

## RESIDUOS DE AMIANTO. CONVERSIÓN TERMOQUÍMICA: HACIA SU DESCLASIFICACIÓN COMO RESIDUO PELIGROSO Y SU VALORIZACIÓN MATERIAL

EL AMIANTO, EN CADA UNA DE SUS SEIS FORMAS (ACTINOLITA, AMOSITA, ANTOFILITA, CROCIDOLITA Y TREMOLITA COMO ANFÍBOLES Y EL CRISOTILO DEL GRUPO DE LAS SERPENTINAS), ES UN CARCINÓGENO QUE PROVOCA LA MITAD DE LAS MUERTES POR CÁNCER OCUPACIONAL A NIVEL MUNDIAL. CERCA DE 125 MILLONES DE PERSONAS SE ENCUENTRAN EXPUESTAS AL AMIANTO EN SU LUGAR DE TRABAJO, ESTIMÁNDOSE QUE CADA AÑO 107.000 PERSONAS FALLECEN POR CÁNCER DE PULMÓN, MESOTELIOMA Y ASBESTOSIS DEBIDOS A LA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL AL AMIANTO Y 400 DEFUNCIONES POR EXPOSICIONES NO OCUPACIONALES AL MISMO.

Las afecciones derivadas de la exposición al amianto se producen por inhalación de las fibras de este mineral. Éstas se encuentran distribuidas en gran cantidad de productos e instalaciones en un número indeterminado de instalaciones y edificios. Por ello, la exposición a las fibras de amianto será más pronunciado cuanto mayor sea la cercanía a los puntos emisores o en el interior de edificaciones construidas con materiales con contenido en amianto. Los edificios más antiguos todavía albergan materiales fabricados con crisotilo y anfíboles friables en su estructura, siendo una fuente de exposición a estas fibras en el curso de su mantenimiento, manipulación, eliminación y demolición<sup>1</sup>. Aunque en diciembre de 2001, España prohibió la comercialización y utilización del crisotilo, el largo periodo de latencia hace que las personas que se vieron expuestas antes de la prohibición puedan desarrollar enfermedades relacionadas muchos años más tarde.

La propuesta de resolución del Parlamento Europeo (2012/2065(INI) sobre los riesgos para la salud en el lugar de trabajo relacionados con el amianto y perspectivas de eliminación de todo el amianto existente, señala: "...deben tomarse medidas... para promover y apoyar tecnologías...así como la investigación en este ámbito, y



Figura 1. Burbuja de seguridad y equipos y materiales empleados en la preparación de las muestras | Figure 1. Airtight safety area, and equipment and materials used in preparation of samples

## ASBESTOS WASTE. THERMOCHEMICAL CONVERSION: TOWARDS DECLASSIFICATION AS HAZARDOUS WASTE AND MATERIAL RECOVERY

ASBESTOS, IN EACH OF ITS SIX FORMS (ACTINOLITE, AMOSITE, ANTHOPHYLLITE, CROCIDOLITE AND TREMOLITE AS AMPHIBOLES, AND CHRYSOTILE FROM THE SERPENTINE GROUP) IS A CARCINOGEN THAT CAUSES HALF OF THE DEATHS FROM OCCUPATIONAL CANCER WORLDWIDE. ALMOST 125 MILLION PEOPLE ARE EXPOSED TO ASBESTOS IN THE WORKPLACE AND IT IS ESTIMATED THAT 107,000 PEOPLE PER ANNUM DIE FROM LUNG CANCER, MESOTHELIOMA AND ASBESTOSIS DUE TO OCCUPATIONAL EXPOSURE TO ASBESTOS. A FURTHER 400 DEATHS ARE ATTRIBUTED TO NON-OCCUPATIONAL EXPOSURE TO ASBESTOS.

Diseases associated with asbestos exposure occur due to the inhalation of fibres of this mineral. Asbestos fibres are to be found in a wide range of products and a huge number of facilities and buildings. Exposure to asbestos fibres is more pronounced if the points of emission are closer and inside buildings made of materials with asbestos content. Older buildings still house materials made of chrysotile and friable amphiboles in their structures and exposure to these fibres occurs in the course of maintenance, handling, elimination and demolition<sup>1</sup>. Although Spain prohibited the sale and use of chrysotile in December 2001, the long latency period means that those exposed to it prior to its prohibition may develop associated diseases many years later.

The Motion for a European Parliament Resolution (2012/2065(INI) on asbestos related occupational health threats and prospects for abolishing all existing asbestos, points out that "...measures must be taken: to promote and support research into, and technologies using, and to secure procedures, such as the inertisation of waste-containing asbestos, to deactivate active asbestos fibres and convert them into materials that do not pose public health risks". This motion also proposes that agents responsible for asbestos waste treatment in landfills guarantee its classification as hazardous waste and its disposal in landfills specially designed for this type of waste in compliance with Directive 1999/31/EC.

For these reasons, private company Desamianta, along with the team led by Professor Jaime Cuevas of the Universidad Autónoma de Madrid and the Asociación Vertidos Cero, is currently undertaking a project on the thermochemical conversion of waste with asbestos content. The project has two stages. The preliminary results of the first stage, which focuses on the characterisation of the products obtained through thermochemical conversion, partial fusion and recrystallisation of asbestos containing materials (ACM), are published in this article. The second stage concentrates on studying the feasibility of declassification as a hazardous waste and recovery of the product obtained for sale on the market. This project, therefore, researches the possibility of recycling this waste, removing the asbestos fibres, converting them into other materials (secondary raw materials), and achieving end of waste criteria in order to reintroduce the waste into the production process, thus enabling it to be recovered and "closing the circle", as outlined in the new Circular Economy Package promoted by the European Commission.

<sup>1</sup> Organización Mundial de la Salud. (2015). Asbesto crisotilo. Departamento de Salud Pública, Medio Ambiente y Determinantes Sociales de la Salud (PHE). Biblioteca de la OMS. pp 43. | WHO (2015). Chrysotile asbestos. Department of Public Health Environmental and Social Determinants of Health (PHE). WHO publications . pp 43.

asegurar procedimientos, como la estabilización de residuos que contengan amianto, para descomponer las fibras de amianto activas y convertirlas en materiales que no supongan un riesgo para la salud pública". Esta propuesta también indica que los agentes para el tratamiento de los residuos de amianto en vertederos, tratamiento para este tipo de residuos, garanticen su clasificación como residuos peligrosos y su depósito en vertederos destinados a este tipo de residuos conforme a la Directiva 1999/31/CE.

Por estas razones, la empresa Desamianta junto al equipo dirigido por el Profesor. Jaime Cuevas de la Universidad Autónoma de Madrid y la Asociación Vertidos Cero, se encuentran desarrollando un proyecto sobre conversión termoquímica de residuos con contenido en amianto. Este proyecto se desarrolla en dos fases, una primera fase, los primeros resultados se presentan en este artículo, de caracterización de los productos obtenidos mediante conversión termoquímica, fusión parcial y recristalización de materiales que contienen amianto (ACM: Asbestos Containing Materials); una segunda fase con el estudio de viabilidad de desclasificación como residuo peligroso, valorizando el producto obtenido para su inclusión en el mercado. Con este proyecto se investigan las posibilidades de reciclar estos residuos, eliminando las fibras de amianto, transformándolas en otros materiales (materias primas secundarias), eliminando la condición de residuo para reintroducirlas en el proceso productivo y permitiendo valorizar estos residuos contribuyendo a "cerrar el círculo" presentado en el paquete de nuevas medidas para la Economía Circular promovido por la Comisión Europea.

La fusión de las variedades de silicatos de magnesio, que constituyen el amianto, no se produce hasta temperaturas superiores a los 1500°C pero su descomposición se produce a partir de los 800°C, aunque no se asegura la desaparición de morfologías fibrosas. Esto hace que se contemple la incorporación de otros componentes, como  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SO_2$  y  $CO_2$ , facilitando la disminución del punto de fusión de los materiales, o la transformación de diversas fases sólidas presentes en los fibrocementos, materiales que combinan el mineral fibroso con un aglomerante hidráulico (cemento), según señalan otros estudios<sup>2</sup>.

Nuestra aportación al utilizar arcillas especiales como la bentonita (fuente de aluminio) o sepiolita (nanofibras de silicato de magnesio), que proporcionen sílice, aglutinen las mezclas en húmedo y mejoren el contacto entre los componentes intentando reducir los costes energéticos del proceso.

Los residuos empleados como materiales iniciales corresponden a materiales de fibrocemento de distintas tipologías: cubiertas, bajantes y estructuras de gran onda. Los distintos fibrocementos fueron desagregados para obtener un material de tamaño de grano menor a 3mm. A continuación se llevaron a cabo las mezclas con fundente ( $Na_2CO_3$ , y arcilla mezclados con el residuo en húmedo) en un crisol de porcelana sellada con pasta de bentonita. Todas las mezclas se realizaron bajo condiciones estancas de seguridad de acuerdo al RD 396/2006 sobre exposición al amianto (Figura 1). Los crisoles se introdujeron en un horno mufla y las muestras se trataron térmicamente a 1100°C (45 minutos) o 1200°C (60 minutos) (Figura 2).

Para llevar a cabo la actividad de caracterización del producto inicial y final se han empleado técnicas de análisis de difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB) descritas en la norma EPA 600/R-93/116. El análisis mediante la DRX, de la composición mineralógica de los residuos que contienen ACM, per-

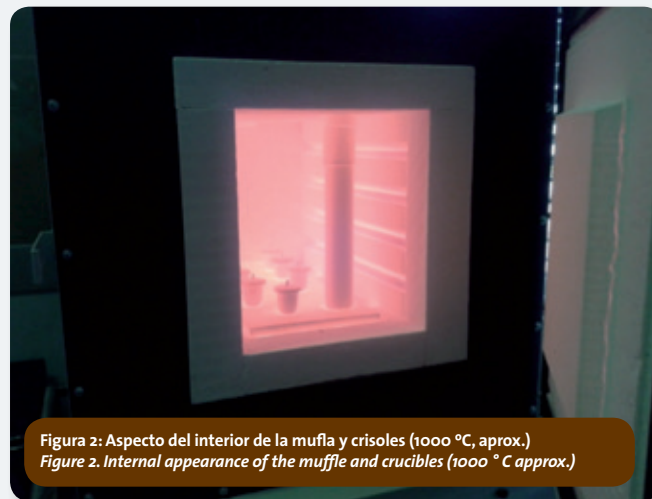


Figura 2: Aspecto del interior de la mufla y crisoles (1000 °C, aprox.)  
Figure 2. Internal appearance of the muffle and crucibles (1000 °C approx.)

The fusion of the varieties of magnesium silicates that constitute asbestos does not take place at temperatures of less than 1,500 °C but their decomposition takes place from temperatures of 800 °C, although the disappearance of their fibrous morphologies is not guaranteed. For this reason, the incorporation of other components, such as  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SO_2$  and  $CO_2$  is contemplated, in order to facilitate a lowering of the fusion temperature of the materials, or the conversion of the different solid phases present into fibre cements, which combine the fibrous mineral with a hydraulic binder (cement), as has been outlined in other studies<sup>2</sup>.

Our contribution is the use of special clays, such as bentonite (source of aluminium) or sepiolite (magnesium silicate nanofibres), which provide silica, agglutinate the moist mixtures and improve contact between components, with a view to reducing the energy costs of the process.

The waste used as initial material is asbestos cement or cement sheet of different types: roofs, down-pipes and large corrugated structures. These asbestos fiber cements were disaggregated to obtain a material with a grain size of less than 3 mm. After that, the mixes were created using a fluxing agent ( $Na_2CO_3$ , and clay mixed with the moist waste) in a porcelain melting crucible sealed with bentonite paste. All the mixes were created in secure airtight box conditions, in accordance with the provisions of Spanish regulation RD 396/2006 on exposure to asbestos (Figure 1). The melting pots were placed in a muffle furnace and the samples underwent thermal treatment at 1,100 °C (45 minutes) or 1,200 °C (60 minutes) (Figure 2).

X-ray diffraction (XRD) technology and scanning electron microscopy (SEM) technology, as described in the EPA 600/R-93/116 standard, were used in order to carry out characterisation of the initial and final product. The XRD analysis of the mineralogical composition of the waste containing ACM enabled assurance of the virtual absence of the phases corresponding to tremolite, actinolite, crocidolite and amosite (grunerite) asbestos, in accordance with the EPA-600-R-93-116 standard.

In all cases, chrysotile (15-20%) was identified as the main asbestos in the initial fibre cement composition. The individual fibres making up the chrysotile bundles were of a length of over 5 micrometres and a diameter of less than 3 micrometres, meaning that they correspond to the definition of asbestos fibres presented in RD 396/2006.

<sup>2</sup> Gualtieri A.F., Cavenati C., Zanatto I., Meloni M., Elmi G., Lassinantti Gualtieri M., 2008. The transformation sequence of cement-asbestos slates up to 1200 °C and safe recycling of the reaction product in stoneware tile mixtures. *Journal of Hazardous Materials* 152, 563–570. | Gualtieri A.F., Cavenati C., Zanatto I., Meloni M., Elmi G., Lassinantti Gualtieri M., 2008. The transformation sequence of cement-asbestos slates up to 1200 °C and safe recycling of the reaction product in stoneware tile mixtures. *Journal of Hazardous Materials* 152, 563–570.

mite asegurar la virtual ausencia de fases que se corresponden con amianto de tremolita, actinolita, crocidolita o amosita (grunerita), según explica la norma EPA-600-R-93-116.

En todos los casos se ha identificado el crisotilo (15-20%) como amianto principal en la composición inicial del fibrocemento. Las fibras individuales que componen los haces de crisotilo son de longitud superior a 5 micrómetros y diámetro inferior a 3 micrómetros, por lo que se ajustan a la definición de fibras de amianto que refleja el RD 396/2006.

En la caracterización inicial del fibrocemento previo al tratamiento, las muestras presentan como fase mayoritaria los silicatos de calcio, (larnita y hatrurita). La presencia importante de calcita y vaterita (carbonatos de calcio) implica que pudieran estar en la mezcla inicial (adicionados al clinker de cemento) o ser producto de la carbonatación del hidróxido de calcio, presente en baja proporción.

El aspecto en la MEB de los fragmentos correspondientes a los residuos de los tres fibrocementos son, a pequeño aumento, granos irregulares masivos en los que aparecen agregados fibrosos surgiendo en discontinuidades y grietas (Figura 3). Los análisis químicos realizados en MEB-EDX están de acuerdo con la presencia de calcita y vaterita, silicato de calcio hidratado ( $C_3\text{-}2S$  o  $C\text{<}2SH$ :  $Ca\text{<}2SiO_4\text{-}nH_2O$ ) y crisotilo ( $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ ).

El objetivo principal de esta caracterización es verificar que los minerales clasificados como amianto se transforman por el tratamiento térmico empleado en otras fases.

Los residuos de amianto tratados térmicamente, sin el uso de fundentes, se caracterizan por haber perdido los carbonatos (calcita y vaterita), y por la formación de silicatos de calcio y magnesio entre los que predominan la larnita ( $Ca_2SiO_4$ ), bredigita ( $Ca_7MgSi_4O_{16}$ ) y gehlenita (serie de las melilitas: akermanita-gehlenita ( $Ca_2Mg(Si_2O_7)$ ) a  $Ca_2Al(AlSiO_7)$ ). También aparece periclasa ( $MgO$  libre).

La presencia de larnita y brownmillerita (ferrita:  $Al_2Ca_4Fe_2O_{10}$ ) son productos característicos de la conversión térmica de los ACM y son minerales típicos del clinker de cemento<sup>3</sup>. La presencia de brownmillerita, por DRX, no permite descartar la presencia de crisotilo residual, ya que las reflexiones más intensas de ambas fases aparecen en el mismo rango de  $2\theta$ .

El aspecto en microscopía electrónica de barrido (MEB) de los fragmentos correspondientes a los residuos que contienen ACM en

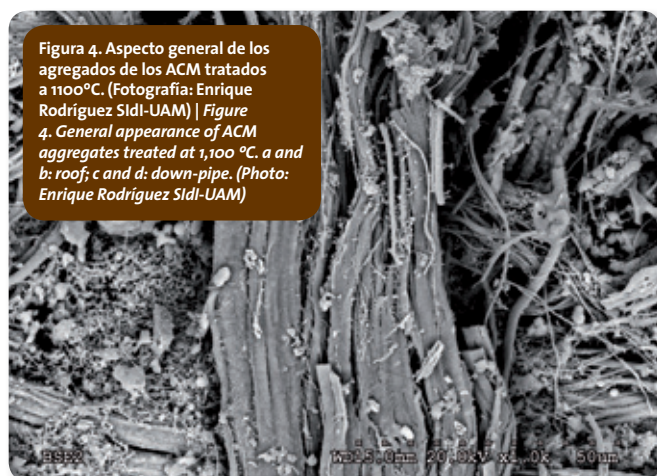


Figura 4. Aspecto general de los agregados de los ACM tratados a 1100°C. (Fotografía: Enrique Rodríguez Sidi-UAM) | Figure 4. General appearance of ACM aggregates treated at 1,100 °C. a and b: roof; c and d: down-pipe. (Photo: Enrique Rodríguez Sidi-UAM)



Figura 3. Granos, agregados y fibras características de las muestras de fibrocemento. (Fotografía: Enrique Rodríguez Sidi-UAM) | Figure 3. Granules, aggregates and fibres characteristic of the fibre cement samples. a and b: roof samples, c: down-pipes, d: large corrugated sheets. (Photo: Enrique Rodríguez Sidi-UAM)

In the initial characterisation of the asbestos cements, prior to treatment, the samples presented a major phase of calcium silicates (larnite and hatrurite). The significant presence of calcite and vaterite (calcium carbonates) implies that they may have been present in the initial mix (added to the clinker) or that they may be a product of the carbonation of the calcium hydroxide, which is present in a low proportion.

The low magnification SEM images of the fragments corresponding to the waste of the three cement sheets containing asbestos fibers shows massive irregular granules in which fibrous aggregates emerge in areas of discontinuity and microcracks (Figure 3). The chemical analyses carried out with SEM-EDX are consistent with the presence of calcite and vaterite, hydrated calcium silicate ( $C_3\text{-}2S$  or  $C\text{<}2SH$ :  $Ca\text{<}2SiO_4\text{-}nH_2O$ ) and chrysotile ( $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ ).

The main objective of this characterisation is to verify that the minerals classified as asbestos are converted by the thermal treatment implemented in other phases.

The waste asbestos that is thermally treated, without the use of fluxing agents, is characterised by a loss of carbonates (calcite and vaterite) and by the formation of calcium and magnesium silicates, with a predominance of larnite ( $Ca_2SiO_4$ ), bredigite ( $Ca_7MgSi_4O_{16}$ ) and gehlenite (series of melilitas: akermanite-gehlenite ( $Ca_2Mg(Si_2O_7)$  to  $Ca_2Al(AlSiO_7)$ ). Periclasa (free  $MgO$ ) is also present.

The presence of larnite and brownmillerite (ferrite:  $Al_2Ca_4Fe_2O_{10}$ ) are characteristic products of the thermal conversion of ACM and are minerals typical of clinker<sup>3</sup>. The presence of brownmillerite, detected by XRD analysis, does not enable the presence of residual chrysotile to be ruled out, because the most intense reflections of the two stages appear in the same range of  $2\theta$ .

The scanning electron microscope (SEM) images of the fragments corresponding to the waste containing ACM in treatments at 1,100 °C shows a section of fused granules enclosing a network of micrometric pores. It is clear that the fibrous morphologies are conserved, although exfoliated ends are not observed (Figure 4). The elemental composition reflects the existence of enstatite diopside type calcium and magnesium silicates (coherent with bredigite) and calcium silicates (larnite). This means that the Chrysotile is mainly converted into other silicates. Some analyses carried out on the matrix show high aluminium content that may

<sup>3</sup>Viani A., Gualtieri A.F., Pollastri S., Rinaudo A., Croce A., Urso G., 2013. Crystal chemistry of the high temperature product of transformation of cement-asbestos. Journal of Hazardous Materials 248–249, 69–80. | Viani A., Gualtieri A.F., Pollastri S., Rinaudo A., Croce A., Urso G., 2013. Crystal chemistry of the high temperature product of transformation of cement-asbestos. Journal of Hazardous Materials 248–249, 69–80.

los tratamientos a 1100°C muestra una trama de granos soldados que encierran una red de poros micrométricos. Es evidente que las morfologías fibrosas se conservan aunque no se aprecian terminaciones exfoliadas (Figura 4). La composición elemental refleja la existencia de silicatos de calcio y magnesio tipo diópsido/enstatita (coherente con bredigita) y silicatos de calcio tipo (larnita). Esto quiere decir que el crisotilo se encuentra mayoritariamente transformado en otros silicatos. Existen análisis sobre la matriz con contenidos en aluminio altos que pueden responder a la presencia de fases de tipo gehlenita o a la presencia de fases de aluminoferrita (brownmillerita).

Los tratamientos a 1200°C muestran una matriz más compacta y menos porosa. Esto se refleja en valores relativamente más bajos de superficie específica (4-5 m<sup>2</sup>/g a 1100°C hasta 2-4 m<sup>2</sup>/g a 1200°C). Los paquetes de fibras son densos y soldados. En este caso, es mucho más evidente que no hay exfoliación fibrosa en los extremos (Figura 5).

Las muestras tratadas con sepiolita y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, se caracterizan también por la formación de silicatos de calcio y magnesio entre los que predominan la larnita (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) y bredigita (Ca<sub>7</sub>MgSi<sub>4</sub>O<sub>16</sub>). Ésta aparece en mayor proporción en comparación con los tratamientos sin fundente, ya que incorpora magnesio y calcio en su composición. El sistema reacciona generando óxido de magnesio libre (periclase) en todos los tratamientos. A 1100°C se detecta Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sin reaccionar, y la diferencia con los tratamientos a 1200°C se centra en la aparición, en pequeña proporción de un silicato de Na, Al y Mg de estructura semejante a la carnegieita (Na<sub>2-x</sub>Al<sub>2-x</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>4</sub>, 0 ≤ x ≤ 1; derivada de la beta-cristobalita; polimorfo de la sílice)). También aparecen diopsido (MgCaSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>), monticellita (CaMgSiO<sub>4</sub>), akermanita (Ca<sub>2</sub>(MgSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) y gehlenita (serie de las melilitas: akermanita - gehlenita Ca<sub>2</sub>Mg(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) a Ca<sub>2</sub>Al(AlSiO<sub>7</sub>)). Los agregados observados mediante MEB-EDX muestran recubrimientos en pseudomorfos de haces de fibras que hacen que su aspecto externo sea poli-granular y que en ningún caso se conserve el hábito fibroso. A 1200 °C estos hábitos prácticamente no se ven, y los pocos pseudomorfos de fibras parten de forma frágil y sin exfoliación fibrosa, el componente más importante es un silicato de calcio-sodio-magnesio, en general ricos en sílice. La presencia de una mezcla de fases de tipo carnegieita (Na-Si) con bredigita (Ca, Mg) podrían explicar estos análisis. El predominio de masas soldadas en este tipo de tratamiento conduce a la formación de materiales con superficies específicas bajas, normalmente en torno a 2 m<sup>2</sup>/g. Esto indica, por otra parte que el uso de 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 del amianto.

Una vez visto el resultado de los tratamientos, se puede afirmar que los materiales están provistos de proporciones importantes de larnita y periclase, y que son susceptibles de tener propiedades hidráulicas, y servir como componentes de cementos. También son susceptibles de ser fácilmente carbonatados, dentro o no de un cemento con adiciones de caliza, lo que sería un primer paso hacia su valorización material con el consiguiente ahorro en emisiones de CO<sub>2</sub>.

Este proyecto identificado con el n° 20141185 ha sido financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI).

Luis García; Javier Rodríguez; Juan Extremera; Jaime Cuevas;  
Ana Isabel Ruiz; Almudena Ortega; Raúl Fernández;  
Estíbaliz López-Samaniego; Javier Miranda.



Figura 5. Aspecto de las muestras de residuo tratadas con sepiolita y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. 1200°C. No existe exfoliación fibrosa (Fotografía: Enrique Rodríguez Sldl-UAM) | Figure 5. Appearance of the sample of roofing waste (A and B), treated with sepiolite and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. 1,100 °C (a and b). 1,200 °C (c and d). There is no fibrous exfoliation. (Photo: Enrique Rodríguez Sldl-UAM)

be due to the presence of gehlenite type phases or the presence of aluminoferrite (brownmillerite) phases. The treatments carried out at 1,200 °C show a more compact and less porous matrix. This is reflected in relatively lower specific surface area values (4-5 m<sup>2</sup>/g at 1,100 °C to 2-4 m<sup>2</sup>/g at 1,200 °C). The fibre bundles are dense and fused. In this case, it is far more obvious that there is no fibrous exfoliation at the ends (Figure 5).

The samples treated with sepiolite and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> are also characterised by the formation of calcium and magnesium silicates among which larnite (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) and bredigite (Ca<sub>7</sub>MgSi<sub>4</sub>O<sub>16</sub>) predominate. This appears in greater proportion compared to treatments without fluxing agents, because magnesium and calcium were incorporated in its composition. The system reacts and generates free magnesium oxide (periclase) in all treatments. At 1,100 °C, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> that does not react completely is detected, and the difference with treatments at 1,200 °C includes the formation of small proportions of Na, Al, Mg silicate with a structure similar to that of carnegieite (Na<sub>2-x</sub>Al<sub>2-x</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>4</sub>, 0 ≤ x ≤ 1; derived from beta-cristobalite; a polymorph of silica)). There is also a presence of diopside (MgCaSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>), monticellite (CaMgSiO<sub>4</sub>), akermanite (Ca<sub>2</sub>(MgSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) and gehlenite (series of de melilitas: akermanite - gehlenite Ca<sub>2</sub>Mg(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) to Ca<sub>2</sub>Al(AlSiO<sub>7</sub>)). The aggregates observed by means of SEM-EDX show grain coatings on pseudomorfs of fibre bundles, which create a poly-granular external appearance and the fibrous habit is not conserved in any of the cases. At 1,200 °C, these habits are practically not seen and the few fibre pseudomorfs separate in fragile form and without fibrous exfoliation. The most significant component is a calcium-sodium-magnesium silicate, generally rich in silica. The presence of a mix of carnegieite type phases (Na-Si) with bredigite (Ca, Mg) may explain these analyses. The predominance of fused masses in this type of treatment leads to the formation of materials with low specific surface areas, usually around 2 m<sup>2</sup>/g. This indicates that the use of sepiolite does not leave a signature of high porosity or (fibrous) habit, which might lead to confusion or to the ambiguous interpretation of the results, in terms of identification of the asbestos fibers.

Looking at the results of the treatments, it can be stated that the materials have significant proportions of larnite and periclase, and that they are susceptible to having hydraulic properties and serving as components of cement. They are also susceptible to being easily carbonated in a cement with or without limestone, which would be a first step towards material recovery and a consequent saving in CO<sub>2</sub> emissions.

This project (no. 20141185) was financed by the Centre for the Development of Industrial Technology (CDTI).