión mínima.

## Ensayo plástico y térmico

Este ensayo ha permitido desarrollar una variante en la utilización de la técnica escultórica descrita. Con el objetivo de incorporar una mayor calidad de copia y poder conseguir vaciados huecos con un espesor muy fino, se estudió la posibilidad de aplicar el recubrimiento refractario (molido) en una dispersión acuosa (con un contenido en agua igual al 25% en peso). Este hecho favorece los factores comentados, siempre y cuando en el proceso de secado no aparezcan grietas, como consecuencia de la retracción lógica de la pasta al perder agua.

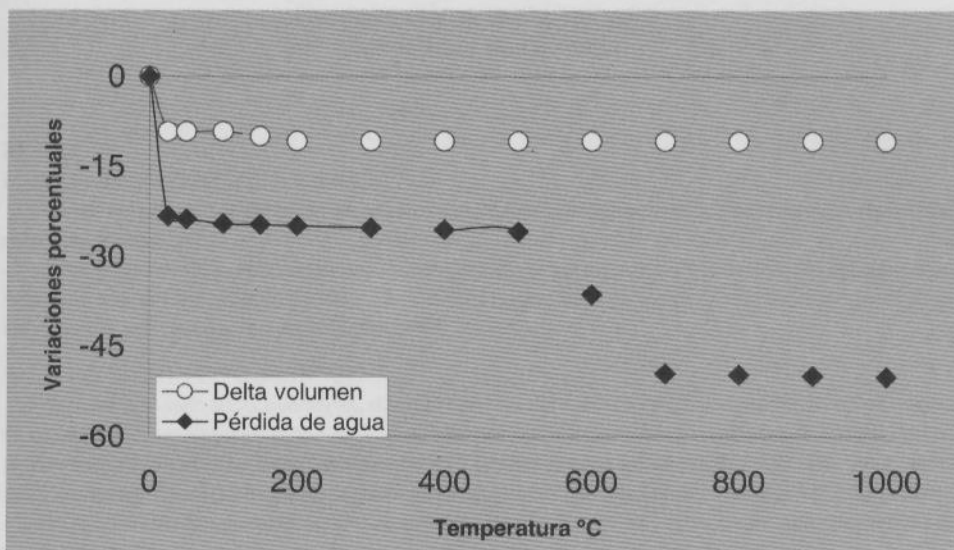
Los ensayos realizados con estas proporciones (con un modelo gasificable incluido en el recubrimiento/colada) muestran en primer lugar y, a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C) que la contracción volumétrica es pequeña (Figura 3), no superando el 8%. Este comportamiento se materializa, sin la aparición de grietas. Igualmente se ha constatado que el tiempo de secado total de agua de amasado, se sitúa a las 50 horas desde el vertido de la colada.



**Figura 3.** Curvas de contracción volumétrica y pérdida de agua (%) en función del incremento de tiempo a temperatura ambiente (25°C), del recubrimiento térmico.

Con la finalidad de acelerar el proceso, puesto que el secado total del recubrimiento a temperatura ambiente es mucho más lento que en el procedimiento normal, puede someterse el molde y el modelo a horneado. Por ello se ha evaluado la contracción volumétrica y la pérdida de agua de amasado en función de un incremento de temperatura (50 a 1000°C).

La Figura 4, muestra el comportamiento del mismo en estas condiciones: destacando que la contracción volumétrica del recubrimiento es idéntica al ensayo a temperatura ambiente, mientras que el secado o pérdida de agua de amasado aparece invariable hasta la temperatura de 500°C; desde este momento, hasta los 700°C (momento en que la pérdida de masa se estabiliza). Este intervalo corresponde a la pérdida de agua interlaminar/estructural, presente en la todos los minerales de las arcillas.



**Figura 4.** Curvas de contracción volumétrica y pérdida de agua (%) en función del incremento de temperatura (25-1000° C), del recubrimiento térmico.

Por consiguiente, el horneado puede efectuarse con garantías de reciclabilidad hasta los 400°C, a partir de esta temperatura, las arcillas que actúan como aglutinante de la pasta refractaria se transforman mineralógicamente y pierden sus propiedades plásticas.