

APLICACIONES DE LAS ESCORIAS DE HORNO ALTO EN LA TÉCNICA DE CARRETERAS

AURELIO RUIZ RUBIO (*)
JULIO JOSE VAQUERO GARCIA (**)

RESUMEN. En este artículo se lleva a cabo una revisión de los diferentes tipos de escorias de horno alto haciendo hincapié en aquellas que, en nuestro país, son más usuales en la técnica de carreteras, destacando sus características físico-químicas, sus aplicaciones y las ventajas e inconvenientes que representa su utilización.

ABSTRACT. *This article concerns a review of the different kinds of blast furnace slags, giving special emphasis to those that are used most frequently in road techniques in Spain, highlighting not only their physical and chemical properties, but also their applications and the advantages and drawbacks that their use would mean.*

1. INTRODUCCION

Las escorias de horno alto, obtenidas como subproducto en la industria metalúrgica, han pasado a ocupar, en la mayoría de los países que cuentan con estas instalaciones, un lugar destacado como material para la construcción de carreteras.

De la observación de los volúmenes empleados en carreteras en distintos países (Japón 8 MT/año, Francia 7 MT/año, Gran Bretaña 4,5 MT/año) se desprende su peso dentro de la técnica.

En alguno de ellos, por ejemplo, la aplicación de la grava-escoria ha llegado a desbancar a la de un material tan tradicional como la grava-cemento, habiéndose cambiado la filosofía de utilización de las escorias granuladas desde el enfoque de aprovechamiento de un subproducto, al de un material «noble», con ventajas frente a otros utilizados con el mismo fin.

En España, se han venido empleando, tanto en su aplicación como árido artificial para capas granulares de base o sub-base de carreteras, como en la de conglomerante para la grava-escoria, aunque los volúmenes puestos en obra quedan muy lejos de las cifras anteriormente mencionadas, las aplicaciones han sido exclusivamente locales y, en resumen, puede decirse que no se han aprovechado suficientemente sus posibilidades.

La razón del relativo fracaso de las escorias no puede encontrarse en un mal comportamiento de las capas

construidas hasta la fecha que, en general, puede clasificarse como de excelente, ni en el desconocimiento por parte de los técnicos de las ventajas conseguidas, sino más bien en la discontinuidad en la oferta del material y, en cualquier caso, por una falta de promoción adecuada.

Sin embargo, en la actualidad, el progresivo deterioro de la naturaleza y las necesidades del proceso de reconversión de nuestra siderurgia, conducen a una sensibilización generalizada por el empleo racional de los subproductos y residuos industriales, y al desarrollo de investigaciones encaminadas a determinar el campo de aplicación de los mismos. Por ello es de esperar que la situación cambie en los próximos años. En lo que sigue se pasa revista a los aspectos básicos de la utilización de las escorias como material para la construcción de carreteras, subrayando aquellos puntos y aplicaciones que aconsejan su empleo.

2. LAS ESCORIAS DE HORNO ALTO

Cada tonelada de fundición producida en un horno alto se ve acompañada, necesariamente, de una cantidad de escoria, función de la naturaleza de los productos (minerales, fundentes y coque) introducidos en el horno.

Fundición y escoria fluyen simultáneamente y de forma continua hacia la parte baja del horno alto para acumularse en el crisol, donde se produce una decantación selectiva fácilmente obtenida como consecuencia de sus diferentes pesos específicos (7,0 y 2,7). Para evitar su acumulación ambas fases líquidas son evacuadas por colada o gravedad a niveles diferentes.

La escoria reúne en estado líquido los elementos residuales de la fundición, gas y polvo, procedentes de:

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe del Sector de Experimentación del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPU).

(**) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de División. Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPU).

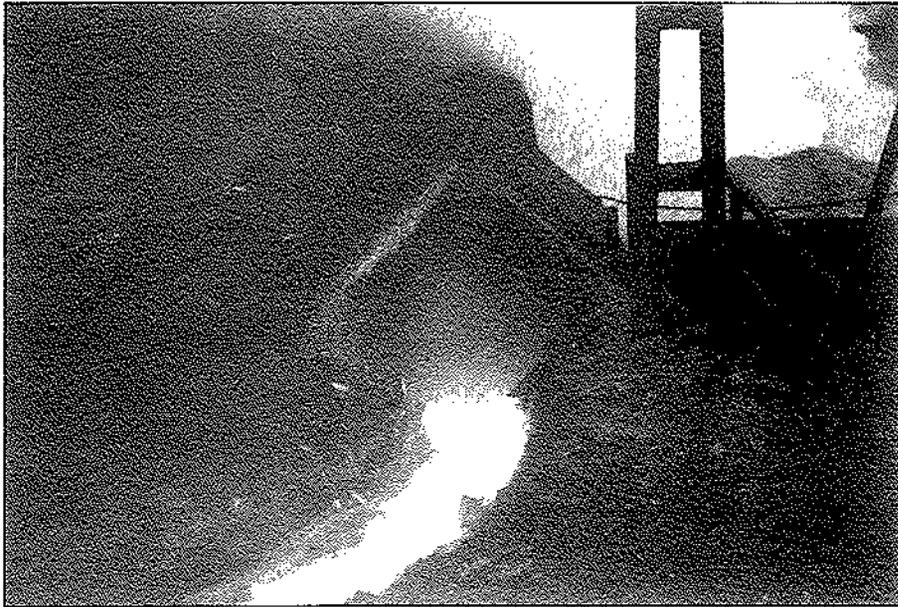


FOTO 1. Ruta de escoria líquida, procedente del horno alto, entrando en la zona de apagado.

- La ganga que acompaña los óxidos de hierro del mineral.
- Las adiciones de fundentes ácidos o básicos.
- Las cenizas de la combustión.

La escoria sale por la piquera del horno a una temperatura cercana a los 1.500 °C, pudiendo ser sometida a distintas técnicas de enfriamiento que permiten obtener materiales con características de utilización claramente diferentes: escoria cristalizada, escoria vitrificada (granulada o peletizada) y escoria dilatada.

2.1. ESCORIA CRISTALIZADA

La escoria cristalizada se obtiene por enfriamiento lento de la escoria líquida. Debido a la lentitud del proceso, la materia cristaliza formando distintos componentes, preferentemente gelenita ($2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$), quedando únicamente una pequeña parte de ella en estado vítreo. Después de un cierto periodo de almacenamiento y tras una operación de machaqueo este material constituye un árido artificial de aplicación en la construcción de carreteras.

Las partículas de escoria cristalizada tienen un color grisáceo y una textura rugosa. Su naturaleza es fundamentalmente vacuolar, con abundantes poros internos y externos. En la tabla 1 se presentan a título de ejemplo los valores medios del peso específico, absorción y porosidad de las fracciones gruesa y fina de muestras procedentes de los hornos altos de Ensidesa.

La gran porosidad del material favorece el drenaje de agua y la reactividad química, reduciendo también la sensibilidad a las heladas. En el lado contrario tiene un efecto desfavorable en la resistencia mecánica como puede apreciarse en la figura 1. La textura rugosa le confiere un gran rozamiento interno y una capacidad de soporte elevada, pero juega un papel adverso en la trabajabilidad del material.

	ESCORIA CRISTALIZADA	
	FRACCION 10-25	FRACCION 0-5
PESO ESPECIFICO APARENTE SECO	2,380	2,570
PESO ESPECIFICO APARENTE S.S.S.	2,455	2,660
PESO ESPECIFICO REAL	2,570	2,810
ABSORCION (%)	3,10	3,60
PESO ESPECIFICO REAL <80 μm	2,99	2,99
POROSIDAD APARENTE (%)	7,40	9,25
POROSIDAD REAL (%)	20,40	14,00

TABLA 1. Características físicas de la escoria cristalizada.

Al tratarse de un árido de machaqueo, la granulometría de las partículas depende de las características de la instalación que se utilice, si bien se suele dar como nota común en todas ellas la reducida fracción de polvo mineral (tamaño inferior a 80 μm) que se produce durante el proceso de machaqueo.

Otras características físicas a resaltar en este material son su baja conductividad térmica, aspecto favorable por la reducción de los movimientos de combado y retracción del material por gradientes térmicos diferenciales o cambios de temperatura; su insensibilidad al agua, al tratarse de un material no plástico, y su extraordinaria limpieza, si no se producen contaminaciones en los acopios.

En cuanto a sus características químicas, en la tabla 2 se presenta su composición media de muestras de escoria de la procedencia citada en comparación con la de un clinker de cemento portland tipo. Como puede

DAMOS SEGURIDAD

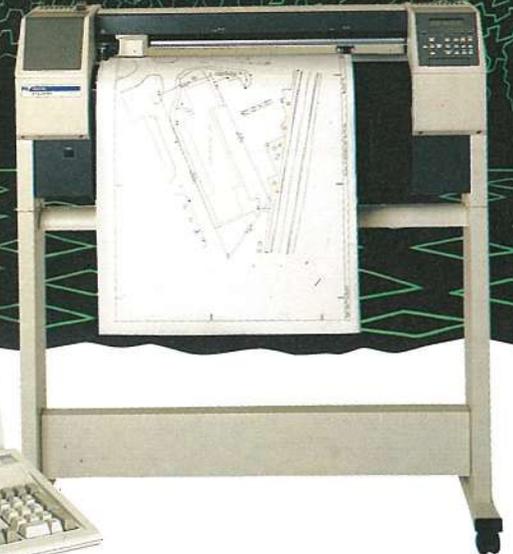
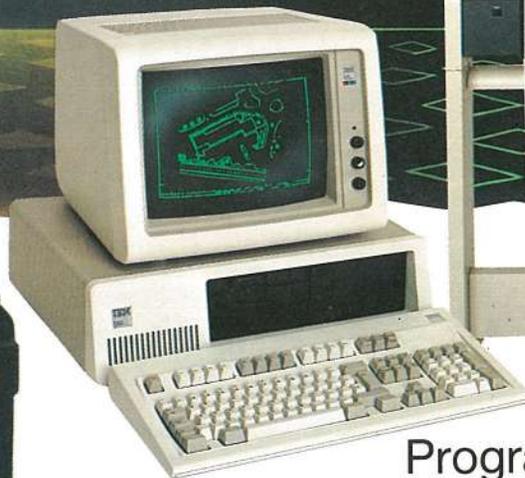


AFASMETRA

ASOCIACION DE FABRICANTES
DE SEÑALES METALICAS DE TRAFICO



Líderes en un mundo de cambio...



Programa Topográfico

SOKKISHA

SDR-VARIN

Distribuidor en exclusiva
para España:

Isidoro Sánchez, S. A.

RONDA DE ATOCHA, 16 - 28012 MADRID - Teléfono 467 53 63 (6 líneas)

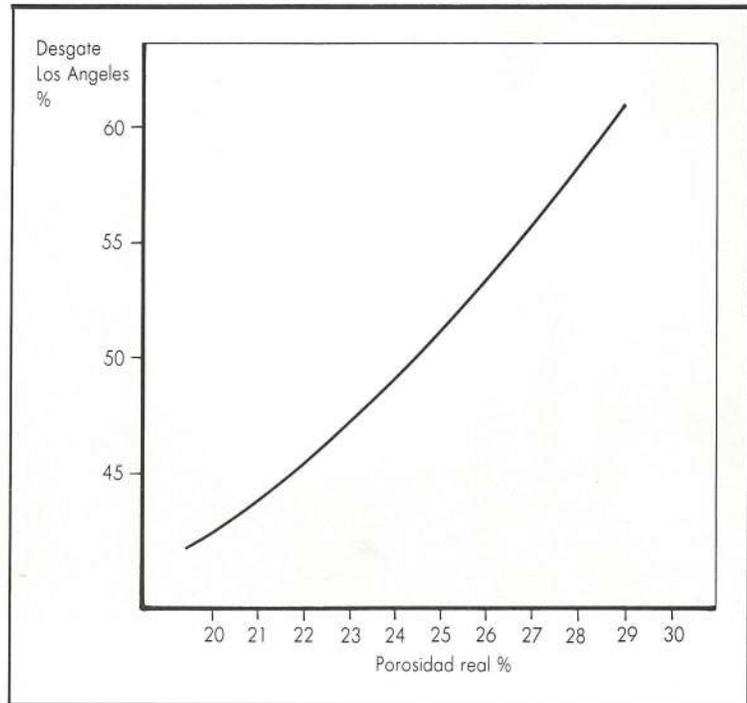


FIGURA 1. Relación entre las resistencias mecánicas y la porosidad.

COMPONENTE	ESCORIA DE HORNO ALTO (%)	CLINKER DE CEMENTO PORTLAND (%)
CaO	41	66,5
SiO ₂	38	22,3
Al ₂ O ₃	10	5
MgO	8	1,7
S	1,4	1,5
FeO	0,4	2
MnO	0,7	—
K ₂ O	0,5	1

TABLA 2. Composición media de la escoria de horno alto comparada con un clinker Portland tipo.

verse hay cuatro óxidos principales —de sílice, alúmina, cal y magnesia— que constituyen más del 95 % de los óxidos totales. La composición química de la escoria, procedente de un determinado horno alto, es bastante constante en el tiempo como consecuencia de la exigencia de que las distintas coladas proporcionen una fundición homogénea de características constantes y conocidas. Por ejemplo, de más de 300 análisis revisados correspondientes al año 1988, la desviación típica del contenido de CaO es de 1,2998, con un intervalo de variación del 38 al 43 %.

2.2. LA ESCORIA GRANULADA

La escoria granulada se obtiene por enfriamiento brusco de la escoria líquida con agua a presión. Este proceso se denomina granulación. La escoria se descompone en pequeñas partículas más o menos alveolares con aristas cortantes, obteniéndose un producto similar a una arena con partículas comprendidas entre 0 y 5 mm (ver tabla 3), con una densidad aparente muy variable (0,5 a 1,5) y un peso específico real de 2,86.

La composición química de la escoria granulada es idéntica a la de la escoria cristalizada, al obtenerse ambas de la escoria líquida; es decir, está formada fundamentalmente por cal, óxidos de sílice y alúmina, que se presentan en las siguientes proporciones medias:

TAMIZ UNE	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)
20	100
10	100
5	98,8
2,5	92
1,25	67,8
400 μm	16
160 μm	4,6
80 μm	2,6

TABLA 3. Granulometría media de la escoria granulada.

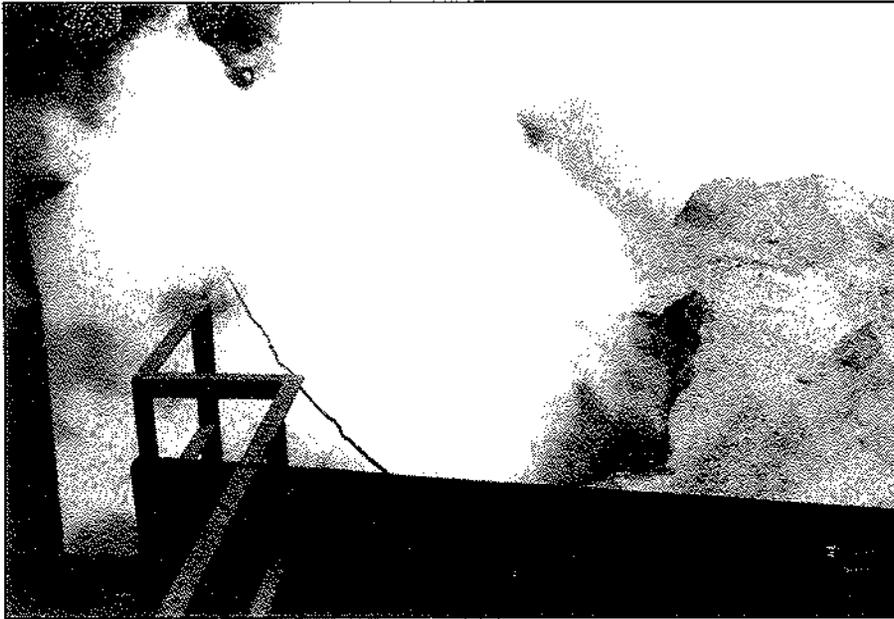


FOTO 2. Apagado de la escoria líquida mediante agua a presión para obtener la escoria granulada.

CaO	38-43 %
SiO ₂	36-40 %
Al ₂ O ₃	8-12 %

Además de éstos tiene como componentes secundarios óxido de hierro, óxido de manganeso y azufre.

La granulación vitrifica la escoria, esto es, la convierte en un sólido cuyas moléculas no han tenido tiempo de orientarse al estado cristalino por la rapidez del enfriamiento. Esto le confiere al material una característica metaestable y un poder hidráulico latente. En presencia de agua y de un catalizador básico actúa como un conglomerante hidráulico con un fraguado muy lento, formando una serie de productos hidratados que cristalizan, dando origen a un cuerpo sólido, estable frente a la acción del agua.

Sin embargo, el fraguado de la escoria granulada no puede explicarse, como en el caso del cemento portland, por fenómenos de hidratación de un producto anhidro, sino por fenómenos de disolución en medio básico de los constituyentes principales de la escoria, y por la cristalización de ciertos compuestos (silicatos, aluminatos y aluminosilicatos de calcio hidratados) en el seno de la mezcla.

Una característica importante es que la velocidad de fraguado es muy lenta debido a las pequeñas cantidades de materia en solución que se producen. Para acelerarla existen varios procedimientos pero el más extendido es el del empleo de catalizadores que aumenten considerablemente el pH de la solución acuosa (por encima de 12,5) y, por tanto, la cantidad de materia en solución.

La reactividad de la escoria depende también de otros factores, no menos importantes que el tipo de catalizador, que juegan un importante papel en las características hidráulicas del material:

- Composición química.
- Grado de vitrificación.
- Superficie específica.
- Temperatura durante el proceso de hidratación.

En relación con la composición química, en los inicios de la técnica se hizo un intento de relacionar la reactividad hidráulica con un índice del tipo:

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} > 1$$

en el que valores superiores a la unidad indican una reactividad alta en la escoria.

Sin embargo, este tipo de módulos tienen una escasa validez como lo demuestra la profusión de los mismos (Langavant, Keil, Sopora, etc.), no siendo ninguno de ellos enteramente satisfactorio ni válido para todos los campos.

En la actualidad los estudios tienden hacia la investigación de qué elementos confieren a la escoria una mayor hidráulica. En algunos casos se ha llegado a añadir alguna materia prima (bauxita) en la entrada del horno alto, buscando obtener una escoria con altos contenidos de Al₂O₃, que se ha comprobado que aumenta el poder cementante y de MgO (a través de olivino), para mantener una basicidad adecuada y una desulfuración sin aumentar la temperatura de fusión.

El grado de vitrificación de la escoria es un dato a tener en cuenta para definir la calidad de la misma y conocer su potencial hidráulico, puesto que las escorias enfriadas lentamente poseen una estructura cristalina y una mínima reactividad potencial. Sin embargo, el estudio del grado de vitrificación no permite comparar distintas escorias entre sí, al no poderse afirmar que eleva-

dos contenidos de fase vítrea garanticen una elevada reactividad.

El fenómeno del fraguado es un fenómeno de superficie y depende, por tanto, de la superficie específica de la escoria. Para una escoria dada esta superficie dependerá, fundamentalmente, de la friabilidad del material y, por tanto, de la cantidad de finos ($< 80 \mu\text{m}$) que se produzcan durante la compactación y puesta en obra.

Finalmente, la temperatura a la que se produce el fraguado tiene también una gran influencia en las resistencias alcanzadas. Las altas temperaturas aceleran extraordinariamente el proceso y las bajas lo frenan. En ambos casos el efecto es bastante superior al que se produce con el cemento portland.

2.3. ESCORIA PELETIZADA

Al igual que la escoria granulada, la escoria peletizada es una escoria vitrificada, si bien, su grado de vitrificación es un intermedio entre la escoria cristalizada y la granulada. Recibe su nombre por la forma final del producto obtenido (pellets).

Esta escoria se obtiene inyectando agua en el material todavía fundido, proyectando esta mezcla a la atmósfera por medio de un tambor provisto de paletas que divide la escoria, aún plástica, en partículas que se expanden y toman una forma esférica, con granulometrías comprendidas entre 0 y 13 mm.

La escoria peletizada tiene como ventaja sobre la granulada, que su contenido en agua es menor (aproximadamente el 5%), pero su grado de vitrificación es inferior debido a la lentitud del proceso de enfriamiento.

2.4. ESCORIA DILATADA

Por último, las escorias dilatadas se obtienen añadiendo a la escoria fundida una cantidad de agua inferior a la necesaria para la obtención de la escoria granulada, resultando un material que, después de machacado, proporciona un árido de baja densidad que se emplea en construcción para la fabricación de hormigones ligeros.

3. CAMPO DE APLICACION EN CARRETERAS

De los diferentes tipos de escorias de horno alto que acabamos de ver, tan sólo dos se emplean de forma generalizada en la técnica de carreteras, las escorias cristalizadas y las escorias granuladas, que se utilizan bien por separado como árido y como conglomerante, o bien conjuntamente constituyendo el material que se denomina escoria-escoria o escorias tratadas con conglomerantes hidráulicos.

3.1. LA ESCORIA CRISTALIZADA COMO ARIDO

Ya se ha mencionado que la escoria cristalizada es un material que puede constituirse como un árido artificial de aplicación en la construcción.

Sus ventajas e inconvenientes vienen dadas por su naturaleza vacuolar. La principal ventaja se deriva de la gran cantidad de poros internos, que le confieren una



FOTO 3. Aspecto de la escoria cristalizada en una era de enfriamiento lento.

gran permeabilidad, lo que le hace ser un material excelente para la construcción de capas granulares de subbase o drenantes. En su aplicación en capas tratadas, presenta ventajas también frente a los materiales de cantera o gravera utilizados en granulometría densa, en los que cualquier exceso de agua de amasado lleva a que se produzcan elevadas presiones intersticiales en el proceso de compactación, por no poderse evacuar el agua y, en definitiva, a acolchamientos en la compactación que, finalmente, originan la aparición de blandones.

Su principal desventaja y lo que hace que se le considere como un árido marginal, es su baja resistencia a la fragmentación, como señala su coeficiente de desgaste Los Angeles (> 45). Esto ha hecho que no se utilice en capas que reciban fuertes solicitaciones del tráfico, prefiriéndose su empleo en capas inferiores del firme. El problema pierde importancia cuando se trata la escoria con un conglomerante, aunque, en principio, se mantiene el de su degradación en el proceso de compactación y su influencia en el comportamiento, a largo plazo en capas fuertemente solicitadas. Este tema se ha estudiado en laboratorio y en obra, llegándose a la conclusión de que la degradación no es importante cuando se trata de una granulometría densa.

Debe tenerse en cuenta su baja densidad, que supone una desventaja desde el punto de vista del transporte, pero un ahorro desde el de volúmenes de obra, por lo que el balance, dentro de cada obra específica, puede ser diferente.

Otras ventajas que son importantes subrayar, son las derivadas de su bajo coeficiente de conductividad térmica, que minimiza los movimientos por combado, debido a los gradientes térmicos y que al final se refleja en un menor agrietamiento; su limpieza frente a otros áridos naturales, y su vitrificación parcial, que le confiere una cierta actividad conglomerante.

Un aspecto que merece una especial consideración es el de la durabilidad de la escoria cristalizada que puede sufrir distintas formas de degradación producidas por la reacción de la cal libre, el azufre o el óxido de hierro presentes en su composición. Según los estudios realizados, la experiencia existente en el país y aplicando además los criterios que a este respecto siguen en otros países, las escorias que se producen en España no deben presentar problemas si mantienen su composición química actual.

Por otro lado, está el tema del posible ataque de sus compuestos a otros materiales, vegetación o aguas cercanas. De todos los componentes, el más significativo por su abundancia en el material y capacidad de disolución es el CaO. Su acción, sobre el resto de componentes en el firme, es totalmente inócua y, respecto a la vegetación de las lindes, únicamente puede tener un efecto beneficioso, por la subida del pH.

Por otro lado, el azufre es el componente que ha presentado una mayor inquietud entre los aplicadores. Parte del azufre, en forma de sulfuros, reacciona con otros componentes, produciendo una coloración azulada-verdosa en algunas zonas del material. Esta coloración desaparece, sin embargo, después de 2-4 días de exposición al aire, por oxidación y dada la pequeña cantidad de azufre presente, 1,5 % de media, no es preocupante en relación con la integridad del material, lo que también viene demostrado por la experiencia en nuestro país y en el extranjero.

Cabría la duda de si este azufre podría formar compuestos que atacasen las armaduras de elementos constructivos situados en las proximidades; los ensayos realizados y la experiencia recogida en la bibliografía, son también contundentes en este aspecto, señalando la no incidencia en la corrosión del acero (ver documento ACI 226.1R-87). Asimismo, puede decirse que este pequeño porcentaje no debe crear problemas en la vegetación de las zonas colindantes.

Cabría la duda de si este azufre podría formar compuestos que atacasen las armaduras de elementos constructivos situados en las proximidades; los ensayos realizados y la experiencia recogida en la bibliografía, son también contundentes en este aspecto, señalando la no incidencia en la corrosión del acero (ver documento ACI 226.1R-87). Asimismo, puede decirse que este pequeño porcentaje no debe crear problemas en la vegetación de las zonas colindantes.

3.2. LA ESCORIA GRANULADA COMO CONGLOMERANTE

La escoria granulada tiene un gran número de aplicaciones en el sector de la construcción, de la industria química y en la agricultura.

Dadas las características metaestables del material y al poseer un poder hidráulico latente, la aplicación más extendida de la escoria en la construcción es la de su empleo en la fabricación de cementos. En España (ver tabla 4) estos cementos se clasifican, en función del contenido de escoria granulada, en:

- Cementos portland con escoria 10 a 35 %
- Cementos de Horno Alto I 36 a 55 %
- Cementos de Horno Alto II 56 a 80 %

En carreteras el empleo de las escorias granuladas se dirige fundamentalmente, en nuestro país, hacia las bases tratadas y en especial en la técnica de la grava-escoria, por las indudables ventajas que presenta este material.

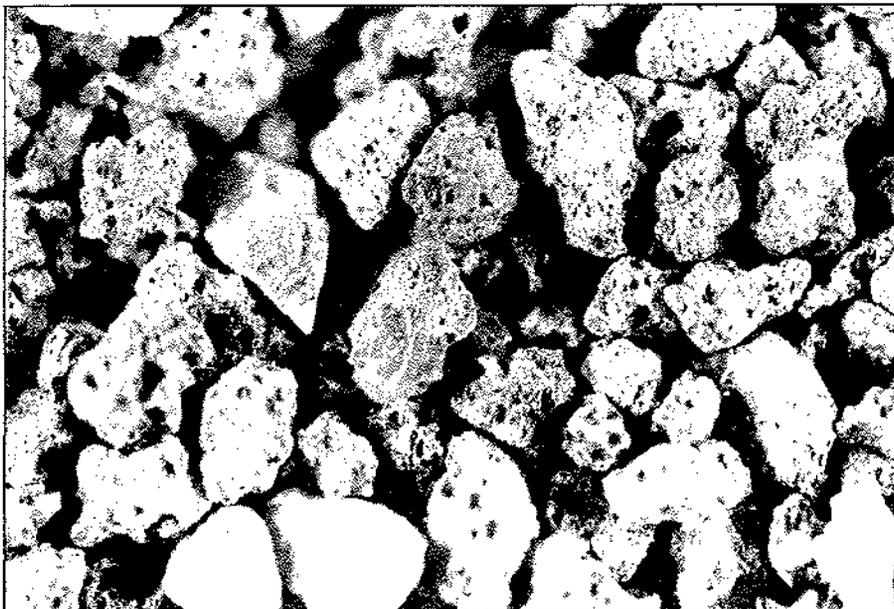


FOTO 4. Detalle de la escoria cristalizada machacada, donde puede observarse su alto grado de porosidad.

CARRETERAS Y AEROPUERTOS

TIPOS			PROPORCIÓN EN MASA (1)				
DENOMINACION	DESIGNACION		CLINKER	ESCORIA GRANULADA DE HORNO ALTO	PUZOLANA NATURAL	CENIZA VOLANTE	FILLER CALIZO
CEMENTOS PORTLAND	I	I	95-100	0	—	—	5
CEMENTOS PORTLAND CON FILLER CALIZO		II-F	85-95	—	—	—	5-15
CEMENTOS PORTLAND CON ESCORIA	II	II-S	65-90	10-35	0	—	5
CEMENTOS PORTLAND CON PUZOLANA		II-Z	65-90	0-5 (2)	10	35	0-5 (2)
CEMENTOS PORTLAND COMPUESTOS			65-88	6-29	6	29	0-
CEMENTOS DE HORNO ALTO	III	III-1	45-64	35-55	0	—	—
		III-2	20-44	56-80	0	—	—
CEMENTOS PUZOLANICOS	IV	IV	≥60	0-5 (2)	—	≤40	0-5 (2)
CEMENTOS MIXTOS	V	V	20-60	40-80	—	—	0-5
CEMENTOS ALUMINOSOS	VI	VI	100	—	—	—	—

TABLA 4. Tipos de cemento: composición.

(1) Los valores de la tabla se refieren al núcleo CEMENTO, entendiéndose por tal el clinker y las adiciones, con exclusión del regulador de fraguado y los aditivos.

(2) Indica que el total de escoria más caliza no debe rebasar el 5% en masa.

NOTA: El fabricante de cemento comunicará a los usuarios que lo soliciten, tanto la proporción y naturaleza de los componentes, como cualquier variación en la proporción que sobrepase en ± 5 puntos, lo inicialmente previsto.

Se denomina grava-escoria a la mezcla homogénea de materiales granulares (áridos), escoria granulada de horno alto (conglomerante), cal (catalizador de fraguado) y agua, que convenientemente compactada, se puede utilizar en la construcción de firmes de carreteras.

La grava-escoria es un material muy utilizado en Europa especialmente en Francia, por las ventajas técnicas, económicas y ecológicas que su empleo representa y la experiencia existente es superior a 20 años.

Las mezclas de grava-escoria se utilizan, convenientemente compactadas, en la construcción de capas de base y subbase de los firmes de carreteras, tanto en obras de nueva construcción como en refuerzos de firmes ya existentes y así lo contemplan los catálogos de estructuras de firmes tipo de los distintos países aunque el grado de utilización varía de unos a otros.

En general, los criterios de proyecto de esta unidad de obra difieren de los adoptados en capas tratadas con cemento; sin embargo, los sistemas de fabricación y puesta en obra son bastante similares, siendo normal el empleo de las mismas instalaciones y maquinaria para el proceso constructivo de ambos tipos de materiales.

Algunas de las ventajas que se obtienen con las estabilizaciones con escoria, respecto a las habituales con cemento portland, son las siguientes:

— Por la lentitud del fraguado del material, éste es trabajable durante un plazo de al menos 24 horas,

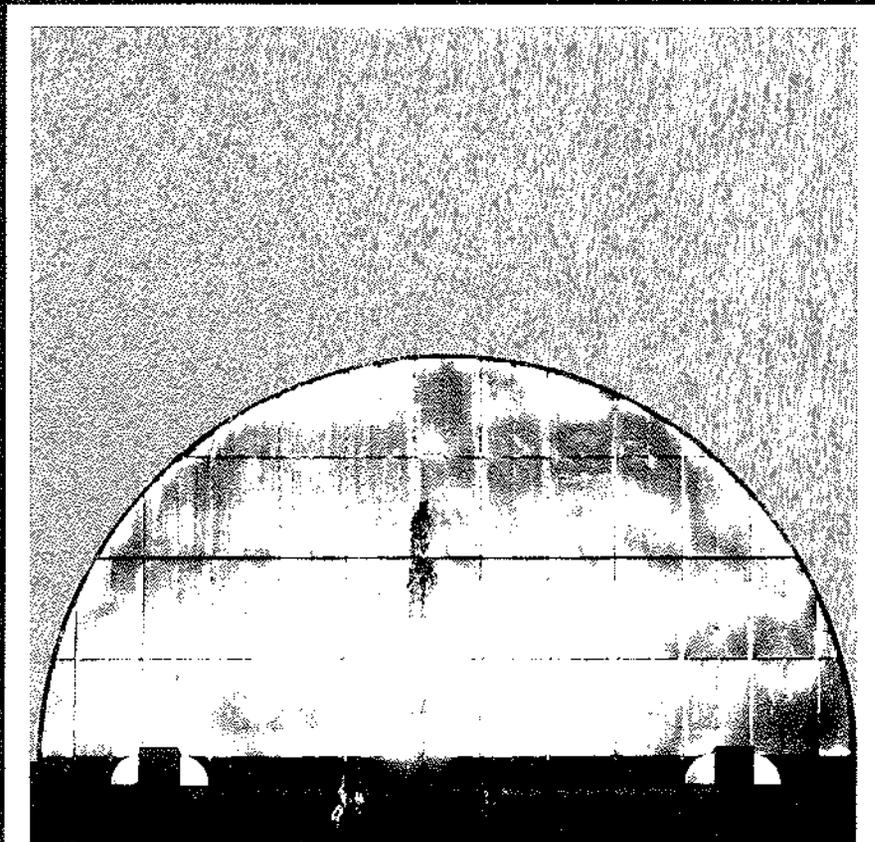
lo que permite una independencia casi total entre la central de fabricación y los equipos de extensión y compactación. Su insensibilidad al tiempo de transporte entre la central y la obra, hacen que la técnica de la grava-escoria sea también interesante en trabajos urbanos.

- La mezcla final obtenida es muy uniforme, dado el alto porcentaje de conglomerante que se utiliza (entre el 15 y 20 % sobre peso en seco del total de los constituyentes).
- La retracción por fraguado es pequeña, en cualquier caso menos acusada que en las gravas-cemento. Por esta razón, las secciones estructurales con capa de base formada por grava-escoria se suelen proyectar con un 10-20 % menos, aproximadamente, de espesor de pavimento que aquellas en que la capa de base es de grava-cemento.
- La relativa insensibilidad respecto a la cantidad de agua en la puesta en obra, factor que es decisivo en las gravas tratadas con cemento, hace que las gravas-escoria tengan un período de ejecución más prolongado, no existiendo tantas limitaciones respecto a la climatología como en aquéllas.
- Se puede abrir al tráfico nada más compactar, ya que al principio se comporta como un material granular, lo que permite hacer incluso obras de refuerzo sin afectar al tráfico.

SMOPYC 90

16-20/02/90 • ZARAGOZA • ESPAÑA

**SALON INTERNACIONAL DE MAQUINARIA PARA
OBRAS PUBLICAS, CONSTRUCCION Y MINERIA**



FERIA DE ZARAGOZA
Carretera Nacional II, Km 311
P.O. Box 106
E-50080 ZARAGOZA (ESPAÑA)



ICEX ASOMA

- Permite el reperfilado cuando se producen errores de nivelación.
- Se pueden construir capas de espesor variable, sin los valores mínimos que se exigen a las estabilizadas con cemento, incluso cuñas en ensanches de sección transversal ampliada.

Como limitaciones a su ejecución, hay que tener en cuenta que, durante los períodos invernales, las bajas temperaturas frenan e incluso detienen las reacciones que tienen lugar durante el fraguado. Esto obliga a detener la puesta en obra del material cuando la temperatura a la sombra baje de 5 °C o existan temores fundados de que se produzcan heladas. Asimismo, hay que cuidar la compactación del material, asegurando un grado de compactación que proporcione al menos el 100 % de la densidad máxima determinada en el ensayo Proctor Modificado, puesto que el material es muy sensible a las variaciones que se producen en su densidad (variaciones del 10 % de la compacidad, provocan variaciones de hasta un 50 % sobre las resistencias a tracción indirecta del material).

3.3. LAS ESCORIAS TRATADAS CON CONGLOMERANTES HIDRAULICOS

La necesidad de alcanzar un aprovechamiento integral de sus productos y subproductos ha llevado a las empresas siderúrgicas a buscar un soporte tecnológico a la aplicación de las escorias de horno alto, fomentando la investigación sobre sus características y posibilidades y asegurando una continuidad en la oferta de las mismas.

Una respuesta lógica al problema del aprovechamiento de estos subproductos, es la siguiente. Si se puede obtener escoria en forma de áridos y de conglomerantes, ¿por qué no fabricar una mezcla con estos componentes? Esta idea ha sido ya desarrollada por varios países (Francia, Bélgica, etc.) con buenos resultados, e incluso en España se llevó a cabo hace algunos años un estudio de laboratorio que no cristalizó en ninguna aplicación práctica. En la actualidad se ha vuelto a recoger esta idea y se está trabajando de nuevo en su aplicación.

El material escoria-escoria está constituido por una escoria cristalizada machacada, como árido, de granulometría continua y densa, que participa en un 75 % en peso de la mezcla, un conglomerante constituido por una escoria granulada (18 %) activada con cemento (4 %), y como polvo mineral de adición para suplir las deficiencias en finos de la escoria cristalizada, otro subproducto de la industria metalúrgica, FeO, introducido en la mezcla por vía acuosa y con una dosificación aproximada del 3 % en peso. El contenido de agua oscila entre el 6 % y 10 % en peso de la mezcla.

Este material se fabrica, se coloca en obra, se compacta y se termina de forma análoga a otros materiales como la grava-cemento o el hormigón compactado.

El abanico de posibilidades de empleo del material ha sido objeto de un estudio detallado por parte del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX y la De-

marcación de Carreteras del Estado en Asturias, en el que se han ensayado diversos conglomerantes —escoria granulada activada con cemento, escoria granulada activada con cal y cemento únicamente—, se han probado distintos tipos de polvo mineral, granulometrías diversas, etc.

Las características de la mezcla vienen dadas por las ya mencionadas de sus componentes. Como resumen, se puede señalar en relación con su fabricación y puesta en obra:

- Fabricación y puesta en obra con los equipos usuales en carreteras para materiales tratados con ligantes hidráulicos.
- Gran homogeneidad del producto resultante, al utilizar una proporción importante de conglomerante.
- Escasa sensibilidad al agua de amasado o a las lluvias ligeras por la estructura porosa de la escoria cristalizada.
- Al igual que con otros materiales tratados con ligantes hidráulicos, la respuesta de la escoria tratada es muy sensible al grado de compactación alcanzado, por lo que esta operación debe ejecutarse cuidadosamente.
- Posibilidad de abrir al tráfico de forma inmediata, por la estabilidad del esqueleto mineral y la lenta evolución de resistencias.
- En el caso de la escoria-escoria activada con cal, al igual que en el de la grava-escoria, la puesta en obra tiene una gran flexibilidad por la lentitud del fraguado, lo que se refleja en mayores tiempos de ejecución, grandes distancias de transporte, posibilidad de reperfilados, etc.

En relación con su comportamiento estructural hay que señalar como características más importantes:

- Desarrollo lento y continuo de resistencias (excepto en el caso de la escoria tratada con cemento únicamente).
- Resistencias mecánicas intermedias entre el hormigón compactado y la grava-cemento.
- Durante el primer año de su puesta en servicio, los módulos dinámicos son inferiores a los de la grava-cemento y muy inferiores a los del hormigón compactado, lo que le confiere una mayor deformabilidad y, por tanto, le hace menos sensible a la capacidad de soporte del apoyo.
- El agrietamiento propio del material es inferior al de los materiales tratados con cemento porque:
 - La retracción por fraguado es menor al tener bajas resistencias iniciales y menor calor de hidratación.
 - El gradiente térmico es mínimo, dada la baja conductividad del material, lo que minimiza el com-bado de las losas.
 - Existe la posibilidad de que se autosellen las grietas de los firmes, al irse creando nuevos enlaces por la disolución lenta de componentes.

El campo de aplicación en carreteras de las escorias tratadas coincide con el de otros materiales tratados con ligantes hidráulicos, es decir:

- Capas de base y subbase para todo tipo de tráfico.
- Arcenes.
- Refuerzos de firmes.

Como principales ventajas técnicas en estas aplicaciones, cabe señalar su gran capacidad de soporte, su facilidad de puesta en obra, su apertura inmediata al

tráfico y su gran deformabilidad. Este último aspecto le abre nuevas perspectivas frente a la grava-cemento, material que tiene un mal comportamiento en refuerzos o en vías bajo tráfico, si se apoya sobre capas granulares, aplicaciones ambas que pueden ser cubiertas por las escorias tratadas.

Fuera del campo específico de las carreteras, se pueden señalar otras aplicaciones:

- Pavimentos industriales (especialmente ventajoso en casos de ataques químicos y altas temperaturas).
- Zonas de almacenamiento, carga y descarga.

persa

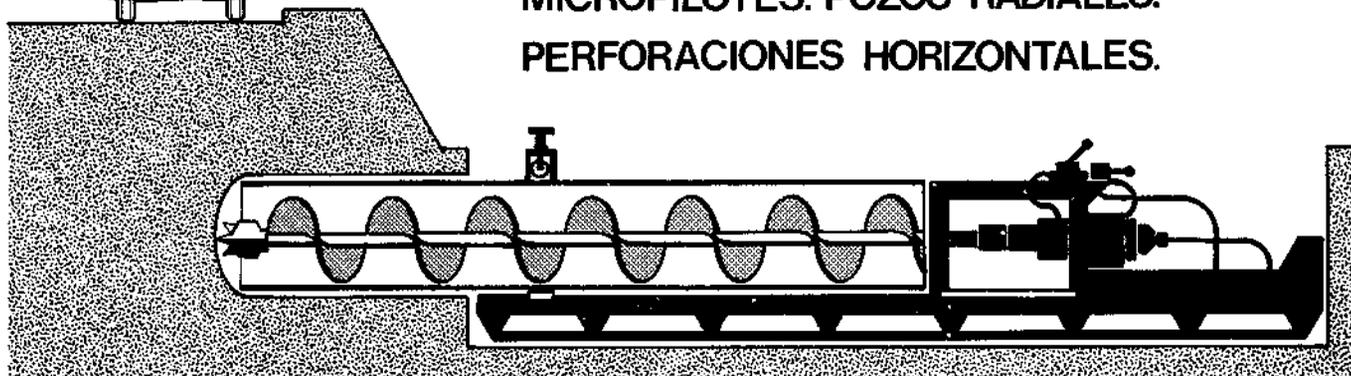
Santa Ana, 103. tf. 692.99.11. CERDANYOLA (BARCELONA).
DELEGACION LEVANTE : 96 - 2800503

PERFORACIONES ESPECIALES S.A.

Hinca de tuberías y colectores.



INGENIERIA DE CIMENTACIONES.
PILOTES. SONDEOS. ANCLAJES.
MICROPILOTES. POZOS RADIALES.
PERFORACIONES HORIZONTALES.



Más seguridad
y calidad de vida en carretera.

TELCODREN

El pavimento de los 90

Técnicos y usuarios reconocen las ventajas de un pavimento poroso, que, desde hace diez años viene aplicándose en tramos de autopistas y carreteras.

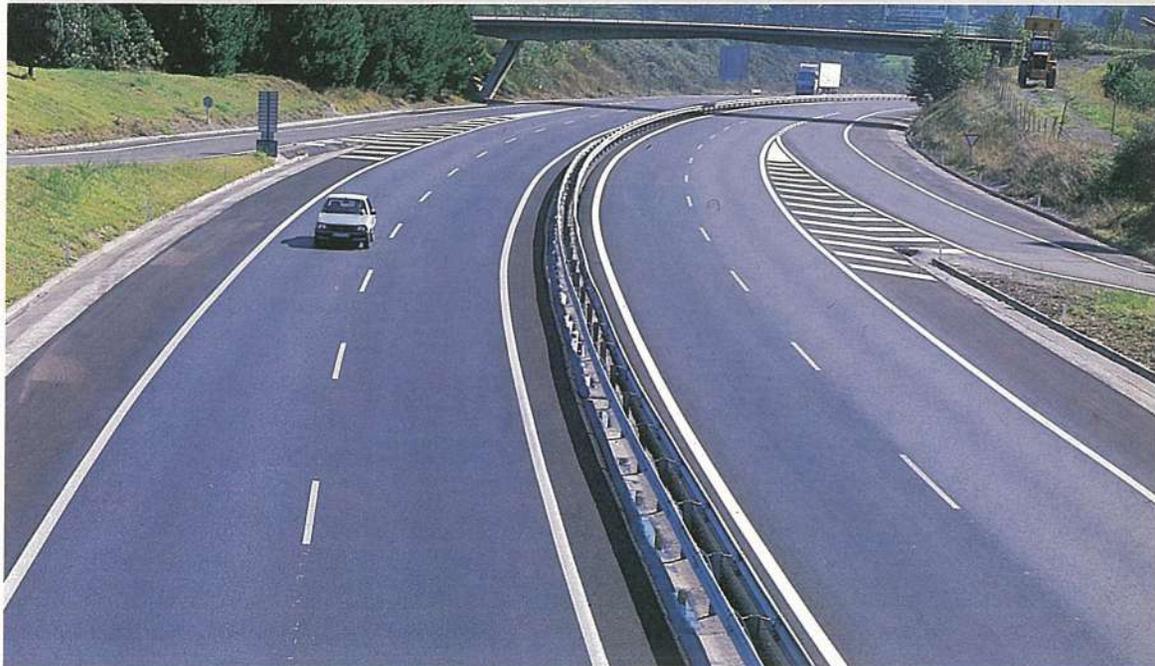
Más del 90% de los pavimentos porosos son TELCODREN, por sus ventajas de mayor seguridad vial, bajo nivel sonoro, total visibilidad en tiempo de lluvia y conducción más confortable.

El importante aumento, en los últimos años, del tráfico en nuestras carreteras, el porcentaje alto de vehículos pesados, sus mayores velocidades, la necesidad de disminuir los accidentes achacables al estado del pavimento, la generalización de obras de fábrica de gran flexibilidad, los problemas que se proponen las

urbanas, la aparición de retracción en capas los problemas de fatiga y mezcla de los pavimentos.

*El betún
modificado
TELCO B-65
detrás de la noticia...*

*...desde hace
10 años!*



encias. El pleno
nto de Madrid
constitución de
ecial para regu-
no de influen-
bir que los
ros públi-
ontratos
vez que
sto. Esta
como el

áneo. El
aprobó
obras
co de
ez de
iza un
La de-
las pro-
reocupa-
dos deri-

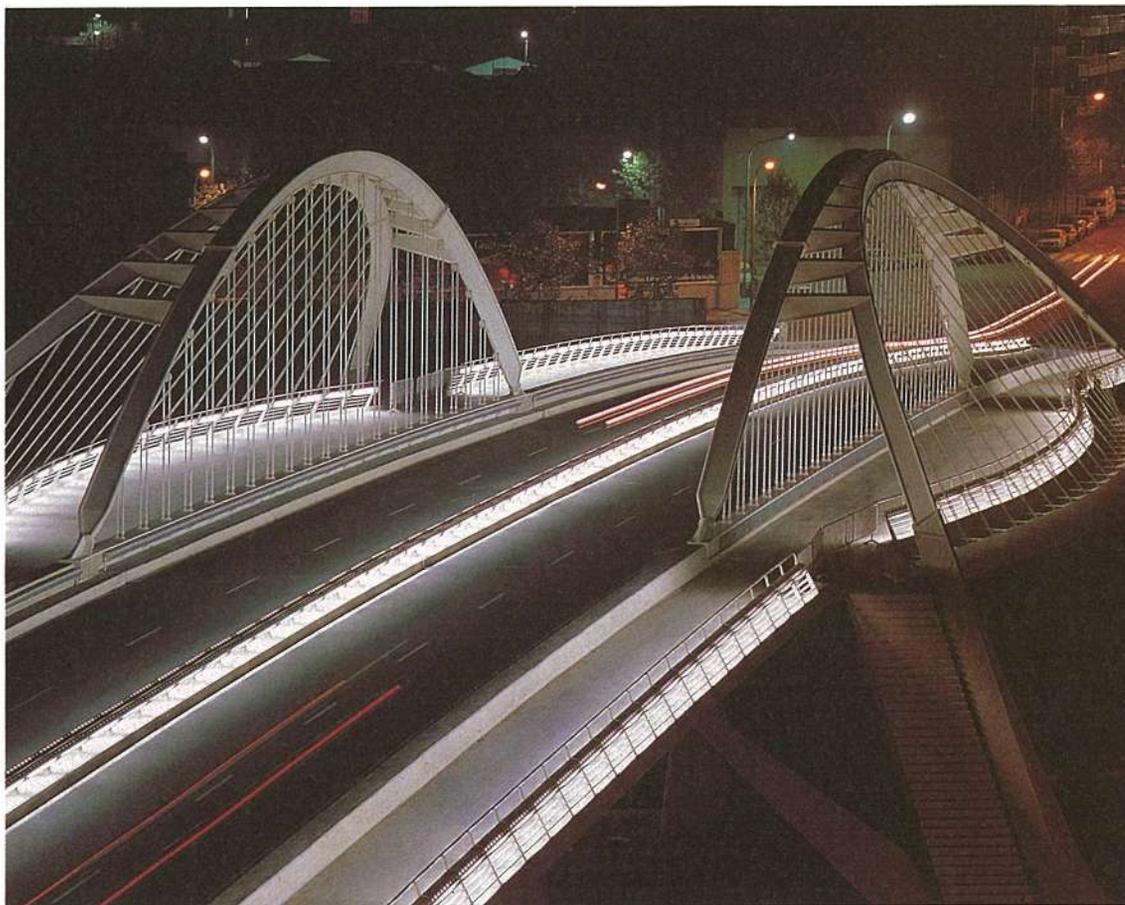
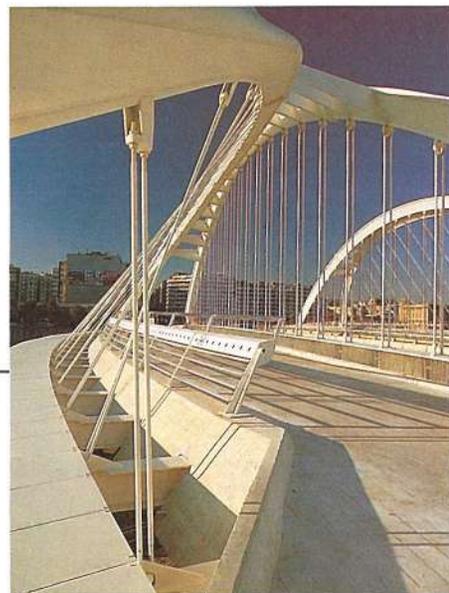
 **COMPOSAN**
Tecnología viva

Carrerera de San Jerónimo, 14 - 28014 MADRID
Tels.: 522 64 90 - 531 75 07 - Fax: 522 27 87

COMSA

Empresa Constructora

Construyendo ideas



Puente Felipe II

BARCELONA. Premio FAD de Diseño

08007 - BARCELONA
Valencia, 232
Tel. (93) 253 92 05

28046 - MADRID
Pº Castellana, 184, 3º
Tels. (91) 259 53 07/08/09

46003 - VALENCIA
Dr. Beltrán Bigorra, 15, ent. 2ª
Tel. (96) 331 98 00