

Reciclaje y tratamiento de residuos

S. MARTINEZ

Dept. Cristallografia, Mineralogia i Dip. Minerals
Fac. Geologia. Universitat de Barcelona

RESUMEN.

En el presente trabajo se hace una revisión de la evolución temática de los artículos publicados en los últimos años que tratan el tema de la inertización de los residuos industriales y urbanos. También se hace una revisión de los distintos tipos de residuos tratados así como de la metodología utilizada en su inertización o reutilización. Los residuos los dividimos entre aquellos en que se utiliza la ceramización en su inertización y los que utilizan la vitrificación. Entre los primeros, los artículos los podemos agrupar, en función del tipo de residuo, en: a) residuos mineros y de canteras, b) residuos con contenido energético, c) residuos de industrias metalúrgicas, d) residuos de industrias de tratamiento de superficies, e) cenizas volantes, f) residuos de la industria vidriera g) residuos de la industria cerámica, h) residuos urbanos y i) otros residuos como los provenientes de la industria del papel, residuos con altos contenidos en asbesto, etc. Entre los que utilizan la vitrificación como metodología de inertización los podemos agrupar en: a) recuperación y reutilización del vidrio, b) obtención de otro tipo de productos de vidrio a partir de residuos industriales o del mismo vidrio recuperado, c) residuos de fibra de vidrio, y d) estudios sobre la problemática de los residuos ricos en plomo provenientes de las industrias que fabrican "cristal". También se hace una pequeña introducción a los aspectos básicos de los procesos de ceramización y vitrificación y se muestran algunos ejemplos desarrollados.

Palabras clave: Residuos industriales, residuos urbanos, cerámica, vidrio, inertización, reciclaje.

ABSTRACT.

In the present work, make a review about the evolution of papers related to industrial and urban wastes in the last years. Also make a review of wastes and technology used in the inertization and recycling

process. The different wastes are divided between those that are inertized through a ceramic process and those that are inertized through a vitrification process. The first wastes are: a) flotation ore tailings and quarry wastes, b) industrial wastes with combustible component, c) metallurgical industry waste, d) galvanic wastes, e) fly ash, f) utilization of glass wastes, g) utilization of ceramic wastes, h) urban wastes, i) another wastes as papermaking sludge and asbestos wastes. The second wastes are: a) glass recycling, b) utilization of glass wastes for production of a varied glass bodies, c) recycling of glass fiber and d) lead contaminated mud wastes. Also we make an introduction of basic aspects about the ceramic and vitrification process and some examples are developed.

Key words: Industrial waste, urban waste, ceramic, glass, inertization, recycling.

1.- INTRODUCCIÓN.

Desde hace ya unos años, el Grupo de Materiales Cerámicos del Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Dep. Minerales de la Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona, está llevando a cabo, con la colaboración de la Borsa de Subproductes de la Federació de Cambres de Comerç de Catalunya, una función investigadora tendente a buscar soluciones a distintos residuos industriales especiales (R.I.E.), de forma que no tan solo se consiga la inertización del residuo sino que además permita su reutilización y/o aprovechamiento.

En este trabajo expondremos el estado actual de la inertización de los R.I.E., las bases en que se fundamenta así como algún ejemplo desarrollado por nuestro grupo.

2.- DESARROLLO HISTÓRICO Y ESTADO ACTUAL DE LA NORMATIVA.

La problemática planteada en la gestión de los residuos sólidos son el resultado de una falta de conciencia ecológica que, durante muchos años, ha ido creando un deterioro del medio ambiente, agravado todo ello con un crecimiento industrial incontrolado, con el consiguiente aumento de los residuos generados y la falta de previsión en su gestión y control.

El inicio de la modificación de esta tendencia se podría situar sobre los años 1970 en que el Congreso Federal de los Estados Unidos promovió un conjunto de leyes que se concretaban en: 1) la organización de la gestión de los residuos sólidos, 2) la conservación de los recursos y energía y 3) reciclaje y promoción de los materiales reciclados. Kovacs (1993)

La Comunidad Europea también decide actuar y lo hace mediante las Council Directives de los años 1975 y 1978, la primera relativa a los residuos en general y la segunda a los residuos especiales, en donde se definen toda una serie de términos y un listado de residuos potencialmente peligrosos. Recientemente se modifican ambas normativas dando lugar a las directivas 91/156/CEE y 91/689/CEE. En estas directivas se establece una ter-

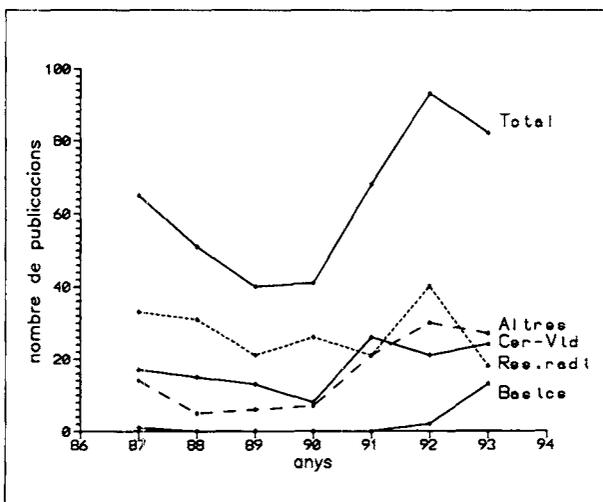


Figura 1.

minología común y se promueve la prevención y reducción de la producción de los residuos y subsidiariamente su valorización, atendiendo a las posibilidades de comercialización de los productos recuperados. Por otra parte, se recoge el principio de que quien contamina paga y se establecen una serie de normativas sobre su gestión. Yakowitz (1993)

En Cataluña, la necesidad de incorporar al derecho interno Catalán estas directivas comunitarias y de establecer una normativa marco, da lugar a la ley 6/1993 reguladora de los residuos. Esta ley establece un nuevo marco de gestión de los residuos, profundizando en la aplicación de los principios comunitarios y se complementa con el decreto 245/1993 en donde se aprueban los estatutos de la Junta de Residuos.

3.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Se ha realizado una revisión bibliográfica de los últimos siete años sobre el tema de los residuos, refiriéndose específicamente a los inorgánicos y agrupando las publicaciones por temas. Se han agrupado según estén relacionadas con temas básicos, con residuos radioactivos, con la cerámica y el vidrio y un último grupo con el resto de los temas. Los resultados numéricos los podemos ver reflejados en el gráfico 1.

Si observamos la gráfica 1, se puede ver como se ha producido, en los últimos tres años, un importante aumento en el número de trabajos publicados y que recoge la base de datos consultada. Así se pasa de 41 publicaciones en el año 1990 a 93 en el año 1992.

Otro aspecto que se puede observar es que la mayoría de los artículos publicados tratan temas relacionados con los residuos radioactivos. Su proporción, sin embargo, disminuye desde el año 1987 hasta el 1993 a excepción del pico del año 1992. Esto da idea de la importancia y del interés que el resto de los residuos, a parte de los radioactivos, despiertan en todos los ámbitos. También hay que destacar que, excepto en el año 1993, los trabajos básicos en el campo de los residuos son prácticamente inexistentes. Solamente se encuentran desarrollados aspectos básicos en los artículos que tratan de residuos radioactivos. Como decía, en el último año se ha observado un cambio en este aspecto.

En general los artículos estudian o presentan la posibilidad de utilización de un determinado residuo, estudiándose sus características y las propiedades del pro-

ducto obtenido. Por ejemplo Verbavichus (1989) estudia la utilización de lodos, provenientes de la depuración de baños galvánicos, en cerámica de construcción; pero no se plantea, como en la mayoría de los artículos, los aspectos básicos de esta problemática. Es preciso conocer, para cada elemento contaminante, en cual o cuales fases minerales puede incorporarse y en que proporciones, con el fin de poder garantizar su estabilidad.

Son muchos los tipos de residuos que han sido estudiados en lo referente a su posible reutilización. Nosotros centraremos solo en los que su inertización o reutilización esté relacionada con el sector de la cerámica y el vidrio. Los agruparemos en función de su posible aplicación en los campos de la cerámica o del vidrio y en función del origen del residuo.

3.1.- Entre aquellos que tienen su aplicación en el campo de la cerámica tenemos:

a) Residuos mineros y de canteras. Dentro de este apartado podríamos distinguir entre aquellos que utilizan un residuo obtenido como resultado de un proceso de separación física, como por ejemplo el proceso de lavado del material, y aquellos en que el residuo se obtiene como resultado de un proceso químico o fisico-químico como puede ser el beneficio del mineral mediante un proceso de flotación. En general, los primeros presentan una composición a base de silicatos y/o carbonatos, con bajos contenidos en metales y por lo tanto se pueden considerar como una materia primera más en el conjunto de materias primas utilizadas en la formulación de la pasta cerámica correspondiente. Ejemplo de este tipo de residuos los encontramos en los trabajos de Gaprindashvili (1988), que utilizan los residuos provenientes del lavado de arenas silíceas para la obtención de cerámicas antiácidas. O los trabajos de Galiperina (1990) y de Abdrakhimov (1990) que utilizan residuos de pirofilita o residuos de cantera y wollastonita para la fabricación de cerámica de construcción. O también el de Díaz (1990), que estudia el aprovechamiento de la escoria de sílice de una planta geotérmica.

También encontramos distintos trabajos que utilizan los residuos resultantes del beneficio de minerales como los de Chandra (1992) que utiliza el estéril de la flotación de los minerales de oro, material rico en sílice, para fabricar ladrillos de silicato cálcico; o los trabajos de Moya (1987) y de Knight (1986), sobre la obtención de cerámicas utilizando los lodos ro-

jos de las plantas de obtención de alúmina. También se han estudiado los residuos provenientes de la flotación de los minerales de cobre, Bozadjiev (1991) y de la flotación de la fluorita, Magrupov (1991).

- b) Residuos con contenido energético. Básicamente los podríamos clasificar en tres grupos. Los provenientes de la minería del carbón, los residuos industriales que incorporan aceites minerales y los residuos vegetales. Excepto los residuos vegetales, los otros dos acostumbran a incorporar metales pesados, ya sea en forma metálica o en forma de sulfuro. La matriz cerámica para inertizarlos, será preciso escogerla en función de la naturaleza de estos elementos acompañantes, tal como veremos más adelante. Así encontramos los trabajos de Bartschmid (1988) y Calligaris (1990), que utilizan residuos de la minería del carbón y los de Kohler (1988) y Fernandez-Tena (1991) que estudian la utilización, en cerámica de construcción, de residuos que incorporen aceites minerales. En cuanto a aquellos que utilizan residuos vegetales como aportadores energéticos a la cerámica, podemos citar los trabajos de Warriar (1988) que utiliza el rechazo del coco o el de Patel (1990) que estudia la obtención de SiC mediante la caña de azúcar o la cáscara de arroz.
- c) Otro tipo de residuo que incorpora importantes cantidades de metales pesados tan peligrosos como pueden ser el Pb, Cd, Cr,... es el proveniente de las industrias metalúrgicas. La inertización de estos residuos se puede conseguir tanto en el campo de la cerámica de construcción como también en la fabricación de distintos tipos de esmaltes cerámicos y fritas. Hay que tener en cuenta que muchos de los elementos cromóforos que se utilizan en la fabricación de esmaltes o fritas para la industria cerámica, forman parte de estos residuos. Como ejemplo de esta posibilidad de utilización podemos citar los trabajos de Pérez (1994-a), que elabora esmaltes cerámicos con residuos industriales ricos en plomo y polvo de acería o el de Eric (1990), sobre la fabricación de pigmentos cerámicos a partir de residuos de la fabricación hidrometalúrgica de Cd, ricos en Co, o el trabajo de Mukhamedzhanova (1989) que utiliza residuos ricos en Fe para la fabricación de esmaltes no fritos. También encontramos otras aplicaciones como la fabricación de refractarios, Chusovitina (1992), o obtención de abrasivos, Platonova (1993).
- d) Residuos provenientes de la industria de tratamiento de superficies. La composición de estos residuos es

muy variada dependiendo del tipo de líneas que tenga instalada la industria. En general son ricos en Cr, Ni, Zn, Cu, Pb, Al, ... y será, en función de esta composición, que habrá que determinar la composición de la matriz para inertizarlos así como sus posibles aplicaciones. Como ejemplo podemos citar los trabajos de Mankova (1976), Pérez (1994-b) y Martínez (1994-a), sobre la utilización de lodos galvánicos en cerámica de construcción y el de Levitskii (1992) que obtiene vidriados de colores con los residuos de los procesos de deposición electrolítica, o los de Skryabin (1989), sobre la obtención de refractarios de periclusa-espine-la a partir de concentrados industriales de cromo.

- e) Las cenizas volantes son otro de los productos que pueden ser reutilizados en la industria cerámica. Sus características texturales hacen que presenten una elevada reactividad y por lo tanto permiten una mejor sinterización, y a una inferior temperatura de cocción. Así encontramos el trabajo de Stoch (1986) en el campo de la cerámica tradicional y el de Mogilski (1987) sobre la obtención de materiales vitrocerámicos con cenizas volantes de centrales térmicas.
- f) La industria vidriera también genera residuos (casco-te recuperado) que, para ciertas granulometrías, no son fácilmente reutilizables por la misma industria. Estos residuos pueden ser utilizados en la industria cerámica, favoreciendo la sinterización del material -Gavrikova (1987)- o bien, utilizarlos para elaborar otros productos como pueden ser esmaltes cerámicos -Sarukhanishvili (1987).
- g) La industria cerámica, ella misma, también genera residuos que es preciso minimizar y/o reutilizar. Este tipo de residuos, en general, permiten su reutilización ya sea haciendo la función de material inerte o chamota, como el caso d'Andreola (1993), que estudia la reutilización del material de rechazo en la pasta cerámica, o el de Bozadgiev (1992) en que el material de rechazo constituye el 50-70% de la composición de la pasta, o bien actuando como fundente y/o ayudante de la sinterización, como en el caso del trabajo de Fancinani (1989) que estudia las posibilidades de añadir los lodos residuales del proceso de esmaltado en la pasta cerámica.
- h) En el campo de los residuos urbanos podemos considerar los lodos provenientes de la depuración de las aguas residuales, ya sea mediante depuradora física o físico-química, con contenidos elevados de materia orgánica y carbonato cálcico, y las escorias de inci-

neradoras de residuos sólidos urbanos. Tanto unos como otros, de los residuos antes nombrados, presentan una cierta variabilidad estacional en el contenido de elementos contaminantes relacionado con las costumbres urbanas de las personas. Así, los contenidos de Cd o Ni, por poner un ejemplo, y que mayoritariamente provienen de las pilas no depositadas en los contenedores correspondientes, presentan una variabilidad estacional.

Estos dos tipos de residuos también son factibles de ser inertizados y reutilizados en el campo de la cerámica, pudiendo utilizar uno u otro en función de las características o propiedades que se quieran dar a la cerámica. En caso de utilizar los lodos de la depuración de aguas residuales, debido a la gran cantidad de materia orgánica que contienen, el material obtenido será un material más poroso y por lo tanto con una resistencia a la compresión inferior que en el caso de utilizar las escorias de incineradora. En esta línea tenemos los trabajos de Mesaros (1989) y Martínez (1994-b).

- i) Por último podríamos destacar tres trabajos más referidos a dos tipos de residuos que aun no habían estado recogidos en esta exposición y que tienen aplicaciones prácticas en el campo de los materiales cerámicos. En el primero -Zani (1990)- se refiere a la utilización, en la producción de cerámica de construcción, de lodos provenientes del proceso de fabricación de papel. Este material aporta un contenido energético a la pasta cerámica obteniendo una mejor homogeneidad térmica en la cocción y un ahorro energético.

El otro de estos residuos son los que contienen asbesto, por ejemplo el fibrocemento o los residuos procedentes del mecanizado de algún tipo de frenos -Tamas (1990) y Pérez (1993)-. Este material fibroso provoca la asbestosis debido a su textura fibrosa y al tamaño de las fibras. Controlando el procesado del material y los parámetros de cocción es posible inertizar este residuo al provocar la transformación del mineral que lo forma en otro de textura no fibrosa y que forma parte de la matriz cerámica. En algunos casos -Martínez (1993-a)- su incorporación ocasiona una mejora de la plasticidad de la pasta y la resistencia en verde.

3.2.- Entre aquellos que tienen su aplicación en el campo del vidrio tenemos:

- a) Recuperación y reutilización del vidrio. Desde ya hace un cierto tiempo y gracias a la colaboración entre

los organismos oficiales y las empresas, se está procediendo a la recuperación selectiva de basuras. Entre ellas la más antigua en este proceso es el de la recuperación de envases de vidrio. Son diversas las entidades que coordinan esta función.

Esta reutilización plantea una problemática que puede ser tratada desde diferentes puntos de vista, ya sea en el aspecto institucional, Ball (1990), o refiriéndose a la problemática de la producción en su aspecto más general, Anisimov (1988), o bien concretándose a la fabricación de un producto concreto, Nazarenko (1987), en donde expone la problemática y los trabajos efectuados, en una fábrica de vidrio plano, para utilizar un elevado contenido de vidrio recuperado como materia primera en la su producción.

Tal como vemos en el apartado anterior sobre cerámica, también en la industria del vidrio se generan residuos que pueden ser minimizados e inertizados. En esta vía encontramos los trabajos de Meckel (1989) en que hace un análisis de los diferentes residuos que se crean en una industria de vidrio y plantea las posibles vías de recuperación y reciclaje, y el de Trier (1987), en que hace un estudio teórico sobre la reutilización del polvo de los filtros de los hornos de fusión.

- b) Los residuos industriales, o el mismo vidrio recuperado, pueden ser utilizados para obtener otros tipos de productos. En el proceso de vitrificación hemos dicho que un residuo industrial, o ceniza proveniente de su incineración, se incorporaba a una matriz vítrea, pasando los elementos contaminantes a formar parte de esta matriz. En este proceso se obtienen pues vidrios o, caso de producir una recristalización controlada, materiales vitrocerámicos con aplicaciones concretas que dependerán de sus características. Así tenemos los trabajos de Ismatov (1992) que estudia la obtención de vidrios y materiales vitrocerámicos a partir de residuos industriales, y el de Wansheng (1991), que estudia la obtención de vidrio mosaico sinterizado a partir de vidrio recuperado triturado, determinando la influencia del procesado sobre sus propiedades.
- c) Otros productos de la industria del vidrio que presentan una problemática específica son los residuos de fibra de vidrio. Moser (1976), presenta un proceso industrial que permite el reciclado del rechazo de fibra de vidrio desde su recolección, triturado, eliminación del ligante e incorporación a la balsa de fusión. El rechazo de fibra de vidrio y de vidrio recuperado tam-

bién se pueden utilizar como matriz vítrea para inertizar otros residuos industriales y posterior obtención de lana de roca, Martínez (1992) y Martínez (1993-b), o también para la obtención de lana de roca a partir de residuos de asbesto. Burrigato (1990), Borgianni (1993).

- d) Por último es preciso destacar los trabajos sobre la problemática de los residuos ricos en plomo provenientes de las industrias que fabrican "cristal", es decir, vidrio sodocálcico con un elevado contenido en plomo. En el proceso de talla y pulido de estos vidrios se generan residuos con elevados contenidos en plomo que es preciso recuperar de alguna forma que permita su reutilización. Esto es lo que plantean los trabajos de Porcham (1990), en que se describe el procedimiento de recuperación del plomo contenido en los residuos provenientes del gravado al ácido diseñado en una fábrica de cristal austríaca. Malder (1976), plantea la recuperación del plomo en forma de carbonato de plomo y la posibilidad de reciclarlo dentro del proceso de fabricación del cristal.

4.- CERAMIZACIÓN Y VITRIFICACIÓN. ASPECTOS BASICOS.

Tal como decíamos al principio, y como hemos podido comprobar a lo largo de esta revisión bibliográfica, los aspectos básicos sobre los procesos de ceramización y vitrificación, están poco desarrollados. Solo aquellos casos en que el material tiene una aplicación dentro del campo de los residuos radioactivos, como pueden ser los vidrios silico-bóricos, están más desarrollados. De todas formas, incluso en estos casos, solo se han estudiado como matrices para una serie de cationes que se utilizan, debido a su semejanza cristalológica con los elementos radioactivos, como simuladores del elemento contaminante. Creemos pues, que uno de los aspectos sobre los que hay que poner especial cuidado y dedicación, tanto por parte de los investigadores como de los organismos oficiales, es el del desarrollo de estos aspectos básicos, lo que nos permitirá poder gestionar con seguridad los residuos industriales.

Entendemos por ceramización y vitrificación a aquel conjunto de procesos mediante los cuales un residuo especial (tóxico o peligroso), se incorpora a una matriz cerámica o vítrea, pasando sus elementos contaminantes a formar parte de las nuevas estructuras desarrolladas, ya sean cristalinas (caso de la ceramización) o vítreas (en la vitrificación).

Parece lógico pensar que una determinada estructura, por ejemplo una fase mineral, no puede incorporar cualquier elemento que nosotros queramos inertizar. Esta posibilidad de incorporación e inertización nos vendrá regida por la cristalografía.

Dos de los factores que nos permiten entender y prever la estabilidad de una fase mineral son:

- Las consideraciones geométricas caracterizadas por los tamaños relativos de los átomos implicados en el compuesto.
- Las consideraciones electrónicas, como el número total de electrones de valencia, tipos de enlace, etc.

Respecto los factores geométricos, estos cubren los dos aspectos topológicos que describen las formas de unirse los átomos y los aspectos métricos como las distancias y ángulos de enlace en la estructura. Los aspectos topológicos proporcionan las condiciones necesarias pero no suficientes para la existencia de una determinada estructura. Los enunciados clásicos de estos aspectos geométricos, en lo referente a los cristales iónicos, fueron formulados por Pauling (1929), en lo que se conocen como las Reglas de Pauling. Al estar definidas para los cristales iónicos y solamente tener en cuenta criterios geométricos, es preciso aplicarlas con precaución. Por ejemplo, las distancias interatómicas están influenciadas por factores como el estado de valencia del catión, el número de coordinación de los aniones y cationes y el estado electrónico.

Para una mayor profundización en la estabilidad estructural, es preciso tener en cuenta otros factores como los electrónicos, principalmente el número de electrones de valencia disponibles para formar enlaces y el tipo de enlace químico mayoritario en el cristal.

Otra manera de definir la estabilidad de un mineral es como función de la P, T y composición, es decir desde un punto de vista macroscópico. Al mismo tiempo, el total conocimiento del comportamiento macroscópico de los minerales solo se puede conseguir mediante un detallado conocimiento de su estructura microscópica o atómica.

La estequiometría es uno de los factores clave en la determinación de la estructura cristalina adoptada por un compuesto. Cambios en la composición pueden ser causa de la desestabilización de la estructura cristalina original y de la adopción de una forma alternativa o bien de la acomodación de estos cambios mediante la formación de soluciones sólidas.

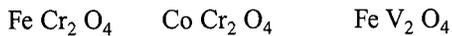
Como podemos ver los factores que determinan la estabilidad de una estructura cristalina son complejas y al mismo tiempo no todas las estructuras son adecuadas para incorporar un determinado elemento ni en cualquier proporción. Será preciso pues, a la hora de inertizar un determinado elemento o elementos contaminantes escoger la matriz adecuada para que, en el proceso de cocción, de lugar a aquellas fases minerales que sean capaces de incorporar los elementos a inertizar.

De entre las distintas fases minerales, que permitan incorporar algunos de los elementos contaminantes, pasaremos a considerar dos que, por sus características tanto de composición como estructurales, pueden servir como ejemplo de estas posibilidades. Estas fases son los piroxenos y las espinelas. En este caso, ambas fases se forman a partir de determinadas pastas cerámicas en el proceso de cocción. Los piroxenos en el caso de pastas calcáreas y las espinelas cuando la pasta es deficitaria en Ca.

Si tomamos el dióxido de silicio como modelo general de los piroxenos, los podemos describir como cadenas simples de tetraedros de Si-O paralelas a z, unidas por dos vértices. Las cadenas están unidas lateralmente por cationes situados en cavidades con coordinaciones 6-8 (posiciones M1 y M2). Los piroxenos responden a la fórmula general XYZ_2O_6 , en donde Z representa el catión en posición tetraédrica (Al, Si), Y representa el catión en posición M1 mientras que X representa el catión en posición M2. A continuación se presentan algunas fases, en cuya fórmula entra a formar parte algunos de los elementos considerados contaminantes, así como las proporciones en que se encuentra el elemento, expresadas como porcentaje en óxido.

<u>Fórmula</u>	<u>% en óxido</u>
Ca Ni Si ₂ O ₆	31.8% NiO
Na Cr Si ₂ O ₆	33.5% Cr ₂ O ₃
Zn ₂ Si ₂ O ₆	57.5% ZnO

Las espinelas son un conjunto de óxidos binarios que responden a la fórmula general AB_2X_4 en que A y B son cationes di y trivalentes respectivamente, mientras que la X es el O⁼. La estructura puede ser descrita como un empaquetado cúbico compacto de oxígenos con los cationes situados en las cavidades tetraédricas y octaédricas. A continuación se muestran algunas de las composiciones de espinelas en que intervienen, como en el caso anterior, algunos de los cationes considerados contaminantes.



Las espinelas son fases que se utilizan como pigmentos cerámicos dada su buena estabilidad tanto térmica como química. Propiedades semejantes las presentan los piroxenos.

5.- APLICACIONES.

Pasemos a describir alguna de las aplicaciones que han sido desarrolladas por el Grupo de Materiales Cerámicos.

1.- En Cataluña, una de las actividades mineras que están más desarrolladas es la de extracción de áridos para construcción. En el año 1989, el número de explotaciones dedicadas a esta actividad era de 136 explotaciones, representando un 34% del total de las explotaciones mineras en Cataluña. El lavado de las arenas extraídas conlleva un consumo elevado de agua y conduce a la generación de cantidades importantes de lodos. La necesidad de minimizar este consumo de agua hará preciso su purificación mediante la extracción de los residuos sólidos provenientes del lavado de las arenas y su posterior reutilización.

Estos materiales están formados mayoritariamente por arcillas y limos, dependiendo su composición química, mineralógica y granulométrica del nivel concreto motivo de la extracción. En principio estos materiales son factibles de ser utilizados como materia primera en la fabricación de cerámica de construcción, pero como cualquier materia primera su comportamiento, tanto reológico como en el procesado cerámico -secado y cocción-, variará en función de esta composición. Será por lo tanto imprescindible a la hora de incorporar esta nueva materia primera a una pasta, reformularla, variando los contenidos o porcentajes de las otras materias primeras, a fin de ocasionar los mínimos cambios en la plasticidad, temperatura de cocción, propiedades del producto final, etc, con esta incorporación.

Esto es lo que hemos realizado en algunas empresas, estando en estos momentos produciéndose ya en Cataluña materiales cerámicos con estas nuevas materias primeras.

2.- También estamos trabajando en la inertización y aprovechamiento de residuos industriales especiales como pueden ser los lodos provenientes de la depuración de

aguas en las empresas de tratamiento de superficies y los polvos de acería. Los polvos de acería son los polvos recogidos en los filtros de mangas generados en los hornos de arco en el proceso de fusión de chatarra a temperaturas entre 1200 y 1500 °C. Estos residuos incorporan importantes cantidades de metales pesados, lixiviando por encima de unos valores (norma din 38414-S4), que los clasifican dentro del grupo de residuos especiales. Su capacidad de lixiviar dichos elementos contaminantes no disminuye a pesar de que se hayan sometido a un secado, previo al vertido.

En las TABLAS 1 y 2, se presentan los resultados de las pruebas de lixiviación y los valores correspondientes a la norma internacional de la EPA, en dos casos particulares de estos materiales.

Tabla 1. Valores de la resistencia a la lixiviación del polvo de acería. (Norma SW 846,1986-orden 13/10/89)

ppm	As	Ba	Cd	Cr	Pb	Zn	Se
norma	5.00	100.00	1.00	5.00	5.00	----	1.00
Residuo	0.9	0.44	11.1	0.04	60.2	2603.0	2.07

El objetivo que nos hemos planteado ha sido el de encontrar una forma de inertizar el residuo y al mismo tiempo el encontrar una aplicación del material obtenido que haga atrayente dicho proceso, es decir que lo haga rentable. Por ejemplo en el caso de utilizar un proceso de ceramización, que substituya con ventaja algún componente de la pasta cerámica. En el caso de la vitrificación, por ejemplo, el valor añadido de la lana de roca obtenida podría rentabilizar el proceso.

Tabla 2. Valores de la resistencia a la lixiviación de los lodos de depuradora de líneas de tratamiento de superficies. Caso de una línea de cromado. (Norma SW 846,1986-orden 13/10/89)

ppm	As	Ba	Cd	C	P	Hg	Se
norma	5.00	100.00	1.00	5.00	5.00	0.20	1.00
Residuo	n.d.	0.01	0.02	7.30	0.60	n.d.	n.d.

Cuando estos materiales son incorporados a una pasta cerámica, los elementos contaminantes pasan a formar parte de las nuevas fases minerales. El Zn, Fe, Cr pasan a formar parte de fases espinela tal como se puede deducir a partir del afinamiento de parámetros de la fase espinela identificada por DRX. El plomo se incorpora a los feldespatos, Molera (1993), y a la fase vítrea. El resultado es una cerámica en la cual por un lado quedan fijados, en la estructura de las nuevas fases minerales los elementos contaminantes, como se puede comprobar en las pruebas de lixiviación efectuadas (TABLA 3), y por otro

se obtiene un producto cerámico que substituye a la cerámica de obra vista de colores oscuros, substituyendo el aditivo que es preciso añadir en el proceso industrial por los residuos antes especificados.

Tabla 3. Valores de la resistencia a la lixiviación de la cerámica cocida a 1050C. (Norma SW 846,1986-orden 13/10/89):

ppm	As	Ba	Cd	Cr	Pb	Hg	Se
norma	5.00	100.0	1.00	5.00	5.00	0.20	1.00
Cerámica	<0.1	<0.1	0.02	0.03	0.17	<0.01	<0.05

Por otra parte las pruebas de resistencia mecánica (flexión en tres puntos) efectuadas sobre las muestras cocidas a distintas temperaturas, dan valores equivalentes a los obtenidos entre la cerámica convencional y la elaborada con el residuo.

3.- No solamente los residuos industriales presentan problemáticas en cuanto a su peligrosidad, sino que los residuos sólidos urbanos (RSU) también plantean una serie de problemas, agravados por una cierta variabilidad estacional de la composición.

Una de las formas de tratamiento de los RSU, es la incineración. El resultado de este proceso no es el residuo cero, sino que se producen una serie de residuos, consecuencia de dicho tratamiento. Estos residuos son principalmente las escorias y las cenizas. Las escorias representan un 20-25 % en peso del total de los RSU. Estas escorias y cenizas hay que transportarlas a un vertedero con el consiguiente coste suplementario que esto representa para el proceso. La incidencia, sobre el coste de explotación, de la eliminación de las escorias y cenizas generadas en el proceso de incineración de los RSU, es del 15 - 25 %. (Olmos, 1992). Así, en la planta de San Adrián del Besos, con una capacidad nominal de 250.000 Tm/año, las escorias y cenizas generadas en el proceso de incineración pueden representar unas 50.000 Tm/año (Olmos, 1992).

Estas escorias de RSU, presentan una composición, en cuanto a los óxidos mayoritarios, rica en SiO₂ y CaO (TABLA 4), a más de pequeñas cantidades de otros elementos, como metales pesados, y que pueden, en muchos casos superar los porcentajes permitidos en las normativas vigentes. (Martínez, 1994-b).

Tabla 4. Porcentaje de los óxidos mayoritarios de una escoria de incineradora de RSU.

%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Escoria	34.9	8.9	6.5	19.6	2.4	2.1	0.5

Los resultados de los análisis tanto químicos como mineralógicos nos permiten plantear la posibilidad de su inertización en una matriz cerámica dada su composición y buen comportamiento, tanto en el proceso de conformación como en el de cocción. Por otra parte las pruebas de lixiviación realizadas (TABLA 5) muestran que los elementos contaminantes han quedado fijados (inertizados) en la estructura de las fases minerales de la matriz cerámica.

Tabla 5. Resistencia a la lixiviación (Norma SW 846,1986-orden 13/10/89)

ppm	As	Ba	Cd	Cr	Pb	Hg	Se
Norma	5.00	100.0	100.0	5.00	5.00	0.20	1.00
Residuo	<0.1	<0.1	0.009	0.19	<0.05	<0.05	<0.05

Los resultados obtenidos en estos estudios previos (Martínez, 1994-b) permiten plantear diversas posibilidades (obtener cerámicas con coloraciones más claras, colores crudos, etc.) que nos lleven a un aprovechamiento integral de las escorias de RSU. Será preciso, de todas formas, una serie de actuaciones previas para cada caso concreto, para ajustar la pasta cerámica utilizada en cada industria al nuevo componente añadido, no solamente para asegurar su buen comportamiento en el procesado sino para asegurar la total inertización de los elementos contaminantes, siendo necesario el control de las variaciones tanto de la materia primera como del residuo. Otra de las posibilidades planteadas es la de la vitrificación, principalmente de las cenizas, y su valorización mediante la obtención de lana de roca.(Martínez, 1994-a).

BIBLIOGRAFIA

- ABDRAKHIMOV, V.Z. (1990) Phase composition of facing tiles based on production scrap. *Glass and Ceramics* Vol 47 [9-10] pp.361-363.
- ANDREOLA, N.M.F.; MANFREDI, T. et al. (1993). Recycling of ceramic waste in tile bodies to reduce pollution. *Am. Cer. Soc. Bull.* Vol.72, [4] pp.65-70.
- ANISIMOV, A.P. (1988). Use of secondary raw material - A very important problem in production. *Steklo y Keramika* [8], p.24.
- BALL, R. & LAWSON, S.M. (1990). Public attitudes towards glass recycling in Scotland. *Waste management.* Vol 8, [3] pp.177-179.
- BARTSCHMID, H. (1988). Energy conservation and higher output, saving of raw materials and overburden removal by the use of coal tailings for brickmaking at the Ziegelwerk Neunkirchen GmbH. *ZI international* Vol. 41 [9] pp.446-449.
- BORGIANNI, C.; SOMMOVIGO, P. & BURRAGATO, F.(1993). *Im-piego di rifiuti contenenti amianto in combinazione con prodotti di scarto della siderurgia, come refrattari e scorie, per la produzione di lana di roccia.* Patent n° RM 93A 000213.

- BOZADGIEV, L.; GEORGIEVA, E. (1992). Porcelain bodies based on bisquit -and glost- fired porcelain waste. *Interceram* Vol.41, [7-8], pp.478-480.
- BOZADJIEV, L.; GEORGIEVA, E. & DIMOVA, T. (1991). Use of flotation ore tailings in tile and brick bodies. *Tile & brick international*. Vol. 7 [6] pp.426-429.
- BURRAGATO, F.; DOMINICI, R.; MARCINI, A. & SOMMOVIGO, P. (1990). Liitificazione per fusione dei prodotti di risulta ad amianto delle officine delle ferrovie dello stato. *Acta Oncologica* Vol.11 [3] pp.243-247.
- CALIGARIS, R.E.; ZAMBONI, L.A.; ORTIZ, C.D. & CALIGARIS M.G. (1990). Bricks from coal tailings. *Interbrick* Vol.6 [4] pp.41-42.
- CHUSOVITINA, T.V.; OVCHINIKOV, H. et al. (1992). Metallurgical industry waste - a raw material for refractory production. *Refractories* Vol.33 [1-2] pp.103-106.
- DIAZ, C & RINCON, J.M^a (1990). Tratamiento químico de la escoria de sílice de una planta geotérmica para su aplicación en cerámica y vidrio. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.* 29 (1990) [3], pp.181-184
- ERIC, S.; KOSTIC, L.; MILADINOVIC, M. & PAVLOVIC, L. (1990). Synthesis of cobalt-based pigments from industrial waste material. *Silicaty* Vol.34 [1] pp.61-67
- FACINCANI, E.; BORRONI, M. (1989). Glaze waste slurries as a qualitative improvement to structural ceramics. *Keransche Zeitschrift*, Vol.41, [1] pp.27-31.
- FERNANDEZ-TENA, A.; RAMOS, P.; BUENO, J. & PRIETO, M. (1991). Study of oil wastes (mineral oils) used as additives for building ceramics production. *Bol. Soc. Esp. Cer. y Vidrio* Vol.30 [4] pp.257-260.
- GALIPERINA, M.K. & TARANTUL, N.P. (1990) Ceramic tiles from pyrophyllite bodies for internal wall facing. *Glass and Ceramics* Vol 47 [7-8] pp.285-287.
- GAPRINDASHVILI, G.G.; KEKELDZE, M.K. & TEDEISHVILI, L.K. (1988) Acid-proof ceramics using industrial wastes. *Steklo y Keramika*, 1, pp.21-23.
- GAVRIKOVA, L.P.; KONERSKIJ, V.D. et al. (1987). Utilization of glass wastes in electroceramics. *Steklo y Keramika*, 7, pp.6-7.
- ISMATOV, A.A. ABDULIAEV, K.H. (1992). Glasses and pyroceramic based on industrial wastes. *Glass and Ceramics* Vol 49 [1-2] pp.3-4.
- KNIGHT, J.C.; WAGH, A.S. & REID, W.A. (1986) The mechanical properties of ceramics from bauxite waste. *Jour. of Mater. Sci.* Vol.21 [6] pp.2179-84.
- KOHLER, A. (1988). Use of industrial wastes with comobustible components in the brick and tile industry. *ZI international* Vol. 41 [9] pp.440-445.
- KOVACS, W.L. (1993) Solid waste management: Historical and future perspectives. *Resources, Conservation and Recycling*, 8, pp.113-130.
- LEVITSKII, I.A.; DYATLOVA, E.M. & TIZHOVKA, V.V. (1992). Use of electroplating residue for making colored glazes. *Glass and Ceramics* Vol 49 [7-8] pp.351-354.
- MAGRUPOV, R.D.; RAKHMANBEJOV, N.; IRGASHEV, T.I. & SIRAZHIDDINOV, N.A. (1991). Ceramic bodies obtained using the waste products of the fluorite concentration plants. *Glass and Ceramics* Vol 48 [9-10] pp.405-407.
- MALDER, G. (1976). Deposition of lead contaminated mud from the acid polishing. *Sprechaal* Vol.120 [5] pp.388-389.
- MANKOVA, G.; GUNSBURG, K. & BERGER, I. (1976). Galvanic wastes in construction ceramics: a possibility of using industrial discharges. *Sprechaal* Vol.126 [6] pp.392-395.
- MARTINEZ, S. (1992). Inertización de barros por vitrificación. *Proceedings de Eurosurfes*. Barcelona.
- MARTINEZ, S. (1993-a). La vitrificación como técnica de reciclaje de residuos de asbesto. *Proceedings de las Jornadas Técnicas de Construmat-93. La problemática de los residuos en la industria de la construcción*. Barcelona.
- MARTINEZ, S. (1993-b). *Noves vies de valorització de llocs galvànics per mitja de la vitrificació*. *Proceedings de las: Jornada tècnica y taula rodona sobre "El reciclatge y la valorització de los llocs galvànics*. Barcelona.
- MARTINEZ, S.; PEREZ, J.A. et al. (1994-a). *Vitrificación de residuos industriales especiales. Aplicación a lodos galvánicos*. *Proceedings of the ATEGRUS 1994*.
- MARTINEZ, S.; PEREZ, J.A. et al. (1994-b). *Revalorización y aprovechamiento de escorias procedentes de la incineración de residuos sólidos urbanos*. *Proceedings of the ATEGRUS 1994*.
- MECKEL, L. (1989). Analytical investigation of dust, sludge and waste water specimens from the production facilities of a special glass manufacturer. *Glastechnische Berichte*. Vol.62, [3] pp.106-109.
- MESAROS, R. (1989). Use of sludge from the municipal sewage system for brickmaking. *ZI international*. Vol.42 [5] pp.251-254.
- MOGILSKI, L. & DIPCHIKOV, F. (1987). Glassceramic based on thermal power plant ash. *Steklo y Keramika*, 12, pp.25-27.
- MOLERA, J.; PRADELL, T.; MARTÍNEZ, S. & VENDRELL, M. (1993). The growth of sanidine crystals in the lead of glazes of Hispano-Moresque pottery. *Applied Clay Science*, 7, pp. 483-491.
- MOYA, J.S.; MORALES, F. & GARCIA VERDUCH, A. (1987) *Bol. Soc. Esp. Cer. y Vidrio* Vol 26 [1] pp.21-29.
- MUKHAMEDZHANOVA, M.T (1989). Iron-containing wastes as raw materials for the production of non-sintered glazes. *Steklo y Keramika*, 1, p.3.
- NAZARENKO, V.L. (1987). Melting of glass with high content of glass wastes. *Steklo y Keramika*, 11, p.28.
- OLMOS, V.; ARTIGAS, J.; FRESNEDA, A. (1992) Incineración de residuos sólidos urbanos. *Cuadernos de energias renovables 2*. Ed IDAE. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Madrid.
- PATEL, M. & KUMARI, P. (1990). Silicon carbide from sugarcane leaf and rice straw. *Jour. of Mat. Sci. Letters* Vol.9 [4] pp.375-376.
- PAULING, L. (1929). The principles determining the structure of complex ionic crystals. *Jour. of the Am. Chem. Soc.* [51] pp.1010-1026.
- PEREZ, J.A.; TERRADAS, R.; MANENT, M^a R.; MARTINEZ, S. (1993). Ceramics and industrial waste recycling. En "Elaboration, Thermomechanical and Physicochemical Properties of Ceramics". Ed. S. Martinez & N. Clavaguera. Barcelona (1993) ISBN. 84-475-0496-4
- PEREZ, J.A.; TERRADAS, R.; MANENT, M^a R.; MARTINEZ, S. (1994-b). *Evaluation of industrial waste as alternative raw materials in ceramic glazes composition*. *Proceedings of the Eighth Cimtec (1994)*.
- PEREZ, J.A.; TERRADAS, R.; MANENT, M^a R.; MARTINEZ, S. (1994-a). *Inertization of industrial waste in ceramics materials*. *Proceedings of the Eighth Cimtec (1994)*.
- PLATONOVA, N.I.; RAKHIMOV, A.D. et al. (1993). Abrasives made of industrial wastes. *Glass and Ceramics* Vol 50 [1-2] p.51.
- SARUKHANISHVILI, A.V. & ZEDGINIDZE, I.G. (1987). Utilization of industrial waste in boron-free, fluorine-free undercoat enamels. *Steklo y Keramika*, 4, pp.6-7.
- SKRYABIN, N.P.; SOKOLOV, A.N. et al. (1989). Testing low-silica chromium concentrate in the production of refractories for treating steel outside the furnace. *Refractories* Vol.30 [3-4] pp.170-173.
- STOCH, L.; KORDEK, M. & NADACHOWSKI, F. (1986). Processing of some non-conventional ceramic raw materials and by-products. *Ceramics international*. Vol. 12 [4] pp.213-220.

TAMAS, F.D.; AMRICH, L. (1990). Disposal of asbestos waste in the heavy clay industries. *Interbrick* Vol.6 [4] pp.51-53.

TRIER, W. (1987). Recycling of filter dust in glass melting furnaces: a theoretical study. *Glastechnische Berichte*. Vol.60, [7] pp.225-233.

VERBAVICHUS, E.B. (1989) Utilization of toxic industrial waste for production of construction ceramics. *Steklo Keram*, 5, pp.4-5.

WANSHENG, L.I.; SHUZHENL & ZHANYING ZHAN. (1991). Sintered mosaic glass from ground waste glass. *Glass technology*. Vol.32 [1] pp.24-27.

WARRIER, K.G.K., MUKUNDAN, P. & REDDY, S.R. (1988). Thermal decomposition characteristics of coconut piuth incorporated in tile clay bodies. *Interbrick* Vol. 4 [6] pp.28-30.

YAKOWITZ, H. (1993) Waste management: What now? What next? An overview of policies and practices in the OECD area. *Resources, Conservation and Recycling*, 8, pp.131-178.

ZANI,A.; TENAGLIA,A. & PANIGADA, A. (1990). Re-use of paper-making sludge in brick production. *ZI International* Vol.43 [12] pp.682-690.