

Proyectos de **I+D+i**
2012-2014



Construcción sostenible mediante la adición a suelos de lodos depotabilizadora

Memoria divulgativa de resultados

Universidad de Granada



Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía
CONSEJERÍA DE FOMENTO Y VIVIENDA



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



Construcción sostenible mediante la adición a suelos de lodos de potabilizadora

© Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería Fomento y Vivienda. Junta de Andalucía. 2014

Universidad de Granada

Equipo de investigación: Francisco Osorio Robles, Jose Miguel Azañón Hernández, María Jesús García Ruiz, María José Sierra López, Jose Luis Candau

Granada. 30-06-2014

1. Antecedentes

En el Proyecto propuesto, se investiga una alternativa de uso para residuos de potabilizadoras, compatible con un desarrollo sostenible. En concreto, se propone una experiencia enfocada al uso de lodos de potabilizadora en la ejecución de rellenos en obras.

En este sentido, la Consejería de Fomento y Vivienda y otras Administraciones a nivel nacional están muy interesadas en la **aplicación de residuos en la construcción**, un campo en el que últimamente se ha venido investigando con otros tipos de residuos.

En la mayoría de ciudades existen plantas potabilizadoras y éstas generan grandes cantidades de lodos, que suponen un problema medioambiental e implican un coste de gestión. Con este proyecto, se pretende demostrar que el lodo puede mejorar ciertas características geotécnicas de determinados suelos o que, al menos, no los perjudica y, por tanto, podrían mezclarse con ellos en determinadas obras, mayormente urbanas, situadas a una distancia determinada de las plantas potabilizadoras, que permitiera la viabilidad económica de la aplicación. Además, se ha estudiado la posible mejora de la mezcla con diferentes materiales seleccionados, habitualmente utilizados en construcción, así como la adición de arcilla a una mezcla de lodo y arena, al objeto de crear un material optimizado por varios componentes complementarios.

2. Resumen del Proyecto

Las plantas de tratamiento de agua potable producen anualmente una cantidad muy significativa de residuos, lodos, durante los procesos de purificación del agua. Típicamente estos lodos son retenidos en balsas o tanques. En la mayoría de plantas ya no hay ningún otro tratamiento, y finalmente tienen que ser gestionados como cualquier otro residuo sólido, evacuándolos a vertedero o entregándolos a un gestor autorizado. Estas prácticas tradicionales son cada vez menos aceptables por las normativas al uso, cada vez más restrictivas, además de que representan un coste económico significativo en la explotación.

En el Proyecto propuesto, se investiga una alternativa de uso para estos residuos compatible con un desarrollo sostenible. En concreto, se propone una experiencia enfocada al uso de estos materiales en la ejecución de rellenos en obras, donde varios productos se usan habitualmente como aglomerantes para mejora del suelo.

Los lodos de las potabilizadoras proceden fundamentalmente del proceso de coagulación-floculación química. Los coagulantes se adicionan en este proceso para provocar que las impurezas se agreguen formando flóculos que pueden ser separados del agua. De este modo se eliminan esas impurezas, pero también son retirados los aditivos químicos.

Existen fundamentalmente tres tipos de coagulantes que se usan en potabilizadoras: compuestos de aluminio, de hierro o de cal. Los lodos de cal tienen prácticamente la misma composición química que una cal hidratada comercial, y está contrastado que pueden ser usados en sustitución de la cal en la estabilización de suelos de carreteras. Se ha investigado menos sobre los otros dos.

En el presente proyecto, se han caracterizado lodos de ETAP (Estación de Tratamiento de Aguas Potables), y se han mezclado con distintos materiales seleccionados que típicamente se usan para mejorar suelos. Por último se han mezclado con arcilla y arena, para crear una mezcla con características mejoradas. Los lodos han sido obtenidos de la ETAP del Atabal, perteneciente a EMASA, la Empresa Municipal de Aguas de Málaga. También se han comparado los resultados de los lodos del ATABAL con los de la ETAP del Carambolo, en Sevilla, para contrastar los resultados de dos de las principales potabilizadoras de nuestra Comunidad Autónoma.

Tanto la ETAP de Málaga como la de Sevilla disponen de un tratamiento de fangos que es capaz de reducir la humedad inicial de los lodos, que es muy alta. Así, se ha estudiado la humedad óptima del lodo para mezclarlo con el suelo, pensando en la aplicación práctica en obra.

Otras variables consideradas han sido la dosis óptima de lodo en las mezclas estudiadas, así como el comportamiento diferido de las mezclas de lodos, tras un periodo de sesenta días de maduración.

3. Objetivos perseguidos y resultados previsibles

El objetivo principal a alcanzar consiste en estudiar las propiedades geotécnicas y mecánicas del lodo para mezclarlo con un suelo, pensando en la aplicación práctica en obra. Para la consecución de este objetivo principal, se plantean los siguientes objetivos secundarios:

- Comprobar la viabilidad de uso de los lodos de potabilizadora producidos en la ETAP del Atabal, Málaga, como suelo.
- Comprobar la viabilidad de uso de los lodos de potabilizadora producidos en la ETAP del Atabal, Málaga, mezclados con distintos tipos de materiales seleccionados adicionados: Cemento, Cal y Cenizas volantes.
- Contraste de los resultados obtenidos en la ETAP el Atabal con los lodos de la ETAP el Carambolo, Sevilla.
- Determinar el porcentaje de lodo máximo que se recomienda introducir en las mezclas.
- Determinar la humedad óptima del lodo para su mezcla, al objeto de optimizar el procedimiento de su aplicación en obra.
- Comprobación de las características del lodo, tras un periodo de maduración de sesenta días.

4. Grado de innovación

Los lodos de potabilizadora ya se han intentado utilizar previamente como materiales de construcción. Por ejemplo, para la fabricación de ladrillos (Goldbold et al., 2003; Carvalho and Antas, 2005; Huang et al, 2001; Anderson et al, 2003), para la fabricación de cementos y materiales cementosos (Kikuchi, 2001; Goldbold et al., 2003, Pan et al, 2004; Carvalho and Antas, 2005) o como pavimentos y en trabajos geotécnicos (por ejemplo, barreras de contención de residuos, modelado del suelo, relleno/terraplén estructural). También se han reportado alguna experiencia para su incorporación a materiales de construcción (mezclas bituminosas, material en sub-base para construcción de carreteras) o en sellado de vertederos (Ronald y Donald, 1977; Raghu et al., 1987; Carvalho y Antas, 2005). Sin embargo, nunca antes se ha estudiado la mejora de los lodos mediante mezcla con determinados materiales seleccionados, ni el intento de formación de una mezcla lodo-arena-arcilla, intentando aprovechar las características complementarias de estos componentes.

5. Resultados y Conclusiones

SOBRE EL LODO

1. Según la normativa española PG3, el lodo de la ETAP el Atabal es un suelo marginal.
2. Con ligeras mejoras en ciertas propiedades - plasticidad, colapso y sales solubles, el material pasaría a clasificarse como suelo tolerable.
3. Aun cumpliendo las especificaciones de la normativa a las que se refieren las dos conclusiones anteriores, se recomienda la mezcla del lodo con adiciones y/o suelos, pues se detecta una falta de graduación en la granulometría. Es un material excesivamente fino, que puede complementarse óptimamente con un material que carezca de ellos y que, por el contrario, presente un CBR adecuado.

SOBRE LAS MEZCLAS DEL LODO CON ADICIONES DE MATERIALES SELECCIONADOS

4. El lodo original se clasifica según la ASTM-D-2487/00 como un limo elástico, mientras que en las mezclas realizadas con cemento al 5%, 10% y 15% se pueden clasificar como limo elástico arenoso, limo elástico arenoso y limo con arena respectivamente, y en las mezclas realizadas con cal al 5%, 10% y 15 % se pueden clasificar todas como arena limosa. Por tanto, se ha obtenido una mejora en la curva granulométrica de las mezclas realizadas con cal y cemento, es decir, se ha conseguido una mejor graduación de las partículas.
5. En las mezclas con cal y cemento se ha mejorado considerablemente la capacidad portante del material, consiguiéndose unos índices C.B.R. muy favorables. El lodo original presenta un índice C.B.R. al 95% de 2.5, y los índices C.B.R. al 95 % obtenidos para las mezclas con cemento al 5%, 10% y 15 % han sido 17, 45.5 y 63.9 respectivamente; y para las mezclas con cal al 5%, 10% y 15% han sido 12.6, 17 y 44.3 respectivamente.
6. Entre las mezclas, por las conclusiones 4 y 5, podemos considerar que las realizadas con cal así como la mezcla con cemento al 5%, y la mezcla con ceniza volante al 15%, han sido las más satisfactorias, aunque tampoco podemos concluir que se trata de un suelo tolerable pues ninguna de ellas cumple los requisitos de contenido en sales solubles y materia orgánica; no obstante los porcentajes de ambos parámetros en las mezclas son sólo ligeramente superiores a los exigidos en la normativa española, PG3.
7. En base al PG3, el contenido en materia orgánica para suelos tolerables debe ser inferior al dos por ciento ($MO < 2 \%$), según UNE 103204. Siendo el contenido para las mezclas de cal al 5%, 10% y 15%, de 2.48, 2.14 y 1.55, respectivamente. Para la mezcla con cemento al 5%, el contenido en materia orgánica ha sido 2.01 y por último para la mezcla con ceniza volante al 15% se ha obtenido un contenido en materia orgánica de 1.48. Respecto al contenido en otras sales solubles distintas del yeso, este valor debe ser inferior al uno por ciento ($SS < 1 \%$), según NLT-114. Para las mezclas con cal al 5%, 10% y 15% el resultado obtenido ha sido de 0.88, 1.46 y 1.34, respectivamente; para la mezcla de lodo con cemento al 5% se ha observado un contenido en sales solubles de 1.73 y para la mezcla con ceniza volante al 15% el resultado ha sido de 0.82. Por tanto, si el lodo con cemento o el lodo con cal se mezclaran con suelos con un bajo contenido en sales solubles, sí que se podría clasificar el material como un suelo tolerable, pues estaría cumpliendo el resto de requisitos que establece el PG3 para suelos tolerables.
8. Respecto a las mezclas que se han dejado madurar 60 días no se aprecian grandes cambios en los resultados obtenidos. En general, se ha observado una disminución de la plasticidad, pasando a ser, en todos los casos, salvo en las mezclas con suelo marginal, un material no plástico. Por otro lado también se ha producido una mejora de la graduación de las partículas para las mezclas con cal y cemento. En concreto, en las mezclas con cemento al 5%, 10% y 15%, todas ellas se pueden clasificar según la ASTM-D-2487/00 como limo arenoso, y en el caso de las mezclas con cal al 5%, 10% y 15 %, se siguen clasificando como arena limosa pero, si se observan las curvas granulométricas, se aprecia una mejora en la distribución de las partículas.
9. No se han apreciado diferencias significativas entre las características de los lodos de la ETAP de Sevilla y Málaga. Estas diferencias, además, quedarían minimizadas después de la mezcla en pequeños porcentajes de los lodos con los suelos.

SOBRE LAS MEZCLAS DEL LODO CON ARENA Y ARCILLA

10. Según la normativa española PG3, todas las mezclas ensayadas, incluso los materiales componentes originales, cumplen como suelos marginales.
11. Igualmente, todas las mezclas ensayadas cumplen con las exigencias del PG3 de suelos tolerables, excepto la L30/A30/Arc30 (L=Lodo, A=Arena, Arc=Arcilla) y todas las que contienen un 80% y 90% de lodo. Éstas últimas no cumplen por el índice de plasticidad, y en algunos casos, además, por un

contenido excesivo en sales solubles. Por su parte la mezcla L30/A30/Arc40 tampoco es aceptable; en este caso, por incumplimiento en relación al índice de colapso.

12. En base a las exigencias de la normativa española PG3, ninguna mezcla cumple las condiciones de un suelo adecuado. En particular, porque ninguna mezcla ni ningún material componente original, cumplen con la granulometría exigida (son materiales demasiado finos), y ninguno cumple tampoco con el contenido de sales solubles (que debe ser menor al 0,2%). Sólo algunas mezclas, las que contienen menos lodo, se aproximan a este límite.
13. En base a lo anterior, se recomienda el uso de mezclas de lodo, arena y arcilla, como suelo tolerable, con un contenido del 60% de lodo. Es decir, si el objetivo que nos proponemos es la utilización de la mayor cantidad de residuo posible, se recomienda el uso de la mezcla que consume mayor cantidad de lodo y cumple con todas las exigencias de un suelo tolerable.
14. La mezcla que presenta mayor resistencia mecánica ha sido la L30/A50/Arc20, esto es la que contiene mayor arena dentro de las que se han ensayado con menor fracción de lodo (CBR-100 = 9,2; CBR-95 = 5,9). Dentro del grupo de las mezclas L60, la que presenta mayor índice CBR es la que contiene más arena, la L60/A30/Arc10 (CBR-100 = 6,8; CBR-95 = 4,1).
15. En cuanto a la aplicabilidad en obra y costes de compactación, sería adecuado una mezcla con menor Humedad óptima en el ensayo Próctor normal. En este sentido, la mezcla L30/A50/Arc2 ha proporcionado la máxima densidad seca de todas las mezclas ensayadas (1,80 gr/cm²) y al mismo tiempo la mínima Humedad óptima de compactación de todas (18,5%). En este apartado, la mezcla más favorable entre el grupo L60 es la de mayor fracción de arena, la L60/A30/Arc10, con una Humedad óptima intermedia (26,0%), y una densidad máxima seca intermedia (1,53 gr/cm²), entre las obtenidas. En efecto, hay que tener en cuenta que las mezclas con mayor cantidad de lodo son las que han arrojado mayor Humedad óptima (hasta un 35,2% para la mezcla L90/A5/Arc5), y menor densidad seca (con un mínimo de 1,33 gr/cm² para la mezcla L90/A5/Arc5).

6. Fuentes de información

- Abdulrehman, A. et al. (2003) Physical and engineering properties of treatment plant residuals and disposal. *Journal of American Water Works Association* 95:8, 127-137.
- Baker, Rob J., Van Leeuwen, J(Hans) and White, David J. Applications for Reuse of Lime Sludge from Water Softening. Final Report for TR-535. Iowa Department of Transportation Highway Division and the Iowa Highway Research Board, 2005.
- Cornwell, D. et al. (1992). Landfilling of water treatment plant coagulant sludges. AWWA Res. Fdn., Denver.
- Ferguson, E. G., Levorson S. M. (1999). Soil and Pavement Stabilization with Self-Cementing Coal Fly Ash, American Coal Ash Association, Alexandria, VA, May, 1999.
- Maher, M.H., J.M. Butziger, D.L. DiSalvo, and I.S. Oweis. Lime sludge amended fly ash for utilization as an engineering material. Fly Ash for soil improvement, Geotech.Special Publication No.36, ASCE, New York, 73-88, 1993.
- O'Kelley, BC and Brendan, C (2008) Geotechnical properties of a municipal water treatment sludge incorporating a coagulant. *Canadian Geotechnical Journal*, 45(5), 715-725.
- O'Kelley, BC and Quille, ME (2010) Shear strength properties of water treatment residues. Proceedings of the institution of civil engineers – Geotechnical engineering, 163(1), 23-35.
- Watt, R. D., Angelbeck, D. I. Incorporation of a Water Softening Sludge Into Pozzolanic Paving Material. *Journal of American Water Works Association*, March: 175, 1977.

