

Empleo de neumáticos fuera de uso (NFU) triturados como relleno de terraplén:

Aplicación en la obra “Duplicación de la carretera M-111 y Variante de Fuente el Saz”*



Faiver Botello Rojas (Ing. Civil), Edith Guedella Bustamante (Lda. Biología y Ciencias Ambientales), Antonio Domingo Ayuso (ICCP-Jefe de Área de Construcción) y Enrique del Amo Sanz (ICCP y Director de las obras).

Resumen

En respuesta al incremento de preocupación ambiental, la Dirección General de Carreteras de la Comunidad de Madrid ha apoyado el desarrollo de un proyec-

to experimental diseñado para probar la viabilidad de usar neumáticos fuera de uso en la construcción de terraplenes de carreteras y dar salida a un residuo de una forma ambientalmente viable.

Aproximadamente 270 000 neumáticos fuera de uso (2200 toneladas de neumáticos) fueron utilizados en este proyecto, que fue construido durante 2007, en la Comunidad de Madrid. Este proyecto es el único terraplén de neumáticos fuera de uso en España hasta la fecha.

La estructura ha sido auscultada, para tener un mejor conocimiento de su comportamiento, y consecuentemente una mejor calidad en su evolución futura. El funcionamiento del relleno se está evaluando desde el punto de vista de la deformabilidad de las capas de neumáticos en el in-

* Promotor: Comunidad de Madrid. Consejería de Transportes e Infraestructuras. Dirección General de Carreteras. Empresa Constructora: Acciona Infraestructuras. I+D+I.

terior del relleno, del aumento de la temperatura en las capas y de la influencia del relleno sobre la calidad de las aguas subterráneas. Los resultados son satisfactorios, y se considera el uso de los neumáticos triturados como una opción viable en núcleos de rellenos.

Palabras clave: neumáticos usados, relleno, terraplén.

1. Introducción

Durante la última década, la Unión Europea en general, y España en particular, han sometido al depósito de neumáticos usados en vertedero a regulaciones más estrictas que las existentes hasta ahora. La Directiva Europea de Vertederos (EU, 1999) prohíbe el depósito en vertederos de neumáticos enteros desde 2003 y triturados desde 2006. En el año 2001 el Ministerio de Medio Ambiente presentó el primer plan nacional de neumáticos fuera de uso (PNNFU, MMA 2001), donde se establece un principio de jerarquía sobre el uso de los NFU: prevención de su generación, reutilización, reciclaje, producción de energía y vertido, en orden de prioridad. El plan estableció que en el año 2006 se reciclase el 20% de la producción total de neumáticos usados. Las últimas estadísticas disponibles (MMA, 2007) indican que actualmente se generan en España unas 300 000 toneladas de neumáticos usados. En el año 2005, según los últimos datos disponibles, sólo se recicló el 13,5% del total de neumáticos usados, y el 50% del residuo se depositó en vertederos.

Estos resultados muestran el considerable problema ambiental y los daños asociados que supone la acumulación de neumáticos usados en vertedero. Por ello se proponen alternativas al uso de los NFU en obra civil como relleno en el núcleo de un terraplén. Si se demuestra que esta aplicación es viable, el uso de NFU triturados en terraplenes puede dar lugar a una salida considerable del residuo.

Así, se ha desarrollado este pro-

yecto experimental para probar la viabilidad del uso de NFU triturados como relleno en carreteras, considerando aspectos ambientales e ingenieriles.

Salomón, situado en el p.k. 4+730.862 de la carretera M-111.

Los terraplenes de acceso a la estructura tienen hasta 9 m de altura y 8,8 m de anchura en coronación. Los

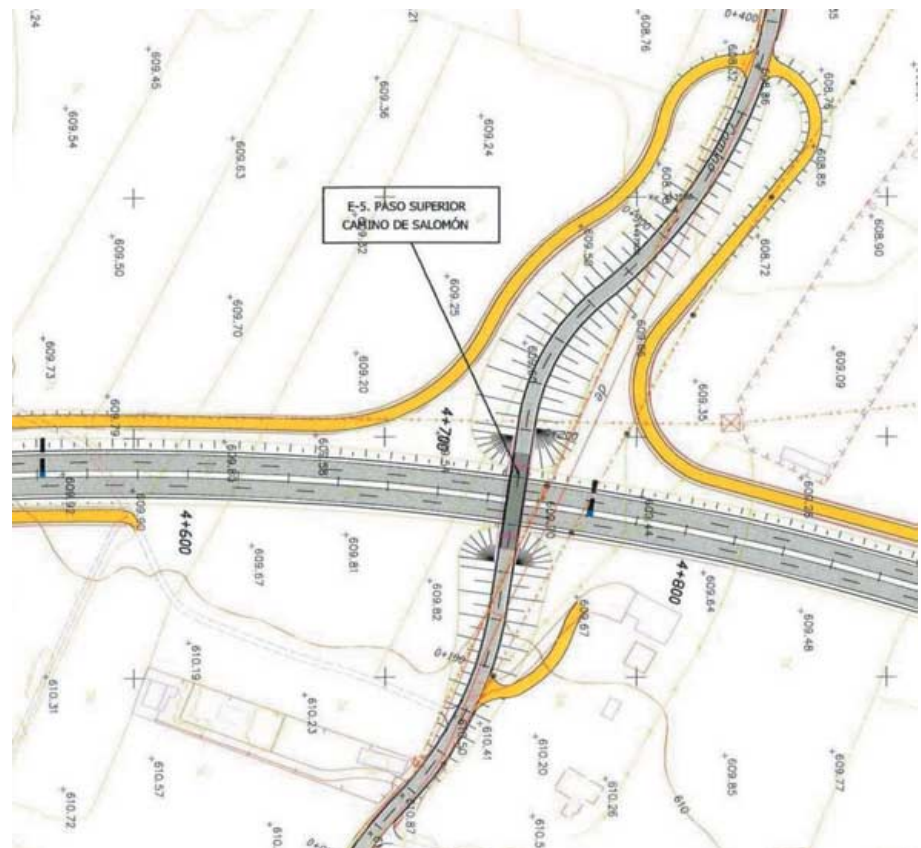


Figura 1. Localización del relleno con NFU.

2. Objetivo

El objetivo de este estudio es evaluar la viabilidad de un terraplén experimental construido con NFUs triturados y suelo. El terraplén ha sido instrumentado y monitorizado para un periodo de dos años después de su construcción. Para este estudio se han analizado las técnicas constructivas, los asientos, la temperatura del relleno y la calidad de las aguas subterráneas. Los resultados comentados en este artículo hacen referencia a un periodo de instrumentación de 6 meses, por lo que podrá completarse en un futuro.

3. Metodología

3.1. Descripción de la zona

El tramo del relleno se encuentra en uno de los accesos al Paso de

estribos de la estructura se construyen sobre muros de tierra armada, por lo que la actuación con NFU se hará a una distancia suficiente para no interferir con su construcción ni su comportamiento mecánico.

El relleno seleccionado para ser construido con NFU troceados tiene algo más de 200 m de longitud, alcanza una altura máxima de 7,5 m y la anchura en coronación es de 8,8 m. El proyecto inicial prevé que los taludes en esta zona sean 2H:1V. La geometría exterior del terraplén continuará siendo la definida en el proyecto. El tramo construido con NFU tiene una longitud de unos 100 m (figura 1).

En el proyecto de construcción de "Duplicación de la carretera M-111 y de la variante de Fuente el Saz de Jarama", para el estudio del paso de Salomón se perforó un sondeo, según el

cual, el perfil del terreno está constituido por 3 m de limos y arcillas arenosas (unidad geotécnica 4), seguidos de 4 m de gravas y arenas con cantos (unidad geotécnica 2) correspondientes a sedimentos de terrazas del río Jarama. Por debajo, se encuentran las arcosas blancas y fangos arcósicos –arenas tosquizas- del Mioceno medio (unidad geotécnica 1).

El nivel freático en esta zona se ha encontrado a 4,65 m de profundidad.

Según el mencionado proyecto, las características geotécnicas de estos materiales son las que se resumen a continuación.

Unidad geotécnica 4. Limos y arcillas arenosas: estos materiales corresponden a áreas endorreicas; son depósitos de poco espesor y de extensión limitada. Se dispone de un ensayo granulométrico en el que se aprecia que el porcentaje de finos es del orden del 10%, y el de arenas está por encima del 80%. En principio se trata de terrenos no plásticos.

Unidad geotécnica 2. Terrazas. Gravas y arenas con cantos: son depósitos cuaternarios de espesor variable y naturaleza granular, en los que alternan paquetes tabulares con predominio de gravas y niveles arenosos. Según el proyecto constructivo, son materiales no plásticos con un porcentaje de finos entre 4,5 y 8,5%.

Al perforar el sondeo, se realizaron dos ensayos de penetración estándar en estos materiales. El valor de N_{SPT} registrado en estos ensayos fue de 73 a 3 m de profundidad y de 47 golpes a 6 m.

Unidad geotécnica 1. Arcosas blancas y fangos arcósicos: estos materiales corresponden a las conocidas *facies Madrid*, de edad terciaria: en concreto, se trataría de toscos arenosos, con algunos tramos más tosquizados según la clasificación de Escario, en la “Síntesis Geotécnica de Madrid y su Alfoz”.

Los ensayos granulométricos realizados indican que estos suelos tienen entre un 34 y un 72% de finos, con un valor medio de 49,4%. El límite líquido es siempre menor de 10, y el

SECCIONES AUSCULTACIÓN

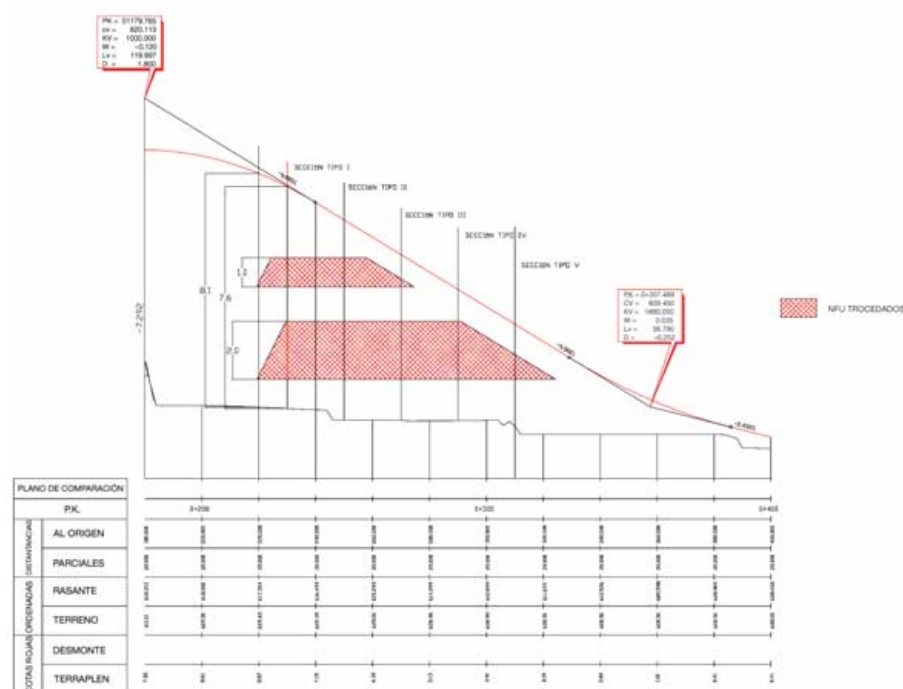


Figura 2. Sección longitudinal del terraplén con NFU.

índice de plasticidad varía entre 6 y 23, con un valor medio de 15, por lo que se trataría de terrenos poco plásticos.

Se han realizado 4 ensayos de corte directo de los que resulta un valor de la cohesión del orden de 0,1 MPa y el del ángulo de rozamiento de 28-29°. Además, se llevaron a cabo dos ensayos de resistencia a compresión simple de los que se obtuvieron valores entre 0,10 y 0,32 MPa.

Los dos ensayos SPT realizados en estos materiales en el sondeo han registrado golpes de 46 y 65. Otros ensayos efectuados a lo largo de la traza han resultado en valores de golpeo por encima de 45, alcanzándose con frecuencia resultados próximos al rechazo.

3.2. Construcción del relleno

El terraplén fue construido durante el invierno y la primavera del año 2007, con dos capas de NFU triturados, separados por una capa de suelo. La primera de las capas de NFU presentaba una longitud de 105 m y 2 m de altura, y la segunda capa presentaba 55 m de longitud y 1,2 m de al-

tura. Cada capa de NFU se encuentra recubierta por un geotextil y una capa de suelo de 1,2 m de altura, como se observa en la figura 2.

La cantidad total de NFUs triturados utilizada en el relleno fue de 2200 toneladas, lo que equivale a aproximadamente 270 000 ruedas usadas enteras.

El triturado y almacenamiento de los NFU se llevó a cabo en una planta de procesamiento situada en León, desde donde se transportaron los NFU triturados y se extendieron sobre el relleno utilizando un *bulldozer*.

El proceso de construcción del relleno duró cuatro meses, lo que permitió que finalmente no se colocase una sobrecarga sobre la última capa, ya que los principales asientos tienen lugar durante el proceso constructivo, en los dos primeros meses, según experiencias previas (Dunnicliff, 1993).

Después de extender la primera capa de suelo, se cubrió con un geotextil sobre el que se extendieron los NFU triturados (vertidos con camiones y extendidos con la ayuda de un *bulldozer*), como se observa en la figura 3 en la página siguiente. Una vez

extendidos, fueron compactados con un rodillo en tándem de 10 toneladas y presión de compactación de 2,9 MPa. Se debe hacer un mínimo de 10 pasadas para compactar cada capa (figura 4).

Tras alcanzarse la altura de 2 m en la capa inferior de NFU triturados, ésta se cubrió con geotextil y con una capa de suelo de 1,20 m. Sobre esta capa de suelo volvió a extender geotextil de nuevo, y otra capa de NFU triturados de 1,20 m de altura. Esta se recubrió de nuevo con geotextil y con una capa de suelo de 1,50 m de altura (figura 5).

3.3. Instrumentación del relleno

Para el control del relleno se instaló instrumentación geotécnica en 5 secciones. Esta instrumentación incluía monitorización de asientos por placas de asiento y células hidráulicas y líneas continuas para medidas y control de los movimientos verticales; monitorización de la temperatura del relleno mediante termorresistencias y control de la calidad del agua freática, analizando muestras tomadas en dos pozos situados aguas arriba y aguas abajo del relleno. También se instalaron células de presión total en la base de cada capa de NFU triturados.

Las medidas de asiento se tomaron una vez a la semana durante el periodo constructivo, y una vez al mes después de que se abriese al tráfico.

La temperatura se registró cada hora, mediante una medida de la media de cada intervalo de registro.

Se tomaron cuatro muestras de agua freática en los pozos realizados, dos de ellas (una en cada pozo) durante el periodo constructivo, y otra tras finalizar la construcción, controlándose los siguientes parámetros: pH, concentración de manganeso, plomo, arsénico, zinc, cadmio, hierro, cromo, selenio y concentración de fenoles totales. Estas muestras de agua fueron analizadas por un laboratorio certificado, según la normativa vigente.



Figura 3. Construcción de la primera capa de NFU triturados.

4. Resultados

4.1. Asientos

Las lecturas de una de las líneas de asientos colocadas en el terraplén se presentan en la figura 6:

4.2. Presión de los suelos

La densidad compactada de los NFU' utilizados en esta aplicación fue de 6,5 kN/m³, mientras que la densidad compactada del suelo fue de 18 kN/m³. Los valores obtenidos de las presiones verticales al final de la construcción fueron de 34,8 kPa ba-

jo la capa de NFU y de 48,6 kPa bajo la capa de suelo.

4.3. Monitorización de la temperatura

Los valores de la temperatura media registrados en las capas inferiores y superiores de NFU y en la capa intermedia de suelo, fueron de 12,09 °C, 13,66 °C y 19,02 °C, respectivamente.

4.4. Calidad del agua freática

Los resultados obtenidos en el estudio de calidad de las aguas subte-



Figura 4. Compactación de la capa superior de NFU triturados del relleno.



Figura 5.
Acabado final del
terraplén.

Parámetro	Unidades	Pozo 1	Pozo 2	Límites en la legislación española
Manganeso	µg/l	<5	5,1	200
Plomo	µg/l	< 2,0	< 2,0	100
Arsénico	µg/l	< 10,0	< 10,0	100
Zinc	µg/l	12,7	< 10,0	500
Cadmio	µg/l	< 0,20	< 0,20	300
Hierro	µg/l	113	162	1000
Cromo	µg/l	< 10,0	< 10,0	500
Selenio	µg/l	< 10,0	< 10,0	100
Fenoles	mg/l	< 0,01	< 0,01	

Tabla 1. Análisis de calidad del agua de los pozos del terraplén.

rráneas se muestran en la *tabla 1*. El valor de pH en los dos pozos abiertos fue de 7,12 y las temperaturas de 16,7 °C.

5. Discusión de los resultados

5.1. Asientos

Los asientos obtenidos en un terraplén con relleno de NFU en el Intercambiador del Aeropuerto de Portland, una aplicación muy similar a la presente ubicada en Maine, EE.UU. (Humphrey y otros, 2000; Humphrey, 2004), fueron del 10% de la altura del terraplén en la capa superior de NFU y del 15% en la capa inferior. Este terraplén era de 9,5 m de altura y las capas de NFU eran de 3 m de espesor. En nuestro caso, los asientos

obtenidos fueron del 7% de la altura del relleno en la capa inferior de NFU, lo que supone un 2% de la altura total. Dado el progreso de los asientos durante todo el desarrollo de

la aplicación, se cree que el mayor incremento de los mismos ocurrió durante la fase constructiva del relleno.

5.2. Presión de suelos

Después de analizar los valores obtenidos de las presiones verticales del terreno, se observó una reducción de las presiones verticales del 36% bajo el estrato de NFU con una cubierta de suelo de 1,2 m de espesor. Además, en la capa inferior la reducción obtenida fue del 72%.

5.3. Monitorización de la temperatura

Los resultados obtenidos durante los 6 meses de monitorización de la

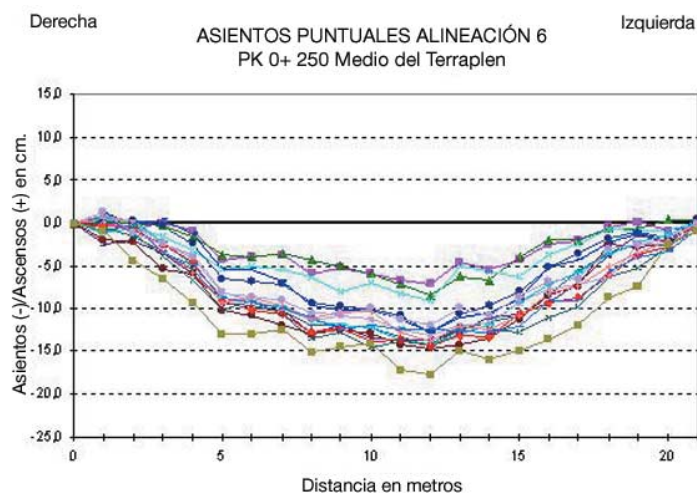


Figura 6.
Medidas de
asientos en
la sección
II del
relleno con
NFU
trititados.

temperatura dentro del relleno, no dan evidencia de ninguna zona en su interior donde se produzcan incrementos anómalos de temperatura, lo cual es muy alentador comparado con los problemas experimentados en aplicaciones similares en EE.UU. (Humphrey, 1996).

5.4. Análisis de la calidad de las aguas subterráneas

Una vez comparados los resultados obtenidos en el análisis del agua con los límites establecidos por la legislación española para descargas de líquidos industriales en los sistemas de drenaje se puede determinar que el uso de NFU como relleno de terraplenes carreteros no presenta ningún peligro medioambiental durante el periodo de estudio.

6. Conclusiones

Se extraen las siguientes conclusiones después de los seis meses de monitorización del terraplén:

- El uso de NFU como relleno en terraplenes carreteros no produce ningún impacto medioambiental en

la calidad de las aguas subterráneas durante el periodo de estudio.

- La presión vertical producida en la fundación del relleno debido a la presencia de NFU, es aproximadamente un 70% menor que la correspondiente obtenida de un terraplén convencional.

- Gran parte de los asientos esperados ocurren durante el proceso constructivo en un tiempo limitado a dos o tres meses, y posteriormente no se esperan grandes deformaciones.

- Este terraplén experimental ha demostrado que la aplicación de NFUs triturados como material de relleno supone una gran ventaja ambiental por valorizar un residuo como un material constructivo, además de dar lugar a un elevado consumo del residuo.

7. Referencias

1. EU (1999). Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste.
2. MMA, (2001). Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso. Ministerio de Medio Ambiente.

3. MMA, (2007). Borrador del Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso. Ministerio de Medio Ambiente. Available at: http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/residuos/planificacion_residuos/pdf/borradorpnir_anexo4.pdf

4. Dunncliff, J. *Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1993.

5. Humphrey, D.N., Whetten, N., Weaver, J. & Recker, K. (2000). "Tire shreds as lightweight fill for construction on weak marine clay", *Proceedings of the International Symposium on coastal Geotechnical Engineering in Practice*. Balkema, Rotterdam, pp. 611-616.

6. Humphrey, D.N. (2004). "Effectiveness of design guidelines for use of tire derived aggregate as lightweight embankment fill. *Geotechnical Special Publications*. ASCE. *Recycled materials in Geotechnics*. Pp. 61-74.

7. Humphrey, D.N. (1996). Investigation of Exothermic Reaction in Tire Shred Fill Located on SR 100 in Ilwaco, Washington. University of Maine, Orono. ■