

# ESTUDIO DE LA DINÁMICA MINERAL GENERADA EN EL PROCESO CERÁMICO DE LAS ARCILLAS DE CALAMA. REGIÓN DE ANTOFAGASTA (CHILE)

I. GONZÁLEZ MUÑOZ <sup>(1)</sup>, M. OVEJERO ANDIÓN <sup>(2)</sup>, M.M. JORDÁN <sup>(3)</sup> Y C. DE LA FUENTE CULLELL <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> *Universidad Tecnológica Metropolitana. Laboratorio de Recursos Naturales y Proceso. Sede de Macul. Avda José Pedro Alessandri 1242. Santiago de Chile (Chile).*

<sup>(2)</sup> *Departament de Cristal·lografia, Mineralogía i Dipòsits minerals. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona. C./Marti i Franqués, s.n. -08028-Barcelona*

<sup>(3)</sup> *Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente. Universidad Miguel Hernández. Campus de Elche. Avda. de la Universidad, s.n.-03202-Elche(Alicante)*

## INTRODUCCIÓN

En la zona de Calama, región de Antofagasta, al N. de Chile, se desarrolla una industria cerámica tradicional de cierta importancia. Sus orígenes están ligados a las tribus del área Norte. Estudios arqueológicos han puesto de manifiesto el hallazgo de piezas cerámicas precolombinas en el área de estudio datando las más antiguas en el 500 a. C.

La base de esta fabricación cerámica se encuentra en la explotación, cada vez más intensa, de unas arcillas que por sus características mineralógicas y fisicoquímicas poseen una buena ceramicidad. Así en el Norte del país se encuentran ubicadas un buen número de industrias dedicadas a la fabricación cerámica artesanal y de alfarería y, también, en menor medida, cerámica estructural destinada a la construcción.

La proximidad de yacimientos de arcilla es una de las condiciones necesarias para la ubicación de industrias cerámicas, pero esta es una condición necesaria aunque no suficiente ya que es de todo punto imprescindible que exista una adecuación entre la materia prima utilizada y el producto o fabricado cerámico que se pretende obtener de ella. Existen composiciones mineralógicas arcillosas que pueden dar lugar a diversos fabricados cerámicos pero hay fabricados cerámicos que exigen composiciones mineralógicas específicas y en esto radica la potencialidad cerámica (ceramicidad) de un determinado complejo arcilloso.

En Chile, debido a la amplia variedad litológica y mineralógica que caracteriza a las arcillas cerámicas, sus yacimientos tienen una muy amplia distribución geológico-geográfica desde Arica hasta Punta Arenas. Estos yacimientos están relacionados con secuencias sedimentarias cenozoicas y su ubicación es el principal factor que define el interés comercial de sus yacimientos.

En la II Región de Antofagasta, donde se ubica el yacimiento de Calama, los procesos de mineralogénesis que originan estas arcillas son fundamentalmente del Terciario superior-Cuaternario.

Estas arcillas se encuentran en capas horizontales o subhorizontales interestratificadas en secuencias sedimentarias clásticas y arcillosas de diverso tipo que rellenan cuencas de deposición y su interés industrial viene determinado, además de por sus aptitudes cerámicas, por la potencia y distribución de las capas, su escasa cobertura y por la distancia al centro de consumo.

## OBJETIVOS

En este trabajo se pretende establecer un seguimiento de la dinámica mineral provocada por la apli-

cación de un proceso cerámico a las arcillas de Calama (Chile).

Entendiendo el proceso cerámico como una petrogénesis inducida resulta interesante determinar las transformaciones mineralógicas que llevan de la mineralogía de la materia prima utilizada a la mineralogía de la pieza cerámica elaborada.

La cocción cerámica desencadena una dinámica mineral de transformación de unas fases minerales en otras con lo que la determinación y estudio de los procesos de transformación mineral que tienen lugar durante la cocción permite la acotación de las temperaturas de maduración que se han alcanzado durante el proceso cerámico. Durante el proceso de cocción de los filosilicatos y minerales acompañantes se producen una serie de transformaciones que serán determinantes en las propiedades finales de los productos cerámicos (Jordán y Sanfeliu, 2000). A lo largo del ciclo de cocción las estructuras cristalinas, conforme se sobrepasan los límites de estabilidad, se destruyen parcialmente una vez que se reconstruyen otras, en sucesivas fases del ciclo, pero no se produce una destrucción instantánea de las estructuras preexistentes (De la Fuente, 1980).

Por ello en este estudio de las arcillas de Calama se ha incluido la determinación mineralógica de objetos de alfarería característicos de la región ya sometidos al proceso de cocción para realizar el seguimiento de las transformaciones mineralógicas desde la materia prima hasta la pieza cerámica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales estudiados han sido unas arcillas del yacimiento de Calama (Chile) empleadas en la fabricación de productos cerámicos de alfarería. Se trata por lo tanto de unas arcillas muy plásticas de color amarillo-ocre y ubicadas en facies sedimentarias pliocénicas. En estas arcillas no se aprecia ningún grado de diagénesis y consiguientemente se trata de un material incoherente que no requiere trituración previa a su utilización.

El método analítico utilizado para la determinación mineralógica tanto en la materia prima arcillosa como en el producto cerámico elaborado ha sido la difracción de rayos X (Chung, 1974). Para la aplicación de este método analítico en las arcillas ha sido necesario recurrir a la elaboración de agregados orientados (normal, calentamiento a 550°C durante 2 horas y tratamiento con etilenglicol) con el fin de identificar las especies minerales de la arcilla presentes en esta materia prima (Jordán et al., 1999).

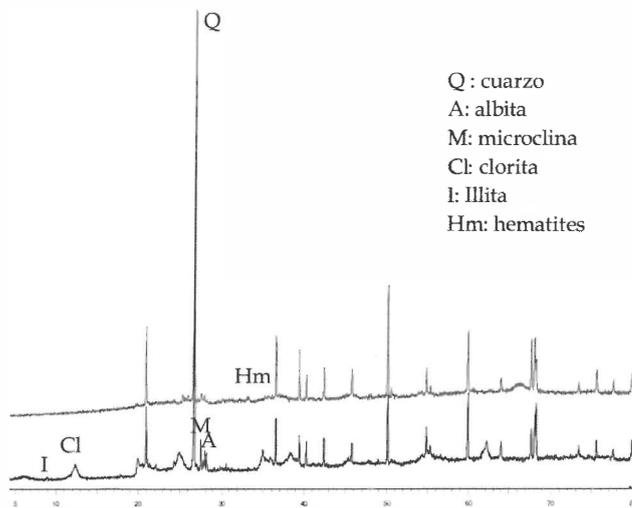


Figura 1: Difractograma comparativo. En rojo: DRX de la pieza cerámica. En negro: DRX de la materia prima arcillosa

Para la determinación de la composición mineralógica de la pieza cerámica a la elaboración del difractograma de polvo tradicional. El equipo analítico empleado es un difractómetro Bruker/AXS D5005 disponible en los Serveis Científico-Tècnics de la Universitat de Barcelona. El intervalo de barrido está comprendido entre 3 y 80 grados de 2θ para el diagrama de polvo y entre 3 y 30 grados de 2θ para los agregados orientados.

**RESULTADOS OBTENIDOS**

La interpretación de los difractogramas de rayos X con ayuda de los programas EVA y EDQ que se incluyen en el paquete informático DIFFRACT-AT, nos evidencia la presencia de las siguientes fases minerales en la materia prima arcillosa: cuarzo, albita, microclina, clorita, illita y caolinita. En la pieza cerámica las fases minerales presentes son: cuarzo, albita, microclina y trazas de hematites. En la Figura 1 se muestra el difractograma comparativo correspondiente a la materia prima arcilla y a la pieza cerámica con ella fabricada.

En las piezas cerámicas analizadas se ha puesto de manifiesto el desmoronamiento de la estructura de los filosilicatos (illita, clorita y caolinita). Las fases albita y microclina funden parcialmente dando lugar a un vidrio viscoso cuya tensión superficial impulsa el material fundido a través de los capilares de los poros de la pieza tendiendo a contraerla. El incremento de la presencia de hematites en las piezas cocidas muy bien puede deberse a la neoformación de este mineral a partir de los sesquióxidos e hidróxidos de hierro limonitizados además del aporte de Fe al destruirse las estructuras de las illitas y/o cloritas férricas, con lo que cabría pensar que una parte importante de la hematites es de segunda generación.

Con todo ello, puede concluirse que las piezas de alfarería analizadas poseen una composición mineralógica muy simple. Todas ellas están formadas exclusivamente por cuarzo y hematites con abundante fase vítrea. Varios autores (González-García et al., 1990, Jordán et al., 1999; Jordán et al., 2000) han puesto de manifiesto que, en ausencia de carbonatos, la hematites es la fase más común a temperaturas elevadas.

Respecto a la temperatura de cocción de las piezas cerámicas, Jordán et al. (2000) observó la persistencia de la estructura de la illita-moscovita hasta al menos 900 °C, desapareciendo completamente al alcanzar los 950 °C. A esta última temperatura las arcillas illíticas dan lugar a las fases mayoritarias cuarzo, hematites y feldespatos potásicos y plagioclasas. Al estudio de la dinámica mineral se sobreponen otros procesos de carácter físico tales como modificaciones polimórficas, cristalizaciones, disoluciones, volatilizaciones, dilataciones-contracciones o hinchamientos que complican el proceso (Tabla 1). Por lo que es necesario ampliar el citado estudio.

**CONCLUSIONES**

Del cotejo de los datos analíticos obtenidos se pueden desprender las siguientes conclusiones:

- 1) El aporte energético que ha tenido lugar durante el proceso cerámico no ha sido suficiente como para provocar cambios estructurales mineralógicos y permanentes en el cuarzo ni en la albita sin perjuicio de que

Temperatura	Reacciones y transformaciones
30-120	Pérdida de la humedad higroscópica
120-300	Desprendimiento de agua absorbida electrostáticamente y del agua interlaminar de los filosilicatos
250-650	Pérdida del agua de cristalización
400-600	Oxidación de la materia orgánica y piritas
573	Polimorfismo displasivo del cuarzo
400-900	Descomposición de los carbonatos
700	Inicio de la formación de compuestos silicatados
980	Formación de espinela y comienzo de la contracción de la masa
1000	Formación de mullita primaria amorfa
1050-1100	Formación de vidrio a partir de feldespato. Crecimiento de la mullita y continúa la contracción de la masa
1200	Se forma más fase vítrea, sigue el crecimiento de la mullita y se cierran los poros. Alguna disolución de cuarzo.
1250	Cristalización de mullita secundaria y mínima porosidad

Tabla 1: Cuadro-resumen de algunas transformaciones térmicas relevantes que tienen lugar para cada intervalo de temperatura durante la cocción

el cuarzo a 573° haya sufrido un polimorfismo displasivo reversible que en el material cocido una vez enfriado no puede ser detectado.

- 2) El complejo de minerales arcillosos illita-clorita-caolinita ha sufrido transformaciones en razón del aumento de temperatura pero este no ha sobrepasado los umbrales térmicos necesarios para la formación de mullita ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ). Tampoco se han identificado fases tipo espinela como la hercinita ( $\text{FeAl}_2\text{O}_4$ ), por lo tanto deducimos que la temperatura de maduración necesariamente está por debajo de los 970 °C (Tabla 1). En realidad, la cocción de las piezas cerámicas de alfarería no requiere altas temperaturas.
- 3) El seguimiento de la dinámica mineral que se genera en el proceso cerámico tiene mucha importancia a la hora de determinar las curvas de cocción necesarias para el proceso de modo que no haya, previendo los cambios mineralógicos que se van a producir, sorpresas en el gasto energético imprescindible para el proceso en cuestión. El objetivo de la Econotermia se basa esencialmente en esta previsión.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Proyecto UTEM-Empresa 269/04 «Prospección de Yacimientos Auríferos, de Rocas y Minerales Industriales,» y la Conselleria de Empresa, Universidad y Ciencia de la Generalitat Valenciana la financiación de este proyecto de investigación.

## REFERENCIAS

- Chung, F.H. (1974). *J. Appl. Cryst.*, 7, 519-525.
- De la Fuente, C. (1980). Aspectos de la investigación geológica de arcillas de aplicación en la industria cerámica. *Jornadas Científicas sobre Cerámica y Vidrio*. Eunibar. Soc. Espa. Ceram Vid. Barcelona.
- González-García, F., Romero-Acosta, V., García-Ramos G., González-Rodríguez, M. (1990). *Appl. Clay Sci.* 5, 361-375.
- Jordán, M.M., Sanfeliu, T. y De la Fuente, C. (1999). *Appl. Clay Sci.* 14, 225-234.
- Jordán, M.M. y Sanfeliu, T. (2000). *Bol. Soc Esp. Min.*, 23, 27-35.