

Utilización de los estériles del carbón como materiales para capas de firmes.

II. Empleo de los estériles del carbón tratados con cemento

JOSÉ GONZÁLEZ CAÑIBANO (*); JUAN JOSÉ PÉREZ VALLE (**); SAGRARIO ESTERAS GONZÁLEZ (***);
RAFAEL JIMÉNEZ SAEZ (***); AURELIO RUIZ RUBIO (***)

RESUMEN Dados los numerosos problemas que plantean los estériles del carbón: costos elevados, contaminación, etc., y las ingentes cantidades que se producen, se están efectuando diversos estudios para encontrar aplicaciones industriales a los mismos.

Como quiera que una de sus aplicaciones más importantes es su empleo en ingeniería civil, en el presente trabajo se recogen los resultados obtenidos en los ensayos llevados a cabo en el laboratorio con los estériles del carbón estabilizados con cemento para su uso como materiales para capas de firmes de carreteras, autovías, etc.

Asimismo, también se describe la construcción de 4,5 km de subbase de una autovía donde se emplearon 53.000 t de estériles de lavadero estabilizados con un 6 % de cemento.

THE USE OF COAL REFUSE IN BUILDING ROAD BEDS. II. UTILIZATION OF COAL MINING WASTES STABILIZED WITH CEMENT

ABSTRACT Because of the many problems posed by coal mining wastes—high costs, pollution, etc.—and the huge quantities produced, several studies are being carried out in order to find industrial applications for these waste coal materials.

As one of the main utilizations is their use in civil engineering, this paper summarizes the results obtained from laboratory tests carried out with cement-stabilized coal mining wastes for their use as a material in road and highway.

This paper also describes the construction of 4.5 km of a highway subbase in which 53,000 tons of washery coal wastes stabilized with about 6 % of cement were used.

Palabras clave: Estériles carbón; Capas firme; Árido; Estériles-cemento; Suelo-cemento.

1. INTRODUCCIÓN

En un artículo anterior (1), dedicado igualmente al estudio de las posibles aplicaciones de los estériles del carbón como materiales para la construcción de carreteras, se describieron las características geotécnicas, petrográficas, mineralógicas y químicas de dichos materiales residuales y se analizó la posible presencia de contaminantes a través de pruebas de lixiviación.

Como continuación, se pasa ahora al estudio de una de dichas aplicaciones, como es el empleo de los estériles tratados con cemento para capas de base y subbase en firmes de carreteras.

Dicho estudio consistió, por un lado, en una serie de pruebas de laboratorio destinadas a determinar la influencia que las condiciones de humedad durante el curado y después de éste pueden tener en la durabilidad del material, así como la determinación de la resistencia en función del contenido en cemento.

Por otra parte, se ejecutaron diversos tramos de prueba para ensayar la puesta en obra y comprobar "in situ" la idoneidad del material para esta aplicación.

2. CAPAS DE SUELOCEMENTO

De entre los posibles materiales tratados con cemento para capas de firmes, en los que los estériles de carbón pueden utilizarse de esta forma más inmediata, dadas sus características, los suelos-cemento son, en principio, los más adecuados. Su empleo en otros casos exigiría un tratamiento previo de los estériles con el fin de mejorar alguna de sus propiedades.

El suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima, en central, de un suelo o material granular con cemento, agua y

[*] Programa Desarrollo Estériles, HUNOSA, Oviedo.

[**] Demarcación de Carreteras del Estado de Asturias, Ministerio de Fomento, Oviedo.

[***] Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX, Ministerio de Fomento, Madrid.

eventualmente, aditivos, seguido de una compactación y curado adecuados.

Este material puede utilizarse en distintos tipos de firme de carretera. En las Instrucciones 6.1 y 6.2 IC se contemplan básicamente dos posibilidades¹¹:

- Como capa de apoyo o subbase bajo otras capas tratadas con cemento (gravacemento u hormigón compactado). En estos casos su función es proporcionar un apoyo homogéneo y estable y facilitar una transición de rigideces de los materiales que permita un correcto comportamiento del firme. En este campo, a través del Plan General de Carreteras, se construyeron unos 1.400 km de calzada con gravacemento y suelocemento, siendo una de las secciones de firme más abundantes en las autovías de la Red de Interés General.
- Como capa resistente bajo capas de mezcla bituminosa. Este tipo de secciones presenta ventajas frente a las soluciones mediante capas granulares y de mezcla bituminosa (es menos sensible al agua, proporciona una mayor capacidad de soporte y permite una mejor compactación de las capas superiores), así como frente a las de gravacemento (se elimina el problema de las grietas reflejadas a partir de las de las de retracción que se originan en dichas capas, ya que el agrietamiento del suelocemento por retracción se produce, dada su baja resistencia, en longitudes cortas que, posteriormente, tienen poca movilidad). Su utilización en autovías ha sido menos frecuente que la de la gravacemento (unos 700 km de calzada en el último Plan General de Carreteras), aunque en los últimos años está teniendo lugar un incremento considerable.

2.1. PRESCRIPCIONES EXIGIDAS AL MATERIAL

En la fabricación del suelocemento pueden utilizarse tanto suelos seleccionados debidamente tratados, como zahorras naturales o de machaqueo. En cualquier caso, la mezcla del suelo o material granular deberá hacerse en planta de fabricación. A este respecto debe tenerse en cuenta que los estériles

rojos y negros objeto de estudio están dentro de los límites exigidos en el PG.3 en cuanto a plasticidad^{11,12}.

Para que el suelocemento pueda emplearse en capas de firme, se exige en el PG.3 un valor mínimo de resistencia a compresión simple de 2,5 MPa a los siete días de la fabricación o, indistintamente, 3,8 MPa a los 90 días. Por ello, debido a tales exigencias y para garantizar una suficiente homogeneidad del producto final, el tratamiento no puede realizarse "in situ".

Normalmente la resistencia a compresión simple se ve aumentada al incrementarse el porcentaje de cemento. Así una vez alcanzados los mínimos exigidos, dicho porcentaje se establece de manera que el tratamiento no resulte antieconómico¹³.

El contenido más apropiado de agua se determina mediante el ensayo Proctor Modificado. Al igual que sucede con otros materiales, cuanto más alta es la densidad alcanzada, mayor es la resistencia del producto. Al añadirle cemento al suelo de partida, y antes de iniciarse el fraguado, su índice de plasticidad disminuye. Los valores de densidad máxima y humedad óptima estarán ligados a las características del suelo empleado y al porcentaje de cemento.

3. ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1. ESTÉRILES NEGROS

Se llevaron a cabo una serie de pruebas de laboratorio destinadas no sólo a determinar si se alcanzan con los estériles las resistencias mínimas mencionadas para mezclas de suelocemento, sino especialmente para apreciar la influencia del grado de humedad en la estabilidad del tratamiento, tanto durante el proceso de curado como después de éste, y el efecto que pueda tener el pequeño contenido de sulfatos de estos materiales.

Las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de la Demarcación de Carreteras del Estado de Oviedo y en el Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX.

En primer lugar se efectuaron ensayos con los estériles negros procedentes del Lavadero Batán, cuya granulometría

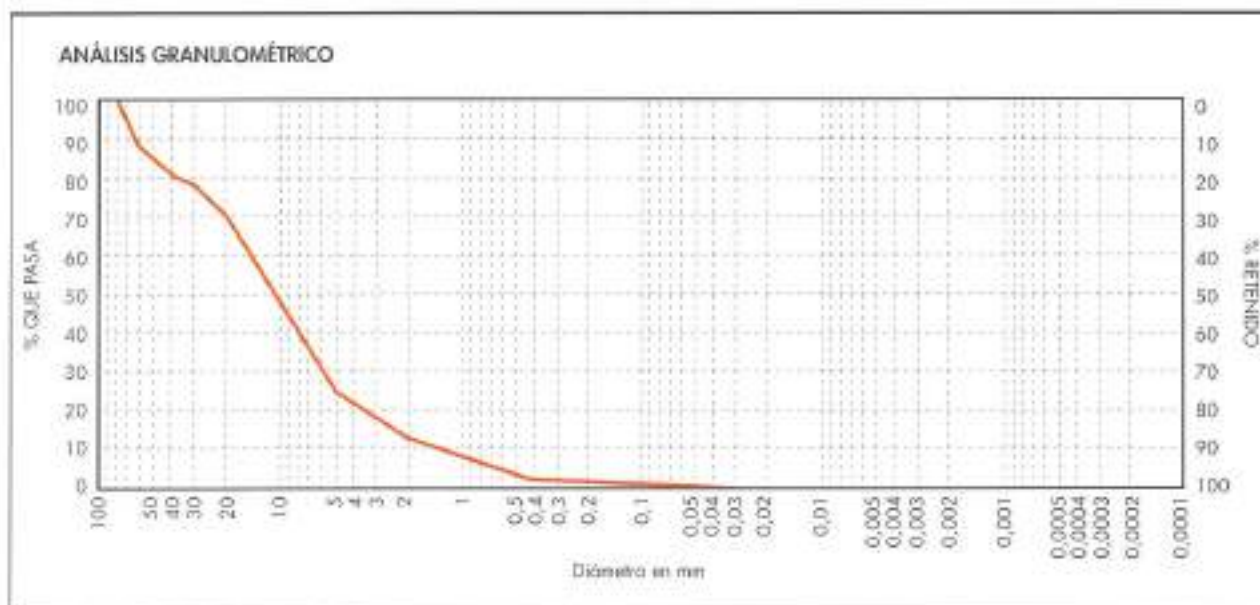


GRÁFICO 1. Granulometría de los estériles negros del Lavadero Batán.

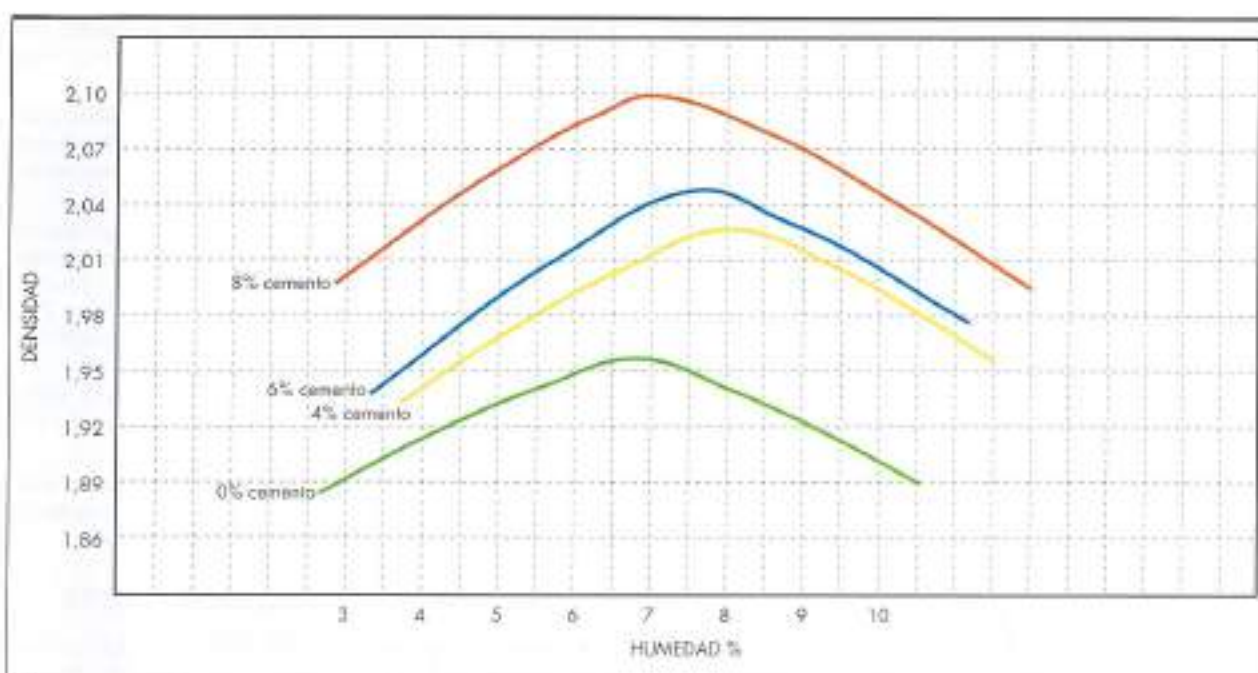


GRÁFICO 2. Curvas de compactación para diferentes porcentajes de cemento.

se recoge en el Gráfico 1, que consistían fundamentalmente en una mezcla de los estériles de granos y menudos. Dichos estériles presentan una baja plasticidad (L.L. 18; L.P. 14 e I.P. 4) y un equivalente de arena de 70. La densidad máxima alcanzada cuando se compactó el material menor de 25 mm con la energía del Proctor Normal fue de 1,96 t/m³, para una humedad óptima del 7 %.

Se hicieron previamente ensayos del contenido en sulfatos solubles según Norma NLT-120⁽⁶⁾, encontrándose unos porcentajes inapreciables, inferiores al 0,5 % exigido como máximo en el PG.3.

Este contenido en sulfatos permite utilizar para su estabilización cementos de cualquiera de estos tipos: Portland, Portland con adiciones activas, siderúrgicos, puzolánicos y cementos con propiedades adicionales. Sin embargo, siendo el cemento Portland con adiciones activas el de uso más extendido en la actualidad, se eligió para los ensayos un cemento tipo II-C/35A.

Basándose en experiencias previas realizadas en España⁽⁴⁾ y otros países, como el Reino Unido^{(6), (7)}, se efectuaron pruebas mezclando el suelo (estériles) con tres porcentajes diferentes de cemento: 4, 6 y 8 %, y compactando con la energía Proctor Normal, que es la preconizada en el PG.3.

En el Gráfico 2 se representa la variación de las densidades obtenidas para diferentes humedades, es decir, las curvas de compactación para diferentes porcentajes de cemento, en las que se refleja el comportamiento usual de estos materiales:

- Para un mismo porcentaje de cemento, la densidad aumenta a medida que se incrementa el tanto por ciento de humedad, hasta llegar a un máximo a partir del cual, al aumentar la humedad, la densidad disminuye.
- Para un mismo porcentaje de humedad, la densidad es mayor al aumentar el contenido de cemento.

Posteriormente, las probetas obtenidas se ensayaron a compresión simple a 7, 28 y 90 días, y de los resultados se

deduce que con un contenido en cemento del 6 % aproximadamente, ya se obtienen las resistencias a compresión de 2,5 MPa y 3,8 MPa exigidas a 7 y 90 días respectivamente (Gráfico 3).

Los resultados anteriores coinciden con los obtenidos en pruebas llevadas a cabo previamente en el Reino Unido^{(6), (7)} y España⁽⁴⁾.

3.2. ESTÉRILES ROJOS

Asimismo, se llevaron a cabo ensayos con los estériles rojos "todo uno" (de tamaño menor a 20 mm) al ser los que, en principio, podrían dar lugar a una mayor susceptibilidad a la humedad en la mezcla de suelo-cemento, dado el mayor contenido en sulfatos de estos estériles frente a los negros.

Las muestras empleadas procedían de las escombreras de Carri y San José, con las que se fabricó un total de 24 probetas, 12 de cada una de las escombreras.

Las probetas se fabricaron empleando los moldes CBR y con una energía de compactación idéntica a la del ensayo Proctor Modificado, según la dosificación:

- Material "todo uno" menor de 20 mm.
- Cemento tipo II-Z/35A, 5 % s/ áridos.
- Agua, 6 % s/ áridos.

Se tomó un contenido en cemento no demasiado alto, 5 %, que, por lo general, es suficiente para proporcionar, con materiales de cierta calidad, unas resistencias adecuadas sin que el coste resulte demasiado elevado.

Se establecieron tres formas de curado para las probetas:

- **Serie 1 (tres probetas).** Sumergidas en agua después de dos días en cámara húmeda de laboratorio (20° C, humedad 100%).
- **Serie 2 (tres probetas).** Sumergidas en agua tras 40 días en la cámara húmeda.

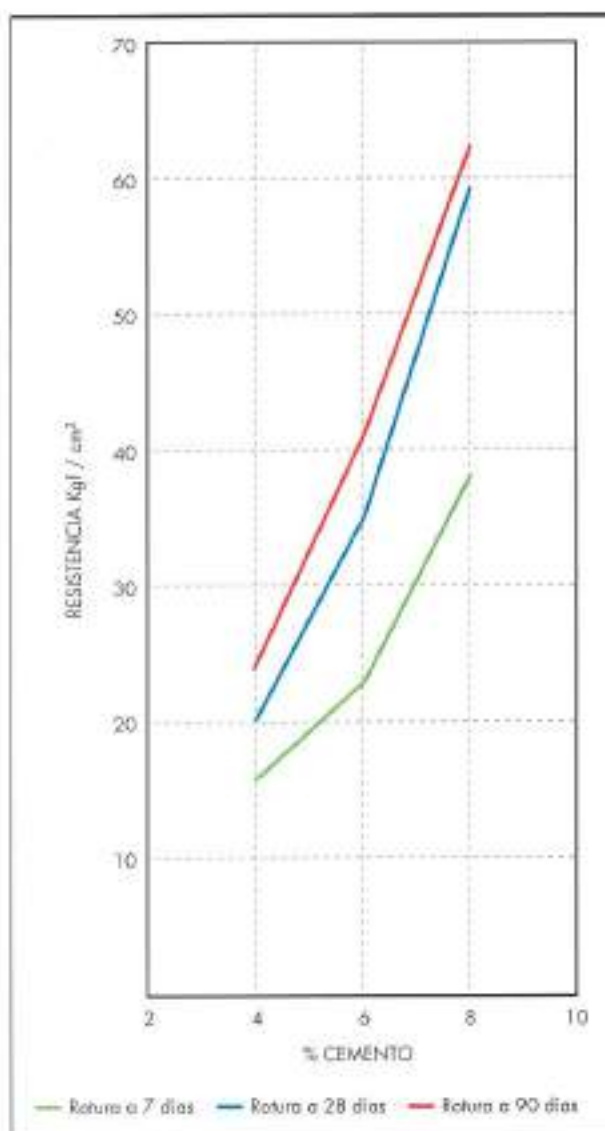


GRÁFICO 3. Variación de la resistencia a compresión en función del porcentaje de cemento.

- **Serie 3 (seis probetas).** Mantenidas en la cámara húmeda sin sumergir.

Transcurridos los periodos de curado iniciales, cada serie se mantuvo en las condiciones antes especificadas hasta completar 6 meses desde su fabricación, siendo entonces ensayadas las probetas.

Durante todo este tiempo se fueron midiendo periódicamente los hinchamientos producidos en las probetas (Tablas 1 y 2). De los datos obtenidos se deduce que tales hinchamientos son apenas significativos. Tampoco se aprecian diferencias según las distintas condiciones a que se sometieron las series de probetas.

Las resistencias a compresión alcanzadas, como se puede ver en las Tablas 3 y 4, quedaron muy por encima del mínimo exigido en el PG.3.

De los resultados anteriores se deduce que tanto los estériles negros como los rojos se pueden emplear como materiales estabilizados con porcentajes del 5-6 % de cemento.

4. EJECUCIÓN DE UN FIRME CON ESTÉRIL-CEMENTO

A la vista de los buenos resultados obtenidos en laboratorio, se efectuaron gestiones para la realización de una capa de firme empleando estériles estabilizados con cemento. Como quiera que en aquel momento se estaba construyendo la Autovía Oviedo-Campomanes, se consiguió el permiso de la Dirección General de Carreteras del MOPTMA para utilizar los mencionados materiales como capa de subbase en el tramo Baña-Mieres, de 4,5 km que, junto con los ramales de salida y entrada, totalizaban 5 km.

Los estériles utilizados en la construcción de la capa de firme eran estériles negros procedentes del Lavadero Batán de HUNOSA, situado en las cercanías del tramo a construir. El material estaba formado por una mezcla de los estériles denominados "granos + menudos".

Los materiales se acopiaron en las inmediaciones del lugar donde se instaló la planta para fabricación de la mezcla estéril-cemento, tal y como se puede ver en la fotografía 1, en un total de 53.000 t, previstas inicialmente para la ejecución de la obra.

La planta de tratamiento empleada para la fabricación de la mezcla (fotografía 2) era un planta móvil, de funcio-

San José • Agua 6% • Cemento II-Z/35A, 5%												
Probetas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hinchamientos												
10-Sep-92	0,46	0,26	0,38	0,46	0,48	0,36	0,42	0,42	0,44	0,1	0,26	0,08
08-Oct-92	0,48	0,22	0,38	0,46	0,6	0,36	0,72	0,42	0,48	0,14	0,26	0,08
19-Oct-92	0,64	0,36	0,48	0,64	0,72	0,54	0,48	0,46	0,54	0,22	0,42	0,26
10-Feb-93	0,6	0,2	0,36	0,48	0,62	0,3	0,5	0,42	0,5	0,24	0,12	0,06
Hinchamiento mínimo: 0,06 • Hinchamiento máximo: 0,72 • Hinchamiento medio: 0,39												

TABLA 1. Hinchamientos registrados en las probetas fabricadas con estéril rojo de San José.

Carrió • Agua 6% • Cemento II-Z/35A, 5%												
Probetas	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Hinchamientos												
10-Sep-92	0,36	0,46	0,48	0,32	0,08	0,26	0,24	0,34	0,28	0,32	0,42	0,48
08-Oct-92	0,36	0,5	0,48	0,32	0	0,16	0,56	0,34	0,28	0,32	0,42	0,48
19-Oct-92	0,6	0,7	0,68	0,44	0,16	0,44	0,34	0,48	0,32	0,54	0,62	0,66
10-Feb-93	0,38	0,46	0,6	-0,06	-0,16	0,14	0,32	0,4	0,24	0,32	0,38	0,64
Hinchamiento mínimo: -0,16 • Hinchamiento máximo: 0,70 • Hinchamiento medio: 0,37												

TABLA 2. Hinchamientos registrados en las probetas fabricadas con estéril rojo de Carrió.

ESTÉRIL ROJO SAN JOSÉ	
Probeta Nº	Resistencia (kgf/cm ²)
1	—
2	78,9
3	76,2
4	82,2
5	—
6	—
7	81,7
8	75,6
9	65,8
10	59,7
11	71,3
12	—

TABLA 3. Resistencias alcanzadas en las probetas fabricadas con estéril de San José.

ESTÉRIL ROJO CARRÍO	
Probeta Nº	Resistencia (kgf/cm ²)
13	—
14	—
15	112,9
16	115,1
17	112,9
18	103,1
19	121,7
20	—
21	114,0
22	103,1
23	—
24	99,2

TABLA 4. Resistencias alcanzadas en las probetas fabricadas con estéril de Carrió.

namiento en continuo totalmente automática. Como quiera que la mezcla de estériles "granos + menudos" presentaba aproximadamente entre un 5 y un 8 % de partículas mayores de 80 mm, se colocó una criba por delante de la entrada a las tolvas de la planta para impedir la incorporación de dicho material, tal y como puede apreciarse en la fotografía 3. Se observa además que la cantidad retenida era escasa.

La dosificación empleada fue la siguiente:

- cemento 6 %
- agua 7 %
- estéril 87 %

No obstante, al comprobar posteriormente que las probetas obtenidas "in situ" presentaban una resistencia a compresión muy alta, > 35 kgf/cm² a los 7 días y > 70 kgf/cm² a los 90 días, se decidió disminuir el porcentaje de cemento al 5 %.



FOTO 1. Acopio de los estériles empleados.



FOTO 2. Planta utilizada para la fabricación de la mezcla estéril-cemento.



FOTO 4. Puesto en obra de la mezcla estéril-cemento.



FOTO 3. Criba para la eliminación del material con tamaño mayor de 80 mm.



FOTO 5. Capa de subbase de estéril-cemento ya compactada.

Testigo nº	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Tensión de rotura (kgf)	Carga de rotura (kgf/cm ²)	Densidad aparente (g/cm ³)	Masa testigo (g)
1	97	108	4.900	66,3	2,28	1.817
2	97	134	6.500	88,0	2,34	2.321
3	97	137	4.400	59,6	2,29	2.317
4	97	141	4.200	56,9	2,24	2.332
5	97	200	4.000	54,1	2,33	3.447
6	97	112	6.100	82,6	2,35	1.950

TABLA 5. Resistencias a compresión a 7 días en testigos de estéril-cemento extraídos de la Autovía Oviedo-Companones (tramo Baiña-Mieres).



FOTO 6. Construcción del tramo de autovía entre Baña y Mieres donde fueron empleados los estériles-cemento.



FOTO 7. El mismo tramo de la fotografía 6, una vez concluida y abierta al tráfico.

La puesta en obra no supuso ningún problema. El material de mezcla fue colocado con facilidad en espesor de 25 cm mediante extendidora y posteriormente compactado. Su comportamiento a efectos de compactación fue excelente. Cabe señalar a este respecto la importancia de trabajar con la humedad óptima o ligeramente por debajo, es decir, en la rama seca de la curva, evitando asimismo trabajar con lluvia.

En la Tabla 5 se recogen los valores de resistencia a compresión medidos sobre los testigos de suelo —(estériles del carbón)— cemento, que se extrajeron del tramo mencionado, donde se puede comprobar que cumplen las prescripciones exigidas.

En las fotografías 4 a 7 se pueden observar diversas fases de la obra: carga de camiones en planta, compactación, aspecto del material una vez compactado, aspecto de los carriles terminados de la autovía en diferentes substratos, aglomerado y vistas de la obra finalizada y de la autovía con paso de tráfico.

El tramo construido, de 5 km de longitud incluyendo entradas y salidas, lleva más de dos años sometido a tráfico pesado sin que hasta la fecha se hayan detectado problemas (grietas, asentamientos, etc.) imputables a la mezcla de estéril-cemento, por lo que su comportamiento puede considerarse totalmente satisfactorio.

5. CONCLUSIONES

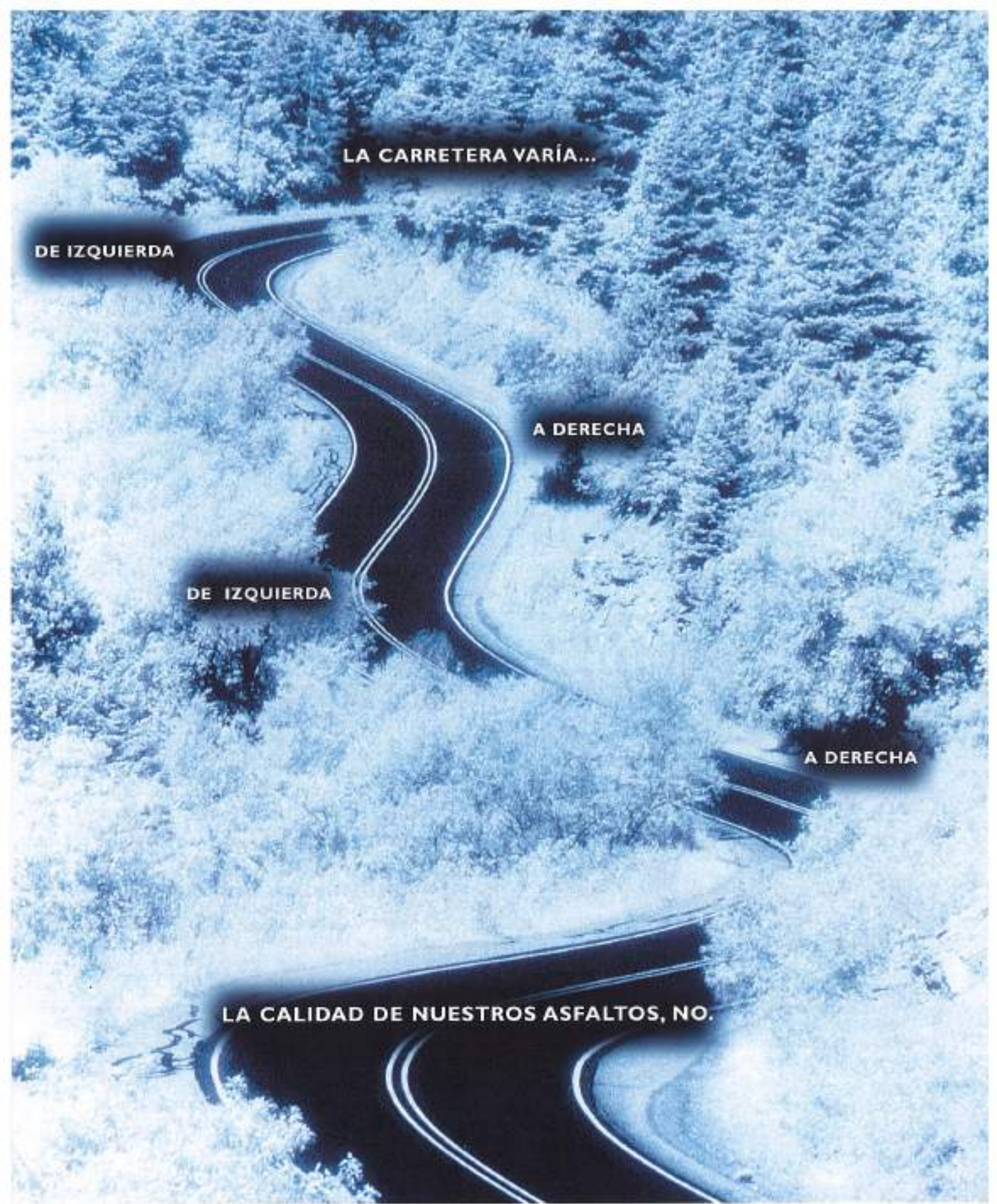
De lo expuesto anteriormente se deduce que los estériles del carbón estabilizados con cemento en porcentajes entre el 5 y el 6 % se pueden emplear como materiales para subbase de carreteras, autovías, autopistas, etc., lo cual ya se viene efectuando en otros países productores de carbón, como son Francia y el Reino Unido.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Dirección General de Carreteras, HUNOSA y Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX por las facilidades dadas para la elaboración del presente trabajo, así como a todo el personal de las citadas entidades que ha intervenido en el mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ESTERAS GONZÁLEZ, S.; JIMÉNEZ SÁEZ, R.; IBARZABAL OSET, J. L.; GONZÁLEZ CAÑIBANO, J.; RUIZ RUBIO, A. "Utilización de los estériles del carbón como materiales para capas de firmes. I. Características y ensayos de lixiviación". Ingeniería Civil, 95, 67-75 (1994).
- (2) "Instrucción 6.1-IC y 6.2-IC. Secciones de firme". Área de Tecnología de la Dirección General de Carreteras. MOPU (1990).
- (3) "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes". Dirección General de Carreteras. MOPU (1975).
- (4) GONZÁLEZ CAÑIBANO, J.; GARCÍA, M.; FERNÁNDEZ, J. M. "Utilización de los estériles del carbón en la construcción de firmes de carreteras". VII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Barcelona (1994).
- (5) "Normas NLT. I. Ensayos de Carreteras. II. Ensayos de Suelos". 2ª edición, revisada y ampliada. CEDEX. Dirección General de Carreteras. MOPU (1992).
- (6) NCB. "Utilization of Colliery Spoil in Civil Engineering". Final Report Research Project 6220-EC/8/808 to the European Coal and Steel Community. July (1978).
- (7) KETTEL, R.J.; RAINBOW, A.K.M. "The Stabilization of Colliery Spoil". Symposium on the Utilization of Waste from Coal Mining and Preparation. Vol. III. Tatábfánya, Hungary, 17-23 October (1983).



LA CARRETERA VARÍA...

DE IZQUIERDA

A DERECHA

DE IZQUIERDA

A DERECHA

LA CALIDAD DE NUESTROS ASFALTOS, NO.

PRODUCTOS ASFALTICOS. A lo largo de miles de kilómetros, una carretera puede variar de izquierda a derecha de manera más o menos pronunciada. Pero lo que no varía nunca es la calidad de los asfaltos Cepsa. Siempre es la misma. Siempre la mejor.

PROAS Avda. de América, 32. 28028 MADRID Tel.: (91) 337 71 27 / 25 Fax: (91) 337 71 33 / 32 / 34.



TODA NUESTRA ENERGÍA
PARA QUE VIVAS MEJOR