

La vitrificación: un ejemplo de sostenibilidad ambiental

Vitrification: an example of environmental sustainability

SALVADOR MARTÍNEZ, JOAQUIM M. NOGUÉS Y MAITE GARCÍA-VALLÉS

*Dpto. Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Geología U.B. c/Martí i Franquès s/n. 08028 Barcelona.
E-mail: salvadormartinez@ub.edu*

Resumen La acumulación de lodos de depuradora urbana constituye un problema medioambiental al cual hay que buscar soluciones. Una de las que se proponen en este trabajo es la obtención de un vidrio, de manera que de un producto “inservible” obtenemos un nuevo material revalorizado. A través de esta solución se abordan dos temáticas, una medioambiental y otra conceptual, ya que para poder entender el proceso hará falta introducir nuevos conceptos relacionados con la materia cristalina y amorfa, a la vez que nos puede permitir comparaciones con la formación de vidrios en la naturaleza.

Palabras clave: *Residuo, sostenibilidad, EDAR, vitrificación.*

Abstract *The accumulation of urban sewage sludge is an environmental problem to which solutions must be sought. One of the ideas proposed in this paper is to turn it into glass. Thus, from a “useless” product we obtain a new, more valuable material. This solution addresses two environmental aspects and a conceptual one, because in order to understand the process it will be necessary to introduce new concepts related to crystalline and amorphous material, and this allows us to make a comparison with glass formation in nature.*

Keywords: *Waste, sustainability, wastewater treatment, vitrification.*

INTRODUCCIÓN

El control del medio ambiente es uno de los temas que cada vez preocupan más, no tan solo a la ciudadanía sino también a los órganos de dirección de los países y de los organismos internacionales. Prueba de ello es la legislación desarrollada por la Unión Europea (UE) en los últimos años, cuya finalidad es la protección del medio ambiente por la importancia que tiene para la supervivencia de nuestra sociedad en un futuro no muy lejano.

Uno de los puntos importantes es el control de las aguas residuales, que afecta directamente a la calidad de nuestros ríos y mares ya que son los receptores directos de dichas aguas. Para solucionar el problema deben ponerse en marcha depuradoras de agua antes del vertido de las mismas. Todo proceso de depuración implica como resultado del mismo: a) unas aguas limpias que puedan devolverse a los cauces, o bien a las aguas subterráneas con el fin de recuperar los niveles freáticos de la zona y, b) unos lodos que concentren el material sólido y contaminante.

El 6º Programa de Actuación Medioambiental (6EAP) recomienda tomar una serie de medidas

coordinadas, tendentes a la reducción del impacto medioambiental, por el uso de recursos, de acuerdo con las estrategias para el desarrollo sostenible de la UE. Dicho programa incluye estrategias específicas en el reciclado de residuos e iniciativas en el campo de la prevención de residuos, propuestas importantes para los objetivos de la Comunidad Europea en este campo. La gestión de los recursos tiene que estar inspirada en el análisis del ciclo de vida del producto final. La prevención y el reciclado reducen el impacto ambiental asociado a la explotación de recursos (extracción de las materias primas y su transformación en los procesos productivos). Esta estrategia de gestión debe complementarse con la reducción del impacto ambiental en la fase de gestión de residuos, incluidos los de reciclado.

A nivel de la UE el total aproximado de residuos es de 1,3 billones Tm / año. Esto significa que las cantidades totales de residuos en la UE es de alrededor de 3,5 toneladas por habitante y año. El 2% de estos residuos se incluyen en la denominación de “residuos peligrosos” (27 millones de Tm). El porcentaje general de la producción de residuos se puede subdividir en cinco áreas tal y como se

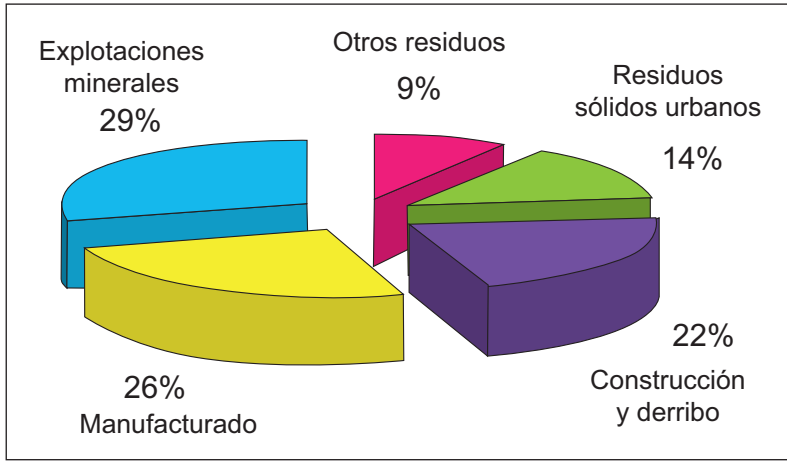


Fig. 1. Porcentaje general de la producción de residuos y áreas en que se subdivide. Se excluyen los residuos agrícolas y forestales.

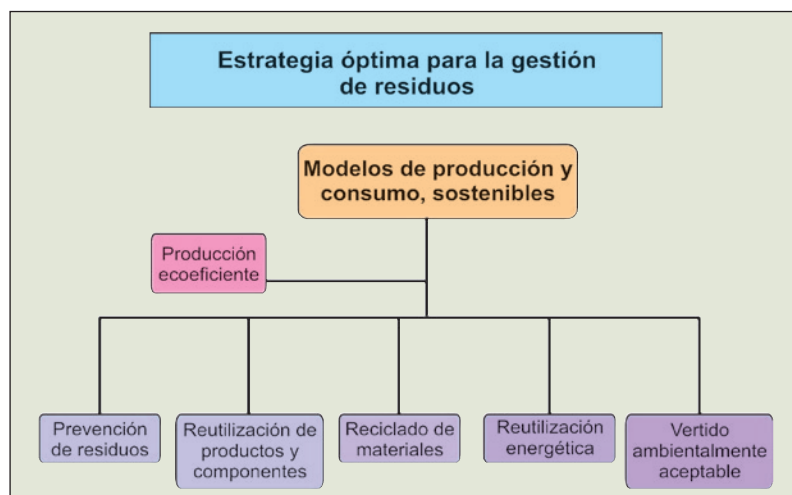
muestra en el diagrama de la figura 1, y de los cuales se excluyen los residuos agrícolas y forestales. El Instituto Wuppertal ha calculado que la «mochila ecológica» (cantidad de residuos generados en la fabricación de productos de uso diario) es de: 1,5 kg en un cepillo de dientes; 75 kg en un teléfono móvil y, aproximadamente, unos 1500 kg en un ordenador.

El uso de cantidades importantes de recursos naturales y el impacto asociado sobre el medio ambiente se pueden evitar y/o reducir mediante la reutilización o el reciclado de estos productos en su fase de residuo y mediante el diseño eco-eficiente. De este modo solamente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, con el reciclaje de 1 Tm de los siguientes materiales se ahorran: 900 kg de CO₂ equivalente en el caso del papel, 1.800 kg de CO₂ equivalente en el tere-ftalato de polietileno (PET), y 9.100 kg de CO₂ equivalente en el reciclado del aluminio.

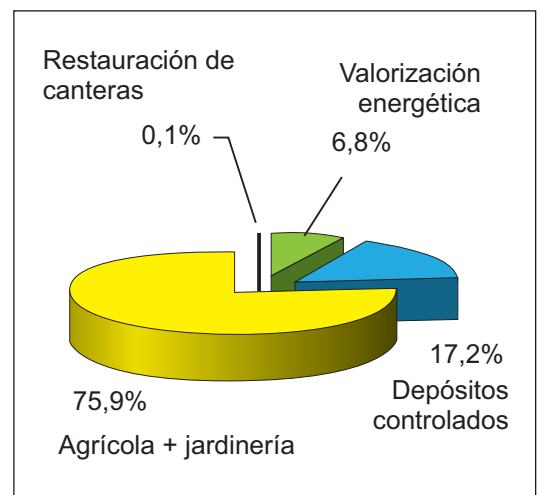
Un producto manufacturado genera un impacto ambiental que empieza en el proceso de extracción de las materias primas necesarias para su elaboración, y continúa en el proceso de fabricación, durante su ciclo de vida y en la etapa de su reciclado y/o vertido. Teniendo en cuenta todos estos aspectos, la Comunidad Europea considera que la estrategia óptima en la gestión de residuos se puede esquematizar en cinco puntos tal y como se muestra en la figura 2.

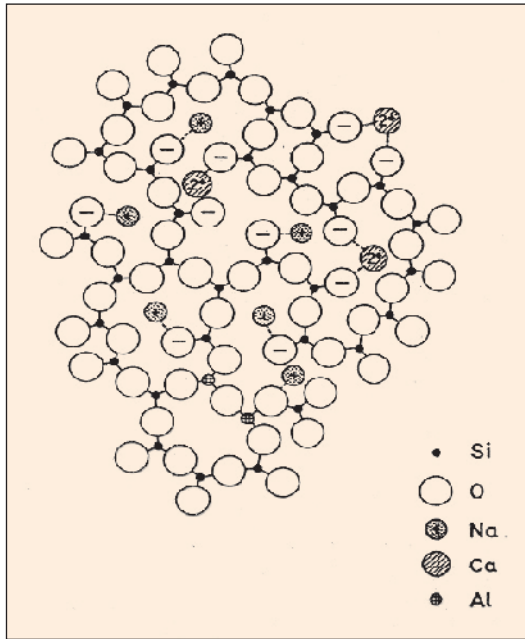
Fig. 2 (izquierda). Estrategia óptima en la gestión de residuos según el 6º Programa de Actuación Medioambiental.

Fig. 3 (derecha). Aplicaciones y porcentajes de gestión de los lodos de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) del área metropolitana de Barcelona, durante el año 2006.



En Cataluña, se están depurando las aguas de las poblaciones de menos de 1.000 habitantes con un total de más de 386 depuradoras en activo en noviembre 2010 (http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P1225554461208201540084&profileLocale=es), con la perspectiva de poner en funcionamiento el resto de las depuradoras en los próximos años. La actividad de estas depuradoras genera una producción de lodos muy importante que seguirá incrementándose debido al aumento de la población y a la construcción de nuevas depuradoras. La producción aproximada en Cataluña de estos residuos es de 1,5 10⁶ Tm de lodos frescos (biosólidos) durante el año 2007 (upcommons.upc.edu/.../PFC.VALORITZACIO_BIOSÒLIDS.pdf). En la figura 3 se indican las aplicaciones y porcentajes de gestión de los lodos de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) del área metropolitana de Barcelona, durante el año 2006 (Moliner, 2007). En su mayoría (76%) se destinan a la agricultura, con el problema que dicha aplicación origina al producirse un efecto acumulativo de elementos contaminantes en los campos de cultivo. En consecuencia, la legislación europea adopta unas medidas mucho más restrictivas para esta aplicación, exigiendo unos niveles máximos de contaminación para dicho uso, y unos niveles máximos de contaminantes en los terrenos en donde se pretenda aplicar como abono. El 17% va al vertedero, el 6,8% restante se valoriza energéticamente usándolo en las cementeras y un 0,1% se utiliza en la restauración de canteras. Esta perspectiva obliga a buscar soluciones para el gran volumen de lodos que se generan, ya que las propuestas de gestión actuales no representan una salida real al problema. En la mayoría de los casos, la utilización como abono implica una contaminación de los suelos a largo plazo, y la disposición en vertedero conlleva la saturación de los mismos y elevados costes de gestión. Así mismo, existen otros tipos de residuos industriales, como los lodos galvánicos, que son de difícil gestión, y se distribuyen en plantas de tratamiento especial y se depositan en vertederos de residuos especiales.





EL VIDRIO Y EL PROCESO DE VITRIFICACIÓN

El vidrio es un material fundido de composición variable que se ha enfriado hasta un estado rígido sin experimentar cristalización. Los vidrios de silicato son estructuras formadas por edificios tridimensionales de tetraedros de silicio que pueden incorporar distintos cationes (figura 4). Los cationes se agrupan en base a la función que tienen en la estructura en: formadores de red (SiO_2 , P_2O_5 , B_2O_3) y modificadores de red (Cr_2O_3 , ZnO , PbO , NiO , etc) (figura 5). El proceso de fabricación del vidrio consta de cinco etapas: fusión de las materias primas; afinado (eliminación de impurezas); acondicionamiento (homogeneización de la temperatura); conformación y recocido (eliminación de tensiones). La vitrificación de un residuo es un conjunto de transformaciones mediante las cuales éste se incorpora a una matriz vítrea. En la figura 6 se observa el colado del vidrio obtenido en el proceso de vitrificación (temperatura aproximada de 1.450°C) y seguidamente su disposición en un horno a 700°C para eliminar las tensiones y evitar su fracturación (recocido).

En el proceso, los elementos contaminantes del residuo pasan a formar parte de la estructura del vidrio. De este modo, el residuo queda inertizado y se obtiene un nuevo material sólido al que se le puede dar una nueva utilidad y aplicabilidad. En el proceso de vitrificación el suministro energético principal procede de la generación de calor asociada a las reacciones que se producen durante la combustión controlada de los compuestos presentes en los lodos. Entendemos el proceso como un ciclo cerrado en el que intervienen por una parte los lodos de depuradora EDAR y por la otra los combustibles fósiles y los aditivos.

Un ejemplo de las propiedades físicas de un vitrocéramico obtenido a partir de los lodos EDAR con una cierta proporción de lodo galvánico se muestra en la tabla 1. En ella se compara con otros materiales con utilidad equivalente y se aprecia que el nuevo "ma-

Fig. 4. Estructuras de los vidrios de silicato formadas por edificios tridimensionales de tetraedros de silicio que, a veces, incorporan distintos cationes (Fernández Navarro, 1985).

Un ejemplo que nos permitirá contrastar los conceptos y criterios expuestos anteriormente puede ser la propuesta de la: "vitrificación de lodos de depuradora urbana". El objetivo de este trabajo es el de analizar en un caso práctico los conceptos y propuestas de la Comunidad Europea en la gestión de residuos. Se presenta una posible solución sostenible en el aprovechamiento de los lodos EDAR basada en su fusión y vitrificación. Al mismo tiempo se introduce al alumno en los conceptos de materia cristalina y amorfa, así como en las diferencias que hay entre la tecnología de la vitrificación y la del encapsulamiento.

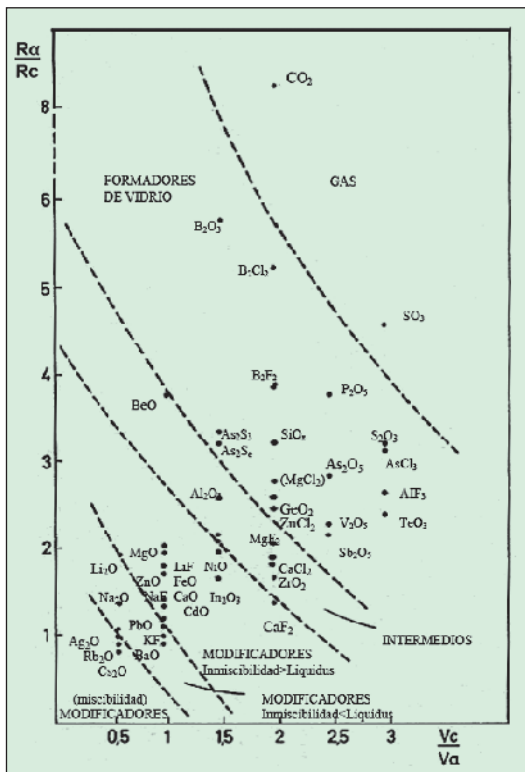


Fig. 5 (izquierda). Papel estructural de los cationes que forman el vidrio (Fernández Navarro, 1985).

Fig. 6 (derecha). Vitrificación de un residuo. Proceso de fabricación del vidrio en el horno: fusión, colado, recocción e imagen del vidrio al microscopio electrónico de barrido donde se observan los núcleos y cristales formados

Tabla 1. Propiedades físicas del material vitrocerámico obtenido a partir de lodos EDAR, así como las de otros materiales equivalentes.

Material	Dureza en la escala de Mohs	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia a la compresión (MPa)	Densidad (gcm ⁻³)
Vidrio	5.2	224.7	177.5	2.89
Vitrocerámico	5.9	122.0	317.2	2.89
Basalto	4-6	85.3	224.1	2.80
Mármol	3.7-4.3	46.5	151.7	2.71
Terrazo	----	33.8	----	2.35

terial” presenta unos valores fuertemente competitivos (García-Valles et al., 2007). Con este proceso de obtención de un vitrocerámico a partir de unos lodos se inicia su proceso de reciclado y valorización. En la figura 7 se puede observar una fotografía del vidrio obtenido en el proceso de vitrificación de los lodos EDAR que nos ocupan.

VALORACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA VITRIFICACIÓN

Teniendo en cuenta las directrices marcadas por la UE referentes a la sostenibilidad del medio ambiente compararemos las mencionadas directrices, con el producto obtenido, esto es, el vidrio procedente de la vitrificación de lodos y comprobaremos que se cumplen en su totalidad. Las recomendaciones de la Comunidad Europea son: a) reducción de residuos, b) reutilización de productos y componentes, c) reciclado de materiales, d) recuperación energética y e) vertido ambientalmente aceptable. A continuación se analizan cada uno de estos apartados en relación al proceso de vitrificación:

a) Reducción de residuos.

La obtención de un producto a partir de residuos, evita la generación de los mismos en el proceso de obtención de las materias primas correspondientes. La sustitución de materias primas, y de los correspondientes productos manufacturados, por otros producidos mediante residuos eliminan la

necesidad de la extracción de materias primas en una proporción equivalente a la cantidad de materia inorgánica que contienen los lodos. Considerando que añadimos un 20% de aditivos, resulta que ahorramos un 80% de materias primas y los correspondientes residuos que esta extracción generaría.

b) Reutilización de productos y componentes.

En este caso no se reutilizan productos ni componentes.

c) Reciclado de materiales.

Se reciclan los residuos utilizados en el proceso (arena de fundición, lodos de depuradora, etc.) y se recupera el agua de humedad de los lodos (un 80-90% en los lodos deshidratados). En el proceso de secado van a la atmósfera. Se recicla el material recogido en los filtros y en el tratamiento de gases durante el proceso. El 95% de la composición del vidrio obtenido en el proceso de vitrificación es material reciclado.

d) Recuperación energética.

Se recupera y reutiliza la energía obtenida por la combustión de la materia orgánica contenida en los lodos (un 75%) que tienen un PCI de 13,5329 MJ/kg, o sea, de 3,22 te/kg lodo seco.

e) Vertido ambientalmente aceptable.

No se generan residuos en el proceso: residuo cero. En el proceso de vitrificación se originan gases que deben tratarse para evitar su vertido a la atmósfera. En el balance de emisión de gases, el CO₂ generado en la combustión de la materia orgánica no contabiliza como CO₂ de efecto invernadero ya que es una materia orgánica actual, no fósil. Los gases NO_x generados en el proceso son tratados para su minimización así como los gases SO₃, que se tratan con Ca(OH)₂ pasando a sulfato cálcico. Estos compuestos formados son redireccionados a la balsa de fusión incorporándose al vidrio obtenido. De este modo, vemos que existe una correlación directa entre la propuesta de vitrificación de los lodos y las recomendaciones de la UE para la gestión de residuos.



Fig. 7. Fotografía del vidrio obtenido en el proceso de vitrificación.

PROPUESTAS DIDÁCTICAS PARA TRABAJAR EN EL AULA

A pesar de que no es un tema sencillo para trabajar con los alumnos debido especialmente a la infraestructura necesaria para obtener un vidrio, creemos que es interesante proponer una serie de actividades para realizar en el aula, que nos permitan transmitir el conocimiento de lo que es un vidrio

y de su importancia en los procesos de gestión de residuos. Esta es una de las propuestas que conjuntamente con otras contribuyen a salvaguardar el medio ambiente. A continuación presentamos un conjunto de sugerencias prácticas para complementar las explicaciones teóricas que se hayan desarrollado en el aula.

La visita a una depuradora es una actividad fácilmente programable en la mayoría de los centros, ya que de acuerdo con la normativa europea toda población de más de 2000 habitantes está obligada a depurar las aguas residuales para evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. De acuerdo con lo expresado anteriormente se supone que en todas las poblaciones en donde hay un centro de secundaria habrá una depuradora cerca. La visita debe prepararse con anterioridad para evitar improvisaciones, y los alumnos deberán tomar nota de cada uno de los distintos aspectos que configuran el proceso de depuración de las aguas. En nuestro caso es importante destacar que uno de los aspectos principales se halla precisamente al inicio del proceso: es la sedimentación o floculación de las partículas en suspensión en el agua que origina los lodos. Es recomendable tomar una muestra que será tratada posteriormente en el laboratorio del centro. A lo largo de la visita se recomienda estar especialmente atento al volumen de lodos que se generan en este proceso para ser conscientes de la importancia de gestionar adecuadamente estos residuos. También es necesario conocer la procedencia de estas aguas residuales para calibrar el grado de contaminación de las mismas, que es el aspecto que justifica el proceso de vitrificación.

Actividades didácticas a realizar antes y durante la visita a la depuradora

Antes de realizar la visita a la planta depuradora hace falta dedicar un tiempo en el aula para explicar y conocer la situación geográfica y geológica de la misma, así como las características básicas de la depuradora. También es importante resaltar y trabajar el tema de la necesidad de realizar el proceso de depuración para evitar la contaminación de los acuíferos.

A continuación debe prepararse el material necesario para la correcta toma de muestras en la visita a la depuradora (recipientes de plástico estancos, rotuladores, libreta de campo, etc.). Sería conveniente que los alumnos preparasen una serie de preguntas relativas al proceso de la planta depuradora. Algunos aspectos interesantes son: el volumen de agua tratada, el volumen de lodos generados, el tipo de gestión, los costes de gestión, el número de habitantes, a que pueblos prestan servicio, que tipo de industrias dependen de la depuradora, etc.

Durante la visita a la depuradora se tomarán las

muestras de lodos previstas que serán tratadas posteriormente en el laboratorio. Es conveniente que los alumnos tomen notas durante la visita, realicen esquemas y presenten una memoria de la mencionada visita.

Determinación de la humedad de los lodos. Proceso de secado.

Los objetivos en esta primera etapa en el laboratorio son: determinar el contenido de agua en los lodos; calcular el porcentaje de agua que se puede recuperar en el proceso durante un año; realizar la valoración económica del coste que se produce en el transporte de los lodos desde la planta depuradora hasta el vertedero de residuos especiales.

El material necesario para desarrollar este proceso es el siguiente: un pesafiltros, una balanza analítica, una estufa que llegue a 120°C, una espátula y guantes de látex. Todos estos elementos los podemos contemplar en la figura 8.

El procedimiento a seguir para realizar estas determinaciones es: se extrae del recipiente, donde se han colocado los lodos, unos diez gramos de lodo que se depositan en el pesafiltros de peso conocido (A) y que se tapaná inmediatamente. Se pesa el pesafiltros con el lodo en el interior y se anota el peso (B). Se pone en la estufa a 90°C el pesafiltros destapado y se deja durante 24 horas. Pasado este tiempo se comprueba que se mantiene a peso constante y se anota su peso (C). Finalmente, se calcula el contenido de agua aplicando la ecuación:

$$\frac{(B - C) * 100}{(C - A)}$$

Fig. 8. Material de laboratorio necesario para la determinación de la humedad de los lodos y el proceso de secado.



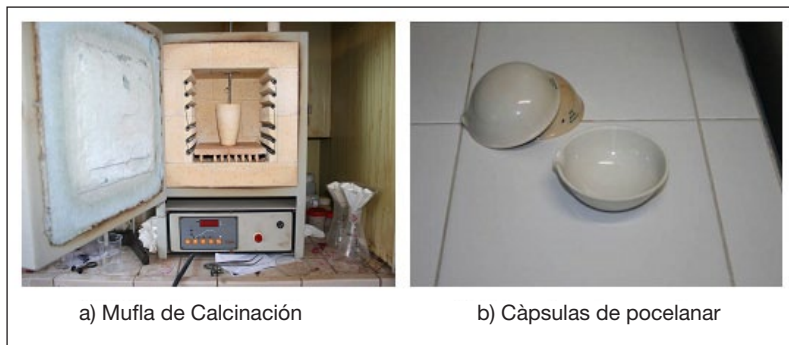


Fig. 9. Material de laboratorio necesario para la determinación de las pérdidas por calcinación

Determinación de las pérdidas por calcinación

Los objetivos de esta actividad son determinar el contenido en materia orgánica y otras pérdidas de peso asociadas a la calcinación. Este valor nos dará una aproximación del poder energético de estos lodos.

El material necesario en esta actividad es el siguiente: una mufla de calcinación, una cápsula de porcelana, una balanza, unos guantes de látex y una espátula. Todos estos elementos los podemos contemplar en la figura 9.

El procedimiento a seguir para realizar estas determinaciones es: tarar una cápsula de porcelana y se anota su peso (A), a continuación se pesan 100g de lodos secos en la cápsula de porcelana y se anota su peso (B). Seguidamente, se introduce la cápsula de porcelana con los lodos en la mufla de calcinación y se regula la temperatura hasta llegar a los 950°C. Se mantiene dicha temperatura durante tres horas. Pasado este tiempo se deja enfriar hasta temperatura ambiente. Finalizada la etapa anterior se pesa la cápsula de porcelana con los restos de los lodos ya calcinados, y se anota dicho peso (C). Finalmente, se determina el porcentaje de pérdida

por calcinación aplicando la ecuación:

$$\frac{(B - C) * 100}{(B - A)}$$

En este caso la pérdida de peso de la muestra se debe a la combustión de la materia orgánica y a la pérdida de agua de las fases hidratadas.

Estudio del efecto exotérmico. Poder calorífico de los lodos.

El objetivo de esta actividad es la comprobación del poder calorífico de los lodos mediante una experiencia transversal.

El material necesario en esta actividad es el siguiente: una mufla de calcinación, un crisol aluminoso, alúmina calcinada, un termopar, una campana extractora, lodo de depuradora seco y un medidor de consumo eléctrico. Todos estos elementos los podemos contemplar en la figura 10.

El procedimiento a seguir para realizar esta comprobación es: se coloca en el horno el crisol en el que se han introducido 100 g de alúmina calcinada. A través del orificio existente en la parte superior del horno se introduce el termopar de forma que quede cubierto por la alúmina situada en el interior del crisol. Se pone en marcha el horno y se calienta hasta la temperatura de 800°C y se anota el consumo producido durante este periodo (W1). A continuación, una vez finalizada la etapa anterior, se coloca en el horno el crisol en el que se han introducido 50 g de alúmina calcinada y 50 g de lodo seco una vez homogeneizados. Igual que en el caso precedente, también se introduce el termopar en su interior. Se pone en marcha el horno y se calienta hasta la temperatura de 800°C y se anota el consumo producido



Fig. 10. Material de laboratorio necesario para la realización del estudio del efecto exotérmico y el poder calorífico de los lodos.

durante este periodo (W2). Este consumo deberá ser inferior ya que hay un aporte energético debido a la combustión de la materia orgánica.

Para poder comparar los dos consumos obtenidos anteriormente (W1 y W2) es necesario normalizarlos a un peso común. Como el lodo seco contiene una parte de materia inorgánica, el total de materia no combustible introducida en el crisol será de:

$$A = 50 + 50 * \frac{\%MI}{100}$$

Donde MI es el porcentaje de materia inorgánica. Suponiendo que todo este peso fuera de alúmina, el consumo (W3) sería de:

$$\frac{A * W_1}{100}$$

El aporte calorífico (PC) correspondería a la diferencia entre los dos valores, es decir:

$$PC = W_3 - W_2$$

Si no se dispusiera de un medidor de consumo, se puede realizar una tabla con las temperaturas medidas con el termopar y los tiempos (tabla 2) para cada una de las dos mezclas estudiadas y se representaría la temperatura en función del tiempo (figura 11). En esta gráfica se puede observar como la muestra que contiene los lodos alcanza antes la temperatura indicada debido al aporte energético de los lodos que contiene.

Los objetivos de aprendizaje relacionados con la experiencia del laboratorio, los podemos desglosar en los tres apartados siguientes:

1.- Generales

- Conocer la relación entre el medio ambiente y la geología. La importancia del geólogo en la gestión de dicha problemática.
- Introducción al mundo de la Ciencia de los Materiales desde el punto de vista geológico.

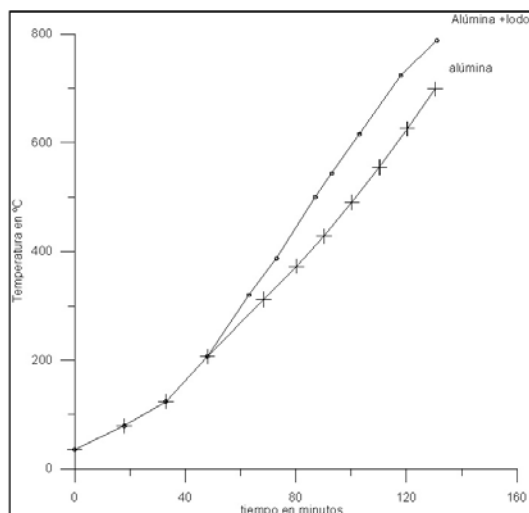


Tabla 2. Tabla de las temperaturas medidas con el termopar y los tiempos en los que se ha realizado.

- El carácter transversal de este tipo de trabajos en el que deben utilizarse conceptos que afectan a distintas materias de enseñanza.

2.- Específicas.

- Conocer la problemática específica de la depuradora que se visita: entorno geológico, presencia de industrias en la zona, núcleos habitados, etc.
- Saber qué es un vidrio y conocer las propiedades físico-químicas del mismo.
- Conocer las etapas más importantes del proceso de fabricación de un vidrio.
- Ver las posibilidades que ofrece el proceso de vitrificación en la resolución de problemas medio-ambientales.

3.- Habilidades y competencias.

- Capacidad para estudiar y recopilar la información necesaria.
- Saber interpretar y realizar correctamente gráficas y esquemas.
- Organizar adecuadamente un muestreo.
- Trabajar correctamente con equipamiento científico y cuidar del mismo.
- Ser capaz de realizar medidas en el laboratorio.
- Saber realizar correctamente un informe o trabajo de investigación.
- Ser capaz de realizar una exposición oral.

De manera complementaria otras actividades que se podrían realizar sería la visita a una fábrica de vidrio, que ilustra adecuadamente el proceso de vitrificación. Esta opción es más remota ya que requiere la existencia de una fábrica de vidrio cercana al centro. Dicha visita también puede sustituirse o complementarse con el visionado de algunos videos relacionados con el tema (El vidrio flotado <http://www.youtube.com/watch?v=Al4uZec8jZE&feature=related>). Si se consulta a través de Internet el programa de TV3 denominado "Quequicom" (<http://www.tv3.cat/videos/1572209>) se puede ver el proceso de vitrificación de un lodo de depuradora.

Otra actividad podría ser la observación y estudio de un vidrio de ventana, de un vidrio natural (obsidiana) o de una copa de cristal (vidrio con un 35-40% de PbO) que se puede realizar a simple

Fig. 11. Curva tiempo – temperatura para la alúmina y la mezcla alúmina - lodo utilizadas.

vista y luego con la ayuda de una lupa binocular (esteromicroscopio). Esta observación nos permite apreciar los defectos que pueden presentar los vidrios, presencia de burbujas, remolinos, etc. También pueden hacerse comentarios relacionados con el color de los vidrios y su brillo. Si se dispone de las composiciones químicas de los vidrios utilizados en el aula se puede incitar al debate sobre las propiedades observadas y su relación con la composición. Por ejemplo, al comparar el brillo del vidrio de ventana con el de la copa de cristal, se observa que es mayor en el de la copa de cristal debido a su mayor densidad por la presencia del Pb. También se puede incidir en el hecho de que el Pb, que es un elemento contaminante, queda perfectamente inertizado en la copa de cristal). Finalmente, se puede estimular a los alumnos para que sugieran una serie de productos que se podrían realizar con el vidrio obtenido en el proceso de vitrificación de un lodo de depuradora.

CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes que se pueden deducir de este trabajo son las siguientes:

1. La vitrificación es una alternativa viable en el proceso de gestión de los residuos sólidos y concretamente en este caso de los lodos de depuradora. De este modo se obtiene un nuevo producto que tiene un amplio espectro de aplicaciones tanto en el ámbito industrial como el doméstico.
2. Introducir al alumno en la problemática de la protección del medio ambiente, en este caso relacionado con la incidencia de los residuos sólidos, y concretamente con los lodos de depuradora.
3. Tener la oportunidad de visitar una depuradora y ser conscientes de la complejidad de dicha instalación, de su mantenimiento y del volumen de residuos generados. Debemos tener en cuenta que la normativa europea obliga a depurar las aguas de los municipios superiores a 2.000 habitantes.
4. Con las muestras recogidas en la depuradora y su posterior tratamiento en el laboratorio del centro, introducimos al alumno en el trabajo experimental y pueden aprender a tratar las muestras, observarlas, compararlas. También aprenden la correcta utilización de los equipos necesarios para la realización de dichas tareas.
5. El planteamiento del problema obliga a realizar un análisis de las características geológicas del

entorno en el cual se ha realizado la visita, para poder deducir las posibles incidencias que podrían ocasionarse con la contaminación de los acuíferos. De este modo, al alumno se le obliga a tener una visión de conjunto a partir de la actividad relacionada con el medio ambiente y las características geológicas de los terrenos en los cuales se encuentra situada la depuradora.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de las actividades divulgativas sobre la gestión de los residuos sólidos y la posibilidad de revalorizarlos para su posterior reutilización, que se desarrollan dentro de los objetivos del Grup d'Innovació docent de la Universitat de Barcelona 2008GIDC-UB/30, Mineralogia i òptica mineral.

BIBLIOGRAFÍA

Fernández-Navarro, J.M. (1985). El Vidrio Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.

García-Valles, M., Ávila, G.; Martínez, S., Terradas, R. y Nogués, J.M. (2007). Heavy metal-rich wastes sequester in mineral phases through a glass-ceramic process. *Chemosphere*, 68, 1946–1953

Moliner, M. (2007). La gestió dels fangs de depuradora d'aigües residuals municipals a Catalunya. Evolució històrica i estratègia de futur (nou Programa de fangs). III Jornades Tècniques de Gestió de Sistemes de Sanejament d'Aigües Residuals.

6º Programa de Actuación Medioambiental (6EAP)

<http://ec.europa.eu/environment/newprg/intro.htm>

Así se hace vidrio. El vidrio flotado

<http://www.youtube.com/watch?v=Al4uZec8jZE&feature=related>

La vitrificación: QueQuiCom TV3 <http://www.tv3.cat/videos/1572209>

http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P1225554461208201540084&profileLocale=es

aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/.../protocol_fangs.pdf

[Upcommons.upc.edu/.../PFC.VALORITZACIO_BIOSOLIDES.pdf](http://upcommons.upc.edu/.../PFC.VALORITZACIO_BIOSOLIDES.pdf)

Fecha de recepción del original: 12/11/10

Fecha de aceptación definitiva: 07/12/10