

RESIDUOS DE AMIANTO (ACM) TRATADOS TERMOQUÍMICAMENTE. OPCIONES PARA SU VALORIZACIÓN

Ana I. Ruiz (1), Almudena Ortega (1), Raúl Fernández (1), Estibaliz López-Samaniego (2), F. Javier Miranda (2), Luis García (3) y Jaime Cuevas (1)

- 1) Dpto. de Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, UAM, 28049 Madrid
- 2) Asociación Vertidos Cero, C/ Naciones 9, 28006 Madrid.
- 3) Desamianta S.A., C/ Dehesa Vieja 8, 28052 Madrid.



1. Introducción

Amianto o Asbesto es el nombre de un grupo de minerales fibrosos de distintas variedades: **actinolita, amosita, antofilita, crocidolita y tremolita** como anfíboles y el **crisotilo** del grupo de las serpentininas. Las fibras presentan son largas y resistentes, pudiéndose separar y siendo lo suficientemente flexibles como para ser entrelazadas. Debido a estas propiedades, el asbesto se ha usado en productos comerciales como:

- material de construcción (tejas, baldosas, azulejos, papel o cemento)
- industria del automóvil (embragues, frenos o componentes de la transmisión)
- materiales textiles, envases o revestimientos.

Utilizado masivamente a partir de los años 40: fibrocemento



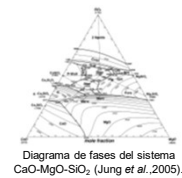
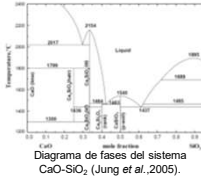
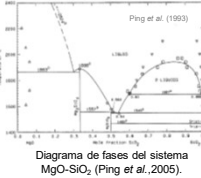
ACM (Asbestos Containing Materials) materiales que combinan el mineral fibroso con cemento con objeto de obtener un fibrocemento de gran resistencia mecánica.

OMS: Declarado cancerígeno en 1978
España, en el año 2001, prohíbe su uso y comercialización

¿Y sus residuos? **Vertedero**

2. Diseño de la experiencia de tratamiento del material residual

conversión termoquímica se basa en el carácter refractario de los silicatos de magnesio y calcio



Vitrificación:

matriz de cemento: rica en **Ca**
necesidad un medio alcalino rico en **Na y silice**
↓ PF
formación de silicatos con los metales del material (Ca, Mg, Al, Fe)

Materiales	T °C	Fundente
A, B, C, D	1100	-Ninguno
	1200	-Na ₂ CO ₃ /sepiolita (1:0.5)
		-Na ₂ CO ₃ /bentonita (1:0.5)

nanofibras de silicato de Mg
fuente de Al

3. Caracterización inicial: DRX - MEB

MATERIALES: desagregados por machaqueo, tamaño < 3 mm → **A, B:** cubierta, **C:** bajante **D:** gran onda

DRX

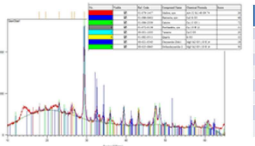
Difractómetro X'Pert PRO de Panalytical, con geometría θ/θ

MEB-EDX

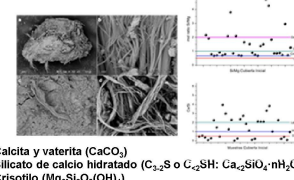
Microscopio Hitachi S-3000N
Analizador INCA-sight de Oxford Instrumen



Interpretación: X'Pert High Score Plus
Cuantificación: Método de los factores de RIR



FASES	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)
Crisotilo	20	15	15	15
Silicatos de Ca	50	55	40	40
Calcita	25	25	20	30
Cuarzo	<5	<5	5	<5
Vaterita	<5	<5	<5	<5
Portlandita	<5	<5	5	<5
Cristobalita	-	-	<5	-
Mullita	-	-	10	10



- Calcita y vaterita (CaCO₃)
- Silicato de calcio hidratado (C₃S o C₂SH: Ca₂SiO₄·nH₂O)
- Crisotilo (Mg₃Si₂O₈(OH))

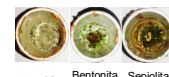
Fibras individuales: L > 5 μm; φ < 3 μm —FIBRAS DE ASBESTOS O AMIANTO

4. Ensayos de fusión parcial y recristalización

Materiales	T °C	Fundente
A, B, C, D	1100	-Ninguno
	1200	-Na ₂ CO ₃ /sepiolita (1:0.5)
		-Na ₂ CO ₃ /bentonita (1:0.5)

m = 2g de residuo + 0.5 cm³ H₂O
+
1.5 g de fundente
1 g de Na₂CO₃ + 0.5 g de sepiolita/bentonita

- Secado a 80 °-110 °C durante 1h
- Secado a 250 °C durante 1h
- Calentamiento hasta 1100 °C (45 min) o 1200 °C (60 min)
- Calentamiento a la temperatura de consigna durante 1h
- Apagado y enfriado durante 24h

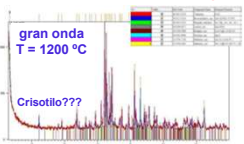


1100 °C Bentonita
1100 °C Sepiolita
1100 °C

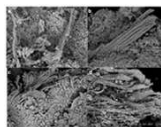


5. Caracterización final: DRX - MEB

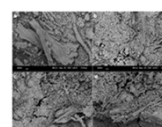
Tratamiento térmico (1100°C/1200°C) sin fundentes:



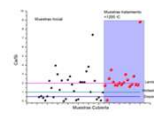
Formación:
- Silicatos Ca/Mg:
Bredigita, Gehlenita (Al) y Diopsido (Al)
- Fases de cemento:
Larmita y Brownillerita
- Periclasa
Desaparece:
- Carbonatos (calcita y vaterita)



1100°C
Granos soldados que encierran una red de poros micrométricos



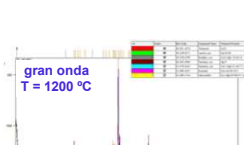
1200°C
Matriz más compacta y menos porosa: paquetes de fibras más densas



Silicatos de Calcio y magnesio: Diopsido/Enstatita (coherente con bredigita) y Silicatos de Calcio: Larmita

Fibras: No aparece exfoliación en los extremos

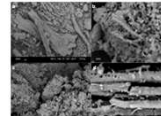
Tratamiento térmico (1100°C/1200°C) + sepiolita y Na₂CO₃



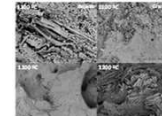
Formación:
- Silicatos Ca/Mg:
Bredigita, Gehlenita (Al), Monticelita (Fe), Akermanita y Diopsido (Al)
- Fases de cemento:
Larmita (y Brownillerita)
- Periclasa
Desaparece:
- Carbonatos (calcita y vaterita)

Fases	RIR	A/B-1100 (%)	A/B-1200 (%)	C-1100 (%)	C-1200 (%)	D-1100 (%)	D-1200 (%)
Bredigita	2.5	8	39	9	14	8	5
Diopsido	2.6	3	6	-	5	1	-
Gehlenita	2.5	2	39	5	4	2	2
Akermanita	2.5	-	16	-	-	-	-
Monticelita	2.5	-	6	-	6	2	-
Larmita	0.6	18	-	26	20	30	36
Brownillerita*	0.6	-	-	17	9	-	-
Hatburita	0.9	-	-	-	-	-	-
Carraigita	3.4	-	-	-	-	-	-
Silic. Na/Mg/Al	3.0	7	-	-	21	6	6
Periclasa	2.4	4	-	12	7	6	6
Enstatita	3.0	29	-	4	22	-	-
Diopsido	1.0	26	7	24	14	18	42
Tremolita	5.0	1	-	1	2	1	1
Cuarzo	3.0	3	8	-	-	-	-

Cubierta



1100°C



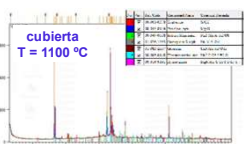
1200°C

A 1200°C: agregados con recubrimientos que hacen que su aspecto externo sea poli-granular y que en ningún caso se conserve el hábito fibroso

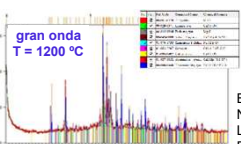
1100°C: Na₂CO₃ sin reaccionar / brownillerita; 1200°C: se descarta la presencia de crisotilo

1100°C: Silicatos de Calcio (Larmita-Akermanita) y Periclasa; 1200°C: Silicatos de Magnesio (Diopsido-Akermanita)

Tratamiento térmico (1100°C/1200°C) + bentonita y Na₂CO₃

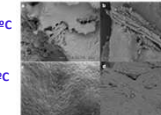


Bentonita: ↑ Al y Fe → ↓ PF
Aparecen componentes no combinados:
- Periclasa
- Carbonato de Na
- Hidrotalcita (óxido mixto MgO/Al₂O₃)



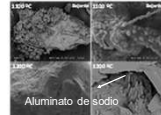
Bredigita / Akermanita
Na/Mg/Al
Larmita
Periclasa

Cubierta



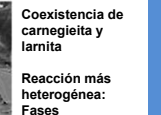
1100°C: Componentes no combinados

Bajante



1200°C: Silice (Wollastonita o akermanita)

Gran Onda



Coexistencia de carnejita y larmita
Reacción más heterogénea:
Fases Na-Al-Si
Ca-Mg-Si

6. Conversión termoquímica de ACM y productos para la valorización

Los resultados obtenidos por DRX y por MEB-EDX son coherentes y permiten identificar con seguridad las fases minerales producto de la transformación de los residuos ACM. Esto nos permite llegar a diversas conclusiones sobre el potencial de los tratamientos realizados y las posibilidades de valorización.

- ✓ Residuos de asbesto tratados TÉRMICAMENTE (sin fundentes): contienen minerales de aspecto fibroso, aunque no se aprecia exfoliación. La presencia de brownillerita (12.2 y 33.9 °2θ) no permite descartar la presencia de crisotilo residual (12.2 °2θ).
- ✓ El crisotilo no es estable a partir de 800 °C: la ausencia de carbonatos, la presencia de ferita, la estabilidad de larmita (C2S) y la ausencia de C-S-H indican que se han alcanzado temperaturas por encima de los 1000-1100°C.
- ✓ La síntesis de bredigita, indica la transformación de los silicatos de Mg a temperaturas de 1100-1200°C.
- ✓ Tratamiento con SEPIOLITA: se produce la transformación más completa del crisotilo, apenas existe interferencia de la fase brownillerita. La sepiolita no deja la huella de porosidad ni de hábito (fibroso), que pudiera confundir o hacer que la interpretación de los resultados fuese ambigua, en el sentido de la identificación de los asbestos.
- ✓ Tratamiento con BENTONITA: a pesar de la existencia de brownillerita, los resultados en DRX y SEM, especialmente a 1200°C, son coherentes con una transformación masiva del crisotilo y de sus morfologías características.
- ✓ Los nuevos materiales que se han producido están provistos de proporciones importantes de C2S y MgO, son susceptibles de tener propiedades hidráulicas, y por tanto de servir como componentes de cementos. Esto puede ser un primer paso hacia su valorización material. En la última década se están dedicando importantes esfuerzos en la investigación de cementos basados en la química del magnesio dado su uso en la encapsulación de residuos radiactivos o en aplicaciones que requieran aglomerantes hidráulicos de bajo pH (<11) como alternativa al cemento Portland. Los cementos de bajo pH minimizan las barreras compuestas con bentonitas u otras rocas arcillosas en la fabricación de pantallas impermeables. Esto mejora su durabilidad en diversas aplicaciones para el aislamiento de residuos y otras labores de impermeabilización de obra civil. Otras posibilidades que se han considerado para la valorización material de los productos resultantes han sido: gresificación (vitrificación parcial); materiales para edificación (baldosas, porcelana blanca; ladrillos de arcilla; lana de roca y lana de vidrio); Carbonatización artificial del material con contenido en amianto para poder almacenar CO₂; Almacenamiento de energía térmica de alta temperatura (400°C a 1000°C) en procesos de concentración de energía solar; Composites: reforzando con el material obtenido la matriz del polipropileno (PP).

Este proyecto identificado con el nº 20141185 ha sido financiado por:

Referencias

- Jung I.-H., Decker S. A., Pelton A.D. (2005). Critical thermodynamic evaluation and optimization of the CaO-MgO-SiO₂ system. Journal of the European Ceramic Society 25 (2005) 313-333.
- Ping W., Gunnar E., Pelton A.D., Blander M. (1993). Prediction of silicate of the thermodynamic properties and phase diagrams systems evaluation of the FeO-MgO-SiO₂ system. ISIJ International 33 (1) 26-35.

