

RECICLADO DE LODOS. Prolongación de la línea 11 del Metro de Madrid

Autor principal: Elena Martín Díaz

Institución: DRAGADOS

Teléfono: 91 703 86 11

E-mail: EMARTIND@dragados.com

Otros autores:

ÍNDICE

1. Introducción	2
2. Antecedentes	2
3. Primeras investigaciones.....	3
4. Ensayos a escala real y primeras pruebas	5
5. Aplicación en obra y diseño de la instalación	15
6. Reutilización del material tratado. Ventajas medioambientales.....	16
7. Conclusiones	18

1. Introducción

La ampliación de la línea 11 de Metro, que parte de la Estación de Pan Bendito y llega hasta Carabanchel Alto y el PAU de Carabanchel, representa la interconexión de los barrios existentes y los nuevos barrios emergentes en la zona suroeste de Madrid con el resto de la red de Metro.

La línea 11 se está prolongando desde la estación existente en Pan Bendito mediante la construcción de 2.163 km de túnel mediante excavación con escudo de presión de tierras, 513,4 m de túnel entre pantallas y 3 nuevas estaciones. Las estaciones se encuentran situadas en la Av. de los Poblados, Carabanchel Alto y el PAU de Carabanchel.

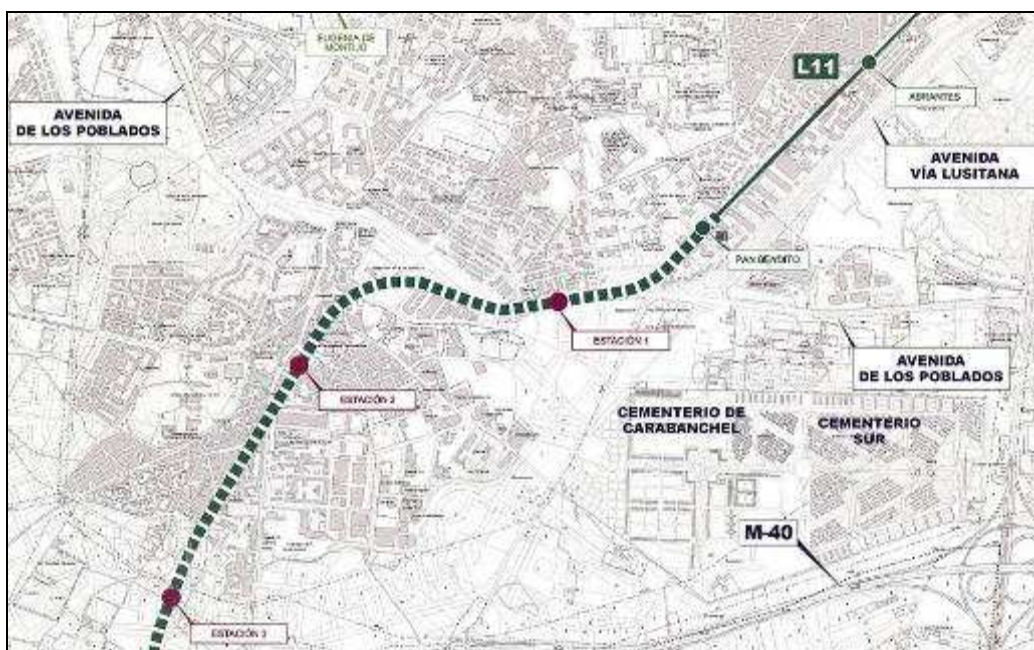


Figura 1: Prolongación de la Línea 11: Pan Bendito – Carabanchel Alto

Procedentes de la excavación de las estaciones y del fondo de saco se han obtenido 413.000 m³ de material que se ha reutilizado para la formación de zonas verdes en el PAU de Carabanchel y procedentes del túnel con EPB se han obtenido 165.000m³ de lodos que se trataron para su reutilización y realización de caballones anti-ruido en la R-5.

2. Antecedentes

El emplazamiento de la obra, situado en pleno casco urbano de Madrid, barrio de Carabanchel Alto, motivó que una de las preocupaciones fundamentales tanto para MINTRA como para Dragados fuera el estudio de la posibilidad de reutilización de los materiales procedentes de la excavación en zonas próximas a la obra, evitando en lo posible las salidas fuera de Madrid que incrementan el tráfico en las carreteras nacionales y evitando el fuerte impacto medioambiental que conlleva la creación de vertederos de lodos en el entorno de Madrid.

Para ello se buscó en el entorno de la obra cuales podían ser los lugares más aptos para el aprovechamiento de los materiales procedentes de las excavaciones y se gestionó con la Administraciones correspondientes su utilización.

Para reutilizar el material procedente de las excavaciones de las estaciones y el fondo de saco se aprovecharon las obras de ejecución del PAU de Carabanchel para la realización de una zona verde en las inmediaciones de la M-40. El material de las estaciones era apto para este uso debido al bajo grado de humedad que tenía el terreno, lo que permitió su extendido y compactado mediante capas en terraplén. Con la realización de esta zona verde el problema estaba resuelto en lo referente al material de las estaciones y del fondo de saco.

Sin embargo el problema más importante lo teníamos con el material procedente de la excavación del túnel con escudo de presión de tierras (tuneladora), ya que el tipo de terreno formado por tosco, arenas tosquizas y vetas de arena de miga nos obligaba a trabajar con la tuneladora en presión de tierras lo que conllevaba la aportación en el frente del escudo de agua y espumas para garantizar la estabilidad del terreno a perforar y evitar la creación de sobreexcavaciones. Esto motivaba que el material procedente de la excavación se convirtiera en un lodo, con un porcentaje de humedad muy elevado y por tanto fuera un excedente que exigiera su transporte a vertederos autorizados por la Comunidad de Madrid para el vertido de lodos.

3. Primeras investigaciones

Tras analizar este problema generalizado en el mundo de los escudos de presión de tierras, se estudiaron diversas soluciones mediante el uso de prensas de secado o de decantación de lodos, generalmente utilizados en el mundo del tratamiento de aguas residuales. Sin embargo ninguno de estos procedimientos parecía apto para su aplicación en un túnel, ya que sus elevados rendimientos de en torno a los 2.000 m³/día, no permitían su utilización y los hacían inviables.

Sin embargo otros campos ampliamente conocidos en el mundo de las carreteras como es el de la estabilización de tierras mediante el uso de cal y la disminución del grado de humedad del terreno mediante la aportación de cal, sí que parecían más viables debido a los elevados rendimientos que se conseguían en la ejecución de carreteras.

Para las primeras experiencias se contó con la colaboración de los Asesores Geotécnicos de MINTRA, los Servicios Técnicos de Dragados, y se utilizó el laboratorio de Dragados situado a pie de obra en la Línea 11, con el que se realizaron pruebas con el material procedente de la tuneladora NFM que provenía de la ejecución del túnel que estaba realizando Dragados de Atocha-Nuevos Ministerios que atravesaba un terreno muy similar al que nos encontraríamos en la Línea 11 de Carabanchel.



Foto 1: Muestra de lodos recogida para ensayos de laboratorio

Las primeras pruebas de mezclado del lodo con cal en el laboratorio fueron muy satisfactorias, consiguiendo rebajar el porcentaje de humedad de los lodos que era de un 29.9% a un 20.2% en un período de 24 horas. Las prueba se realizaron con dos dosificaciones de cal, una 1% y un 2% y se consiguió que el material pasara de estado líquido a plástico al cabo de 2 horas, bajando el grado de humedad por debajo del límite líquido y llegando a aproximarse al estado sólido al cabo de 24h al acercarse el % de humedad al límite plástico. Así mismo se hicieron ensayos de CBR, consiguiéndose resultados de 9,5 a los 4 días y de 16 a los 7 días.



Foto 2: Muestra de la mezcla al 1 % a las 24 horas.



Foto 3: Muestra de la mezcla al 2 % a las 48 horas.

Los ensayos de laboratorio indicaban que se podía rebajar el porcentaje de humedad de una manera importante en el lodo obtenido del túnel y conseguir un manejo adecuado del material en un corto plazo de tiempo. Tan sólo faltaba hacer un ensayo a escala real para poder asegurar el funcionamiento del proceso y determinar los plazos para determinar el extendido del material con maquinaria de movimiento de tierras.

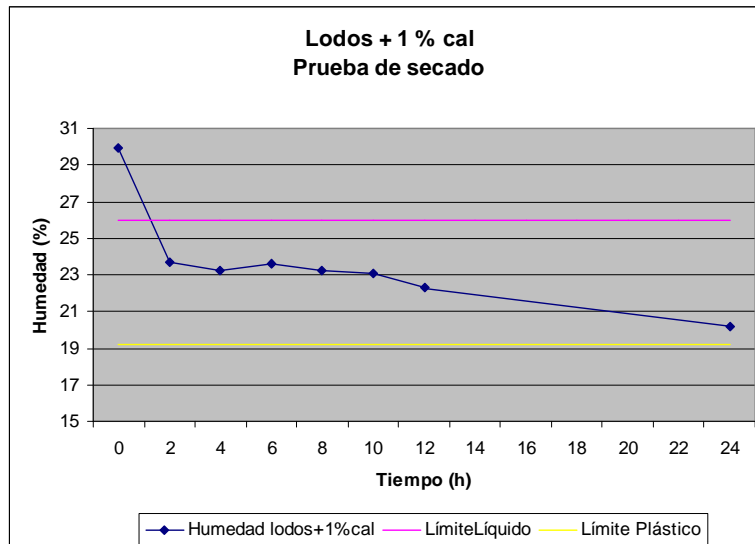


Gráfico 1: Prueba de secado del lodo con 1% de cal

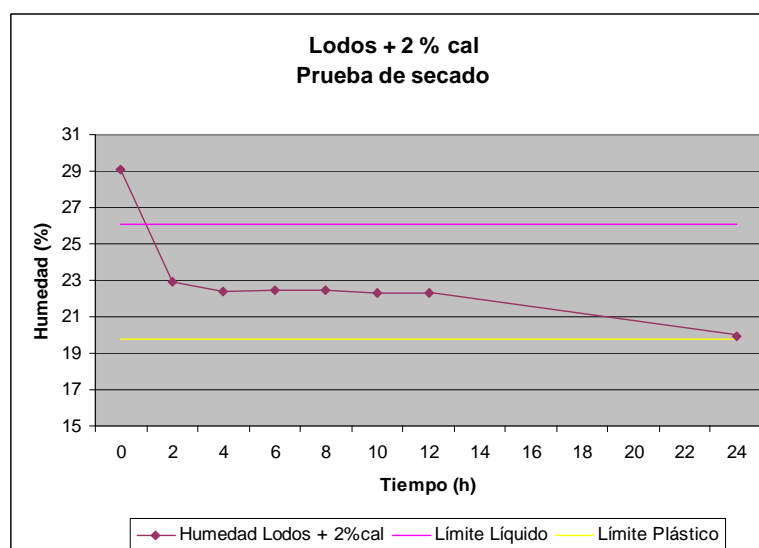


Gráfico 2: Prueba de secado del lodo con 2% de cal

4. Ensayos a escala real y primeras pruebas

Con objeto de hacer una prueba a escala real y poder determinar los plazos de uso del material para extenderlo en capas, se tomaron muestras del material del túnel que estaba realizando Dragados de Atocha a Nuevos Ministerios y se realizó la mezcla de ese material con un 1% y un 2% de cal en dos balsas preparadas en las instalaciones de la línea 11.



Foto 4: Preparación de las balsas para prueba en obra



Foto 5: Descarga de lodos en pozo de Atocha



Foto 6: Retroexcavadora tomando muestra para la prueba



Foto 7: Proporción de cal en cada cazo para la mezcla al 1 %.



Foto 8: Descarga de la mezcla en la balsa



Foto 9: Mezclado en balsa



Foto 10: Reparto en balsa de la mezcla al 1%



Foto 11: Reparto en balsa de la mezcla al 2%

Se realizó una toma de tiempos para estudiar la disminución del grado de humedad por toma de muestras y de la huella dejada por una retroexcavadora mixta que se introducía dentro de las balsas preparadas con la mezcla de lodo y cal. El resultado fue

satisfactorio, ya que se comprobó que al cabo de 5h la retroexcavadora mixta apenas dejaba huella en la balsa con la mezcla que contenía un 2% de cal.



Foto 12: Mixta entrando en mezcla al 2 % a las 5 h 15 min.

Más adelante se realizaron otros ensayos a escala real realizando la mezcla en un contenedor metálico y procediendo a extender el material en un tramo de prueba, extendiéndolo en capas y compactándolo con un rodillo. También tuvo un resultado satisfactorio.



Foto 13: Colocación de un contenedor a ras de suelo



Foto 14: Descarga de lodos en el contenedor.



Foto 15: Proporción de cal en el contenedor para la mezcla al 2 %



Foto 16: Toma de muestras para ensayos de laboratorio



Foto 17: Huella de la mixta a las 5 horas.



Foto 18: toma de la muestra para su extendido y compactación



Foto 19: Extendido de la mezcla



Foto 20: Compactación de la mezcla



Foto 21: Resultado de la compactación

5. Aplicación en obra y diseño de la instalación

Una vez realizados los ensayos en laboratorio y a escala real y viendo la posibilidad de éxito que tenía el proceso, tuvimos que estudiar cómo aplicar este procedimiento e implementar una instalación que se adaptara a los elevados ritmos de ejecución de las excavaciones y garantizara la operatividad durante las 24h y los 7 días a la semana de trabajo del túnel.

Para ello se diseñó un foso semicircular dividido en dos compartimentos que tuviera capacidad para almacenar en su interior el lodo tratado equivalente a la producción diaria ($2.000\text{m}^3/\text{día}$). A dicho foso se llevaba el material mediante un sistema de cintas transportadoras que extraían el mismo del túnel y mediante una cinta pivotante lo repartían en los fosos semicirculares



Foto 22: Foso de tratamiento de lodos de la línea 11

.La aportación de la cal se realizaba antes de que el material llegara a la cinta pivotante mediante dos sinfines que procedían de dos silos de 100T, que estaban gobernados por una central dosificadora que aportaba la cal necesaria en función del peso del material que pasara por la cinta en cada momento. Los dos silos tenían un funcionamiento independiente para que en caso de avería de uno de ellos, funcionara el otro y asegurara la operatividad de la instalación.

La extracción del material se realizaba con medios mecánicos mediante retroexcavadora y bañeras, alternándose la excavación en los dos fosos con el material mezclado y vertido por las cintas. De esta manera se garantizaba que la mezcla permanecía en el foso para su fraguado durante un plazo de 12h.



Foto 23: Vertido de la mezcla en el foso para su fraguado y posterior extracción

6. Reutilización del material tratado. Ventajas medioambientales.

El lodo procedente de la tuneladora, debido al alto grado de humedad que tiene, es difícilmente transportable y muy difícilmente manejable una vez llevado al vertedero, ya que implica la formación de represas que contengan el lodo y eviten que éste se desplace al ser un material extremadamente viscoso.

Sin embargo el lodo tras la aportación de cal se puede reutilizar, como se ha hecho en la Línea 11, para paliar a su vez otro efecto nocivo como es el ruido, mediante la realización de caballones anti-ruido.

Las carreteras, y más concretamente las autopistas debido a sus altas intensidades de tráfico y a la alta velocidad de circulación son elementos que producen una alta contaminación acústica. El mejor método para paliar este efecto es con barreras sonoras.

Estas barreras pueden ser prefabricadas de hormigón o chapa que eviten que el ruido salga de la propia autopista o pueden ser de tierras, mediante la realización de caballones anti-ruido. Estas últimas tienen una ventaja adicional muy importante que es que disminuyen enormemente el impacto visual que producen las autopistas en el entorno que les rodea.

Debido a todas estas ventajas en la Línea 11 se optó por reciclar el lodo procedente de la excavación del túnel y reutilizarlo para la realización de caballones anti-ruido en la Autopista de Peaje Radial 5 en las zonas que carecían de ellos y así poder aislar las poblaciones cercanas de la contaminación acústica y visual que producía la autopista. Transformando el lodo procedente de la tuneladora en un recurso apto para su utilización como medida de protección del Medio Ambiente.



Foto 24: Realización de caballones en la Radial 5 con lodos tratados con cal de la línea 11



Foto 25: Caballones definitivos

7. Conclusiones

Hasta el momento, el destino final de los lodos de tuneladora era ser gestionados como un residuo contaminante, teniendo dicha gestión un coste económico y medioambiental elevado. Sin embargo, con este tratamiento se consigue reducir el coste económico, ya que, aparte de disminuir los costes de transporte del material, el canon de vertido en un vertedero para lodos autorizado por la Comunidad de Madrid es elevado, mientras que si se puede aprovechar el material para ejecución de caballones, terraplenes o relleno de tierras, el coste se reduce enormemente. Además, esta solución es no agresiva para el medio ambiente, ya que en lugar de generar un residuo que habría que llevar a vertedero, se utiliza dicho material como recurso productivo en obra.

Como conclusión a este artículo se puede afirmar que la ejecución de la Línea 11 ha sido un ejemplo del compromiso existente en la actualidad entre la realización de obras civiles y el respeto e incluso mejora del Medio Ambiente y el entorno en el que éstas se realizan.

Fruto de ello es la investigación y la continua búsqueda y el desarrollo de nuevos procesos que impliquen una solución a los problemas existentes en la actualidad de los excedentes de materiales y que son bastante comunes e importantes en las obras civiles debido al gran calado y envergadura de los proyectos que se realizan.