

Utilización de los estériles del carbón como material de relleno en estructuras de tierra reforzada.

III. Construcción de una estructura experimental

GONZÁLEZ CAÑIBANO, J. (*); PARDO, F. (**); SOPEÑA, L. (**); TORRES, M. (***);
PÉREZ, J. J. (****); MARTÍNEZ, C. (*); GONZÁLEZ, M. R. (*)

RESUMEN En éste artículo se describe la construcción de una estructura experimental a escala real empleando estériles del carbón como material de relleno. En dicha estructura, de 20 m de largo y 2 m de alto, se probaron estériles negros de dos escombreras diferentes, así como diversos tipos de armaduras: flejes metálicos, geomallas y bandas Paraweb (Freyssis) y se colocaron termopares a diferentes alturas. Por otro lado, la mencionada estructura se sometió a 3.085 pasadas de camión con lastre en eje trasero de 10,5 toneladas. El comportamiento de los estériles fue totalmente satisfactorio.

THE UTILIZATION OF COAL MINING WASTES AS FILLING MATERIAL IN REINFORCED EARTH STRUCTURES. III. CONSTRUCTION OF A FULL SCALE EXPERIMENTAL STRUCTURE

ABSTRACT This article describes the construction of a full scale experimental structure in which coal mining wastes (minestones) were utilized as a filling material. In such structure —which was 20 m long and 2 m high— coal mining wastes from two different tips were tested together with different types of reinforcing frames such as metal bands, geomeshes and Paraweb (Freyssis) bands. Also, thermocouples were placed at different heights. On the other hand, the said structure was subjected to 3,085 passes of a truck having a ballast of 10.5 tons on its rear axle. The performance of the coal mining wastes was completely satisfactory.

Palabras clave: Tierra reforzada; Estériles del carbón.

1. INTRODUCCIÓN

A la vista de los resultados obtenidos tanto en las pruebas de laboratorio^(*) como en las de corrosión llevadas a cabo en cajas de madera⁽²⁾, se construyó una estructura de tierra reforzada a escala real empleando estériles del carbón como material de relleno con el fin de:

- Corroborar los resultados obtenidos en los ensayos y pruebas efectuados en el laboratorio
- Conocer la problemática de la colocación de los estériles del carbón y determinar los diferentes parámetros para su correcto manejo y puesta en obra

2. CONSTRUCCIÓN

La estructura de tierra reforzada empleando estériles de carbón como material de relleno se construyó en la Escom-

brera San Pedro, sita en el lugar del mismo nombre, en las proximidades de la carretera de Noreña a Gijón.

2.1. TRABAJOS PREVIOS

Antes de proceder a la construcción de la estructura reforzada propiamente dicha, se procedió a la realización de una serie de labores tales como:

- Limpieza del emplazamiento en una superficie de 100 x 100 m.
- Compactación de la superficie explanada mediante 8 pasadas de compactador de 16 t de peso estático (una sin vibrar y las 7 restantes vibrando).
- Realización de cutas y toma de muestras de los materiales que componían el emplazamiento.

Sobre la explanada, una vez compactado el terreno de la escombrera, se efectuaron 3 ensayos de carga con placa de 30 cm, repartidas de forma que se cubriese toda la superficie de la explanada.

2.2. MATERIALES EMPLEADOS

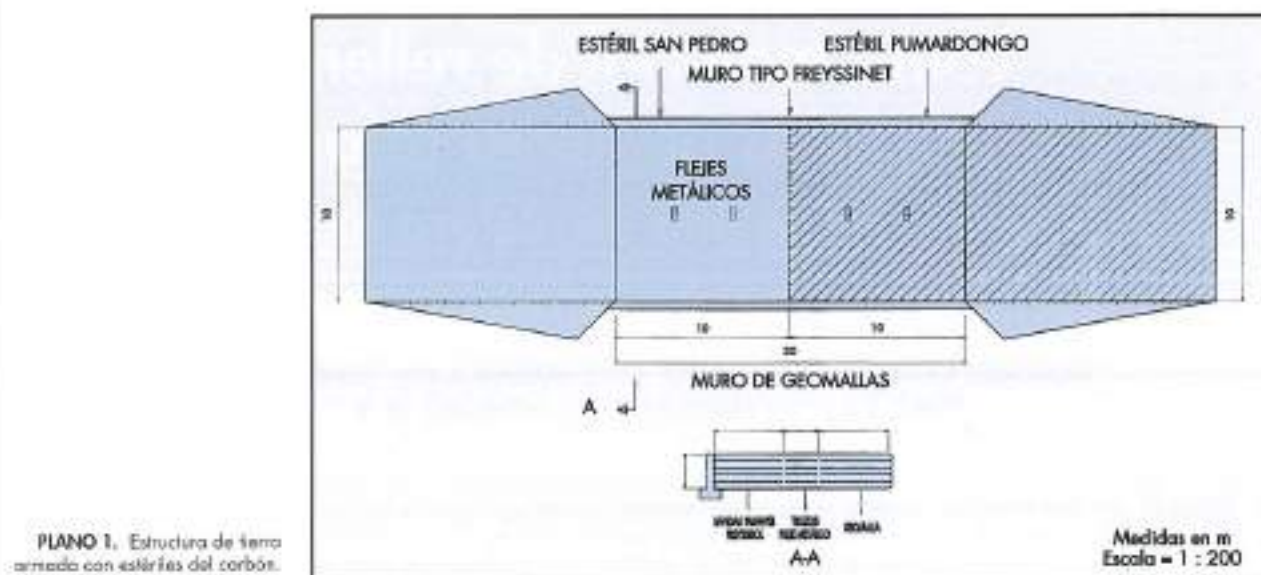
Estériles: Como material de relleno se seleccionaron dos estériles:

(*) HUNOSA, Programa Desarrollo Estériles. Avenida de Galicia, 44. Oviedo 33005.

(**) CEDEX, Laboratorio Geotecnia, Alamo XII, 3, Madrid.

(***) Escuela Técnica Superior Ingenieros de Minas, Oviedo.

(****) MOPTMA, Demarcación Carreteras del Estado, Oviedo.



PLANO 1. Estructura de tierra armada con estériles del carbón.

- Escombrera San Pedro. Estéril negro. Todo-uno.
- Escombrera Pumardongo. Estéril negro. Todo-uno.

En razón a que son dos de las escombreras mayores que existen, con 9 y 12 millones de toneladas almacenadas, respectivamente, y, a que se han obtenido buenos resultados con los mismos en las pruebas de corrosión realizadas en cajas.

El lugar de ubicación de cada uno de ellos se representa en el Plano n° 1.

Estos materiales se acopiaron en las inmediaciones de la explanada. De estos acopios se tomaron muestras para la realización de los siguientes ensayos: humedad natural, granulometría por tamizado y Proctor Normal.

Armaduras: Los tipos de refuerzo o armaduras a colocar en cada tongada fueron:

- Geomallas con longitud de 4 m, en uno de los frontales del muro.
- Banda Paraweb (Freysisol), con longitud de 4 m, en otro de los frontales.
- Flejes metálicos, de longitud 2 m, en la zona intermedia del muro.

De estas armaduras también se tomaron muestras para la determinación de:

- Resistencia a la tracción.
- Alargamiento en el punto de carga máxima.

2.3. MODO OPERATIVO

La estructura de tierra armada se construyó de acuerdo con las medidas y formas definidas en los Planos n° 1 y 2.



PLANO 2. Estructura de tierra armada con estériles del carbón.



FOTO 1. Estructura de tierra armada. Muro de escamas tipo Freysinets.

En primer lugar, se levantó un muro de escamas tipo Freysinets de 20 m de longitud y 2 m de altura, como se puede ver en la Foto n° 1.

A continuación se extendió una capa de estériles de 10 m de ancho hasta conseguir una altura de unos 50 cm —que después de compactados quedarían en unos 40 cm— que era el espesor de tongada previsto para cada capa.

En la zona del ensayo de 20 m de longitud, que se subdividió en dos zonas de 10 m cada una, se emplearon estériles de la escombrera Pumardongo y de la Escombrera San Pedro.

Antes de proceder a echar la primera capa de estériles se procedió a colocar y extender la geomalla (en el lugar opuesto a la estructura de las escamas de Freysinets) con el fin de formar el muro con el mencionado material y determinar el comportamiento de la interacción geomalla-estériles.

Una vez extendida la primera tongada de ambos tipos de estériles se compactó con ocho pasadas de rodillo de 16 t de peso estático (la primera sin vibrar y las restantes vibrando).



FOTO 2. Estructura de tierra armada. Colocación de armaduras.



FOTO 3. Estructura de tierra armada. Generación de tráfico.

Después de compactar el material, se efectuaron ensayos de densidad "in situ" por los métodos de la arena e isótopos radiactivos.

Por otro lado, y al objeto de efectuar controles, entre las capas 1-2, 3-4 y 5-subbase de la zona de ensayo donde se emplearon los estériles de la Escombrera Pumardongo y entre las capas 2-3 y 4-5 donde se emplearon los estériles de la

Escombrera San Pedro, se colocaron termopares tipo K con el fin de poder detectar eventuales variaciones de la temperatura indicativas de la combustión de los estériles. El extremo del hilo del termopar se colocó aproximadamente en el eje central longitudinal de la explanada, para medir la temperatura en dicho punto.

Asimismo, sobre cada capa se pusieron los diferentes ti-

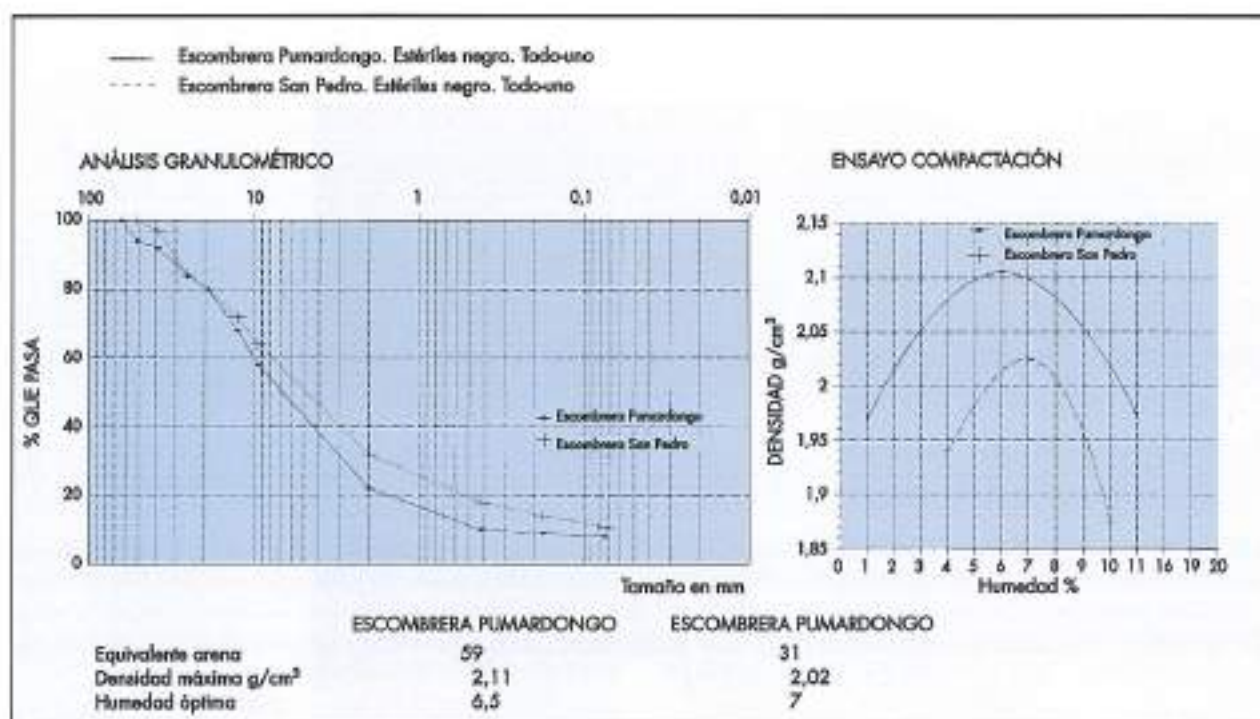


GRÁFICO 1. Características de los estériles negro todo-uno empleados en la construcción de la estructura de tierra armada.

pos de armadura, con el fin de determinar el comportamiento de la interacción entre ellos y los estériles tal y como se puede ver en la Foto nº 2. La posición de las armaduras, que se recoge en el Plano nº 2, fue la siguiente:

- Las bandas Paraweb (Freyssisol) se sujetaron por un lado a los ganchos que portan las escamas (Freysinet) y por el otro a una barra metálica colocada en el sentido longitudinal de la zona de ensayo.
- Los flejes metálicos se depositaron en el medio de la explanada de la zona de ensayo y a todo lo largo de la misma.
- Las geomallas en el lado opuesto de las escamas para formar el correspondiente muro. La lámina de geomalla extendida debajo de la 1ª capa se colocó sobre la segunda capa, formando una envuelta.

Encima de la primera capa se vertió una segunda sobre la cual se efectuaron las mismas operaciones de compactación, determinación de la densidad "in situ", colocación de termopar y de los diferentes tipos de armaduras que en la primera.

El proceso se continuó de forma sucesiva hasta extender cinco tongadas, todas ellas de 40 cm una vez compactadas con 8 pasadas de rodillo de 16 t de peso estático (la primera sin vibrar y el resto vibrando).

Una vez finalizada la colocación de los estériles, los termopares y las armaduras, se vertieron dos capas de 20 cm cada una de ellas, como subbase y base granular, de estéril rojo puesto que los ensayos realizados para este tipo de materiales habían demostrado que se podían emplear como firmes⁽³⁾.

En la capa de firme de estéril rojo, además de los correspondientes ensayos "in situ" para la determinación de la densidad, se efectuaron ensayos de carga con placa de 30 cm.

Al mismo tiempo que se hizo el relleno se construyeron dos rampas, una por cada lado, tal y como se indica en los Planos nº 1 y 2, empleando los mismos estériles que para las pruebas.

Sobre la capa de estéril rojo se echó un riego de imprimación. Posteriormente, sobre la capa de firme, se extendió una capa de aglomerado asfáltico de 6 cm.

3. COMPORTAMIENTO BAJO TRÁFICO

Una vez finalizada la estructura se mantuvo ésta antes de generar tráfico durante dos meses a la intemperie, al objeto de comprobar si la misma se podía alterar como consecuencia de factores climáticos, observándose que, a pesar de que las condiciones meteorológicas fueron bastante adversas: considerables lluvias y frío, la estructura no presentó, al cabo de dicho tiempo, ninguna anomalía en los muros de Freyssisol o geomallas, etc.

Posteriormente, con el fin de comprobar el comportamiento de la estructura por el paso de tráfico, se simuló el mismo, para lo cual se empleó un camión lastrado con un eje trasero de 10,5 t. En la Foto nº 3 se puede ver el camión pasando por la estructura.

Como se había previsto, el camión dio 3.085 vueltas equivalentes a un tráfico medio.

Terminado el ensayo no se apreciaron ni grietas, ni fisuras, ni roturas, ni deformaciones tanto en el firme como en el relleno propiamente dicho ni en los muros de Freyssisol y de geomallas.

4. AUSCULTACIÓN

A continuación se resumen los resultados de los ensayos efectuados durante la construcción del relleno de tierra reforzada, así como las medidas efectuadas en los diversos controles llevados a cabo antes, durante y después del paso de tráfico.

4.1. ENSAYOS PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Antes de proceder a la construcción de la estructura de tierra reforzada propiamente dicha. Se efectuaron ensayos de caracterización de los materiales a emplear:

- Estériles negros de las Escombreras Pumardongo y San Pedro.
- Armaduras: flejes metálicos, bandas Paraweb (Freyssisol) y geomalla.

Que fueron los seleccionados conforme a las pruebas efectuadas en el laboratorio y en las de corrosión en cajas y cu-

	ZONA A. Estériles de San Pedro			ZONA B. Estériles de Pumardongo		
	Humedad %	Densidad seca	Compactación %	Humedad %	Densidad seca	Compactación %
Capa 6	20	1,70	98	20	1,75	101
Capa 5	5,0	2,20	104	7,2	2,16	107
Capa 5	5,1	2,30	109	6,5	1,96	97
Capa 4	5,5	2,24	106	6,0	2,08	103
Capa 4	4,5	2,17	103	5,5	2,09	104
Capa 3	5,7	2,09	99	7,0	1,97	98
Capa 3	5,8	2,23	106	7,8	2,04	101
Capa 2	5,1	2,10	99,5	8,0	2,02	100
Capa 2	5,1	2,22	105	8,0	2,07	102
Capa 1	5,8	2,19	103	8,2	2,04	101
Capa 1	5,5	2,19	103	8,1	2,00	99
Explanada	6,3	2,14	106	6,0	2,16	107

TABLA I. Resultados de los ensayos efectuados en la construcción de la estructura de tierra armada.

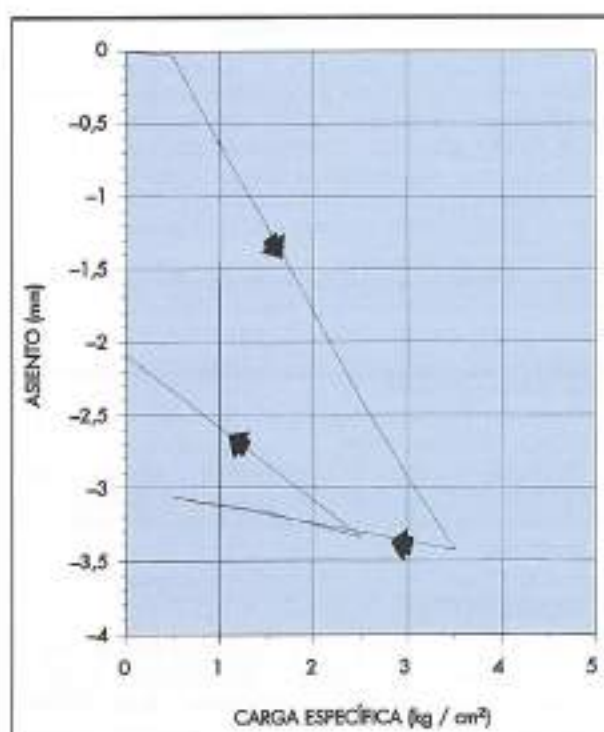


GRÁFICO 2. Ensayo de carga con placa en la posición 1, zona A. Estériles de la escombrera de San Pedro.

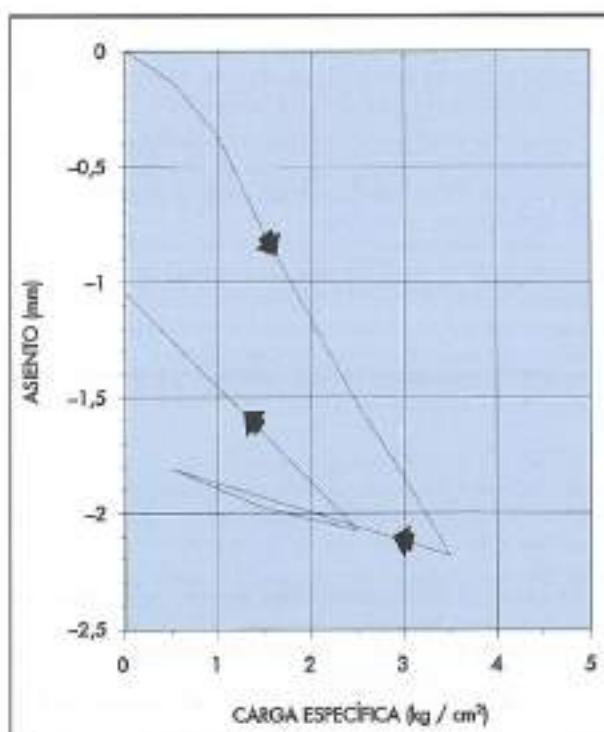


GRÁFICO 3. Ensayo de carga con placa en la posición 1, zona A. Estériles de la escombrera de San Pedro.

yas características se recogen en el Gráfico 1. Asimismo también se determinaron las del estéril rojo, a emplear como material para firmes.

4.2. ENSAYOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Densidades "in situ": Durante la construcción de la estructura de tierra reforzada se efectuaron ensayos de densidad "in situ" en la explanada, en cada capa de relleno (dos por cada subtramo de la zona de ensayo) y en la capa de firme y cuyos resultados se recogen en la Tabla I, donde se puede ver que, en todos los casos, se ha alcanzado más del 97% de la densidad máxima del Proctor Normal.

Placas de carga: Asimismo, también se hicieron ensayos de carga con placa de 30 cm sobre el estéril rojo empleado en la capa de firme cuyos resultados se recogen en la Tabla II y en los Gráficos 2 y 3.

Los módulos de compresibilidad o coeficiente E_i se determinaron de acuerdo con la fórmula:

$$E_i = \frac{\Delta P_i}{\Delta S_i} D$$

donde:

E_i = módulo de deformación, kg/cm^2

ΔP = incremento de presión, kg/cm^2

ΔS = asiento, cm

D = diámetro de la placa, 30 cm

Temperaturas: Para la medida de la temperatura que marcaban los termopares se utilizó un equipo TERMO ELEC-TRIC.

Ensayo	Zona	Δs_1	E_1	Δs_2	E_2
1	A	0,121	248	0,021	1,428
2	A	0,161	186	0,025	1,200
3	B	0,072	417	0,017	1,764
4	B	0,043	698	0,023	1,304

TABLA II. Resultados de los ensayos de carga.

En el Gráfico 4 se representan las temperaturas registradas en cada uno de los termopares a través del tiempo, para el subtramo de los estériles de San Pedro y Pumardongo, respectivamente. Asimismo también se representan las temperaturas máxima y mínima del día.

De dicho Gráfico se deduce que la temperatura del terraplén aumenta a medida que se va del núcleo a la coronación en el verano y de la coronación al núcleo en la primavera (Abril) es decir, la parte superior, lógicamente, resulta más afectada por el cambio térmico ambiental.

Por otro lado, también se deduce que no ha existido combustión ni indicios de combustión de los estériles del carbón, puesto que todas las temperaturas registradas están por debajo de los 30°C . Asimismo, en la observación visual cuando se levantó el terraplén experimental no se apreció ningún resto de combustión ni indicios de la misma.

5. RESULTADOS DE LOS MATERIALES RECUPERADOS

Una vez efectuada la simulación de tráfico, se mantuvo la estructura un mes más y, posteriormente, se levantó en la secuencia que se indica al objeto de tomar muestras de los

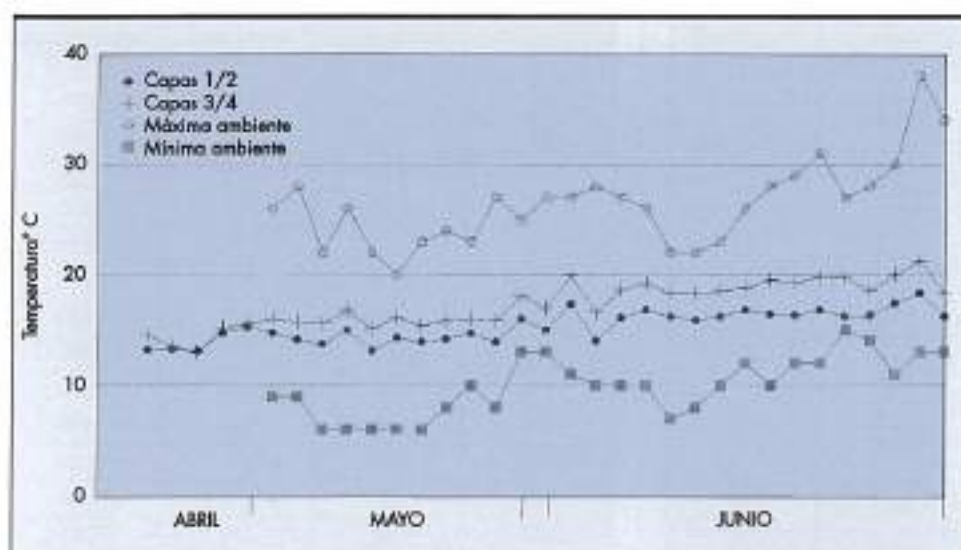


GRÁFICO 4. Temperaturas registradas en la estructura de tierra armada. Estériles Escombrera San Pedro.

materiales para efectuar ensayos y comprobaciones con los mismos.

En primer lugar se levantó el firme, hasta dejar al descubierto las armaduras, de las cuales se cogieron muestras. Posteriormente, se quitó totalmente con cuidado el resto de la capa de subbase y la 5ª capa de estériles hasta dejar al descubierto las armaduras entre la 5ª y la 4ª capa de las que se volvió a tomar muestra y así sucesivamente, Foto n° 4.

Asimismo, también se cogieron muestras del material.

Se han extraído un total de 10 trozos de geomalla de aproximadamente 50 cm x 50 cm de las dos zonas, de estériles de Pumardongo y de San Pedro, así como del contacto entre los estériles negros y la capa superior de estéril rojo. Del mismo modo, se han extraído 10 trozos de 2 m de longitud de geobanda Paraweb (Freyssiaol), y los 20 flejes metálicos de acero galvanizado de tierra reforzada.

Se inspeccionaron detenidamente todas las muestras extraídas, no observándose ningún tipo de alteración superficial ni de otro tipo en las muestras de geomalla y de geobanda; por el contrario, las muestras metálicas ofrecían manchas y pequeñas costras superficiales.

Al igual que con las muestras de las pruebas en cajas, se realizaron ensayos de determinación de resistencia a tracción y alargamiento en el punto de carga máxima sobre los trozos de geomalla. Los resultados se recogen en la Tabla III. Asimismo, se han ensayado todos los flejes metálicos de tierra armada a rotura, determinando la carga máxima a tracción y se han efectuado pesadas de los mismos. Estos resultados se resumen en las Tablas IV y V.

Como se observa en los resultados, no se aprecia pérdida de resistencia en los elementos de refuerzo ensayados, tras los 6 meses de permanencia en el relleno a escala real, corroborando los resultados obtenidos en las pruebas de durabilidad en cajas de madera.

De los resultados anteriores se deduce que la prueba de ejecución del relleno a escala real ha puesto de manifiesto que, en general, los elementos metálicos presentan síntomas de inicio de alteración superficial y posible pérdida de galvanizado, tanto con los estériles rojos, como con los negros utilizados en estas pruebas. Por el contrario, los elementos de refuerzo de poliéster recubiertos de polietileno, y los de cau-



FOTO 4. Estructura de tierra armada. Extracción de muestras de armaduras.

cho sintético, no han presentado signos de alteración superficial. Tampoco se han dado pérdidas de resistencia o cambios de comportamiento mecánico en rotura (por ejemplo un proceso de rigidización con el envejecimiento) en los ensayos realizados sobre las muestras de geomalla enterradas en los estériles.

6. CONCLUSIONES

Puede concluirse, que, los estériles de escombrera, en general, pueden utilizarse en estructuras de tierra reforzada con refuerzos poliméricos; para los estériles de escombrera negros, y parte de los rojos, no se han encontrado inconvenientes, ni mecánicos ni de agresividad, que desaconsejen su utilización en rellenos y muros de tierra reforzada que eviten los elementos metálicos y los substituyan por otros de naturaleza polimérica como los aquí descritos.

Muestra	Sentido	Resistencia a tracción (kN/m)	Alargamiento (%)
G-0	A	46,3	12,3
	B	28,5	13,1
G-1	A	49,5	11,9
	B	30,6	13,6
G-2	A	52,8	12,1
	B	28,7	11,8
G-3	A	59,6	13,4
	B	31,8	13,3
G-4	A	62,8	13,8
	B	33,7	13,6
G-5	A	62,2	12,7
	B	33,2	12,8
G-6	A	61,2	13,2
	B	36,7	14,7
G-7	A	58,7	12,8
	B	31,5	13,5
G-8	A	50,1	12,1
	B	29,2	13,6
G-9	A	64,1	13,1
	B	32,5	12,4
G-10	A	61,4	12,8
	B	36,2	13,5

TABLA III. Resistencia a tracción y alargamiento en el punto de carga máxima (DIN 53857/1) de las muestras de geomalla extraídas del relleno experimental.

Muestra	Espesor medio (mm)	Sección media (mm ²)	Carga máxima a tracción (kp)
F-1	5,52	223	11.590
F-2	5,48	224	11.790
F-3	5,76	236	12.790
F-4	5,41	218	11.730
F-5	5,28	215	11.410
F-6	5,39	217	11.610
F-7	5,38	218	11.860
F-8	5,47	223	11.850
F-9	5,28	214	11.570
F-10	5,47	223	11.850
F-11	5,39	219	11.600
F-12	5,52	225	11.890
F-13	5,63	229	12.700
F-14	5,61	228	12.140
F-15	5,58	226	12.610
F-16	5,53	226	12.000
F-17	5,43	218	11.550
F-18	5,60	225	13.280
F-19	5,27	212	12.490
F-20	5,74	231	12.590

TABLA IV. Carga máxima a tracción de las flejes metálicos extraídos del relleno experimental.

FLEJES	PESO ANTERIOR A LA LIMPIEZA (g)	PESO POSTERIOR A LA LIMPIEZA (g)	DIFERENCIA (g)	ESPESOR MEDIO DEL FLEJE (mm)	ESPESOR MEDIO DEL GALVANIZADO	
					CARA	ESPESOR (µm)
F-17	1.976,59	1.955,57	21,02	5,6	A B	165 175
F-18	2.090,20	2.077,26	12,94	5,6	A B	117 117
F-19	1.994,12	1.979,88	14,24	5,2	A B	145 144
F-20	2.034,17	2.015,82	18,35	5,7	A B	109 116

TABLA V. Peso de las flejes metálicas enterradas en el relleno, antes y después de la limpieza de óxidos, espesor resultante y espesor medio de galvanizado.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) GONZÁLEZ CAÑIBANO, J.; PARDO, F.; SOPENA, L.; TORRES, M.; PEREZ, J.J.; MARTÍNEZ, C.; GONZÁLEZ M.R.; "Utilización de los estériles del carbón como material de relleno en estructuras de tierra reforzada". I. Características y ensayos de lixiviación. Ingeniería Civil, n° 101, 96-100 (1996).
- (2) GONZÁLEZ CAÑIBANO, J.; PARDO, F.; SOPENA, L.; TORRES, M.; PEREZ, J.J.; MARTÍNEZ, C.; GONZÁLEZ,

M.R.; "Utilización de los estériles del carbón como material de relleno en estructuras de tierra reforzada". II. Pruebas de corrosión de armaduras. Ingeniería Civil, n° 102, 77-84 (1996).

- (3) ESTERAS, S.; JIMENEZ, R.; IBARZABAL, J. L.; GONZÁLEZ CAÑIBANO, J.; RUIZ, A.; "Utilización de los estériles del carbón como materiales para capas de firmes I. Características y ensayos de lixiviación." Ingeniería Civil, n° 95, 67-75 (1994).

El mundo entero construye sobre Polyfelt

Geotextiles Agujados de *Filamento Continuo*



Construcción de carreteras



Terraplenes



Vías férreas



Túneles



Zanjas de drenaje



Drenaje de taludes



Canales



Vertederos



Refuerzo de taludes



Barreras antiruido

reconocidos expertos en Geosintéticos

Polyfelt Geosynthetics Iberia, S.L.
c/ Azaleas, 1, Edificio E - 2.^a
Miniparc 1 - El Soto de la Moraleja
28109 Alcobendas (Madrid)
Teléfono: (91) 650 63 18 - 650 64 61
Fax: (91) 650 98 26

polyfelt[®]
Polyfelt Gruppe



CON G.O.C. ESTARÁ ASISTIDO

En **G.O.C.** encontrará la información, el seguimiento permanente y la asistencia técnica a su proyecto y obra.

Con **G.O.C.** tendrá la mejor asistencia.

 **G.O.C.**
CONSULTORÍA Y GESTIÓN DE LA CALIDAD
EN VIGO: C/ DOCTOR CANO 5, BAJO. TELF.: 902 377 111.
EN MADRID: C/ AMARA 8, 1º D. TELF.: 902 185 045.

