

LA ARCILLA COMO MATERIAL CERAMICO. CARACTERISTICAS Y COMPORTAMIENTO

J. LINARES*, F. HUERTAS* y J. CAPEL**

LA ARCILLA COMO ASOCIACION MINERAL

El término “arcilla” puede tener diversas acepciones dependiendo de que su uso sea común o especializado. En términos comunes, las arcillas son materiales naturales muy repartidos en la superficie de la corteza terrestre y que, en ocasiones, pueden formar, al ser mezclados con agua, masas plásticas a partir de las cuales es factible fabricar productos cerámicos. Estos materiales arcillosos tienen una variada granulometría debido a lo cual, en Edafología y Sedimentología, se habla de “fracción arcilla” o “fracción fina” de un suelo o sedimento. Normalmente se entiende que esta fracción es el conjunto de partículas minerales que tienen un diámetro esférico equivalente o inferior a 2 micras.

En otras ocasiones se habla de “minerales de la arcilla” o, mejor aún, “filosilicatos de la arcilla”. Esta acepción indica que dentro de la fracción fina de suelos y sedimentos existen una serie de minerales cristalinos con estructura laminar (filosilicatos) y que, normalmente, es la parte mayoritaria de dicha fracción.

De acuerdo con todo ello, se puede decir que los materiales arcillosos naturales son asociaciones de minerales de muy diverso tamaño con predominio de fracciones finas. Como minerales groseros se encuentran normalmente cuarzo, feldespatos (alcalinos y plagioclasas), carbonatos (calcita y dolomita), yeso y óxidos de hierro. Entre los minerales de

* Sección de Físicoquímica y Geoquímica mineral. Estación Experimental del Zaidín (C.S.I.C.) de Granada.

** Departamento de Prehistoria. Universidad de Granada.

grano fino (filosilicatos) se encuentran ilita, montmorillonita, clorita, caolinita e interestratificados, como mayoritarios (1).

Origen de los materiales arcillosos

La mayor parte de los materiales arcillosos se encuentran en sedimentos, si bien, normalmente, no se han formado ahí. El origen de los mismos hay que buscarlo en los procesos de meteorización que ocurren en los suelos, donde los minerales constitutivos de la roca original son destruidos por un conjunto de agentes climáticos y biológicos que van a favorecer el fenómeno de hidrólisis de los minerales primarios y la neoformación de otros filosilicatos en equilibrio con las condiciones ambientales. El tipo y cantidad de cada uno de los minerales neoformados depende de la naturaleza de la roca madre y de las condiciones climáticas del lugar. En otras ocasiones, y a pequeña escala, se pueden producir neoformaciones de filosilicatos por alteración hidrotermal de rocas. En cualquiera de los casos, cuando se produce la erosión hídrica todo el conjunto de materiales procedentes de suelos o de alteraciones son transportados por los ríos a las cuencas sedimentarias. Si las condiciones geológicas del área fuente restringen la erosión de partículas groseras (períodos de biostasia) los sedimentos resultantes en las cuencas de sedimentación serán fundamentalmente arcillosos. Por el contrario, cuando exista una etapa de pérdida de la cobertura vegetal (reexistasia) la erosión arrastrará materiales más groseros, que antes habían sido retenidos por el sistema radicular de las plantas y árboles. En este caso, se formarán sedimentos más arenosos (2).

Puesto que la mayoría de los depósitos arcillosos son de carácter sedimentario, la disposición de las partículas minerales en el sedimento vendrá determinada por las condiciones de temperatura y salinidad del agua en el momento del depósito. Los depósitos formados sobre aguas dulces presentan la peculiaridad de mantener sus partículas dispersas durante el período sedimentario, dando lugar a la aparición de depósitos densos en donde las láminas de los minerales mantienen una estructura paralela en relación con los planos de estratificación. Por el contrario, en un medio marino, las partículas de arcilla coagulan originando un depósito con una disposición espacial más abierta. Los sedimentos arcillosos producto del primer tipo se caracterizan por ser más difíciles de transformar en materia plástica, necesitando para ello, una mayor preparación mecánica, mientras que las segundas son más fáciles de humectar (3).

Por todo ello, para la fabricación del producto cerámico conviene escoger sedimentos arcillosos y de entre éstos, los que sean más ricos en filosilicatos de la arcilla de pequeño tamaño.

(1) BARAHONA FERNANDEZ, E.: *Arcillas de ladrillería de la Provincia de Granada: evaluación de algunos ensayos de materias primas*, Tesis Doctoral, Serv. Pub. Univ. Granada, 1974.

(2) DIXON, J. B. y WEED, S. B.: *Minerals in soil environments*, Publ. by Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, U.S.A., 1977, 948 pp.

(3) VAN OLPHEN, H.: *An introduction to Clay Colloid Science*, John Wiley and Sons, New-York, 1977.

Características mineralógicas

La fracción arcilla está constituida fundamentalmente por minerales denominados filosilicatos de la arcilla. Se trata de filosilicatos hidratados que poseen una estructura cristalina formada por una red de oxígenos organizada en capas tetra y octaédricas. Si se unen una capa tetraédrica y una octaédrica se forma un mineral 1:1, tipo caolinita, y si se unen dos capas tetraédricas alternando con una octaédrica se da lugar a la formación de un mineral 2:1, tipo montmorillonita. En estas capas los iones de silicio y aluminio presentan una coordinación tetraédrica en relación con el oxígeno, mientras que los iones de aluminio, hierro, magnesio, cromo, litio, manganeso y otros poseen una coordinación octaédrica frente al oxígeno o a hidróxilos. Estas estructuras laminares se completan con la presencia de unos cationes de cambio cuya aparición está en función de los déficit de carga existentes dentro de las capas octaédrica y tetraédrica por sustituciones isomórficas (4).

Un factor diferenciador que establece grupos distintos dentro de los minerales de la arcilla es la estructura cristalina de los mismos. Así, es posible distinguir los grupos de la caolinita, montmorillonita, paligorskita, illita y clorita. Existen, además, minerales que presentan una estructura mixta integrada por interestratificaciones regulares o irregulares en las que están presentes, normalmente, dos o más de los componentes típicos (5).

Pero afirmar que los materiales cerámicos están constituidos en su totalidad por minerales de la arcilla no es correcto ya que no hemos de olvidar que contienen una proporción de limos y arenas, en cantidades variables, que serán factores determinantes respecto al tipo de textura. Dentro de este apartado podemos incluir las denominadas fracciones gruesas integradas por minerales tales como: cuarzo, mica, calcita, dolomita, feldespatos y yeso, en su mayor parte. La proporción en la que se presentan estas fracciones no es homogénea sino que presentan variaciones en función de las características geomíneralógicas de la zona de estudio.

Estas materias primas poseen características propias determinadas, principalmente, por las proporciones granulométricas contenidas y por su estructura sedimentaria. La composición de los cationes de cambio unida al tipo de arcilla serán factores decisivos en su comportamiento posterior en relación con los procesos de modelado y cocción de las piezas cerámicas.

Propiedades de moldeo

El carácter plástico de las arcillas, factor que las convierte en el material idóneo para la fabricación de piezas cerámicas, se debe a su tamaño de partícula, forma laminar y propiedades cristalquímicas de su superficie, aspectos que permiten que se produzca una interac-

(4) BRINDLEY, G. W. y BROWN, G.: *Crystal structures of clay minerals and their X-Ray identification*, London, 1981, 495 pp. GRIM, R. E.: *Clay Mineralogy*, Mc. Graw-Hill Book Company, New-York, 1968, 596 p.

(5) BRINDLEY, G. W. y BROWN, G.: *Crystal...*, op. cit., nota 4.

ción con cualquier líquido polar, como por ejemplo el agua. Las arcillas secas o mezcladas con líquidos apolares pierden su plasticidad. Otro factor determinante de ella, será la presencia en la estructura de cationes de cambio rodeados de moléculas de agua orientadas, imprimiendo mayor o menor plasticidad en función de su poder polarizante (6).

La hidratación de una arcilla se produce al unirse entre sí las moléculas de agua con átomos de oxígeno e hidróxilos de la red silicatada mediante la existencia de puentes de hidrógeno. Esta capacidad de hidratarse la encontramos tanto en la superficie como en los espacios interlaminares provocando un hinchamiento intracristalino. El agua absorbida se dispone de una manera ordenada, siendo más perfecta esta ordenación a medida que nos acercamos a la superficie (7).

En conjunto, pues, una pasta cerámica está constituida por partículas de arcilla que se interaccionan debido a la presencia de una capa de agua, originándose un sistema de fuerzas causantes de la rigidez de la masa.

Pese a estas características generales, cada mineral de la arcilla presenta un grado de plasticidad diferente según sus características cristalquímicas. Por tanto, cada grupo de estos minerales a los que hemos hecho referencia con anterioridad se verá modificado por: el tamaño de las partículas, la densidad de la carga superficial, los cationes de cambio, la cristalinidad, la existencia de compuestos no coloidales, sales solubles y compuestos orgánicos presentes en la masa. Así, la arcilla más plástica es la montmorillonita; ilita y clorita ocupan un lugar intermedio, y la caolinita es considerada como la menos plástica.

PROCESO DE COCCION

Los minerales de la arcilla al ser sometidos a un proceso de calentamiento sufren una serie de transformaciones que van desde la deshidratación, paso inicial del cambio, hasta la aparición de una fase vítrea que constituye el fin del proceso. Desde que se produce la pérdida de agua existente en la estructura hasta la aparición de la mencionada fase vítrea, se desarrollan unos cambios intermedios tales como: deshidroxilación, destrucción de la estructura cristalina y formación de nuevas fases cristalinas. Todas estas alteraciones presentan un carácter estrictamente evolutivo. Ambos procesos, de descomposición el primero y de formación el segundo, traen consigo la aparición de un nuevo material cuya estructura ha sido definida por Wachtman (8) como la de "un sólido policristalino con una matriz amorfa y vítrea".

Este proceso evolutivo está en relación directa con la composición mineralógica de la arcilla. Las fases iniciales de cocción son un producto claro de la materia original; si el

(6) KINGERY, W. D.: *Ceramic fabrication processes*, Technology Press M.I.T. y John Wiley and Sons, New-York, 1960.

(7) MARTIN, R. T.: "Absorbed water on clay, a review-clays", *Clay Min.*, 9, 1962, pp. 28-71.

(8) WACHTMAN Jr., J. B.: "Mechanical properties of ceramics. An introductory survey", *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 46, 1967, pp. 757-774.

calentamiento prosigue, las nuevas fases que aparecen son ya un reflejo de los elementos químicos presentes en los componentes mineralógicos. Pero no será sólo la composición química la que contribuya a esta transformación, sino que también habrá que tener en cuenta la presencia de impurezas como sales solubles, iones absorbidos por las arcillas o aportados por las fracciones gruesas, limos y arenas, que modificarán las reacciones y, por tanto, la aparición de cada una de las nuevas fases. Así, por ejemplo, la presencia de elementos alcalinos impedirá el desarrollo de fases de alta temperatura al contribuir a la formación de vidrio.

Otro factor a tener en cuenta será la presencia de elementos traza como titanio e hierro; según los estudios efectuados por Kenneths (9) y Wahl (10) dichos elementos pueden facilitar la aparición de determinadas fases. De igual modo las fracciones gruesas, arenas y limos, pueden tener una influencia importante en determinados casos, al ser capaces de liberar elementos fundentes. Por último, no podemos olvidar la influencia ejercida por la atmósfera del horno; la presencia de vapor de agua y CO_2 contribuye a facilitar la aparición de mullita a baja temperatura, mientras que la de CO la inhibe a alta temperatura.

En general, según los estudios experimentales desarrollados, las arcillas tienen una temperatura de fusión entre los 1.000°C y 1.500°C , correspondiendo las temperaturas de fusión más bajas a aquellos materiales ricos en hierro, alcalinos y alcalinotérreos; las más altas están en relación con los minerales que carecen de estos elementos, ejemplo típico son las arcillas caolínicas. El grado de vitrificación se encuentra, por tanto, modificado por la composición mineralógica y la gradación de tamaño de grano existente. Las caolinitas lo presentan muy alto mientras que en las ilitas y cloritas es inferior. Así mismo, la presencia del calcio en la pasta provocará una reducción de dicho grado y un efecto brusco debido a la formación de un vidrio fluido; en algunas arcillas actuará como elemento refractario impidiendo que se alcance la temperatura de fusión y favoreciendo la estabilización de propiedades como la contracción, porosidad, etc., antes de alcanzar la fusión total. Propiedades similares a las del calcio las imprime también el magnesio aunque en menor grado (11).

Vistos, pues, los factores determinantes de las transformaciones de una arcilla con el calentamiento, pasamos a continuación a considerar detenidamente cómo y a qué temperatura los minerales de la arcilla (ilita, clorita, caolinita y montmorillonita) contribuyen a la aparición de fases de alta temperatura; igual planteamiento seguiremos con las fracciones gruesas existentes en la matriz arcillosa (cuarzo, feldespatos, carbonatos y mica).

(9) KENNETHS, G.; COOK, W. H.; PATTER, R. A. y PALMOUR, H.: "Effect of TiO_2 , Fe_2O_3 and alkali on mineralogical and physical properties of mullite-type and mullite forming Al_2O_3 - SiO_2 mixtures (I)", *J. Am. Ceram. Soc.*, 36, 1953, pp. 349-356.

(10) WAHL, F. M.: "High-temperature phases of tree-layer clay minerals and their interactions with common ceramic materials", *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 44, 1965, pp. 676-681.

(11) EVERHART, J. O.: "Use of auxiliary fluxes to improve structural clay bodies", *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 36, 1957, pp. 268-271.

Minerales de la arcilla

ILITA

El fenómeno de deshidroxilación se produce, en general, entre los 600° y 700°C; las ilitas aluminico-férricas lo hacen entre 450° y 550°C, mientras que las magnésico-ferrosas tienen un proceso más lento. Esta pérdida de agua no afecta a la estructura, manteniéndose la ilita en su forma anhidra hasta los 850°-1.000°C.

Las fases que aparecen al destruirse la ilita son: espinela, que se mantiene hasta los 1.200°C; mullita, que aparece a partir de la formación de vidrio desde los 1.100°C, si bien en arcillas cuyo contenido en ilita es muy elevado aparece entre 900° y 950°C. Los trabajos realizados por Bohor (12) muestran que la espinela aparece alrededor de los 1.000°C estando en relación con el grado de cristalinidad de la ilita; así mismo, encuentra que la mullita aparece a partir de los 1.200°C; junto a estas fases aparecen también forsterita, cuarzo, corindón y kalsilita. Según Grim y Kulbicki (13) la gran cantidad de hierro y alcalinos que contienen las ilitas favorece la formación de vidrio, hecho que contribuye a que el desarrollo de fases a partir de ellas sea cuantitativamente pobre en general y nulo en aquellas que tienen un contenido alto en estos elementos.

CAOLINITA

Este mineral pierde su agua estructural a una temperatura de 500°C, transformándose en metacaolinita mediante la deshidroxilación. Si el aumento térmico continúa hasta 1.000°C se produce una reacción exotérmica que da lugar a la formación de dos nuevas fases: alúmina y mullita. La primera es producto de la destrucción de la capa con estructura de gibsita, mientras que la mullita, al igual que la cristobalita, surge durante la transformación de la sílice en vidrio. Según los estudios de Brindley y Nakahira (14) la metacaolinita sometida a una temperatura de 950°C favorece la formación de una estructura de espinela con liberación de SiO₂, transformándose la espinela en mullita y la sílice en cristobalita.

La presencia de elementos traza e impurezas en la caolinita, sometida a altas temperaturas, influirán decisivamente en sus transformaciones. Según Parmelee y Rodríguez (15), la existencia de zinc, litio, magnesio e hierro contribuyen a la formación de mullita, mientras que el calcio la afecta ligeramente; el sodio, potasio y titanio la retardan. Con respecto

(12) BOHOR, B. F.: *Characterization of illite and its associated mixed layers*, Ph. D. Thesis, Univ. Illinois, 1959.

(13) GRIM, R. E. y KULBICKI, G.: "X-Ray study of clay-mineral reactions at elevated temperature", *Bull. Soc. Franc. Ceram.*, 36, 1957, pp. 21-27.

(14) BRINDLEY, G. W. y NAKAHIRA, M.: "Kaolinite-Mullite reaction series: I", *J. Am. Ceram. Soc.*, 42, 1959, pp. 311-314; II, *ibid.*, pp. 314-318; III, *ibid.*, pp. 319-324.

(15) PARMELEE, C. W. y RODRIGUEZ, A. R.: "Catalytic mullization of kaolinite by metallic oxides", *J. Am. Ceram. Soc.*, 25, 1942, pp. 1-10.

a la cristobalita, la presencia de potasio reduce su formación mientras que la de calcita, flúor y magnesio la favorecen; el sodio también reduce su formación, aunque en menor grado que el potasio.

CLORITA

Su comportamiento térmico ha sido estudiado por Brindley y Ali (16) sobre cloritas macrocristalinas. Han podido diferenciar dos momentos de deshidroxilación: uno entre 400° y 650°C realizado en las capas brucíticas, y otro, con temperaturas de 800°-850°C que afecta a las capas con estructura de mica. La pérdida de la estructura permite la formación de olivino que se presenta con una estructura orientada. Alrededor de los 1.100°C pueden aparecer espinela y enstatita. Las temperaturas estimadas para la formación de nuevas fases a partir de las cloritas son muy variadas, dependiendo sobre todo del grado de cristalinidad de las mismas y de su composición química, que puede ser muy variable.

ESMECTITAS

Su deshidroxilación se produce entre los 500° y 700°C, estableciéndose una distinción entre las montmorillonitas férrico-alumínicas y magnésicas. Las primeras reaccionan a temperaturas bajas, mientras que las segundas necesitan altas temperaturas. Mantienen la estructura anhidra hasta los 800°-900°C. Las fases cristalinas que se forman al ser sometidas a altas temperaturas están en función de su composición mineralógica y de la variedad estructural. Las transformaciones sufridas originan la formación de espinela, anortita, enstatita, cristobalita, cuarzo y cordierita. Estas fases persisten hasta los 1.300°C o más.

En el cuadro 1 se resume el comportamiento de los minerales de la arcilla durante su cocción.

CUADRO 1
COMPORTAMIENTO DE ALGUNOS MINERALES CON LA COCCIÓN

	<i>Caolinita</i>	<i>Ilita</i>	<i>Esmectita</i>	<i>Clorita</i>
Pérdida de H ₂ O absorbida	—	100°-200°	110°-200°	—
Deshidroxilación	400°-525°	600°-700°	500°-800°	500°-800°
Destrucción de la red cristalina	550°	850°	850°	850°
Formación de Espinelas	950°	900°	1.100°	1.200°
Formación de Olivino	—	—	—	800°-900°
Formación de Mullita	1.000°	1.100°	1.000°	—
Formación de Enstatita	—	—	1.000°	1.200°
Formación de Cristobalita	1.300°	—	900°	—

(16) BRINDLEY, G. W. y ALI, S. Z.: "Thermal transformations in magnesium chlorites", *Acta Cryst.*, 3, 1950, pp. 25-30.

Minerales grasantes

CUARZO

Dentro de la matriz arcillosa, el cuarzo se comporta como material de relleno. Su influencia en las transformaciones mineralógicas está directamente relacionada con el tamaño de grano que presente; los cuarzos de tamaño grueso contribuyen a disminuir la contracción de la pasta cerámica durante el proceso de secado; por el contrario, la fracción fina favorecerá la formación de vidrio por ser de más fácil fusión y la aparición de nuevas fases mineralógicas como pueden ser: diópsido, wolastonita, feldespatos potásico, ghelenita y anortita.

FELDESPATOS

Los feldespatos, sobre todo los alcalinos, contribuyen a la formación de vidrio desapareciendo a una temperatura de 1.000°-1.100°C. Cole y Segnit (17) demostraron que por encima de estas temperaturas se forma anortita como consecuencia de la reacción producida al unirse óxido cálcico (procedente de la destrucción de la calcita) y aluminosilicatos. Los iones alcalinos presentes en la estructura favorecen la formación de vidrio al tiempo que inhiben la aparición de fases de alta temperatura, no impidiendo la nucleación pero sí el desarrollo de los cristales.

MICA

Las transformaciones que puede sufrir la mica están muy determinadas por su tamaño de partícula. La existencia de fracciones gruesas impide la formación de fases cristalinas al tiempo que favorece la formación de vidrio a una temperatura que está en relación inversa a la cantidad de hierro contenida. Además del vidrio aparecen otras fases: mullita, alúmina, espinela y leucita.

El proceso de deshidroxilación de las micas tiene lugar entre los 820° y 1.200°C. Sus reflexiones en difracción de Rayos X son claramente visibles hasta los 950°C, quedando picos residuales hasta los 1.000°-1.050°C (18).

CARBONATOS

Los carbonatos que aparecen asociados a los minerales arcillosos son calcita, dolomita y magnesita fundamentalmente. Las temperaturas de descomposición dependen de su

(17) COLE, W. F. y SEGKIT, E. R.: "High temperature phases developed in some kaolinite-mica-quartz clays", *Trans. Brit. Ceram. Soc.*, 62, 1963, pp. 375-395.

(18) SUNDIUS, N. y BYSTROM, A. M.: "Descomposition products of muscovite at temperatures between 1.000° and 1.260°C", *Trans. Brit. Ceram. Soc.*, 52, 1953, pp. 632-642.

composición química. Así, la magnesita (carbonato magnésico) se destruye a 650°C, la dolomita (carbonato cálcico-magnésico) a los 850°C y la calcita (carbonato cálcico) a 950°C.

El CaO y MgO producidos durante la destrucción de los carbonatos reaccionan con los filosilicatos o el cuarzo para formar minerales de alta temperatura, tales como gehlenita, diópsido, wolastonita, anortita, etc. La formación de estas fases se produce cuando el tamaño de partícula de los carbonatos es pequeño (19).

Fases de alta temperatura

GEHLENITA

Se forma por reacción de los filosilicatos con calcita y/o dolomita. Se hace evidente hacia los 800°C para apreciarse con mayor claridad a los 900°-1.000°C. Su descomposición a partir de esas temperaturas da origen a wolastonita y plagioclasa cálcica. La presencia abundante de gehlenita en una muestra indica que ha sufrido una temperatura de cocción superior a los 800°C. Los trabajos efectuados por Capel y otros (20) han demostrado que la gehlenita es una fase metaestable ya que a partir de los 900°C comienza a destruirse.

WOLASTONITA Y DIOPSIDO

La wolastonita procede de la reacción de calcita con el cuarzo, mientras que el diópsido se forma a partir de dolomita y cuarzo. La aparición de ambos minerales se produce a una temperatura de 800°C, manteniéndose incluso a temperaturas muy elevadas.

HEMATITES

Pueden existir en la materia prima, como mineral sedimentario, o como fase de alta temperatura, procedente de la descomposición de los filosilicatos. En este último caso, aparecen en mayor cantidad en aquellas muestras que contienen pocos carbonatos. Su temperatura de formación es a partir de los 900°C no apreciándose una clara evolución con el aumento de la temperatura.

(19) KOSTOV, I.: *Mineralogy*, Oliver and Boyd, Edinburgh, 1968.

(20) CAPEL, J.; HUERTAS, F. y LINARES, J.: "High temperature reactions and use of Bronzean pottery from la Mancha, Central Spain", Primer Congreso Italo-Español sobre el tema "Las arcillas y los minerales de la Arcilla" (Seiano di Vico Equense, Septiembre 1984) (en prensa).

OTRAS FASES

Las fases de alta temperatura consideradas anteriormente son las normales en las cerámicas arqueológicas. En ocasiones, pueden presentarse además corindón, mullita, olivino, espinela, cristobalita, etc.

CONSIDERACIONES FINALES

Hasta ahora se han considerado por separado las transformaciones térmicas de los diferentes minerales. Cualquier materia prima cerámica está constituida por varios minerales de la arcilla, como material plástico, y por fracciones más gruesas de cuarzo, feldspatos, carbonatos, etc. Cuando este material, después de moldeado y secado, se somete a un proceso de cocción, parte de estos minerales se destruyen y sus productos de descomposición reaccionan entre sí para dar lugar a la aparición de las denominadas "fases de alta temperatura" y a una fase vítrea. Esta última fase es la que proporciona la resistencia mecánica a las piezas cocidas.

La cinética de la destrucción y neoformación de fases minerales con la temperatura en una muestra poliminerálica puede seguirse por métodos de difracción de Rayos X (DRX). Con esta técnica es posible deducir el tipo y cantidad de cada uno de los minerales presentes en una pieza cocida. De acuerdo con los datos propios y de la bibliografía se ha elaborado la figura 1 que representa un resumen de la evolución normal de las distintas fases minerales con la temperatura. En esta representación observamos como filosilicatos y carbonatos (calcita) se destruyen, mientras que otros se neoforman (diópsido, wolastonita, gehlenita, plagioclasa y feldespato potásico); finalmente, otros como, por ejemplo, el cuarzo presentan un enriquecimiento relativo. Las cantidades presentes de cada mineral son, obviamente, una función de la temperatura, como puede apreciarse en la citada figura. Ahora bien, la cantidad y el tipo de fases de alta temperatura serán función de la composición mineralógica del material original. Por ejemplo, si no hay calcita en la materia prima no podrá existir gehlenita ni wolastonita como fases de alta temperatura.

En los estudios difractométricos realizados sobre materias primas cerámicas sometidas a diferentes temperaturas de cocción se ha podido comprobar que las arcillas ricas en calcita favorecen la formación de wolastonita, gehlenita y anortita. Cuando existe un contenido alto de dolomita se forma además diópsido. Por otra parte, la ausencia de las fases mencionadas unido a una abundante presencia de hematites en la matriz arcillosa de la cerámica son factores indicativos de la ausencia de carbonatos en la matriz original.

Así mismo, una cerámica con un alto contenido en calcita junto con la ausencia de fases de alta nos indica que ha sido cocida a una temperatura no superior a los 800°-850°C (21).

(21) BARAHONA FERNANDEZ, E.: *Arcillas...*, *op. cit.*, nota 1.

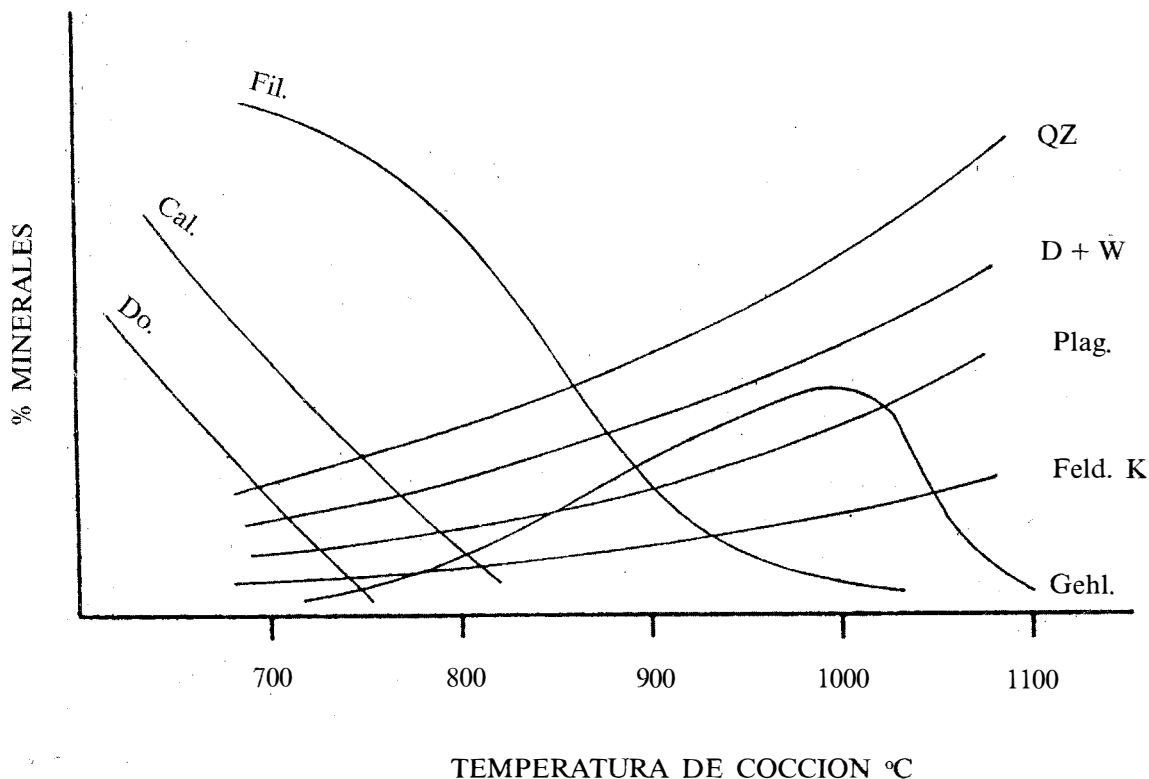


Fig. 1.—Representación esquemática del comportamiento de los minerales con la temperatura.

Finalmente, la presencia de gehlenita, dióxido y wolastonita son índice de que la temperatura del horno alcanzó como mínimo los 800°C. Su existencia en la cerámica en un porcentaje elevado es indicativa de que se ha alcanzado una temperatura alta (800°-1.000°C).

Se hace evidente, pues, la importancia en la formación de nuevas fases mineralógicas que tiene la composición original de la matriz, de ahí que si consideramos el tema desde el punto de vista de nuestro interés arqueológico, la determinación del proceso que se sigue hasta llegar a la formación de las fases mineralógicas de alta temperatura que encontramos en nuestras cerámicas nos va a permitir extraer conclusiones sobre el material original de fabricación de las vasijas cerámicas y junto a ello, con la ayuda de otras determinaciones analíticas, conocer el carácter autóctono o alóctono de las piezas estudiadas.

Teniendo en cuenta los datos concluyentes que la determinación de dichos procesos aportan, hemos establecido, a partir de las fases de alta temperatura existentes en la cerámicas estudiadas por nosotros, qué composición tenía la arcilla original y en qué medida

cada uno de sus componentes ha colaborado a la posterior aparición de las mencionadas fases (22).

ABSTRACT

The expression "clay" can be used to mean a fine-grained sedimentary material, a granulometric fraction or a mineral assemblage (clay phyllosilicates or clay minerals).

The raw materials used for the manufacturing of common ceramic pieces are normally constituted by phyllosilicates, quartz, feldspars, carbonates and iron oxides. The presence of clay minerals (illite, montmorillonite, chlorite, kaolinite, etc.) gives rise to the plastic characteristic needed for molding.

In this paper are summarized the origin and transformations of clay minerals in natural environments.

During the firing of ceramic bodies several reactions between minerals occur. In this process phyllosilicates and carbonates react to produce high temperature silicates. The type and amount of these phases depend on the characteristics of parent materials.

The different processes taking place during firing are detailed for phyllosilicates and neoformed minerals.

Finally, the behaviour of non-clay constituents is also reviewed.

(22) NAVARRETE, M. S. y CAPEL, J.: "La cueva del Agua de Prado Negro (Iznalloz, Granada)", *Cuad. Preh. Gr.*, 2, 1977, pp. 18-63. CAPEL, J.; LINARES, J. y HUERTAS, F.: "Métodos analíticos aplicados a cerámicas de la Edad del Bronce", *Cuad. Preh. Gr.*, 4, 1979, pp. 345-360. NAVARRETE, M. S. y CAPEL, J.: "Algunas consideraciones sobre la cerámica a la almagra del Neolítico andaluz", *Cuad. Preh. Gr.*, 5, 1980, pp. 15-35.