

Mezclas de residuos con bentonita para impermeabilizar vertederos

Mercedes Regadío (1*), Javier Navarro (1), José Manuel Moreno-Maroto (1), Jaime Cuevas (1)

(1) Departamento de Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma de Madrid, 28049, Madrid (España)

* corresponding author: mercedes.regadio@uam.es

Palabras Clave: Barreras, Vertederos, Residuos, Bentonita. **Key Words:** Barriers, Landfills, Waste, Bentonite.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las políticas se centran en la transición a una economía circular a través de la prevención, reducción y gestión adecuada de residuos (European Commission, 2020). Por tanto, es necesario la valorización de residuos para minimizar tanto la pérdida de recursos en forma de materiales y energía, como los impactos negativos asociados. En este trabajo se han estudiado las propiedades de dos tipos de residuos para su posible aplicación en barreras minerales de sellado de vertederos: áridos finos mixtos (AFM) que son rechazo de plantas de tratamiento de residuos de construcción y demolición, y caucho de neumáticos usados (CNU), tanto granulado como mezclado con textil, que se origina en plantas de tratamiento de neumáticos fuera de uso. Estos residuos se producen en grandes cantidades y son difíciles de recolocar en el mercado. Después del tratamiento para su reutilización o reciclaje, los AFM suelen acabar en vertedero debido a su baja aceptación como áridos reciclados, al tener un tamaño fino de partícula y una composición altamente heterogénea mientras que el CNU se acumula en la planta debido a una generación mayor que la demanda. Un posible uso de estos residuos en grandes cantidades es en la construcción y estabilización de barreras minerales de sellado de vertederos. Añadiendo cantidades pequeñas de bentonita (entre 7 – 10% para arenas, según Eid et al., 2009) aumentaríamos su poder de impermeabilización, evitando que los contaminantes salgan al exterior. El objetivo de este trabajo es estudiar las características de AFM y CNU como materiales no peligrosos para construir rellenos y revestimientos de vertederos, usando <7% de bentonita.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los AFM estudiados proceden del proceso de producción de áridos reciclados a partir de “residuos mixtos” (i.e., sin segregación en origen) de construcción y demolición de una planta de Colmenar Viejo (Madrid). Se tomaron ≈ 30 kg de la fracción más fina (≤ 2 mm) al ser los áridos que más difícilmente se valorizan y que con frecuencia acaban en vertederos. El CNU procede de una planta de tratamiento de neumáticos fuera de uso situada en Chiloeches (Castilla la Mancha) y de este se examinaron dos muestras, un granulado (CNUg) formado por polvo de caucho de neumático de $\leq 0,8$ mm y el rechazo del tratamiento (CNUr) formado por la mezcla de caucho y textil de neumático que no logró separarse. La bentonita comercial empleada como aditivo (blanquecina y pulverulenta), es de tipo Wyoming con Na en el espacio interlamina y, por tanto, gran capacidad de absorción de agua. Por último, se ha empleado una arena comercial como árido de referencia (CEN-NORMSAND-DIN-EN196-1) para comparar con los resultados obtenidos con los AFM.

Los ensayos de conformidad para comprobar si los AFM y CNU liberarían en contacto con agua elementos nocivos, se hicieron conforme a la norma UNE-EN 12457-1:2003, adaptando el tiempo del ensayo a las velocidades de rotación de los equipos (3600 revoluciones en 2,5 y 4,5 h; en vez de 6 h). En la fase acuosa extraída ($S/L = 1/2$) se ha medido el pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, carbono orgánico, aniones (7) y metales disueltos (12). La composición de C, H, N y S se ha cuantificado en 1 mg de material (a partir de ≈ 4000 mg molidos en molino de bolas) por análisis químico elemental. El contenido de humedad, materia orgánica, y diversas fases que incluyen sulfuros, sulfatos, minerales hidroxilados y fases carbonatadas se determinó por termogravimetría en 5-10 mg de material molido, calentando de 25 a 1000°C a 20°C/min bajo atmósfera de N₂. La composición mineralógica semicuantitativa se ha llevado a cabo en muestras de polvo aleatorio (después de moler hasta 1-3 μ m) por difracción de rayos X en combinación con los resultados de CHNS, termogravimétricos y de las fases acuosas extraídas. Para la granulometría se usó un tamizador eléctrico separando las fracciones de 0,063, 0,125, 0,250, 0,5, 1, y 2 mm a partir de 1 kg de AFM. La consistencia se ha estudiado en muestras de AFM y de arena de referencia, después de añadirles

un 5% de bentonita. El índice de plasticidad (IP) se determinó calculando las humedades de límite líquido (LL) y límite plástico (LP) según la UNE-EN ISO 17892-12 (2019). La caracterización a nivel molecular de las muestras de CNU se realizó mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR siglas en inglés) detectándose los movimientos vibracionales de los grupos moleculares presentes y comparando los espectros de absorción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los AFM están formados mayoritariamente por calcita (CaCO_3), cuarzo (SiO_2), yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y, minoritariamente por halita (NaCl) y filosilicatos. Las réplicas dieron los mismos minerales y sólo se observaron diferencias en algunas intensidades de los picos de los difractogramas. También se midió la composición mineralógica separadamente en fracciones de distinto tamaño. Excepto la aparición de hematitas (Fe_2O_3) en las partículas más finas (<0,25 mm, 27% de los AFM), los resultados no variaron respecto a la muestra original no seccionada por tamaños. Los AFM tienen tamaño de partícula ≤ 2 mm (arena media - gruesa), con granulometría bien graduada (alta compacidad y densidad relativa) (D60/D10 entre 7 y 16) y un 90% de partículas de $< 1,360 \pm 0,156$ mm (D90), un 50% de partículas de $< 0,575 \pm 0,035$ mm (D50), y un 10% de partículas de $< 0,075 \pm 0,035$ mm (D10). Por otro lado, el CNU se compone de compuestos orgánicos ($\approx 20\%$) y sulfuros (40% en CNU_g, y 50% en CNU_r). Éstos presentan gran cantidad de enlaces C–H y C=C (probablemente estireno-butadieno sea el principal componente), junto con enlaces ésteres, enlaces de compuestos aromáticos, enlaces con azufre y compuestos órgano-sulfurados, y enlaces N-nitroso difenil amina (compuestos órgano-sulfurados como acelerantes, azufre como vulcanizante o el N-nitroso difenil amina como retardante). La parte blanca textil se identificó al 95% de certidumbre como poliéster, específicamente PET. El CNU posee un contenido en C, H, N y S mucho mayor que los AFM (≈ 30 veces más) y, además, con una concentración bastante constante, en la que el S supera al N ($76,53 \pm 7,03$, $6,85 \pm 0,47$, $0,52 \pm 0,13$ y $1,60 \pm 0,42\%$ de C, H, N y S). En cambio, los AFM tienen una composición de C, H, N, S más variable y heterogénea ($2,59 \pm 0,44$, $0,38 \pm 0,10$, $0,09 \pm 0,03$ y $0,05 \pm 0,03\%$).

Los ensayos de conformidad revelan que los AFM y el CNU cumplen con la mayoría de los límites de lixiviación de la Decisión Europea 2003/33/CE para poder considerarse como materiales inertes o no peligrosos. En el caso de los AFM (pH $9,18 \pm 0,91$) se disuelven muchos sólidos (2967 ± 75 mg/kg), especialmente sulfato (3331 ± 295 mg/kg), debido a la calcita y el yeso. De los 18 parámetros medidos (12 metales), sólo el Cd y el Sb han superado los límites de lixiviación (x5 y x4 veces) con $3,14 \pm 0,40$ y $1,33 \pm 0,35$ mg/kg, respectivamente. En cuanto al CNU (pH $7,94 \pm 0,05$) es un material muy poco soluble (369 ± 45 mg/kg sólidos totales disueltos), liberándose también compuestos orgánicos (tres picos en los cromatogramas de aniones en los tiempos de retención 7,0, 7,7 y 8,3 min). Sólo el carbono orgánico total sólido ha superado la concentración máxima permitida (x15 veces) con 760000 mg/kg, y se han disuelto notables, pero admisibles, cantidades de Zn y C ($7,09 \pm 3,26$ y 269 ± 26 mg/kg). La consistencia de AFM con 5% de bentonita fue parecida a la de su homóloga arena de referencia (plasticidad intermedia), aunque con una textura más cercana a la arcillosa. Las mezclas de AFM (LL = $37,8 \pm 0,6$; IP = $10,8 \pm 4,9$) cumplieron con la recomendación para revestimientos de tener un LL entre 20 y 90, y un IP entre 10 y 65 (de Souza-Correia, et al 2020) (IP óptimo ≈ 25).

CONCLUSIONES

Para usar AFM y CNU con <7% en bentonita como barreras minerales, deben tenerse en cuenta aspectos de peligrosidad, consistencia y permeabilidad. La peligrosidad de los AFM depende de la solubilización de cadmio y antimonio, mientras que la del CNU supera los límites establecidos para el carbono orgánico. La consistencia de AFM/bentonita muestra resultados dentro de los aconsejables en la construcción de barreras minerales que se compactan para la impermeabilización de vertederos. Esta podría ser una posible salida para los AFM a examinar.

REFERENCIAS

- Eid, M.M., Abdelrahman, M. T., Abdel-Aal, F. M. B. (2009): Sand bentonite mixture as secondary liners in landfills. Proc. 17th Int. Conf. on Soil Mechanics & Geotech. Eng. M. Hamza et al. (Eds.). 225–228.
- European Commission (2020): Communication to the European Parliament. A new Circular Economy Action Plan (CEAP) for a cleaner and more competitive Europe. COM/2020/98 final (its Annex has a draft 'v1' from 2022).
- de Souza-Correia, N., Silva Caldas, R.C., Oluremi, J.R. (2020): Feasibility of using CDW fine fraction and bentonite mixtures as alternative landfill barrier material. J. Mater. Cycles Waste Manag., **22(6)**, 1877-1886.