

## Propósito de la Revista de Obras Públicas

La Revista de Obras Públicas es, básicamente, una revista de carácter técnico, que pertenece al mundo cultural de la Ingeniería Civil.

Órgano Profesional de los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, su ámbito de divulgación es, pues, tanto el colectivo de éstos como el de su entorno técnico, científico, económico, cultural y social directamente ligado al mismo, de manera que los artículos que en ella se publican presenten el máximo interés para todos sus potenciales lectores.

Tal ha sido su línea editorial desde su fundación en 1853, y su objetivo sigue siendo continuar e innovar esa línea de reflexión sobre el oficio.

Así, la ROP, dentro de su contenido técnico, se adentra en un mundo más amplio que el de las revistas puramente científicas (cuyo objetivo, de mayor especialización, es el de dar a conocer de manera exclusiva tecnologías muy específicas y trabajos de investigación), atendiendo al ingeniero proyectista y al constructor, al mundo de las enseñanzas técnicas y al de las actividades profesionales, así como a las relaciones de la ciencia, la técnica y la cultura con la política sectorial y la sociedad civil.

# Sumario

nº 3.464 • Año 153 • Marzo 2006



Foto de portada: Embalse de La Requejada. Arbejal (Palencia). AGE FOTOSTOCK.

## Editorial

**5**  
El agua está en el Ebro  
[The Ebro river has the water]

## Ciencia y Técnica de la Ingeniería Civil

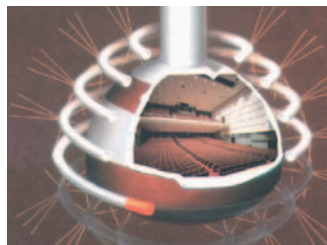


**7-36**  
Terraplenes y balasto en Alta Velocidad Ferroviaria (Primera parte)  
[Embankments and Ballast in High-Speed Railway (Part One)]  
Manuel Melis Maynar



**37-44**  
La protección de los túneles en España  
[Protection of tunnels in Spain]  
Rafael Sarasola Sánchez-Castillo

**45-74**  
Los Grandes Proyectos Internacionales de construcción de obras subterráneas, un reto tecnológico para el siglo XXI  
[Large International Underground Construction Projects. A technological challenge for the 21<sup>st</sup> Century]  
Laureano Cornejo Álvarez



**75-82**  
Pronóstico de sequías  
[Drought forecasting]  
José María Vizcayno Muñoz

## Obras y Proyectos de Actualidad

**95-106**  
El metro de Sevilla  
[The Seville Underground]



## Secciones

Actividad del Ingeniero	83
La ROP hace 150 años	92
La ROP hace 100 años	93
La ROP hace 50 años	94
Informaciones [páginas amarillas]	107

Se admiten comentarios a los artículos publicados en el presente número, que deberán ser remitidos a la redacción de la ROP antes del 30 de junio de 2006.

### DIRECCIÓN

**Director:**  
Juan Antonio Becerril Bustamante

**Secretaria General:**  
Mónica Baeza Ochoa de Ocariz

**Redactores Jefes:**  
Juan A. Sánchez Rey  
Juan Pablo Mañueco Grinda

**Maquetación:**  
José Luis Saura

### Redacción:

Jesús Benito Torres  
Gloria Martín Sicilia

**Redacción y Publicidad:**  
Almagro, 42.  
28010 Madrid.  
Tel.: 91.308.19.88  
Fax: 91.319.15.31

**Edita:**  
Colegio de Ingenieros  
de Caminos,  
Canales y Puertos.

### Imprime:

Graffo SL impresores.

Depósito Legal: M-156-1958.  
ISSN: 0034-8619.  
rop@ciccp.es  
www.ciccp.es/rop/index.htm

**Suscripciones:**  
suscripcionesrop@ciccp.es

Esta revista no se hace necesariamente solidaria de las opiniones expresadas por sus colaboradores.

Publicación decana de la prensa española no diaria. Fundada en 1853

## CONSEJO DE ADMINISTRACIÓN

### Presidente:

D. José Antonio Torroja Cavanillas

### Vocales:

Miguel Aguiló Alonso

Luis Berga Casafont

Íñigo Losada Rodríguez

Julio Martínez Calzón

Edelmiro Rúa Álvarez

Clemente Sáenz Ridruejo (†)

Florentino Santos García

Benjamín Suárez Arroyo

### Director:

Juan Antonio Becerril Bustamante

## COMISIÓN DE EXPERTOS

Federico Bonet Zapater

Javier Botella Atienza

Gerardo Cruz Jimena

Javier Díez González

José Luis Gómez Ordoñez

Santiago Hernández Fernández

Antonio Huerta Cerezuela

Ernesto Hontoria García

Javier Manterola Armisén

Manuel Melis Maynar

Felipe Mendaña Saavedra

Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra

Carlos Oteo Mazo

Mariano Palancar Penella

Santiago Pérez-Fadón Martínez

Ángel Pérez Jamar

José Polimón López

José Rubio Bosch

Javier Rui-Wamba Martija

Fernando Sáenz Ridruejo

Andrés Sahuquillo Herraiz

Francisco Javier Samper Calvete

Vicente Sánchez Gálvez

Antonio Soriano Peña

Pedro Suárez Bores

Ignacio Tejero Monzón

Javier Torres Ruiz

Santiago Uriel Romero

Eugenio Vallarino y

Cánovas del Castillo

## COMITÉ EDITORIAL

Francisco Javier Asencio Marchante

Antonio de las Casas Gómez

Mónica Baeza Ochoa de Ocariz

Juan Antonio Becerril Bustamante

Francisco Esteban Rodríguez-Sedano

Rafael Izquierdo de Bartolomé

Juan Rodríguez de la Rúa

## El agua está en el Ebro

El Ministerio de Medio Ambiente publica semanalmente un Boletín Hidrológico cuyos datos recogen fielmente la situación de todos los embalses y cuencas españolas, reflejando con el mayor rigor uno de los aspectos que más interesan cada día a la opinión pública, y en base a los cuales se toman importantes decisiones que afectan tanto al sector público como al privado.

Seguramente, España es uno de los países europeos que más requieren de esta información, teniendo en cuenta la irregularidad de su pluviometría, la importancia de sus sequías y la violencia de sus inundaciones.

Por ello, la divulgación de estos datos es cada día más importante y se demanda con mayor énfasis por parte de la sociedad civil, sea cual sea el sector en que se encuadre. Casi todos los medios de comunicación dedican ya parte de sus espacios a recoger esos datos y a hacer cábalas y estadísticas, más o menos afortunadas, sobre ellos.

Dicho esto, la evolución de nuestros embalses, tomando como base la información citada, está siendo durante el año hidrológico actual, bastante más positiva que lo fue en el anterior, aun sin ser plenamente satisfactoria. Efectivamente, en el período que va desde octubre de 2004 hasta mediados de marzo del 2005, nuestros embalses habían subido 2.257 Hm<sup>3</sup>, mientras que en el año actual esta subida rebasa ya los 9.300, cifra que coincide con mucha exactitud con la media de los cinco y de los diez últimos años (9.424 y 9.493, respectivamente). Es decir, afortunadamente, se ha superado la irregularidad del período anterior y estamos en un año medio, aunque con los embalses todavía por debajo de la normalidad.

Y hay un dato importante. La cuenca del Ebro sigue siendo la de mayor regularidad, y con sus embalses al 69 % es la que mayor porcentaje de agua acumula, (exceptuando, naturalmente, las correspondientes al Norte) igualando las cifras medias tanto de los cinco como de los diez últimos años y siendo pertinaz en señalar que dispone de caudales suficientes para poder atender, con todas las limitaciones que se quieran imponer, las necesidades de su cuenca e incluso verter al mar aquellos que los más exigentes consideren necesarios para mantener el equilibrio ecológico en su desembocadura.

Por ello, la utilización política que unos y otros están haciendo de las aguas de ese río, y los condicionantes que se están introduciendo en las legislaciones de las regiones afectadas producen cierto estupor en los ambientes técnicos, más reales y, en la época actual, cada día más cercanos a los ciudadanos. ¿Es justo, de verdad, declararse usuario preferente de las aguas de un río? ¿Es justo, de verdad, impedir la distribución de esas aguas en zonas más necesitadas? ¿Tiene esto algo que ver con la palabra solidaridad con la que, desde hace ya años, se nos llena la boca? ¿No es cierto que el Ebro es fuente suficiente para atender otras regiones menos favorecidas? ¿Qué pasaría si en cabecera se siguiese el mismo criterio? ♦

# Terraplenes y balasto en Alta Velocidad Ferroviaria [Primera parte]

## Embankments and Ballast in High-Speed Railway [Part One]

**Manuel Melis Maynar.** Prof. Dr. Ing. de Caminos, M.Sc, MBA  
*Catedrático de Geotecnia. ETS Caminos Coruña (Exced.).*  
*Catedrático de Ferrocarriles. ETS Caminos Madrid. e-mail*

**Resumen:** Igual que una manguera que lanzara aire a 350 km/h, el tren a Alta Velocidad levanta el balasto, que vuela y golpea entre carril y llanta y golpea en los bajos del tren. El peligro que esto supone, los reducidos costes de mantenimiento y otros factores han hecho que países como Japón (desde 1980) o Alemania (desde 1994) decidieran que todas sus nuevas vías de Alta Velocidad fueran en placa. Pero los grandes descensos de los terraplenes impiden poner vía en placa sobre ellos. Estos dos países limitan también los asentamientos post-constructivos de los terraplenes a 30 mm.

**Palabras Clave:** Alta Velocidad, Terraplén, Asientos, Balasto, Vía en placa

**Abstract:** A high speed train raises ballast in the same manner as a hose blasting air at 350 kph, causing this to fly up and strike the undercarriage of the train. The hazards that this implies, the maintenance costs and other factors have led countries such as Japan (since 1980) or Germany (since 1994) to set all new high-speed track on platforms. However the large drops of embankments prevent the installation of platform based track in these areas. These two countries also restrict the post-constructive settlement of the embankments to 30 mm.

**Keywords:** High-speed, Embankment, Settlement, Ballast, Platform track

### Introducción. El vuelo y los golpes del balasto a Alta Velocidad

La vía en balasto impide, por el vuelo de las piedras y el daño a llantas, carril y trenes, la circulación a velocidades superiores a unos 325 km/h, y en numerosas ocasiones y pruebas los golpes comienzan a menores velocidades. Pero los grandes descensos post-constructivos de los terraplenes y pedraplenes impiden colocar vía en placa sobre ellos, porque rompería, y obligan a poner la vía en balasto. Se presentan algunos datos sobre la literatura existente sobre este tema, de tanta actualidad hoy en la Alta Velocidad Española y de tan grande interés para todos los Ingenieros de Caminos en estos momentos.

### Deformaciones verticales en la vía de la Alta Velocidad

A diferencia de la carretera y los automóviles, la vía ferroviaria no permite prácticamente deformaciones en el plano vertical, porque los enormes esfuerzos en el punto de contacto entre llanta y carril hacen que una

deformación vertical o deflexión del carril, por pequeña que sea, produzca unos esfuerzos dinámicos tan elevados que el coste de mantenimiento de la vía resulta inabordable. El análisis de la interacción vía-terreno es probablemente uno de los problemas más complejos que puede encontrarse en la ingeniería geotécnica (Lord, 1999, Ref.1) debido a la dificultad de estudiar adecuadamente la influencia de los distintos factores que intervienen, que el citado autor resume como sigue:

- 1.- Cargas repetidas de múltiples ejes ferroviarios que varían en magnitud y frecuencia
- 2.- Carriles deformables unidos por sujeciones deformables a traviesas deformables y cuya separación puede variar.
- 3.- Propiedades y espesores de las capas de balasto, subbalasto y explanada
- 4.- Propiedades de las capas de terreno inferiores.

factores a los que debemos añadir el efecto importante de las cargas dinámicas, muy influidas por la velocidad de los trenes.

Las deformaciones verticales del carril se deben en consecuencia a las causas siguientes, ordenadas de abajo a arriba:

- 1.- Deformaciones de la infraestructura en las capas de cimentación del terraplén y del propio terraplén o pedraplén.
- 2.- Deformaciones del terreno natural sobre el que apoya la superestructura en caso de ir la vía a nivel.
- 3.- En la vía en balasto, las deformaciones elásticas o elastoplásticas de las capas de asiento de la vía, es decir, de las capas superiores del terraplén o pedraplén y de las capas granulares de asiento de la vía, balasto y sub-balasto, con las eventuales capas anti-contaminación o antihelada en algunos países.
- 4.- Deformaciones de los elementos de la sujeción situados sobre la traviesa y bajo el patín del carril.
- 5.- Deformación por flexión del carril entre sujeciones, que tiene lugar en el caso habitual de carril sobre los apoyos discontinuos que son las traviesas. No ocurre en el caso de perfil apoyado en toda su longitud.

Las deformaciones por flexión del carril (5) pueden estimarse sin dificultad con las herramientas numéricas actuales, incluso teniendo en cuenta los descensos de las traviesas cercanas bajo la carga de múltiples bogies y ejes ferroviarios. Las deformaciones (4) de la sujeción bajo la carga del eje son también conocidas, son un dato de la sujeción y dependen de la rigidez de la placa de asiento bajo carril. Estos dos grupos de deformaciones pueden considerarse elásticos y recuperables por tanto al cesar la carga del eje. Las deformaciones (3) debidas al balasto no son elásticas, como veremos a continuación, pero pueden estimarse razonablemente bien ya que el balasto es un material suficientemente conocido y analizado, en general. Las deformaciones (2) del terreno natural sobre el que apoya la superestructura en caso de vía a nivel son un problema conocido en geotecnia, se deben a la aplicación de cargas en suelos, y no las trataremos en lo que sigue. Existen numerosos estudios sobre los módulos edométricos a tener en cuenta y los efectos de los ciclos de carga, que pueden verse entre otras en las referencias (Refs. 2,3,4,5,6,7)

Todas estas deformaciones son pequeñas, del orden de milímetros o centímetros. Pero las deformaciones de los terraplenes ferroviarios pueden ser decimétricas, superando en algunas ocasiones los 50 cm y llegando en algunos suelos blandos a superar los 2.5 metros.

### Deformaciones verticales del balasto

Las deformaciones verticales del balasto y subbalasto bajo la carga de los ejes ferroviarios son de estimación

complicada por las propias características del material, pero desde hace muchas décadas existe un cuerpo coherente de doctrina sobre ellas. Los continuados trabajos de López Pita en España desde hace 30 años son, aparte de una excepción admirable en el desierto investigador ferroviario español (Ref.8), un referente muy útil del tema. (Refs.9,10,11,12,13,14,15,16,17,18 y muchas otras). Cubren, estudian y resumen todo el estado del arte desde prácticamente el origen del ferrocarril hasta la actualidad, y recogen prácticamente todos los aspectos necesarios. Su equipo de investigadores ferroviarios hoy es, aparte del único en España, una fuente continua de trabajos y datos de mucho interés e importancia, como los desarrollados bajo su dirección por Fonseca (Ref.19), Bachiller (Ref.20), Bové (Ref.21), y la brillante Tesis Doctoral de Ubalde Claver (Ref.22) que ha puesto por primera vez de manifiesto el grave problema de los terraplenes en la Alta Velocidad española, entre muchos otros.

Las capas granulares como el balasto y subbalasto están sometidas en sus condiciones de trabajo a un nivel de tensiones no muy elevado, y tienen un comportamiento alejado del elástico. Los trabajos pioneros de Schultze a finales de los años 50 para la DB Alemana (Ref.23) con grandes triaxiales de 50 cm de diámetro y 1.25 m de altura, edómetros de 50 cm de diámetro y placa de carga dieron tal vez los primeros resultados científicos para el módulo edométrico del balasto. Obtuvo Schultze valores de 2.600 kg/cm<sup>2</sup> para compactación densa ( $\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$ ) que suben linealmente hasta 20.000 kg/cm<sup>2</sup> para 60 ciclos de carga, donde permanece prácticamente constante o sube muy poco hasta 1.000 ciclos. El módulo en descarga obtenido es de este mismo orden de magnitud, 20.000 kg/cm<sup>2</sup>. Marsal, 6 años después (Ref.24) publicó sus ensayos con mayores tamaños, material para pedraplenes de los que es interesante el que llamó nº 3, con tamaños entre 4 y 20 cm (los nº 1 y 2 tienen hasta un 10% de finos menores de 1 mm). Realizó los ensayos en equipo triaxial de 1.13 m de diámetro y 2.5 m de altura, identificando la importancia de la rotura de los contactos, que tiene lugar a presiones de confinamiento del orden de 6 kg/cm<sup>2</sup>, donde la curva índice de poros - tensión de confinamiento sufre un brusco quiebro debido a ese fenómeno de rotura de las aristas y esquinas de la piedra. La importancia del comportamiento del material a bajas presiones fué identificada por Leps en 1970 (Ref.25), por Raymond en 1978 (Ref.26) y bien detallada por Indraratna 20 años después (Ref.27). Los trabajos de este último autor con su equipo triaxial de 0.3 m de diámetro en balasto en Australia muestran que para las bajas presiones de confinamiento a que se encuentra sometido el balasto en la vía su comportamiento es marcadamente no lineal y que la línea de resistencia intrínseca  $\tau$ - $\sigma$  de Mohr-Coulomb se curva significativamente para tensiones normales meno-

res de 400 kPa, que son las habituales en la vía. Para estas pequeñas tensiones de confinamiento el ángulo de rozamiento interno del balasto da valores muy elevados, del orden de 65°, que van disminuyendo hasta los 45° para tensiones de confinamiento de 500 kPa. La dilatación del balasto (fenómeno que puede interpretarse como un aumento de volumen del balasto al ser sometido a esfuerzos cortantes, por desplazamientos de unas piedras sobre otras) es relativamente grande a bajas tensiones de confinamiento, mientras que la rotura de bordes y esquinas de las partículas, causa fundamental de los asentamientos diferenciales y de la deformación lateral atribuibles al balasto, aumenta con la tensión lateral de confinamiento, que además disminuye o anula la dilatación. En 1999, Aubry (Ref.28) utilizó un complejo modelo numérico para el balasto en un proyecto de investigación de la SNCF, simulando el paso de 800.000 ejes sobre un grupo de 5 traviesas bloque, lo que corresponde al paso de los 300 TGV diarios que circulan en un tramo de la red francesa durante 7 meses, el periodo usual entre operaciones de mantenimiento. Llegó a obtener la deformación vertical residual en ese periodo en el punto analizado, y repitiendo el proceso para distintos puntos en la misma vertical e integrando en esa vertical llega a una deformación residual del orden del 20%, que para los 30 cm de espesor del balasto resultan en 6 cm. Indica Aubry que este valor es incluso inferior al realmente sufrido por el balasto. Los modelos numéricos actuales de elementos discretos de Cundall (Ref.29), aunque con elementos esféricos, pueden darnos en un futuro muy cercano resultados válidos, agrupando las pequeñas esferas en clusters, como sugiere Medina (Ref.30). Y los muy recientes elementos discretos poliédricos que han empezado a utilizarse en Francia por Saussine (Ref.31) y otros en los magníficos y envidiables proyectos de investigación de la SNCF –de los que tan lejos estamos hoy– sin duda parecen el camino más apropiado. Parece por tanto que hoy el comportamiento del balasto puede modelizarse adecuadamente en los análisis numéricos de la vía.

### **Las deformaciones de los terraplenes**

Las mayores deformaciones verticales de la vía son las debidas a la deformación de las estructuras de tierra –terraplenes y pedraplenes– sobre las que asienta, y cuyo análisis es mucho más complicado. Una vez construidas estas estructuras de tierra en ferrocarriles, sobre todo en la Alta Velocidad, están sometidas a dos tipos de acciones: las estáticas, debidas a los asentamientos post-constructivos de los terraplenes o pedraplenes, y las dinámicas, debidas a las vibraciones producidas por el paso de los trenes. Las primeras van disminuyendo con el tiempo, y en

general son despreciables pasados 10 o 15 años de la construcción del terraplén, mientras que las segundas permanecen constantes a lo largo de la vida de la infraestructura. Pero las primeras pueden ser muy grandes, y llegar a inutilizar la vía o a tener que disponer –para mantener la cota de carril– enormes alturas de balasto que como veremos crean inestabilidad en el conjunto de la superestructura de vía.

En general los terraplenes y pedraplenes se utilizan para el cruce de vaguadas, cauces o zonas bajas, que en la mayoría de las ocasiones tienen depósitos de limos, fangos u otros materiales muy compresibles. Por ello, si no se han retirado en su totalidad estos depósitos compresibles antes de la construcción del terraplén, una parte importante del asiento se deberá a estas capas inferiores del cimiento. El asiento suele tener dos componentes, el del cimiento y el del propio terraplén, material que suele ser naturalmente mejor que el del cimiento. En casos de suelos muy compresibles los asentamientos pueden ser extraordinariamente altos. En Holanda, por ejemplo, cita Woltringh (Ref.32) que un terraplén de 5 m de altura puede bajar hasta 2.5 m por consolidación. Sin llegar a estos extremos en el caso de España, los asentamientos por consolidación y compresión de las capas de cimiento que no han podido retirarse pueden ser también muy grandes, aunque pueden acotarse con relativa fiabilidad si se conocen sus características ingenieriles y puede aplicarse y estudiarse adecuadamente el proceso de consolidación.

El estudio del comportamiento de los terraplenes y pedraplenes en España es un tema muy conocido por los expertos, por dos motivos fundamentalmente: (1) la orografía española exige este tipo de estructuras en cualquier infraestructura del transporte y se han proyectado, construido y estudiado por tanto muchos terraplenes desde hace muchas décadas, y (2) España es uno de los países con mayor número de presas construidas y en servicio, y una vez terminadas las cerradas adecuadas para la de hormigón, se han construido un elevado número de presas de materiales sueltos de las que existe abundante información sobre su comportamiento. Los terraplenes y pedraplenes en la Ingeniería Civil, y sobre todo el estudio de sus descensos post-constructivos, han estado ligados tradicionalmente a la Ingeniería de Presas y desde hace muchas décadas son bien conocidos en el mundo técnico los trabajos de profesionales tan prestigiosos como los Profs. Jiménez Salas, Soriano, Justo Alpañés, Cuéllar, Rodríguez Miranda, Rodríguez Ortiz y otros, de los que se resumen aquí algunos de sus trabajos. En 1965 el Prof. Sowers publicó su clásico trabajo (Ref.33) sobre los asentamientos de pedraplenes analizando los datos de 14 presas y llegando a una expresión lineal entre el descenso del terraplén y el logaritmo del tiempo transcurrido, con datos de medidas que llegan a descensos del 1.1% de la

altura en unos 12 años. En 1969 Weber publicó su trabajo sobre terraplenes construidos sobre suelos muy blandos, fangos (Ref.34). Cuatro años después, Mesri publica sus trabajos sobre la compresión secundaria de los terraplenes (Ref.35) y posteriormente sobre la relación entre la compresibilidad, el tiempo y el nivel de tensiones (Ref.36). Mesri indicaba en dicho trabajo, ya hace 30 años, su postulado de que para un suelo determinado cualquiera la relación ( $C\alpha/Cc$ ) entre el coeficiente  $C\alpha$  de compresión secundaria, que liga el índice de poros o asiento con el logaritmo del tiempo y el coeficiente  $Cc$  que liga la compresibilidad del terraplén (medida por su índice de poros  $e$ ) con las tensiones, durante la compresión secundaria es única y es válida para cualquier combinación de tiempo, tensión efectiva e índice de poros, y el rango de valores que daba para ese cociente variaba entre 0.025 y 0.1, siendo el más frecuente 0.04. Este estrecho rango de valores fue confirmado por el mismo Mesri en su trabajo de 10 años después (Ref.37). En el Casagrande Volume de 1973 Wilson (Ref.38) publica los descensos de la presa Mammoth Pool, que a los 8 años aún no llegaban a su asíntota y parecen ajustarse a una relación logarítmica lineal con el tiempo, algo similar en la presa de Netzahualcoyote, y da también resultados similares en la de Muddy Run, aunque en esta última sólo la deformada post-constructiva para 500 días.

En el Simposio Nacional sobre Rocas Blandas de noviembre 1976 en Madrid ya se trataron con algún detalle los problemas del comportamiento de terraplenes y pedraplenes diversos. El Prof. Jiménez Salas presentó (Ref.39) los terraplenes de la autopista de Martorell, y Rodríguez Miranda y Gutierrez Manjón (Ref.40) el terraplén de 80 m en la Bilbao-Behobia, donde estiman un asiento post-constructivo en la zona de mayor altura de 76 cm. Para ese terraplén en concreto obtienen una relación empírica entre el asiento postconstructivo "s" (medido en cm) y la altura del relleno "H" (medida en metros):

$$s = 3.5 \frac{H^2}{100}$$

En las publicaciones internacionales una de las recopilaciones más importantes sobre los descensos de los terraplenes de diversas presas es el trabajo de Clements de 1984 (Ref.41), que estudia las expresiones del asiento postconstructivo "s" de un terraplén-pedraplén dadas por Sowers en 1965

$$s = \alpha \frac{H}{100} (\log t_2 - \log t_1)$$

donde "s" y "H" son asiento y altura del pedraplén en metros y t el tiempo en meses, la propuesta por Lawton y Lester (Ref.42)

$$s = \frac{\sqrt{H^3}}{1000}$$

y la propuesta por Soydemir y Kjaernsli (Ref.43) que para un pedraplén compactado de 10 años de edad, aproximadamente la edad de los terraplenes del AVE de Sevilla hoy, resulta

$$s = \frac{3\sqrt{H^3}}{10000}$$

Clements realiza unos ajustes para los datos de las 68 presas que presenta en su trabajo y para los pedraplenes compactados, en presas con membrana, llega a la expresión

$$s = \frac{1.4}{10^6} H^{2.6}$$

si bien indica que el ajuste es malo, con un coeficiente de correlación de 0.437.

El ensanchamiento lateral de los terraplenes como efecto colaborador al descenso en coronación fue estudiado por Walker y Duncan en 1984 (Ref.44). Dascal, en 1987 (Ref.45), analiza el asiento post-construcción de 15 presas de escollera de altura variables entre 10 y 168 m y construidas sobre bases rocosas, para evitar mezclar los problemas de consolidación del cimientto. Aunque las envolventes de asientos que propone para estimarlos no nos son muy útiles, ya que para un tiempo de 40 meses tras terminar la construcción la envolvente varía desde un asiento del 0.08% de la altura hasta el 0.3% son sin embargo una envolvente más ajustada que la de Clements, que llegaba hasta el 0.72%. El importante trabajo de Justo Alpañes (Ref.46) en 1986 da una recopilación de asientos de pedraplenes, y corrige las regresiones mal efectuadas por autores precedentes entre asientos y altura para distintos tipos de materiales y tipología de presas. El mismo autor, en la comunicación sobre los pedraplenes de rocas de baja resistencia (Ref.47) presenta otra interesante serie de datos de asientos de pedraplenes, explicita por primera vez de forma clara que los asientos no son proporcionales a la altura, lo que demuestra que puede haber otros factores mas importantes, y dice una interesante y muy cruda y sincera reflexión: "En realidad hay que confesar nuestra impotencia para dar una explicación satisfactoria a la enorme diferencia entre los asientos postconstructivos de las presas de Kangaroo ( $H=60m$ ,  $\delta =4.3$  cm) y Muddy Run ( $H=75m$ ,  $\delta =78.3$  cm)". Catorce años después (Ref.48) el mismo autor repite exactamente la misma frase en el Simposio sobre Infraestructuras del

Transporte de Barcelona del 2000, de forma que la Ingeniería de Caminos y en especial los técnicos dedicados a la infraestructura de los ferrocarriles de Alta Velocidad debiéramos hacer buen caso de esta observación y tomar nota de la práctica imposibilidad de estimar -ni tan sólo explicar- los asentos de terraplenes y pedraplenes en muchos casos. Y esto lleva inevitablemente a cuestionar la validez de nuestros métodos de estimación de los asentos postconstructivos en cualquier terraplén o pedraplén. El Prof. Justo propone también en este último trabajo y tras analizar un número elevado de casos, la expresión siguiente entre el asiento unitario en coronación y el módulo edométrico del material:

$$\log\left(\frac{s}{H}\right)(\%) = 8.0 - 0.85 \log E_{edom}(\text{MPa})$$

que se refleja en la figura 1.

Estudia el Prof. Justo el que llama "gran terraplén" del AVE de Sevilla de 45 m de altura y otros varios, aportando gran cantidad de datos de la construcción. Lamentablemente la tabla XI en la que dice incluir los asentos postconstructivos a los 4.5 años no aparece en la comunicación, y por otra parte no ha sido posible al autor identificar con exactitud ese terraplén hoy, porque en Vía I (sentido Madrid) hay 2 de 50 metros y 6 de 40 m, y en Vía II hay 1 de 50 m y 1 de 40 m como puede verse en la Tabla 2.

En el mismo simposio de 1986, Hinojosa (Ref.49) incluye los resultados de la Encuesta Nacional sobre el comportamiento de terraplenes y pedraplenes, pero sólo obtuvo 12 respuestas y en la práctica la utilidad de dicha magnífica idea de la encuesta es escasa o nula. Presenta también Portilla (Ref.50) un interesante trabajo sobre el terraplén de 90 m de altura de Entrerregueras, en Asturias, y su estimación de asentos por métodos numéricos, pero lamentablemente no se dan datos sobre la evolución a lo largo de los años del asiento medido. Páez y Criado (Ref.51) presentaron la primera aplicación en España de refuerzo de un terraplén con pilotes de suelo-cemento, en la variante de Dueñas, además de diversos ejemplos de precarga de terraplenes.

En 1993 Loganathan (Ref.52) presenta su metodología llamada FDA (Field Deformation Analysis) para el estudio de la deformación de los terraplenes que tiene en cuenta la deformación lateral y los tres componentes del asiento: el instantáneo, el de consolidación y el de fluencia o secundario. Cita los resultados comparativos del método con modelos numéricos y con 13 terraplenes de prueba construidos en Malasia al efecto. El modelo de elementos finitos utilizado fue el famoso CRISP de la Universidad de Cambridge que incluía el modelo constitutivo Cam-Clay, desarrollado por Britto y Gunn (Ref.53) en

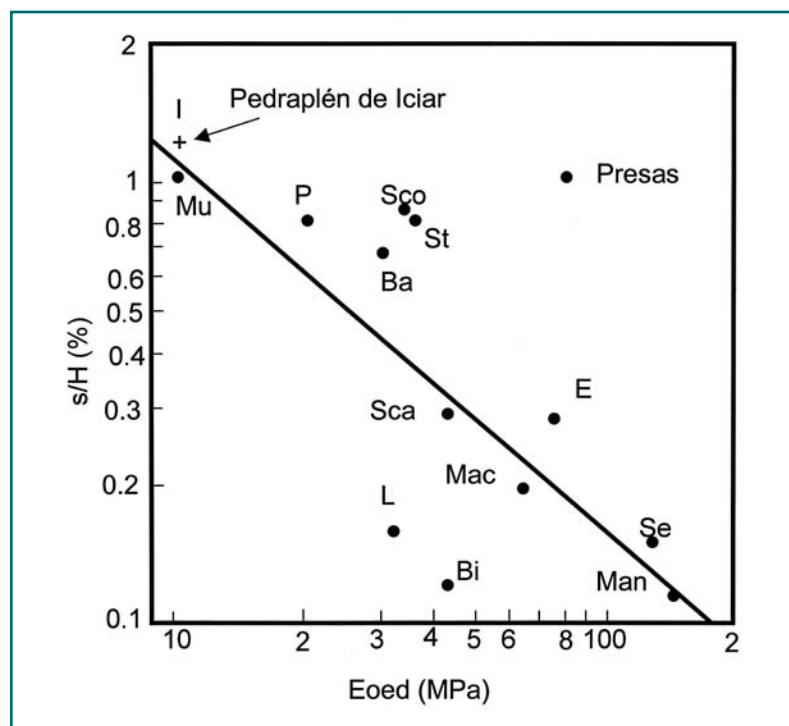


Fig. 1. Relación entre el asiento unitario de un terraplén y su módulo edométrico (Justo, 2000).

1987. Hoy día, en 2006, este programa y otros posteriores mucho más potentes están al alcance de cualquier ingeniero en su portátil, aunque el autor opina que estos análisis tienen mayor aplicación cuando es grande el espesor de los estratos compresibles en cimiento del terraplén o pedraplén.

También en 1993 presenta el Prof. Soriano un completo resumen del estado del arte de los terraplenes y pedraplenes en su trabajo para el Simposio sobre Geotecnia de Presas de Materiales sueltos (Ref.54). Recuerda la expresión del asiento post-constructivo del terraplén

$$s_t = s_0 + A \log \frac{t}{t_0}$$

según la cual el asiento  $s_t$  en un instante  $t$  viene dado por esa expresión, siendo  $s_0$  el asiento en el instante  $t_0$  (posterior a la construcción de la coronación) y  $A$  una constante que indica ser el incremento de asiento que se produce al multiplicarse el tiempo por 10. Indica también Soriano que el problema es el fijar con precisión el instante  $t_0$ . Como el valor de  $A$  aumenta al aumentar la altura  $H$  del terraplén, recomienda trabajar con el cociente de  $A$  y  $H$ , cociente que llama Índice de Asiento,  $IA = A/H$ . Los valores que cita Soriano para este Índice de Asiento varían entre 0.1% y 7%, e indica que normalmente suelen estar por debajo del 1% y comprendidos entre 0.1% y 0.5% dependiendo del tipo de material del terraplén.

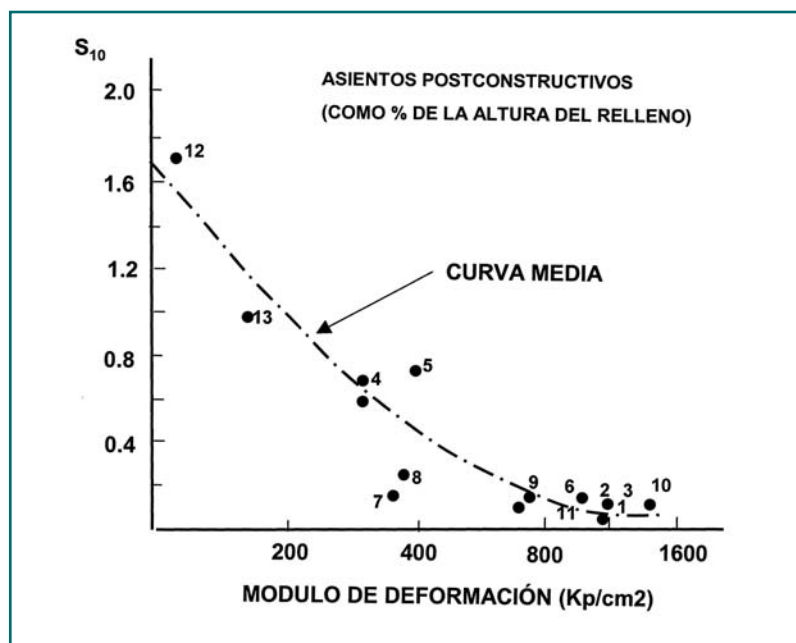


Fig. 2. Relación entre el  $s_{10}$  de un terraplén y su módulo edométrico (Rodríguez Miranda, 1986).

En 1999 Uriel y Olalla presentaron un interesante trabajo (Ref.55) en el que se comparaban las previsiones de informaciones diferidas de la presa de Canales, Granada, la más alta de España con 156 m sobre cimiento, con el comportamiento medido. Las previsiones de los autores resultaron extraordinariamente acertadas, de forma que los asientos reales medidos en 1999 (del orden de 1.5 m) coinciden con los previstos en 1997. En las mismas Jornadas, Sanchez Caro y Soriano (Ref.56) indican que el parámetro que denominan IAh (Índice de asientos hiperbólico) arroja mayores diferencias entre las distintas presas que el parámetro IA (Índice de asientos) descrito anteriormente, e indican también que para el estudio de los asientos diferidos la ley de tipo hiperbólico que proponen tiene dificultades similares a la encontradas en las leyes de tipo logarítmico. El mismo año 1999, en el 3er Simposio Nacional de Geotecnia Vial de Vigo, 1994, presentó Soriano otro trabajo (Ref.57) sobre el comportamiento de los terraplenes y pedraplenes, donde define claramente las deformaciones del terraplén por asiento del cimiento, separando la consolidación y la fluencia. En el mismo Simposio Villar, Rodríguez Miranda y Lancha (Ref.58) presentan ejemplos de comportamiento de distintos terraplenes de autovía. En el caso del pedraplén de Cañarete, de 55 m de altura, el asiento postconstructivo se estimó, además de con los modelos numéricos, en base a una ley empírica que relaciona el asiento a los 10 años posteriores a la construcción con los módulos de deformación del material, y cuya procedencia no se indica, que es la de la siguiente figura, que aparecía también en un trabajo anterior de Rodríguez Miranda (Ref.59) sobre pedraplenes, de 1986. Da diversos datos sobre asientos e incluye el

del pedraplén de Iciar de 80 m, que llegó al 1.7% de la altura. Indica el autor que pueden obtenerse asientos pequeños, del orden del 0.2% de la altura, si se logran módulos del terreno superiores a 500 kg/cm<sup>2</sup>.

De esta ley empírica deducen que el terraplén de Cañarete debía tener un asiento postconstructivo de 10 cm. A los 5 meses de la terminación los asientos eran inferiores a 3 cm, y estiman que a 10 años puede estar alrededor del 0.15%, unos 5 cm en la peor circunstancia para el punto más alto de 55 m. Han pasado ya 12 años desde entonces y el autor no tiene los datos de los asientos reales medidos.

En su trabajo de 1999 sobre los asientos de los terraplenes del AVE de Sevilla, Soriano (Ref 60) asimila también el problema al del asiento de las presas. Propone un procedimiento sencillo de cálculo del coeficiente  $\alpha$  de asiento post-construcción y llega a la expresión

$$\alpha = \frac{s_{10t} - s_t}{H} = 230 \left( \frac{C_\alpha}{C_c} \right) \frac{\Delta s}{H}$$

expresión que aplicada a un análisis de dos terraplenes de 40 m de altura en el AVE da resultados muy coincidentes con los medidos en los años secos hasta 1995, para los que en fase de proyecto se supusieron valores de  $(C_\alpha/C_c)$  del orden de 0.04, con los que obtuvo Soriano la expresión  $\alpha = 10 \Delta s/H$ . En los años lluviosos posteriores Soriano encuentra que la velocidad de asiento en esos terraplenes sube de 6 mm/mes hasta 18 mm/mes en los meses más lluviosos como a finales del invierno de 1996 en que cayeron más de 360 litros por m<sup>2</sup> en un mes y el índice  $\alpha$  duplicó su valor. En la expresión anterior Soriano toma las definiciones de Mesri (Ref.32) para el coeficiente  $C_c$  que liga la compresibilidad del terraplén (medida por su índice de poros e) con las tensiones

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta(\log \sigma)}$$

y para el coeficiente  $C_\alpha$  de compresión secundaria, que liga el índice de poros o asiento con el logaritmo del tiempo.

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\Delta(\log t)}$$

Cita también Soriano la importancia del trabajo recopilatorio de Clements (Ref. 30) Por otra parte, para terraplenes formados por materiales muy impermeables, arcillosos o de plasticidad media o alta, tiene lugar el fenómeno de ensanchamiento lateral, descrito en la literatura, p. ej, por Walker y Duncan. (Ref.40).

Cuéllar presentó en el mismo congreso su trabajo sobre comportamiento de un pedraplén de 40 m de la Autovía de las Rías Bajas (Ref.61). Como es bastante habitual, debió encontrar alguna dificultad administrativa para identificar el pedraplén en el trabajo publicado, lo que ahora nos crea muchos problemas a los interesados en el estudio de estos temas y en seguir el comportamiento posterior. En su trabajo Cuéllar obtiene los módulos de Young dinámicos y estáticos, el cociente  $E_D/E_S$  del orden de 7 en los 30 primeros metros de profundidad y de 20 a 65 más abajo, y un módulo de deformación del orden de 40 MPa hasta los 35 m de profundidad, aumentando hasta los 130 para 40 m de profundidad. Sánchez Alciturri (†) presentó su trabajo (Ref.62) sobre las deformaciones durante la construcción de otros dos terraplenes de 12 m de altura en la autovía A-67, resaltando la coincidencia entre los descensos calculados (0.9 m) y los medidos, que alcanzaron 1.2 m a los 220 días de comenzar los trabajos.

Perez Fábregat (Ref.63,64,65) presentó también en 1999 datos sobre la construcción de algunos terraplenes del AVE de Zaragoza. En el tramo Arcos-Sta. María sólo se cita un terraplén grande -sin dar más datos, se describe el sistema de mechas drenantes para consolidar los cimientos de otro terraplén en el tramo Zaidín-Alcarrás y se dan algunas tablas de lecturas de descenso de Enero y otros meses de 1998, pero el autor no ha podido aún identificar los puntos que cita, pk 602+180 y otros. En el tramo Alcarrás-Lleida describe 4 de los terraplenes, cimentados sobre suelos blandos de hasta 10 m de espesor, y se presenta un trabajo muy interesante sobre la malla de drenes verticales instalados y su diseño, y las estimación de los asentos constructivos. Lamentablemente no ha habido información posterior sobre los asentos post-constructivos de dichos terraplenes.

### Técnicas para reducir el descenso de los terraplenes

Las técnicas para reducir el descenso de los terraplenes son numerosas, y existen numerosas referencias en la literatura técnica, y más especialmente en la española. Antes de la aparición en Europa de la alta Velocidad, el octavo Congreso Europeo de Mecánica del Suelo de Helsinki en 1983 publicaba los trabajos del Profesor belga Van Impe (Ref.66) sobre la mejora de los descensos de los terraplenes por columnas de grava. En este trabajo Van Impe daba uno de los primeros métodos de cálculo del asiento del terraplén con columnas, indicando que el método es razonablemente exacto, y que las columnas de grava pueden reducir el descenso del terraplén al 45% del asiento que tendría lugar sin ellas, aunque el ejemplo que presenta es para un terraplén de sólo 5 m de altura. Otro método de cálculo de la transferencia de cargas del terraplén a las columnas es el dado en el mismo congreso por Wallays (Ref.67). En Es-

paña, donde las infraestructuras del transporte obligan a menudo a la construcción de importantes terraplenes, el refuerzo de éstos es un problema bien conocido. En el Simposio sobre Terraplenes y Pedraplenes de 1986 en Madrid se presentaron numerosos trabajos sobre estos temas, entre los que hay que citar los de Cañizo (Ref.68) que describe las ventajas e inconvenientes de cada método de refuerzo, el ya citado de Rodríguez Miranda sobre pedraplenes (Ref.36), y el del mismo autor sobre rellenos tipo sandwich (Ref.69) aplicados en la autovía Bilbao-Behovia.

Luis Sopeña presentó en 1999 (Ref.70) dos métodos numéricos alternativos para el caso de un terraplén de 5.5 m de altura en la circunvalación de Huelva, concluyendo que los modelos numéricos deben ser cuidadosamente estudiados, ya que pueden producir asentos que resultan ser un 65% de los realmente medidos, es decir, pueden dar un terraplén más rígido que el real. Cuellar (Ref.71) presenta en el mismo Congreso un método de mejora de las características de los terraplenes, aplicado en este caso a los bloques técnicos o cuñas de transición, a base de inyecciones de fracturación de mortero de cemento. En 2000 Romana presentó (Ref.72) un completo resumen de la precarga y sus aplicaciones, junto con unas aplicaciones de estimación de los asentos diferidos de un terraplén en función de la velocidad de aparición de esos asentos, utilizando el método presentado a su vez por Asaoka (Ref.73) en 1978.

Tal vez el trabajo más completo sobre el refuerzo de los terraplenes en suelos blandos sea el presentado en 2001 por H. Brandtl, de la Universidad de Viena (Ref.74), aunque se refiere solamente a lo que llama terraplenes bajos, menores de 5m y con suelos cuyo contenido de humedad natural es muy alto, del orden del 1000%. Repasa el autor los métodos utilizados para el refuerzo de esos terraplenes, dividiendo los métodos en los siguientes (a los que habría que añadir la precarga):

1. Columnas de grava o arena
2. Terraplenes sobre pilotes y encepados de distintos tipos
3. Terraplenes sobre geotextiles o armados con geotextiles
4. Compactación dinámica del terreno
5. Terraplenes de materiales ligeros, granulares (cenizas, espuma de vidrio, etc) o en bloques (porexpan o materiales similares).
6. Viaductos enterrados, estructuras flotantes o soportadas por pilotes y situadas a nivel del suelo que en alguna ocasión son más ventajosas que los terraplenes de materiales sueltos.

Fé Marqués y Sagaseta (Ref.75) presentaron en el Simposio de Barcelona sobre Geotecnia en las Infraestructuras del Transporte de Septiembre 2000 las distintas alternativas de rigidización de un terraplén de 19 m en el AVE, el terra-

plén de Las Brisas, en la provincia de Lérida, pero hoy no tenemos datos de su comportamiento real. La primera e inteligente medida fue la modificación del perfil longitudinal para reducir 6 m de altura. Se estudiaron después las soluciones de: (1) eliminar los fangos, que se desechó por el aporte de agua y la profundidad de excavación necesaria, 9m, (2) Columnas de grava, (3) Sustitución por estructura y (4) Mechas drenantes. Describen la solución finalmente adoptada, mechas drenantes, tendido de taludes del 2H/1V a 3H/1V y una berma de 8 m de anchura, la construcción en 2 fases dejando un tiempo de 2 semanas entre ellas, y la construcción del terraplén con suelos exclusivamente granulares, gravas arenosas de préstamos cercanos. El asiento estimado para la construcción era de 41.1 cm, pero no tenemos datos sobre las medidas reales ni de los asientos post-constructivos. Gutiérrez Manjón describe (Ref.76) el comportamiento de un terraplén de 80 m de altura en la Autovía del Noroeste, cuyo descenso constructivo se estimó en 35 cm y fué de 41 cm y el postconstructivo se estimó en 10 cm. El relleno se terminó en Diciembre de 1998, y el asiento postconstructivo medido en Mayo de 2000 era de 18 cm, pero tampoco tenemos hoy datos sobre su comportamiento real.

Domínguez y Serrano describen (Ref.77) los diversos métodos de cimentación y rigidización de otros terraplenes de alturas entre 5 y 10 m en la línea de Alta Velocidad Madrid-Zaragoza en el Valle del Arroyo de Anchuelo. Los posibles tratamientos de mejora que se analizaron fueron: (1) Compactación dinámica, (2) la sustitución del material, (3) el aligeramiento de los terraplenes, (4) Precarga con el propio terraplén, (5) drenes verticales, (6) Columnas de grava, y (7) un tratamiento mixto de columnas de grava y drenes verticales. Explican los autores los motivos por los que la solución adoptada fué la de columnas de grava, pero tampoco hay datos del comportamiento del terraplén cuyo asiento máximo previsto durante la construcción era de 60 cm.

Rodríguez y Romana describen (Ref.78) las deformaciones de otros terraplenes del AVE de Zaragoza, en las cercanías de Alhama. El terraplén del Barranco de Otero, que sustituyó al viaducto previsto de 8.5 m de altura, se construyó con precarga y mechas drenantes. Este terraplén, y 5 más de los 39 del tramo se instrumentó, y los autores indican los asientos obtenidos, que en ningún caso superan los 15 cm. Desde ese año 2000 hasta el momento de escribir estas líneas han pasado casi 6 años, sin embargo, y aunque hoy es difícil interpretar a qué pk actual corresponde cada terraplén citado, el autor cree haber podido identificar algunos salvo el del Barranco de Otero (que tal vez pudiera ser el del actual pk 200+272). El llamado por los autores T5 de 17.6 m de altura con 12 cm de asiento máximo en el artículo, puede ser el pk 178+317 que tiene hoy 27.5 cm de asiento. El llamado T-30 de 15 m de altura, con 4 cm de asiento en el artículo, puede ser el pk 195+927 que tiene hoy 26 cm,

y el llamado T-20 de 20.7 m de altura con 4 cm de asiento en el artículo puede ser el famoso terraplén del pk 188+307 que tiene hoy más de 48 cm de asiento. Este terraplén ha tenido al tren varias semanas con reducciones de velocidad de hasta 80 km/h (que en el momento de escribir estas líneas son de 160 km/h), y ha movido la clave de la bóveda triarticulada del paso inferior, como puede comprobar cualquier lector que se acerque a la traza.

### La velocidad crítica del terraplén y la onda de proa del tren

Además de los descensos de los terraplenes, otro problema importante para los ferrocarriles de Alta Velocidad en lo que se refiere a los terraplenes es la llamada "velocidad crítica" del tren. Este problema no se estudia en el presente trabajo, sino sólo se menciona su existencia y se cita alguna de la literatura existente, para el lector interesado. Tres años después de terminar la 2ª guerra mundial tuvo lugar el 2º Congreso Internacional de Mecánica del Suelo, en Rotterdam, 1948. En él, el ingeniero F. De Nie, de los Ferrocarriles Holandeses, llamó la atención sobre los movimientos de los terraplenes en su pionero trabajo (Ref.79) sobre las medidas realizadas en el tramo Gouda-Oudewater, siendo posiblemente el primero en observar e identificar el fenómeno de lo que él llamo "ondulación" del terreno bajo el paso del tren, fenómeno que consiste en la amplificación de los movimientos verticales de las partículas del terreno bajo el paso del tren.

En el mismo Congreso el mismo autor presentó con J. Cuperus la descripción de los trabajos de consolidación y refuerzo de ese tramo (Ref.80), y describe cómo la sucesiva elevación con balasto de la vía para compensar el asiento del terraplén llevó a su rotura en Nieuwerkerk en 1930. En 1999, medio siglo después, estos pioneros estudios de terraplenes para trenes de 120 km/h fueron recogidos por Woltringh (Ref.81) con ocasión de la construcción de la nueva línea de alta Velocidad en Holanda para 300 km/h. Este fenómeno de la "onda de proa" de un tren sobre un terraplén o "velocidad crítica del tren" en un determinado terraplén probablemente no es muy importante en España, donde no son frecuentes los blandos suelos usuales en Holanda, pero no cabe duda de que puede llegar en algunos casos a ser tan peligroso como los propios descensos de la vía. En cualquier caso y según indica el autor, una placa de hormigón redujo las deformaciones del carril en un 90%. Seis años después de las observaciones de De Nie, J. Kenney propuso en 1954 (Ref.82) su expresión de la velocidad crítica de la onda en una viga de rigidez  $EI$  y masa  $\rho$  por unidad de longitud apoyada sobre un sistema de resortes continuo, el modelo Winkler, de constante  $K$  por unidad de longitud de la viga.

$$V_{crit} = \sqrt[4]{\frac{4KEI}{\rho^2}}$$

Pese a lo que indica el prestigioso Prof. C. Esveld (Ref.83) en su conocido texto, hoy sabemos que la velocidad crítica de un determinado terraplén, u “onda de proa” del tren puede ser tan baja como 200 km/h, lo que puede ser sumamente peligroso con trenes que circulan a esa velocidad y producir inestabilidades o incluso descarrilos. Como indica Madshus (Ref.84), del Instituto Geotécnico Noruego NGI, en el Congreso de Mecánica del Suelo de Amsterdam de 2001, la expresión de Kenney tiene algunas deficiencias, pero es útil para aclarar los conceptos y ver la influencia de cada una de las variables. Aumentar la constante de Winkler o la rigidez EI de la plataforma, o reducir la masa unitaria del terraplén si fuera posible, aumentará la velocidad crítica peligrosa, y podrá alejarse de las velocidades de los trenes.

Pero también indica Madshus que ni este modelo ni el modelo alternativo de Krylov (Ref.85,86) de las ondas de Rayleigh en un semiespacio homogéneo reproducen la realidad del fenómeno, y propone su propio modelo numérico (Ref.87). Presenta ejemplos de un terraplén en Ledsgard, Suecia, donde las deformaciones verticales de la vía, prácticamente nulas para velocidades del tren de hasta 130 km/h, aumentan enormemente hasta llegar a un máximo de 10 mm a la velocidad de 235 km/h. La solución que propone para resolver el problema son los conocidos viaductos enterrados, flotantes o pilotados, aumentando así la inercia, solución propuesta también por el Prof. Esveld de la Universidad de Delft. La simulación de estas soluciones con el modelo numérico indica una reducción de los movimientos verticales del carril del orden de 4 veces, de 12 mm a 3 mm. Presenta la solución aplicada en el citado terraplén de Suecia, donde la construcción de pilotes de cal y cemento bajo la vía, de 60 cm de diámetro y 6 a 13 m de profundidad y separados 0.5 m entre ejes, redujo el desplazamiento vertical del carril de 12 mm a 0.9 mm. Las investigaciones sobre este fenómeno continúan, y ya disponemos de medidas de las vibraciones originadas por trenes de Alta Velocidad hasta 314 km/h en la nueva línea París-Bruselas, según los trabajos de Degrande y Schillemans (Ref.88).

### Conclusión sobre la estimación de los descensos postconstructivos de los terraplenes

Como puede ver el lector, los trabajos sobre los descensos de pedraplenes y terraplenes son numerosos, especialmente en España. Conocidos y estudiados estos trabajos llega el momento de la gran pregunta para el In-

Tabla 1. Diferentes estimaciones de asientos post-constructivos de terraplenes

Altura H (m)	Previsiones de asientos en pedraplenes de 10 años (m)			
	Lawton, 1964	Sowewrs, 1965	Soydemir, 1979	Clements, 1987
	$\alpha = 0.05$			
10	0.032	0.010	0.009	0.001
15	0.058	0.016	0.017	0.002
20	0.089	0.021	0.027	0.003
25	0.125	0.026	0.038	0.006
30	0.164	0.031	0.049	0.010
35	0.207	0.036	0.062	0.014
40	0.025	0.042	0.076	0.020
50	0.354	0.052	0.010	0.037

geniero de Caminos que está diseñando un trazado de Alta Velocidad. Alguien desconocido, en el Estudio Informativo, sin los estudios geotécnicos adecuados que se hacen después, ha decidido poner en un punto un terraplén de 30 m de altura, con unos materiales y un cimiento determinado y prácticamente sin analizarlos (trabajos que se hacen también en la posterior fase de Proyecto). El trazado ya no puede cambiarse tras la Declaración de Impacto Ambiental. ¿Cuanto descenderá el terraplén en 10 años? ¿Debe ponerse este terraplén?. Y la respuesta es, como vemos, que no sabemos. Como acabamos de ver, no tenemos forma de estimar con certeza el descenso post-constructivo del terraplén, tal vez ni siquiera su orden de magnitud. Las reglas empíricas de estimación dan hoy una dispersión tan enorme que no tienen ninguna utilidad práctica, salvo el muy extraordinario acierto de sus propias predicciones citado por Uriel (Ref.50). Los modelos numéricos –como siempre, y de ahí su enorme peligro– darán los resultados que se desee o que desee el Organismo que los encarga, depende de los inputs. Repetimos que la conclusión más acertada de todos los trabajos sobre la estimación del descenso de terraplenes y pedraplenes es probablemente la ya citada del Prof. Justo Alpañés “En realidad hay que confesar nuestra impotencia para dar una explicación satisfactoria a la enorme diferencia entre los asientos postconstructivos de las presas de Kangaroo y Muddy Run”. Si se aplican algunas de las estimaciones clásicas aquí resumidas, el ingeniero que tiene que diseñar un terraplén de 30 m de altura por ejemplo, para un tren de Alta Velocidad, puede estimar los descensos postconstructivos máximos siguientes en 10 años (Tabla 1). Y se encuentra que para 30 m de altura unas estimaciones dan un descenso de 1 cm y otras de 16 cm. Esta dispersión, de hasta el 1600%, es todo lo que el ingeniero que diseña el trazado de un AVE puede esperar de los métodos actuales de estimación de los asientos post-constructivos de terraplenes y pedraplenes.

## Terraplenes, descensos y ferrocarril

En 2001 M. Sunaga de la RTRI (Railway Technical Research Institute, Japón), (Ref.89) publicó las especificaciones que se fijan en Japón para los descensos de los terraplenes de las nuevas líneas ferroviarias de Alta Velocidad. En el caso de vía en balasto indica que los asentamientos máximos permitidos son de 100 mm, ya que se considera que asentamientos mayores inducen costes de mantenimiento demasiado altos, inaceptables. La vía en placa, que no tiene prácticamente costes de mantenimiento en comparación, exige sin embargo por su rigidez una infraestructura sumamente indeformable, con un asiento post-constructivo máximo permitido en un terraplén de 30 mm, independiente de la altura del terraplén. En el mismo congreso, T.Niedhart (Ref.90) indica cómo en los últimos años se ha instalado vía en placa en los tramos de las nuevas líneas alemanas de Alta Velocidad en construcción, lo que ha introducido muchos nuevos conceptos y métodos a tener en cuenta en el diseño y construcción de los terraplenes. Presenta el equipo de carga en placa dinámica que preparó la Administración Ferroviaria Alemana (Deutsche Bahn, DB) a estos fines, con un magnífico diámetro de 2.5 m y capaz de dar a la plataforma cargas estáticas de hasta 70 kPa a frecuencias de hasta 45 Hz, lo que produce cargas dinámicas de hasta unos 2.000 kN, unas 10 veces la carga estática de un eje, lo que parece incluso mayor que las cargas dinámicas esperables en la vida de la infraestructura salvo planos u ovalizaciones de ruedas. Lo interesante aquí son los datos que proporciona el autor sobre las especificaciones de esas nuevas líneas. La vía en balasto en Alemania, dice, debe batearse con mucha frecuencia para los trenes de alta velocidad, 250 a 350 km/h, y este bateo y mantenimiento genera unos costes muy elevados que desaparecen con una vía en placa bien proyectada y construida, cuyos costes de mantenimiento son despreciables. La vía en placa preferida por la DB es generalmente la Rheda con artesa. Pero las deformaciones verticales de este tipo de vía sólo pueden compensarse fácilmente actuando sobre la sujeción, que admite correcciones de hasta 30 mm en vertical y 4 mm en horizontal y que ya han sido reducidas en 1999 por la DB hasta los 20 mm en vertical y 0 en horizontal en una longitud de 10 m, es decir, una pendiente del defecto de 1:500.

Naturalmente, estas restricciones no permiten construir la vía de Alta Velocidad con una placa rígida sobre terraplenes cuya deformación post-constructiva sea grande, porque la placa romperá. La flexibilidad vertical de la vía en balasto le permite sin embargo absorber mayores deformaciones de la infraestructura que la vía en placa, ya que su corrección es relativamente sencilla, pero esto no ocurre con la vía hormigonada.

En las recomendaciones para el trazado de Alta Velocidad en Holanda, resume Woldringh (Ref.29) la problemática, comentando que una rigidez excesiva de la vía, como 0.5 mm de descenso del carril bajo la carga de un eje, causa un desgaste ondulatorio excesivo. Por otra parte si es demasiado flexible, la sujeción puede dañarse, o no ser capaz de dar esa deformación, y en consecuencia se consideran inaceptables deformaciones de 3.5 mm bajo la carga de 225 kN, aceptando como máximo razonable un valor de 2.0 a 2.2 mm. Fijan en Holanda un descenso máximo del carril de 1.3 a 1.4 mm bajo una carga de 225 kN, tanto para vía en balasto como para vía en placa. En Alemania una carga de 200 kN debe producir un descenso de 1.5 mm.

Para la vía en placa indica también Woldringh que en Alemania el máximo descenso que puede tener un terraplén es de 6 cm, y el máximo asiento diferencial en una longitud de 10 m de vía debe ser de 2 cm. En Suecia los máximos asientos que debe dar un terraplén tras su construcción, para velocidades de 350 km/h, son de 10 cm, para vía en balasto y no hay aún especificaciones para vía en placa. Para el caso de Japón, Woldringh remite también a Sunaga, que indica que los asientos máximos admisibles de los terraplenes tras la construcción son de 10 cm para vía en balasto y 3 cm para vía rígida en placa.

## Terraplenes del AVE Madrid-Sevilla

El AVE Madrid-Sevilla se puso en servicio el 21 de Abril de 1992. Sus terraplenes fueron proyectados, diseñados y construidos por la Dirección General de Ferrocarriles, dirigida en ese periodo por el prestigioso Dr. Ingeniero de Caminos Antonio Alcaide, experto en Geotecnia y Mecánica del Suelo. En las magníficas publicaciones que esa Dirección General editó en 1991 sobre el proyecto y la construcción de la línea se observa el cuidado y el cariño con el que se estudiaron todos los aspectos del proyecto y la construcción de los terraplenes, no frecuentes en nuestras infraestructuras. El tomo "Explicación" (Ref.91) estudia los desmontes y terraplenes, e indica los análisis y modelos numéricos efectuados sobre cada uno de los terraplenes. Se estudiaron los asientos previsibles durante la construcción y la explotación posterior, y los terraplenes más importantes fueron dotados de una cuidadosa instrumentación, que hoy sigue analizándose con gran detalle y alta frecuencia. El modelo constitutivo utilizado para el cálculo numérico fué el hiperbólico de Duncan y Chang (Ref.92) cuyos parámetros publica. Pero de los asientos post-constructivos pasados 14 años de la construcción no se sabe nada, no se ha publicado ningún trabajo salvo los escasos arriba citados y hoy es sumamente difícil, imposible en la práctica, obtener datos del comportamiento

**Tabla 2. Número de terraplenes del AVE de Sevilla agrupados por altura**

TERRAPLENES EN EL AVE DE SEVILLA			
Altura, m	Vía I	Vía II	Total
50	2	1	3
45	0	0	0
40	6	1	7
35	3	1	4
30	3	6	9
25	5	5	10
20	16	14	30
15	29	33	62
10	47	56	103
5	147	127	274
<b>Suma</b>	<b>258</b>	<b>244</b>	<b>502</b>

to de los terraplenes del AVE de Sevilla. Los valores dados en 1991 por la Dirección General de Ferrocarriles para los asientos tras la nivelación de la vía (misma Ref, pag 39) son de 16 cm para un pedraplén de 43 m e inferiores a 12 cm para el resto. No indica el autor la situación de ninguno de ellos, y es por tanto muy difícil o imposible identificarlos hoy. Quien esto escribe no ha podido hacerlo.

Los terraplenes del AVE Madrid-Sevilla son 502, cuya división en alturas es la reflejada en la Tabla 2.

Como puede verse, la línea tiene numerosos terraplenes de gran altura, de los que se resumen en la Tabla 3 los mayores de 20 m de altura en Vía 1 (sentido Madrid) y Vía 2 (sentido Sevilla).

Con las mayores reservas el autor puede presentar la siguiente tabla de descensos postconstructivos hasta el año 2003 que ha intentado ordenar de datos sueltos de

**Tabla 3. Situación de los terraplenes del AVE de Sevilla ordenados por altura**

MAYORES TERRAPLENES DEL AVE DE SEVILLA. ORDENADOS POR ALTURA					
VIA 1			VIA 2		
PK INICIO	ALTURA, m	Longitud, m	PK INICIO	ALTURA, m	Longitud, m
290,979.00	50	1,671	311,563.00	50	312
311,170.00	50	670	301,476.00	40	164
294,530.00	40	435	321,290.00	35	910
301,450.00	40	190	301,023.00	30	127
302,310.00	40	60	312,359.00	30	315
305,560.00	40	520	323,290.00	30	460
307,144.00	40	156	324,550.00	30	870
312,361.00	40	311	327,750.00	30	422
301,020.00	35	140	328,478.00	30	212
321,395.00	35	825	255,415.00	25	2,585
324,200.00	35	1,060	294,650.00	25	335
293,200.00	30	750	318,035.00	25	195
322,380.00	30	840	322,500.00	25	700
323,290.00	30	460	368,540.00	22	574
302,040.00	25	70	287,510.00	20	232
327,700.00	22	472	287,822.00	20	351
328,478.00	22	997	288,200.00	20	150
366,360.00	21	820	293,300.00	20	628
371,200.00	21	520	315,768.00	20	601
287,430.00	20	312	317,060.00	20	600
287,822.00	20	351	318,725.00	20	200
288,200.00	20	117	324,200.00	20	260
314,533.00	20	105	377,600.00	20	2,870
316,494.00	20	345	383,355.00	19	67
318,035.00	20	195	383,477.00	19	458
325,265.00	20	185	68,622.00	18	515
368,480.00	20	634	138,875.00	18	1,525
369,254.00	20	186	330,460.00	16	130
383,400.00	20	22	94,600.00	15	1,835
383,477.00	20	593	268,968.00	15	1,043

Tabla 4.- Descensos post-constructivos en 10 años de algunos terraplenes del AVE de Sevilla

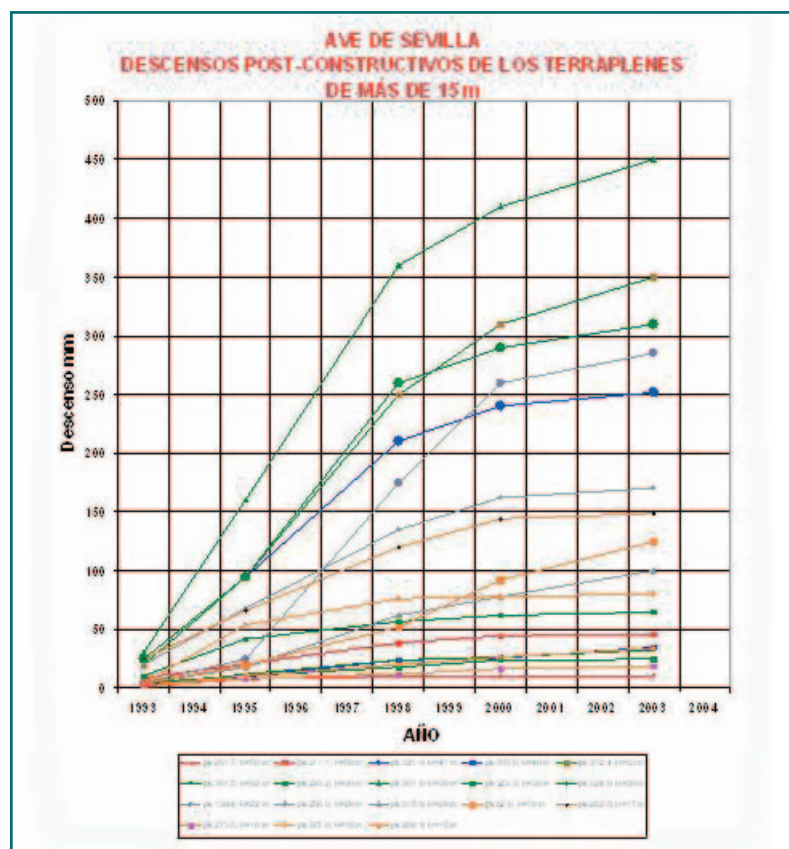
AVE DE SEVILLA. COMPORTAMIENTO EN 10 AÑOS DE LOS TERRAPLENES						
PK	Altura, m	Longitud, m	Descenso, mm	Radio, m	Peralte, mm	Velocidad autorizada, km/h
56.6	10	220	48	4,000	150	270
56.8	10	500	152	4,000	150	270
62.2	8	200	58	-4,000	150	270
62.7	18	384	125	-4,000	150	270
139.4	22	1,035	285	-4,000	150	270
233.9	10	425	129	Recta		250
247.9	10	784	18	3,200	135	250
256.0	20	962	170	-3,200	135	250
262.5	17	754	149	3,200	135	250
269.0	15	1,070	34	3,200	135	250
273.5	16	1,215	19	Recta		250
275.8	10	260	10	Recta		250
291.7	50	945	11	Recta		215
293.2	30	745	25	Recta		215
301.0	30	155	450	-2,300	140	215
301.5	32	190	310	-2,300	140	215
305.6	40	480	35	2,300	140	215
311.2	50	715	46	Recta		215
312.4	33	320	350	2,300	150	215
315.8	20	615	100	-2,300	150	215
321.3	41	927	252	3,200	135	250
323.3	30	463	65	-3,200	135	250
324.6	30	685	33	-3,200 a 3,200		250
337.6	16	220	80	-1,400	120	160

Fig. 3. Evolución del asiento post-constructivo en 10 años de algunos terraplenes del AVE de Sevilla. (rojo H > 50m, azul H > 40m, verde H > 30m, gris H > 20m, naranja H > 15m).

algunos años con el radio del trazado, el peralte y la velocidad autorizada al tren hace algunos años. El autor no puede asegurar que estas velocidades autorizadas sean las actuales.

La evolución en estos 10 años de los descensos de algunos terraplenes de más de 15 m de altura ha sido la que se ve en la fig. 3.

Como puede verse, efectivamente no parece existir relación del descenso post-constructivo con la altura del terraplén, como ya adelantaba Justo Alpañés hace tantos años. En la publicación citada comentaba Alcaide que "la mayor parte del asiento post-constructivo -del orden de la mitad- se produce en el primer año, por lo que no repercute sobre la superestructura", y por ello se planificaron los trabajos de forma que los terraplenes de más de 20 m terminaran antes de un año respecto a la nivelación de la vía. Pero la figura anterior ya nos indica que esto no es así. Como puede verse, el asiento postconstructivo realmente no comienza a estabilizarse hasta pasados de 8 a 10 años de la construcción, con lo que no hay forma de evitarlo o reducirlo durante la construcción de la explanación. Obsérvese además que en aquellos años también se creía que los asientos post-constructivos eran en alguna forma proporcionales a la altura del relleno. Los mayores asientos en Sevilla corresponden a un terraplén de 30 m de altura y en Zaragoza a uno de 17 m (fig.6), y los dos de 50 m de Sevilla



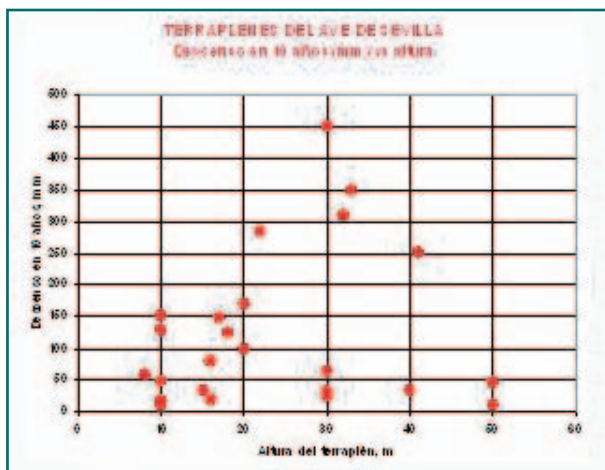
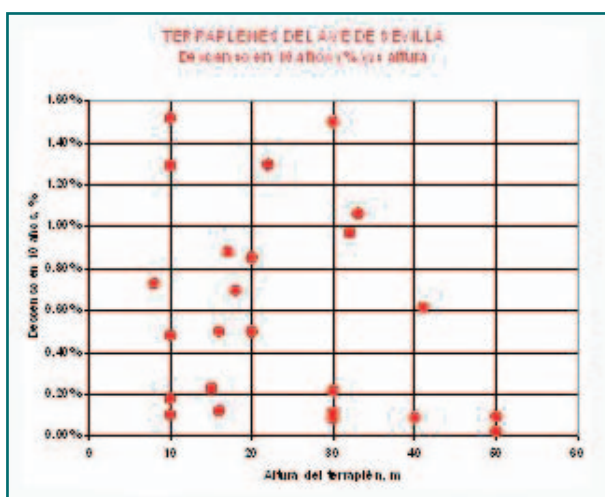


Fig. 4 A y B. Descenso post-constructivo vs. altura del terraplén en 10 años en el AVE de Sevilla (mm y % de H). Los mayores asentamientos relativos corresponden a los pk 56+796 de 10 m y al pedraplén del pk 301+005 de 30 m. Como se ve, es necesario publicar, recomprobar y reestudiar estos datos, y las causas de estos descensos si se confirman.



han tenido asentamientos muy pequeños. En uno de ellos apenas ha habido que pasar la bateadora haciendo levantes de vía en 12 años.

### Terraplenes del AVE Madrid-Zaragoza

Sobre los terraplenes del AVE a Zaragoza no conoce el autor ningún trabajo ni publicación del Ministerio. Del análisis de los distintos proyectos puede obtenerse la relación parcial que se ve en la tabla 5.

La línea se puso en servicio, sin la señalización ni los nuevos trenes, el 11 de Octubre de 2003. Los proyectos del tramo Calatayud-Ricla (pk 219 a 251 aprox.) se habían licitado el 24 de Noviembre de 1993 y las obras comenzaron el 15 de abril de 1996. El autor no dispone de las fechas reales de terminación de cada terraplén, pero puede admitirse que en 2001 estaban terminados. Los descensos post-constructivos medidos a finales de 2005 que el autor ha podido conseguir y ha intentado ordenar

**Tabla 5. Algunos terraplenes del AVE de Zaragoza, agrupados por altura**

TERRAPLENES AVE ZARAGOZA PK 150 a 300	
Altura, m	Nº
45	1
40	1
35	4
30	2
25	3
20	7
15	12
10	8

**Tabla 6. Descensos post-constructivos en 3-5 años de algunos terraplenes del AVE de Zaragoza**

TERRAPLENES AVE ZARAGOZA PK 150.0 A 300.0 Enero 2003 a Noviembre 2005		
PK	Altura, m	Descenso Postconstructivo mm
235.00	45	77
240.83	40	89
158.84	36	230
165.70	35	490
232.46	35	92
233.60	35	84
244.39	32	178
157.16	30	131
238.55	25	112
245.42	23	187
226.36	22	71
243.19	22	185
246.86	22	114
248.58	20	125
300.47	20	83
306.44	20	71
171.98	19	81
180.66	17	132
188.04	17	482
195.81	17	263
159.68	16	60
170.36	16	182
173.18	16	323
183.88	15	309
198.17	15	145
268.97	14	71
175.42	13	319
275.33	13	75
205.64	12	78
208.89	12	72
226.68	11	153
185.31	10	138
177.73	8	275
270.27	6	30
169.96	4	170

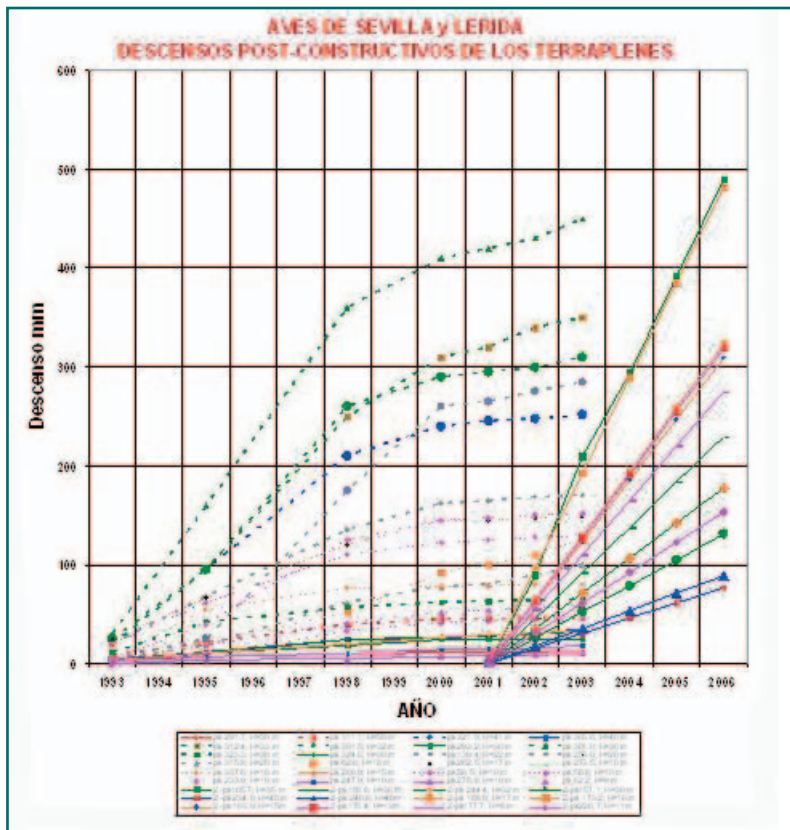


Fig. 5. Evolución del descenso post-constructivo de terraplenes de los AVE de Sevilla y Lérida. (rojo H > 50 m, azul H > 40 m, verde H > 30 m, gris H > 20 m, naranja H > 15 m).

de datos sueltos son, con todas las reservas, los siguientes, con los terraplenes ordenados por altura decreciente, resumidos en la tabla 6.

La figura 5 ilustra los descensos postconstructivos de estos terraplenes junto con los del AVE de Sevilla en base a los datos que el autor ha podido conseguir tras varios años, y

ordenar, sin que pueda garantizar su exactitud. La figura es extraordinariamente interesante, porque indicaría, si los datos son correctos, que en cinco años los asentamientos post-constructivos de Zaragoza son mayores que los de Sevilla en 12, y se ignora hasta qué valores pueden llegar. El autor no dispone de las velocidades autorizadas por el explotador, pero ya ha citado la de 80 km/h (hoy 160 km/h) del pk 188.

En los gráficos de los descensos de Zaragoza sólo se ha dispuesto del asiento final de 2006, de forma que el autor ha interpolado linealmente entre 2003 y 2006 separando las líneas para que puedan distinguirse. Los datos intermedios no tienen por tanto valor alguno. Al igual que en los terraplenes de Sevilla no parece haber relación entre la altura del terraplén y su descenso post-constructivo, como muestra la figura 6.

Si los datos son exactos se observa, como hemos dicho, una mucha mayor deformación de varios terraplenes, y una mucho mayor velocidad de asiento que en Sevilla.

### Consecuencias de los descensos de los terraplenes en Alta Velocidad

El autor no ha visto en las publicaciones ninguna referencia a este grave problema de los terraplenes que sufrimos en la Alta Velocidad española. Las Recomendaciones del Ministerio de 1999 sobre el proyecto de plataformas ferroviarias de que dispone el autor no lo mencionan (Ref.93), parecen ser una actualización de la Tesis Doctoral del Prof. Profillidis de 1983 (Ref.94,95,96). Las Instrucciones y Recomendaciones para Redacción de Proyectos de Plataforma IGP-2004 (Ref.97) tampoco mencionan el problema de los asentamientos ni fijan limitación alguna. Pero las consecuencias

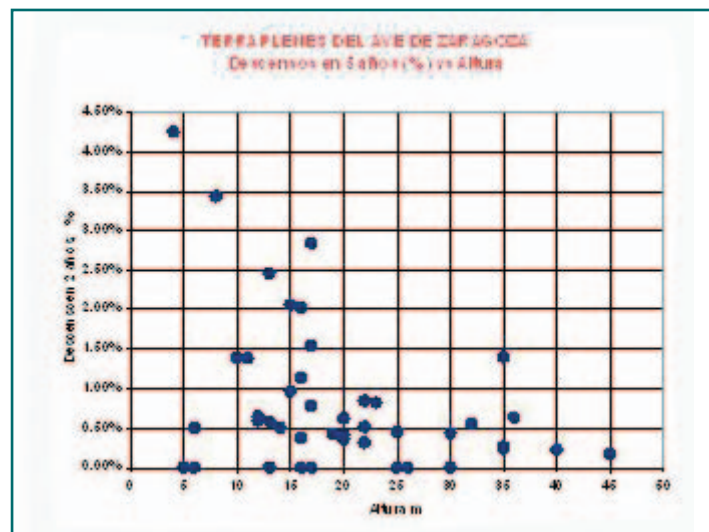
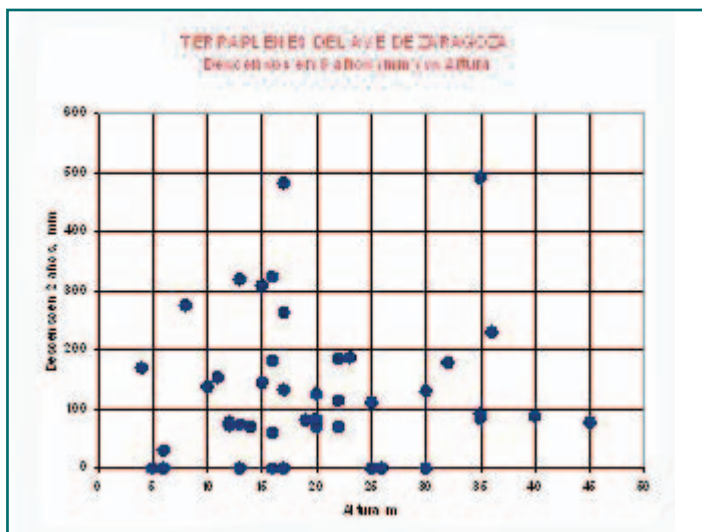


Fig. 6. Descenso post-constructivo vs. altura del terraplén en 5 años en el AVE de Zaragoza (mm y % de H). El 4.25% corresponde al pk 169+961 de 4 m de altura y el 3.5% al pk 177-720, de 8 m de altura. como se ve, es necesario publicar, recomprobar y reestudiar estos datos, y las causas de estos descensos si se confirman.

de este problema podrían ser graves, ya lo son de hecho, y se pueden resumir como sigue.

**1. Peligro del balasto a altas velocidades del tren. Necesidad de la vía en placa para la Alta Velocidad**

Todos los fabricantes europeos de trenes están hoy estudiando con las Administraciones ferroviarias el problema del vuelo del balasto con el paso del tren a Alta Velocidad. Carriles dañados, bogies y rodales golpeados y dañados, cristales rotos en algún caso, y no se encuentra una solución para eliminar el problema. El autor cree que es peligroso lanzar al tren a 350 km/h en estas condiciones. Cree que la única solución es eliminar el balasto e instalar siempre vía en placa para la Alta Velocidad, como hizo Japón desde 1980 y hace actualmente Alemania..

**2. Imposibilidad de usar la vía en placa en los terraplenes**

La primera consecuencia es que, si el máximo descenso postconstructivo permitido a un terraplén es de 30 mm para poder construir vía en placa sobre él, en España

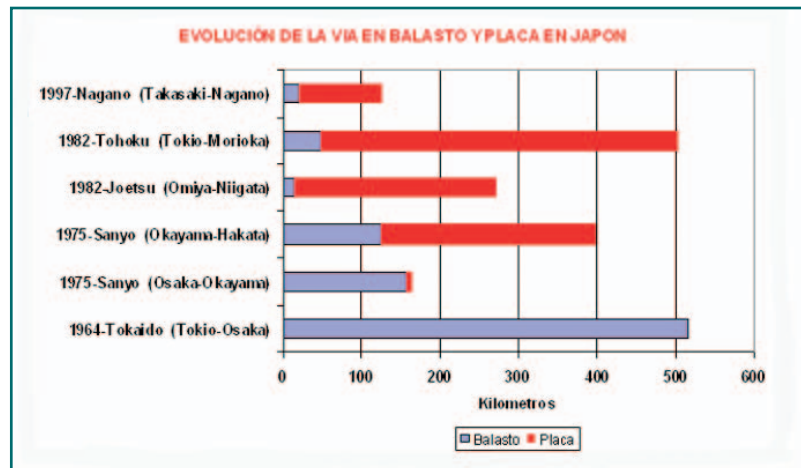


Fig.7.-Eliminación del balasto en Japón para Alta Velocidad (Y.Matsumoto, 2001).

no puede construirse vía en placa con los terraplenes que se están diseñando. Los grandes descensos postconstructivos romperán la placa en pocos meses, como ha ocurrido en gran parte de los tramos de autovía que se construyeron hace una o dos décadas con pavimento de hormigón hidráulico. Pero como hemos visto más arriba, esos 30 mm se han especificado en Alemania y en Japón.

La subconsecuencia de esta primera es que, como sabemos, la vía en balasto no parece ser válida para velocidades superiores a 300 km/h. Ni los deflectores en los bajos del tren ni otras medidas impiden el vuelo del balasto y el golpeo a los bajos del tren. Por lo tanto el tren no puede ni podrá circular a los 350 km/h previstos en España con la vía en balasto, lo que era un fenómeno muy conocido en todo el mundo desde hace muchos años. En la siguiente figura 7 puede verse cómo han evolucionado las partes construidas en balasto y en placa en las líneas de Alta Velocidad en Japón en función del año en que se pusieron en servicio (Ref.98). Conocidos los proble-



Fig.8. Protección japonesa para evitar el vuelo del balasto y el peligro a los trenes (fotos MMM).



Fig.9. Aumento de espesor de balasto por descenso del terraplén y cuñas de transición. Se observa bien el descenso por la curvatura de la canaleta, que inicialmente era horizontal.



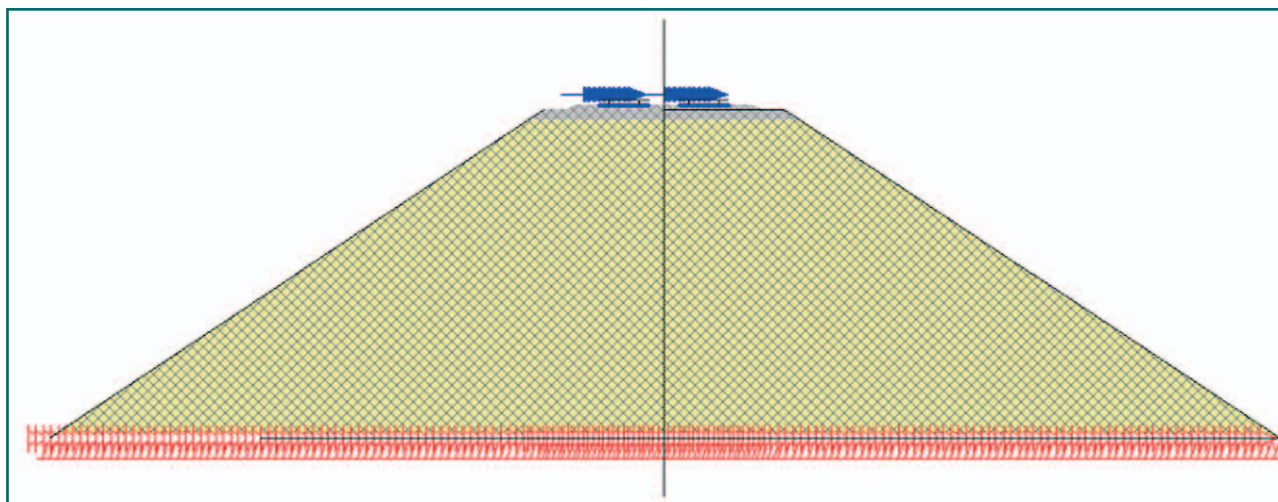


Fig.10. Modelo sencillo en  $\Sigma/W$  para ver la influencia del espesor de balasto bajo traviesa.

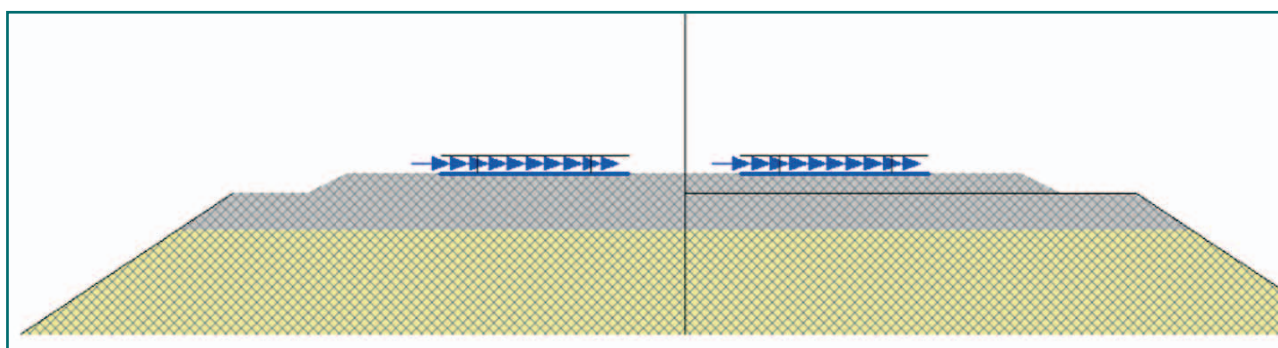


Fig.11. Detalle de la zona superior. Sustitución progresiva de explanada por balasto suelto.

mas del balasto en los primeros Shinkansen Tokaido y Sanyo, el balasto no ha vuelto a utilizarse para la Alta Velocidad japonesa.

En los escasos tramos de vía de Alta Velocidad en que hay que poner balasto en Japón por algún motivo, se protege con gomas como las de las fotografías de la fig. 8.

### 3. Reducción de la resistencia lateral de la vía en balasto por los descensos de los terraplenes

Aunque el terraplén descienda, la vía debe mantenerse en su cota original de proyecto. En determinadas circunstancias y si los descensos del terraplén han sido muy grandes puede modificarse el trazado longitudinal y ajustarse la  $K_v$  del acuerdo vertical, estudiando previamente el efecto de la aceleración vertical sobre el pasajero. Pero salvo este ajuste del trazado, la corrección de los asientos postconstructivos de los terraplenes sólo puede hacerse por levantes de la vía con la bateadora, es decir, añadiendo espesor de balasto. En el AVE de Sevilla el espesor mínimo de balasto bajo traviesa en el punto de menor espesor era de 30 cm, y en las zonas en que la vía ha bajado tanto como 30, 40 y hasta 45 cm, este es el espesor de balasto que ha habido que añadir. En algunos

terraplenes el autor ha podido conseguir alguna foto que se ha incluido aquí para el lector interesado, en la que pueden apreciarse claramente los descensos.

Pero el aumentar el espesor de balasto bajo la traviesa no es bueno. Prestigiosos autores clásicos como Dogneton (Ref.99) han escrito y defendido explícitamente que el espesor de balasto bajo la cara inferior de la traviesa no tiene ninguna influencia sobre la resistencia lateral de la vía, y ello ha sido y sigue siendo recogido también tradicionalmente en los textos y apuntes de las Cátedras de Ferrocarriles de España (Ref.100). Sin embargo, el autor opina que esto no puede ser así. El aumento de espesor de balasto bajo traviesa significa en definitiva que se está sustituyendo un material cohesivo (plataforma) por otro no cohesivo (balasto) y de igual o inferior rozamiento interno puesto que no volverá a ser bateado y tendrá ya rotas las aristas y esquinas. La resistencia de la vía al esfuerzo transversal debe por tanto disminuir, y aumentar su deformación lateral bajo cargas horizontales. La expresión de los corrimientos en la superficie de un semiespacio elástico sometido a una carga puntual horizontal (problema similar al de Boussinesq, pero con carga horizontal) fué resuelto por Cerruti en 1882 (Ref.101). La expresión de los corrimientos en el punto de aplicación de la fuerza y en su dirección es la siguiente:

$$u = \frac{Q(1+\nu)}{2\pi ER} \left[ 1 + \frac{x^2}{R^2} + (1-2\nu) \left[ \frac{R}{R+z} - \frac{x^2}{(R+z)^2} \right] \right]$$

que para  $x=0$  y  $R=z$  se simplifica a:

$$u = \frac{Q(1+\nu)(3-2\nu)}{4\pi E} \frac{1}{z}$$

El corrimiento es, como se sabe, infinito en el punto de aplicación de la carga, y va bajando con la profundidad  $z$  según la ley hiperbólica anterior. Si el módulo elástico del medio disminuye, naturalmente el corrimiento aumenta. No tenemos solución analítica, tipo Burmister, para un sistema multicapa, ni aún bicapa, con materiales de distinto módulo, pero el problema puede modelizarse con cualquiera de las herramientas numéricas disponibles hoy. Para comodidad del lector el autor ha modelizado el comportamiento de un terraplén de 17 m de altura sometido las cargas horizontales que transmite la traviesa al balasto suponiendo espesores de balasto que van aumentando en tramos de 25 cm desde los 25 cm iniciales hasta 1 m.

Se ha supuesto actuando en la cara inferior de cada traviesa una carga horizontal de  $8 \cdot 10^4 \text{ N} = 8 \text{ t}$ . La modelización se ha hecho con el sencillo programa Sigma/W de elementos finitos, suponiendo para el balasto un módulo de  $2.8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ , cohesión nula y un rozamiento interno de  $30^\circ$ . Para la explanada se ha supuesto una cohesión de  $7 \times 10^4 \text{ N/m}^2$  y un módulo de  $2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ , aunque los valores no son importantes. Los resultados, como era de esperar, indican que al aumentar en 25 cm el espesor del balasto bajo la traviesa el desplazamiento horizontal en el mismo punto del extremo exterior de la traviesa y a 25 cm de profundidad bajo ella aumenta de prácticamente 0 mm a  $13 \times 10^{-3}$  mm. A 50 cm de profundidad el desplazamiento aumenta de  $27.3 \times 10^{-3}$  mm a  $45.5 \times 10^{-3}$  mm, es decir, aumenta en un 66%. Esto parece equivalente a aceptar que la resistencia lateral de la vía disminuye en ese mismo porcentaje al meter 25 cm de balasto adicionales bajo la traviesa. A mayor profundidad de 50 cm los desplazamientos horizontales probablemente dejen de tener importancia. El lector puede comprobar estos resultados y realizarse sus propios modelos con software sencillo como el descrito, o con software más potente de diferencias finitas o elementos finitos. En la tabla 4 puede verse que algunos terraplenes de gran descenso tienen radios muy pequeños, y aun con la velocidad limitada, los esfuerzos horizontales del tren sobre la vía son grandes. Además de los análisis experimentales que ya deberían hacerse en España sobre estos temas, tendremos estudios más exactos y completos sin duda en los próximos años con los nuevos modelos de balasto basados o bien en



Fig.12. Longitud de bates de la bateadora (foto MMM).

los clusters de esferas (Ref.29,30) o bien en los elementos discretos poliédricos citados más arriba (Ref.31).

#### 4. Balasto sin batear bajo la traviesa. Balasto débil

Además el lector debe tener en cuenta que los bates de las bateadoras tienen una longitud de 30 a 35 cm, de forma que la máxima profundidad del balasto que pueden batear es de 30 cm bajo la cara inferior de la traviesa. En consecuencia, estos grandes espesores de balasto del AVE de Sevilla y Zaragoza están sin batear salvo los 30 cm superiores. Debido al fenómeno de rotura de aristas y esquinas visto más arriba su rozamiento interno y su compacidad disminuyen con el tiempo y el paso de los trenes, y la resistencia lateral de la vía irá también disminuyendo gradualmente.

#### 5. Bolsas de balasto y humedades en plataforma

Es un fenómeno conocido y estudiado en la literatura que el aumento de espesor de la capa de balasto va produciendo hundimientos y penetraciones de ese material en la plataforma (ver Dingqing Li, Ref.5, pp 317, fig.3). Con ello la humedad se va acumulando en esos puntos bajos y el problema empeora también gradualmente.

#### 5. Descenso de los postes de catenaria. Sustitución o recrecido del poste

Como puede verse en la fig. 9, los postes de catenaria están cimentados en el terraplén. Al ir descendiendo el terraplén e ir subiendo la vía para volver a su cota por aportación de balasto, la distancia entre la catenaria y cabeza de carril va disminuyendo. Este problema, ya bien conocido en Francia con menores terraplenes, se corrige ahora elevando el brazo que soporta la catenaria, pero llega un momento en que el brazo ya no puede elevarse más, y será necesario recrecer o sustituir los postes para volver al gálbilo de proyecto del hilo de contacto. Este momen-

to, que lógicamente precisará de interrupciones del servicio para trabajar con comodidad y seguridad de los operarios, debe estar ya muy cercano, en opinión del autor, en varios tramos del AVE de Sevilla. En el AVE París-Lyon se renovó totalmente el balasto a los 15 años que ya ha cumplido Sevilla.

## Conclusiones

1. El autor opina que el terraplén y pedraplén, tal como se está utilizando en las infraestructuras ferroviarias españolas, no es adecuado para la Alta Velocidad. Los grandes descensos post-constructivos que sufre impiden instalar la vía en placa y hacen obligado el uso de la vía en balasto. Y por otra parte, el problema del vuelo del balasto y el golpeo a carriles, bogies y cajas impide circular a los trenes a la velocidad prevista de 350 km/h en las pruebas que se están llevando a cabo en líneas de todos los países, incluidos Francia y Alemania. Países como Japón identificaron este grave problema hace más de 25 años, y desde entonces toda su infraestructura de Alta Velocidad tiene vía en placa, lo que ya hace también Alemania en la actualidad.
2. Lo mismo ocurre con las cuñas de transición o bloques técnicos que se colocan actualmente entre los terraplenes y pedraplenes y las obras de fábrica o puntos duros del trazado.
3. En España la vía en placa ha sido estudiada mucho y desde hace muchos años. Ya en 1973 se había instalado el tramo Calatorao-Ricla, del que aún hoy en el abandonado apeadero de Calatorao puede verse un monolito con un trozo de esa vía en placa. En 1991, Estradé (Ref.102) presentó un estudio completo sobre los problemas del balasto, la vía en placa y lo que ya había hecho Japón en sus Shinkansen. Siete años después Estradé (Ref.103,104) insiste sin éxito en las ventajas de la vía en placa continuando su trabajo, y de nuevo lo hace en su posterior trabajo del 2000 (Ref.105). Escolano (Ref.106) indicaba ese mismo año 1998 que todas las nuevas líneas de 200 km/h o mayor velocidad en Alemania serían de vía en placa, describiendo las distintas alternativas. En repetidos trabajos se han expuesto las ventajas de la vía en placa en ferrocarriles metropolitanos para reducir los costes de mantenimiento (Ref.107,108). Peña, en 2003 (Ref.109) describía los nuevos tramos de prueba instalados en el tramo Las Palmas-Oropesa con dis-

tintas variantes de vía en placa. Lamentablemente, otros criterios que no conocían o no previeron los graves problemas del balasto en la Alta Velocidad negaron la conveniencia de la vía en placa en la Alta Velocidad Española, diciendo que no es económicamente conveniente ni aún considerando un periodo de 60 años. Esta afirmación hoy se ha demostrado equivocada (Ref.110), y probablemente ha impedido desde entonces la colocación de la vía en placa, tan necesaria hoy en la Alta Velocidad española para que los trenes puedan andar a su velocidad prevista de 350 km/h.

4. En España hay especialistas con una enorme experiencia en el proyecto, la construcción y el análisis de los terraplenes y pedraplenes, probablemente los mejores especialistas del mundo a muchos de los cuales se ha citado arriba. Pero estos especialistas parecen hoy ser consultados solamente después de que el trazado haya sido decidido por otros responsables. De esta forma, una vez aprobado el Estudio Informativo y seleccionado el corredor, el problema de los altos terraplenes en Alta Velocidad ya no tiene solución. El trabajo posterior de los especialistas en Geotecnia se reduce por tanto a una simple Geotecnia Forense, a tratar inútilmente de reducir asentamientos donde no es posible reducirlos. Y estos asentamientos impiden la vía en placa y obligan a la vía en balasto.

5. Las soluciones que salen de los Estudios Informativos actuales de Alta Velocidad parecen al autor similares a las que se aplicaron en los trazados del siglo XIX, pese a que entonces los trenes de vapor subían las rampas a 50 km/h y hoy lo pueden hacer a 350 o 400 km/h. Cortos y numerosos túneles en la cima de las montañas, altos terraplenes y altísimos viaductos. El autor cree que debe reconsiderarse totalmente este enfoque.

6. El autor cree muy necesario que los responsables de estas infraestructuras pongan todos los datos disponibles a disposición de los investigadores ferroviarios, y que se doten de los medios necesarios para la investigación en profundidad de estos problemas desde las Universidades. En concreto, cree que todos los datos de terraplenes de Sevilla y Zaragoza-Lérida-Barcelona, deberían ponerse a disposición de los especialistas citados arriba, a fin de evaluar lo que deba hacerse en los terraplenes de los nuevos trazados en terminación de Barcelona o Málaga, en construcción como Valencia o Galicia o en Estudio Informativo como el Lubián-Orense u otros nuevos ejes ferroviarios. ♦

## Referencias

Nota del Autor: Alguna de las referencias bibliográficas citadas es hoy difícil de encontrar. El autor puede enviarla sin coste, en formato pdf, al lector interesado.

-(1) Lord, J "Railway foundations: Discussion Paper" Proceedings Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructures, Amsterdam 1999, Balkema, pp. 1679-1691.

-(2) Li, D, Selig, E "Resilient modulus for fine-grained subgrade soils" Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 120, June 1994, pp. 939-957

-(3) Li, D, Selig, E "Cumulative plastic deformation for fine-grained subgrade soils" Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 122, Dec 1996, pp. 1005-1013

-(4) Biarez, J, et al "Modulus for remoulded undisturbed soils in the range of 10-5 to 10-1, used for rail track and pavement foundations" Proce-

edings Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructures, Amsterdam 1999, Balkema, pp. 1737-1742.

-(5) Li, D, Selig, E "Method for railroad track foundation design. I: Development" Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 124, Apr 1998, pp. 316-322

-(6) Li, D, Selig, E "Method for railroad track foundation design. II: Applications" Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 124, Apr 1998, pp. 323-329

-(7) Leca, B, Guilloux, A "High speed railways and subways: geotechnical aspects of tunnels and track foundations" Proceedings Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructures, Amsterdam 1999, Balkema, pp. 1617-1635.

-(8) López Pita, A, "La investigación ferroviaria y su relación con la universidad", Revista de Obras Públicas 1980, 127, (3178): 193-206

-(9) López Pita, A, "La distribución de tensiones en la capa de balasto y la determinación del espesor necesario: estado actual", Revista AIT, 11, Agosto 1976, pp 67-77

-(10) López Pita, A, "El coeficiente de balasto y su aplicación al estudio de la mecánica de una vía férrea", Revista AIT, 12, Octubre 1976, pp 53-68

-(11) López Pita, A, "Un nuevo método para la determinación del espesor de la capa de balasto", Revista AIT, 13, Diciembre 1976, pp 77-89

-(12) López Pita, A; Megía, M, "Historia del cálculo de los diques de escollera (1933-1965)", ROP 1974, 121, (3105): 31-52

-(13) López Pita, A ; " Nuevos criterios en el dimensionamiento de vías férreas", ROP 1977, 124, (3147): 571-580

-(14) López Pita, A; "Contribución al conocimiento del mecanismo de deterioro de una vía férrea", ROP 1981, 128, (3191): 271-289

-(15) López Pita, A, "La heterogeneidad resistente de una vía y su incidencia en la evolución de la nivelación longitudinal : una aproximación al problema", ROP 1983, 130, (3218): 719-735

-(16) López Pita, A; Estradé, J; "Planteamiento de una nueva metodología para el estudio del mecanismo de deterioro de la capa de balasto bajo la acción de las cargas del tráfico ferroviario", ROP 1990, 137, (3290): 23-36

-(17) López Pita, A; Estradé, J; "Antes y después de la aplicación de los métodos numéricos en la investigación del balasto", ROP 1993, 140, (3318): 67-74

-(18) López Pita, A, "La rigidez vertical de la vía y el deterioro de las líneas de alta velocidad" ROP 2001, 148, (3415): 7-26

-(19) Fonseca Teixeira, P, "Contribución a la reducción de los costes de mantenimiento de vías de alta velocidad mediante la optimización de su rigidez vertical", Aula COMSA, Mayo 2004

-(20) Bachiller Saña, A "Las rampas máximas en líneas de alta velocidad", Aula COMSA, Marzo 2002

-(21) Bové Chic, A "Consecuencias de la interoperabilidad ferroviaria en el ámbito de la vía", Aula COMSA, Junio 2003

-(22) Ubalde Claver, L, "La auscultación y los trabajos de vía en la línea del Ave Madrid-Sevilla: Análisis de la experiencia y deducción de nuevos criterios de mantenimiento", Tesis Doctoral, ETS Ingenieros de Caminos de Barcelona, Octubre 2004

-(23) Schultze, E, Coesfeld, G, "Elastic properties of ballast", 5<sup>o</sup> Conf. Internac. de Mecánica del Suelo, París, 1961, I, pp. 323-327.

-(24) Marsal, R, "Large scale testing of rockfill materials", J. Soil Mech. and Foundations, ASCE, 1967, 2, pp. 27-43.

-(25) Leps, T, "Review of shearing strength of rockfill", J. Soil Mech. and Foundations, ASCE, 1970, 4, pp. 1159-1170.

-(26) Raymond, G; Davies, J, "Triaxial test on dolomite railroad ballast", J. Soil Mechanics and Foundations, ASCE, 1978 (6), pp. 737-751.

-(27) Indraratna, B; Ionescu, D; Christie, H, "Shear behavior of railway ballast bed based on large scale triaxial tests", J. Geotechnical and Environmental Engineering, ASCE, May 1998, pp. 439-449.

-(28) Aubry, A et al. "Modelling of ballast behaviour in railway track", 12<sup>o</sup> Congreso Europeo de Mecánica del Suelo y Cementaciones, Amsterdam, 1999, pp 1733-1736.

-(29) Cundall, P "PFC Basics" in Numerical Modelling in Micromechanics via Particle Methods, The Second PFC Symposium, Kyoto, Oct, 2004

-(30) Medina, Luis "Desplazamiento lateral de la vía en función del espesor de balasto con el modelo de elementos discretos PFC". Comunicación privada, 2006.

-(31) Saussine, G et al "Modelling ballast behaviour using a three-dimensional polyhedral discrete element method". Rail & Recherche, SNCF, Oct 2004, Université de Montpellier 2.

-(32) Woldringh, R.F. Notes on specifications for railway embankments in high speed lines", Geotechnics for Roads, Rail Tracks and Earth Structures, ETC 11 of ISSMGE, Amsterdam, 2001, Balkema, pp.263-269.

-(33) Sowers, G, Williams, R, Wallace, T, "Compressibility of broken rock and the Settlement of rockfills", 6<sup>a</sup> Conferencia Internacional de Mecánica del Suelo, Montreal 1965, pp 561-565

-(34) Weber, W "Performance of embankments constructed over peat". Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Jan 1969, pp 53-76.

-(35) Mesri, G "Coefficient of secondary compression". Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Jan 1973, pp 123-137

-(36) Mesri, G, Godlewski, P, "Time- and stress-Compressibility Interrelationship". J. Geotechnical Engineering Division, ASCE, May 1977, pp 417-430.

-(37) Mesri, G, Castro, A, "Ca/Cc concept and Ko during secondary compression", J. Geotechnical Engineering Division, ASCE, March 1987, pp 230-247.

-(38) Wilson, S "Deformation of earth and rockfill dams", Casagrande volume, Embankment-Dam Engineering, Wiley, 1973, pp 365-417

-(39) Jiménez Salas, J, Uriel, S, Vicente, R "Estudios preliminares y comportamiento de dos terraplenes de margas arcillosas en la autopista Martorell-Villafranca", Simposio Nacional sobre rocas blandas, Madrid, Noviembre 1976, pp B2-1 - B2-12

-(40) Rodríguez Miranda, M, Gutierrez Manjón, J "Comportamiento de un pedraplén de 80 m de altura para una autopista", Simposio Nacional sobre rocas blandas, Madrid, Noviembre 1976, pp B3-1 - B3-13

-(41) Clements, R, "Post-Construction deformation of rockfill dams", J. Geotechnical Engineering Division, ASCE, July 1984, pp 821-840.

-(42) Lawton, F, Lester, M, "Settlement of rockfill dams", 8<sup>o</sup> Congreso Internacional de Grandes Presas, Edimburgo, 1964, Vol 3, pp 599-613.

-(43) Soydemir, C, Kjaernsli, B, "Deformation of membrane-faced rockfill dams", 7<sup>o</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Brighton, Inglaterra, 1979, Vol 3, pp 281-284.

-(44) Walker, W, Duncan, J "Lateral bulging of earth dams", J. Geotechnical Engineering Division, ASCE, July 1984, pp 923-937.

-(45) Dascal, O "Posconstruction deformations of rockfill dams", J. Geotechnical Engineering Division, ASCE, January 1987, pp 46-59.

-(46) De Justo Alpañés, J, "Auscultación y comportamiento de pedraplenes y presas de materiales sueltos" Simposio sobre Terraplenes, Pedraplenes y otros rellenos, Madrid, 1986, pp 317-355.

-(47) De Justo Alpañés, J, "La utilización de rocas de baja resistencia en los pedraplenes de presas de materiales sueltos" Simposio sobre Terraplenes, Pedraplenes y otros rellenos, Madrid, 1986, pp 447-479.

-(48) De Justo Alpañés, J, "La utilización de rocas de baja resistencia en los terraplenes y pedraplenes de Infraestructuras del Transporte (problemas de colapso y reptación)" Simposio sobre Geotecnia en las Infraestructuras del Transporte, Barcelona, Septiembre 2000, pp 113-127.

-(49) Hinojosa, JA "Resultados de la encuesta nacional sobre el comportamiento de terraplenes y pedraplenes" Simposio sobre Terraplenes, Pedraplenes y otros rellenos, Madrid, 1986, pp 359-393.

-(50) Portilla, R, et al "Análisis del comportamiento del terraplén de Entrerregueras, Autopista Campomanes-León" Simposio sobre Terraplenes, Pedraplenes y otros rellenos, Madrid, 1986, pp 398-431.

-(51) Páez, J, Criado, F "Diseño de terraplenes, precarga y pilotes de suelo-cemento en la variante de Dueñas" Simposio sobre Terraplenes, Pedraplenes y otros rellenos, Madrid, 1986, pp 584-606.

-(52) Loganathan A et al "Deformation analysis of embankments", J. Geotechnical Engineering, ASCE, Aug 1993, pp 1185-1206.

-(53) Britto, A, Gunn, M "Critical state soil mechanics via finite elements" Ellis Horwood, 1987.

-(54) Soriano, A "El comportamiento de las presas de materiales sueltos y su auscultación" Simposio sobre Geotecnia de Presas de Materiales sueltos, Zaragoza, Octubre 1993

-(55) Uriel, S, Olalla, C "Pronóstico de deformaciones diferidas y contraste de mediciones reales en el primer llenado de la presa de Canales y durante su periodo de servicio". Ponencia 73, pp. 291-302. VI Jornadas Españolas de Presas, Málaga 1999.

-(56) Sanchez Caro, F, Soriano, A "Deformaciones en presas de materiales sueltos". Ponencia 12, pp. 251-264. VI Jornadas Españolas de Presas, Málaga 1999.

-(57) Soriano, A "Características del comportamiento de terraplenes y pedraplenes" 3er Simposio Nacional de Geotecnia Vial, Vigo 1994, pp 207-225

-(58) Villar, R, Rodríguez Miranda, M, Lancha, E, "Diseño y comportamiento de pedraplenes en la Autovía almería-El Parador (Almería)" 3er Simposio Nacional de Geotecnia Vial, Vigo 1994, pp 309-316

- (59) Rodríguez Miranda, M "Pedraplenes" Simposio sobre Terraplenes, Pedraplenes y otros rellenos, Madrid, 1986, pp 219-245.
- (60) Soriano, A, Sánchez, F "Settlements of railroad high embankments" Proceedings Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructures, Amsterdam 1999, Balkema, pp. 1885-1890.
- (61) Cuellar, V, et al "Mechanical behaviour of a big rockfill highway embankment" Proceedings Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructures, Amsterdam 1999, Balkema, pp. 97-102.
- (62) Sánchez Alcuturri, J, Cañizal, J, Sagaseta, C "Field Performance of staged construction of an embankment" Proceedings Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructures, Amsterdam 1999, Balkema, pp. 1571-1576.
- (63) Perez Fábregat, L "Subtramo Arcos de Jalón-Sta. M<sup>o</sup> de Huerta" Revista de Obras Públicas, 3386, Abril 1999, pp. 97-102.
- (64) Perez Fábregat, L "Subtramo Zaidín-Alcarrás" Revista de Obras Públicas, 3386, Abril 1999, pp. 103-114.
- (65) Perez Fábregat, L "Subtramo Alcarrás-Lleida" Revista de Obras Públicas, 3386, Abril 1999, pp. 115-125.
- (66) Van Impe, W, "Improvement of settlement behaviour of soft layers by means of stone columns", 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation, Helsinki, May 1983, pp. 309-312.
- (67) Wallays, M, "Load transfer mechanism in soils reinforced by stone or sand columns", 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation, Helsinki, May 1983, pp. 313-317
- (68) Cañizo, L "Utilización de elementos de refuerzo en rellenos" Simposio sobre Terraplenes, Pedraplenes y otros rellenos, Madrid, 1986, pp 44-60.
- (69) Rodríguez Miranda, M "Diseño, construcción y comportamiento de rellenos tripo sandwich en la autopista Bilbao-Behovia" Simposio sobre Terraplenes, Pedraplenes y otros rellenos, Madrid, 1986, pp 282-292.
- (70) Sopeña, L, Estaire, J "Modelitacion of the settlements of an embankment on a soft soil reinforced with stone columns" Proceedings Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructures, Amsterdam 1999, Balkema, pp. 1577-1582.
- (71) Cuellar, V "Improvement of transition zones for high velocity railroad lines" Proceedings Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructures, Amsterdam 1999, Balkema, pp. 1693-1697.
- (72) Romana, M "Mejora del terreno mediante precarga". Libro Homenaje a Jiménez Salas, 2000, pp.207-216
- (73) Asaoka, A "Observational procedure of settlement prediction". Soils and Foundations, Diciembre 1978, pp 87-101
- (74) Brandl, H "Low embankments on soft soil for highways and high speed trains", Geotechnics for Roads, Rail Tracks and Earth Structures, ETC 11 of ISSMGE, Amsterdam, 2001, Balkema, pp.239-262.
- (75) Fé Marqués, M, Sagaseta, C "Diseño Geotécnico del terraplén de Las Brisas, en el subtramo VI de la LAV Zaragoza-Lleida, apoyado sobre limos blandos por encima del límite líquido" Simposio sobre Geotecnia de las Infraestructuras del Transporte, Barcelona, Sept 2000, pp 521-536.
- (76) Gutierrez Manjón, J, et al "Comportamiento de varios rellenos de autovía de hasta 80 m de altura ejecutados en la zona del Puerto del Manzanal con rocas blandas del carbonífero y ordovicico" Simposio sobre Geotecnia de las Infraestructuras del Transporte, Barcelona, Sept 2000, pp 541-552.
- (77) Dominguez, M<sup>a</sup> L, Serrano, A "Cimentación de terraplenes de la LAV Madrid-Zaragoza-Barcelona-frontera francesa a su paso por el Valle del Arroyo de Anchuelo (Madrid) en el subtramo III del tramo Madrid-Zaragoza" Simposio sobre Geotecnia de las Infraestructuras del Transporte, Barcelona, Sept 2000, pp 717-727.
- (78) Rodriguez, R, Romana, M et al "Deformaciones de los terraplenes de los subtramos IX y X de la nueva línea ferroviaria de alta velocidad Madrid-Barcelona" Simposio sobre Geotecnia de las Infraestructuras del Transporte, Barcelona, Sept 2000, pp 801-811.
- (79) De Nie, F, "Undulation of railway embankments on soft sub-soil during passing of trains". 2nd. International Conference on Soil Mechanics and Foundation engineering, Rotterdam, 1948, IV a 2, pp.8-12.
- (80) Cuperus, J L, De Nie, F, "Strengthening the road-bed of a railway, supported by soft soil and situated amidst the buildings of the central part of a town". 2nd. International Conference on Soil Mechanics and Foundation engineering, Rotterdam, 1948, IV a 1, pp.1-7.
- (81) Woldringh,R, New, B "Embankment design for high speed trains on soft soils" Proceedings Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructures, Amsterdam 1999, Balkema, pp. 1703-1712.
- (82) Kenney, T, "Steady state vibrations of beam on elastic foundation for moving load", Journal of Applied Mechanics, Dec 1954, pp.359-364
- (83) Esveld, C "Modern Railway Track", 2nd Ed. MRT Productions, Delft, 2001, pp 120-121
- (84) Madshus, C, (NGI), "Modelling, monitoring and controlling the behaviour of embankments under high speed train loads", Geotechnics for Roads, Rail Tracks and Earth Structures, ETC 11 of ISSMGE, Amsterdam, 2001, Balkema, pp.225-238.
- (85) Krylov, V "Generation of ground vibrations by superfast trains", Applied Acoustics, 44, 1995, pp 149-164
- (86) Krylov, V, Ferguson C "Generation of surface acoustic waves by moving trains", Ultrasonic Symposium 1993, pp 769-772
- (87) Kaynia, A, Mdshus, C, "Ground vibrations from high speed trains: Prediction and Countermeasure", Journal of Geotechnical and Environmental Engr., ASCE, June 2000, pp. 531-537.
- (88) Degrande, G, Schillemans, "Free field vibrations during the passage of a Thalys high-speed train at variable speed", Journal of Sound and Vibration, n<sup>o</sup> 247, 2001, pp. 131-144.
- (89) Sunaga, M "Characteristics of embankment vibrations due to high-speed train loading and some aspects of the design standard for high-speed links in Japan", Geotechnics for Roads, Rail Tracks and Earth Structures, ETC 11 of ISSMGE, Amsterdam, 2001, Balkema, pp 203-211
- (90) Neidhart, T "True to-scale in situ tests determining dynamic performance of earthworks under high speed loading", Geotechnics for Roads, Rail Tracks and Earth Structures, ETC 11 of ISSMGE, Amsterdam, 2001, Balkema, pp 213-223
- (91) Alcaide, A "Tramo Getafe - Córdoba, Explanación", MOPT, Mayo 1991
- (92) Duncan, J, Chang, CY, "Nonlinear analysis of stress and strain in soils", Journal of Soil Mechanics and Foundations, ASCE, Vol 96, Sept 70, pp.1629-1653
- (93) Ministerio Fomento "Recomendaciones para el proyecto de plataformas ferroviarias", Min. Fomento, 1999
- (94) Les Structures d' Assise de la Voie Ferrée, Mémoire de DEA, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris 1981.
- (95) Abaques de Comportement du Système Voie/Fondation, Committee D117 of the Research Department of the International Union of Railways, Report No 28, Utrecht, The Netherlands, 1983.
- (96) La Voie Ferrée et sa Fondation - Modélisation Mathématique, Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1983.
- (97) IGP-2004, GIF-ADIF « Instrucciones y Recomendaciones para redacción de proyectos de plataforma » IGP-1 Geotecnia y Obras de Tierras. IGP 1.1 Recomendaciones sobre desmontes y terraplenes, pp2-6. IGP 1.2 Recomendaciones sobre cuñas de transición, pp 1-9, 2004
- (98) Matsumoto, Y "Japanese Railway Technology today", Tokyo, Railway Technology Research Institute, 2001, pp.88
- (99) Dogneton, P "La détermination expérimentale de la résistance laterale et longitudinale des voies ballastees", Utretch, Abril 1975, Office de Recherches et d'Essais de l'Union Internationale des Chemins de fer, pp.27
- (100) Losada, M "Mecánica de la vía, Cuaderno III", pp.85, UPM, ETS Ing. Caminos, 1995
- (101) Jiménez Salas, "Geotecnia y Cimientos", Tomo II, Ed. Rueda, Madrid, 1981, pp-189
- (102) Estradé, J "La superestructura de vía sin balasto: perspectivas de su aplicación en las nuevas líneas de alta velocidad". Revista de Obras Públicas, Sept. 1991, pp 9-28
- (103) Estradé, J "La superestructura de vía en placa en las nuevas líneas de alta velocidad de nuestro país". ROP, Ene. 1998, pp 63-74
- (104) Estradé, J "La superestructura de vía en las líneas de alta velocidad a proyectar en el futuro". 3er Congreso de Ingeniería del transporte, Barcelona, 1998, tomo 2, pp 938-945
- (105) Estradé, J "La rueda-carril y la sustentación magnética". ROP 3398, May 2000, pp 37-50
- (106) Escolano, J "La vía en placa en la DB-AG". Revista de Obras Públicas, Dic. 1998, pp 21-34
- (107) Moreno, L, et al "La nueva línea L2 del ferrocarril metropolitano de Barcelona". ROP 3366, Jun 1997, pp 73-87
- (108) Melis, M, de Matías, I "Vía en placa en la ampliación del Metro de Madrid. Reducción de los costes de mantenimiento". ROP 3375, Abr 1998, pp 17-34
- (109) Peña, M "Tramos de ensayo de vía en placa en la línea del Corredor del Mediterráneo para su explotación a Alta Velocidad. I. Diseño y construcción". ROP 3431, Mar. 2003, pp 57-68
- (110) Puebla, J, et al "Para altas velocidades ¿Vía con o sin balasto?". ROP 3401, Sept 2000, pp 29-40

# La protección de los túneles en España

## Protection of tunnels in Spain

**Rafael Sarasola Sánchez-Castillo.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
*Presidente de Sicur, Salón Internacional de la Seguridad; presidente de TECNIFUEGO-AESPI, Asociación Española de Sociedades de Protección contra Incendios; Vicepresidente de CEPCO, Confederación Española de Productos de Construcción; y director general de Promat Ibérica. info@promat.es*

**Resumen:** La preocupación por las consecuencias de los incendios en los túneles está llevando a un imparable proceso de búsqueda de la seguridad contra incendios en dichas construcciones. Cada vez más se estudia la extracción de humos y salidas de emergencia, la protección de las instalaciones eléctricas y, muy importante, de la propia estructura de hormigón del túnel. Se están planteando soluciones de Protección Pasiva contra el Fuego que tienen una incidencia muy positiva en la mejora de la Resistencia al Fuego. Las diferentes normas europeas sobre incendios en túneles coinciden en aceptar que la evolución de la temperatura con el tiempo difiere notablemente en un incendio en el interior de un túnel de la que puede ocurrir en un edificio sobre rasante. En éste último caso, los estudios de evolución de la temperatura han llevado a implantar internacionalmente un modelo matemático reproducible en laboratorio en el cual se representa un incendio de combustibles celulósicos y se alcanza una temperatura de 1.000°C en 90 minutos.

**Palabras Clave:** Fuego, Túnel, Ensayo europeo, Protección

**Abstract:** The concern for the consequences of fires in tunnels has led to an ongoing process to seek improved fire safety in these constructions. Ever more studies are made on smoke extraction and emergency exits, protection of electrical installation and, of utmost importance, the concrete structure of the tunnel itself. Solutions are being raised such as passive fire protection which makes a very important contribution to improved fire resistance. The different European codes on fires in tunnels all accept that the evolution of temperature with time notably differs within a tunnel from that occurring in a building above ground. In this regard, studies on temperature evolution have led to the introduction of laboratory based mathematical models representing fires of cellulose fuel which reach temperatures of 1000°C in 90 minutes.

**Keywords:** Fire, Tunnel, European testing, Protection

La preocupación por las consecuencias de los incendios en los túneles, de las cuales hemos sido testigos recientemente a raíz de los incendios producidos en Mont Blanc, San Gotardo, Tauern, etc., está llevando a un imparable proceso de búsqueda de la seguridad contra incendios en dichas construcciones. Cada vez más se estudia la extracción de humos y salidas de emergencia, la protección de las instalaciones eléctricas y, muy importante, de la propia estructura de hormigón del túnel. Se están planteando soluciones de Protección Pasiva contra el Fuego que tienen una incidencia muy positiva en la mejora de la Resistencia al Fuego.

Dichas soluciones no son nuevas. Los países europeos más avanzados en este sector llevan utilizándolas desde los años 70, especialmente Alemania y Holanda. La preocupación por este problema ha llevado a la Administra-

*In the wake of recent fires in the Mont Blanc, St. Gotthard and Tauern tunnels, among others, the concern for the consequences of tunnel fires has led to an ongoing process to seek improved fire safety. Ever more studies are made on smoke extraction and emergency exits, protection of electrical installation and, essentially, the concrete structure of the tunnel itself. Solutions are being forwarded such as passive fire protection which makes a very important contribution to improved fire performance.*

*These solutions are not new and the more advanced European countries in this sector have been employing these measures ever since the 70's, with Germany and Holland to the fore. In response to this problem, the authorities of these countries have prepared specific tunnel protection codes and*

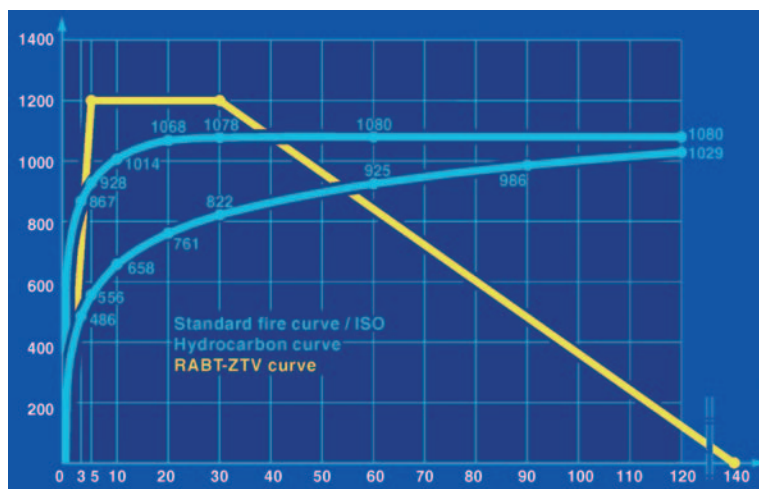


Fig. 1.

ción de estos países a desarrollar normas específicas de protección aplicables a túneles, estableciendo requisitos y, especialmente, metodologías de prueba y ensayo que garanticen el cumplimiento de dichos requisitos.

De entre los sistemas específicos de protección de túneles, quizás sea la protección del hormigón estructural la menos conocida en nuestro país. Analizaremos aquí el comportamiento de dicho material bajo acción de un incendio de la intensidad que puede esperarse en un túnel.

Las diferentes normas europeas sobre incendios en túneles coinciden en aceptar que la evolución de la temperatura con el tiempo difiere notablemente en un incendio en el interior de un túnel de la que puede ocurrir en un edificio sobre rasante. En éste último caso, los estudios de evolución de la temperatura han llevado a implantar internacionalmente un modelo matemático reproducible en laboratorio en el cual se representa un incendio de combustibles celulósicos y se alcanza una temperatura de 1.000°C en 90 minutos. Este modelo, denominado *Curva de Fuego Estándar*, está definido por la Norma internacional ISO 834, se recoge también en la Norma UNE 23.093 española, y es de aplicación en los ensayos de Resistencia al Fuego que se realizan en España de acuerdo a los requisitos establecidos por la NBE-CPI/96, y en los futuros ensayos europeos desarrollados por CEN de acuerdo con lo especificado en la Directiva Europea 89/106/CEE sobre Productos de la Construcción.

Sin embargo, en el caso de incendios en túneles, no se ha llegado a un grado de consenso semejante, por lo que cada país ha desarrollado diferentes modelos de *Curva de Fuego*, de acuerdo a sus propias experiencias y peculiaridades. El punto de partida, sin embargo, es similar. Los incendios en túneles son en la inmensa mayoría de los casos producidos por vehículos ardiendo, siendo su combustible la principal carga de fuego presente. Por tanto, se

establecidos estándares y métodos de prueba para garantizar el cumplimiento de estos estándares.

Of all the tunnel protection systems, the protection of the structural concrete is, perhaps, the least well known in this country. In this article we will consider the behaviour of this material under the fire conditions which could be expected in a tunnel.

The different European codes on fires in tunnels all accept that the time-related temperature evolution within a tunnel notably differs from that occurring in a building above ground. In this regard, studies on temperature evolution have led to the introduction of laboratory based mathematical models representing fires of cellulose fuel which reach temperatures of 1000°C in 90 minutes. This model, referred to as the *Standard Fire Curve*, is defined by the international code ISO 834, and is also reflected in the Spanish Code 23,093, and is applicable to Fire Resistance tests carried out in Spain in accordance with the stipulations of the Spanish NBE-CPI/96 code and in future European tests carried out by the CEN, in accordance with that established in European Council Directive on Construction Products (89/100/EEC).

However, the same degree of consensus does not apply to tunnel fires and each country has developed different Fire Curve models in accordance with their own experience and characteristics. This aside, the start-off point for all these models is essentially the same as the vast majority of tunnel fires are caused by burning vehicles and where the vehicle fuel serves as the main source of the fire. As such, the models are based on hydrocarbon type fuels which are far more energetic and with a faster release of combustion energy. Models based on this premise have also been developed for the testing of industrial solutions such as the NPC Hydrocarbon Curve or the American UL1709. The Spanish code INE EN 1362 Part 2 (taken from the CEN standard of the same number and due to replace Spanish Code UNE 23,093 as the basic Fire Resistance test code) considers a Hydrocarbon Curve, among the alternative thermal actions subject to testing, described by the following formula:

$$T = 1080 (1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.675 e^{-2.5t}) + 20$$

Where:

*t* is the time after the start of the fire

*T* is the average temperature required in furnace, in °C

As one can see, in this model a 1000°C is reached in less than 10 minutes

This curve represents a hydrocarbon fire in similar conditions as the ISO Standard in overground fires. In

parte de un fuego de combustibles tipo hidrocarburos, mucho más energéticos y con una liberación más rápida de la energía de combustión. Modelos que parten de esta premisa también han sido desarrollados para ensayo de soluciones en industrias, como la *Curva de Hidrocarburos NPC* o la americana UL 1709. La Norma UNE EN 1362 Parte 2 (Transposición de la Norma CEN del mismo número, y llamada a sustituir a la existente UNE 23.093 como norma básica de ensayos de Resistencia al Fuego) contempla entre las acciones térmicas alternativas de ensayo, una *Curva de Hidrocarburos* que responde la fórmula:

$$T = 1080 (1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675 e^{-2,5t}) + 20$$

donde:

t es el tiempo desde el inicio

T es la temperatura media requerida en el horno, en °C

Como puede observarse, en este modelo se alcanzan los 1.000 °C en menos de 10 minutos.

Esta curva representa el fuego de hidrocarburos en similares condiciones que la ISO Estándar, en incendios sobre rasante. Para túneles, en los que el incendio queda confinado como entre las paredes de un horno, este modelo, aceptable en muchos casos, puede ser insuficiente, especialmente si se van a transportar por el túnel mercancías peligrosas.

Tomando como base esta premisa, en Alemania se ha desarrollado un modelo de curva, denominada ZTV-RABT, que alcanza 1.200 °C en 5 minutos, mantiene esta temperatura por periodos que pueden variar desde 30 a 120 minutos, y es seguido de un periodo de enfriamiento controlado durante 110 minutos. Similarmente, en Holanda, el Rijkswaterstaat ha desarrollado una curva específica para túneles, en que se alcanzan hasta 1.350 °C con un periodo de calentamiento inicial hasta 1.200 °C en muy pocos minutos, y que representa el incendio que supone en un túnel la combustión incontrolada de un camión cisterna cargado con 50.000 Lts de petróleo ardiendo durante 120 minutos. En la Figura 1 se pueden comparar las distintas curvas mencionadas.

Ante semejantes acciones térmicas, es evidente que los materiales se van a comportar de modo diferente que ante el fuego representado por la *Curva Estándar*, lo que se ha podido comprobar tanto en estudios de Laboratorio como en la realidad de los incendios acontecidos. Concretamente en el caso del hormigón estructural en túneles, se observan los efectos siguientes:

1.- Desconchamiento por efecto *spalling*. La extraordinaria rapidez con que se calienta el hormigón genera el paso a vapor del agua contenida en la masa con velocidad explosiva. Como generalmente los



Fig. 2. Incendio de un camión en el túnel de Velse/Lorry fire in Velse Tunnel.

tunnels where the fire is confined in the manner of furnace walls, this model, which is otherwise acceptable, may be insufficient and particularly when hazardous goods are transported through the tunnel.

On this premise, Germany has developed a curve model, the ZTV-RABT curve, which reaches 1200°C within five minutes and maintains this temperature for periods between 30 and 120 minutes, followed by 110 minute controlled cooling period. Similarly, the Rijkswaterstaat Ministry of Transport in the Netherlands have developed the RWS curve for tunnels and where temperatures of up to 1350°C are reached with an initial heating period of up to 1200°C in just a few minutes. This latter curve is based on the assumption that in a worst case scenario, the uncontrolled fire from a 50, 000 litre oil tanker could last up to 120 minutes. Figure No... shows a comparison between the two curves.

In the light of these thermal actions it is clear that materials will behave in a different manner to that of fires represented by the Standard Curve and this has duly been verified in laboratory studies and in actual fires. In this regard, the following effects have been observed in terms of the structural concrete of tunnels:

1. *Spalling*. The incredibly fast heating of the concrete causes the water in the concrete mass to convert to steam with explosive speed. As the majority of concretes employed tend to have small pores, this steam cannot be readily released and this causes a pressure build-up capable of destroying the outer layers of the concrete, exposing the reinforcement and increasing the risk of tunnel collapse. This effect



Fig. 3. Incendio enl túnel de Mont Blanc/Fire in Mont Blanc Tunnel.

hormigones usados tienen el poro pequeño, este vapor no puede liberarse adecuadamente, lo que genera una presión capaz de destruir las capas más externas de hormigón, dejando expuestas las armaduras, y aumentando el riesgo de colapso del túnel. Este efecto ha sido estudiado en laboratorios, como el realizado por el SINTEF noruego en diciembre de 1988, en el que se comprueba este efecto con acciones térmicas de fuego de hidrocarburos, y se observa una disminución casi total cuando el hormigón recibe una protección adecuada.

- 2.- Destrucción de la unión entre el hormigón y el refuerzo metálico, con pérdidas de resistencia cuando el hormigón se calienta por encima de los 300 °C
- 3.- Deformación por acciones de dilatación térmica
- 4.- Pérdida de resistencia en el propio hormigón a temperaturas de unos 500 °C
- 5.- Destrucción de las juntas de dilatación.

Estos efectos dañan irremediablemente la estructura de un túnel, lo que origina reparaciones muy costosas y difíciles de realizar. Sin embargo, si se prevé una protección adecuada, estos efectos se reducen al mínimo, con importantes ahorros en reparaciones que compensan sin ninguna duda las inversiones iniciales en dicha protección.

Las protecciones previstas (y sus sistemas de fijación) deben tener características demostradas de comportamiento en caso de incendio, así como otras que le permitan resistir las acciones propias de su situación y normal uso del túnel, como las variaciones de presión debido al paso de vehículos a alta velocidad, que pueden llegar a (800 Pa en túneles de carretera, a ( 1.100 Pa en túneles de ferrocarriles de transporte y hasta ( 5.000 Pa en túneles de ferrocarriles de alta velocidad.

has been examined in laboratory studies, such as those carried out by the Norwegian SINTEF in December 1988 and where this effect was verified under the thermal action of a hydrocarbon fire and where the spalling effect was seen to decrease almost entirely when the concrete was suitably protected.

2. Loss of bond strength between the concrete and the reinforcement when the concrete heats up to over 300°C.
3. Deformation due to thermal expansion
4. Loss of strength of concrete at temperatures of 500°C
5. Destruction of expansion joints.

These effects invariably damage the tunnel structure and give rise to very expensive and complicated repair work. However, the provision of suitable protection reduces these effects to a minimum and provides considerable savings in repair work which clearly offset the cost of protection.

The forms of protection (and their fixing systems) should have proven fire performance and other characteristics to ensure resistance under both extreme conditions and the normal use of the tunnel, such as the pressure variations arising from the passage of vehicles at high speed and which may reach up to  $\pm 800$  Pa in road tunnels,  $\pm 1,100$  Pa in freight train tunnels and up to  $\pm 5,000$  Pa in high-speed rail tunnels.

These proven characteristics have to be established by a corresponding test report. In the case of fire resistance, these tests consist of the preparation of 4 x 3 m specimens of the concrete and its protection which accurately reflect the type to be employed. The specimen is placed in a furnace which is specially prepared to reflect the action of a standardized thermal programme such as those indicated earlier. Throughout the testing period, recordings are taken of the deformation of the concrete, spalling, temperature gradients at the interface of the concrete and in the reinforcement, by means of a specific number of thermocouples suitably placed in the concrete mass.

The requirements demanded of the protection system depend on the type of tunnel, its use and the pertinent legislation of each country. The requirements of two of the most common standards are indicated below:

German ZTV requirements:

- Maximum temperature at the interface of the concrete < 300°C when subject to the RABT curve
- Maintenance of protection during the test period
- Minimum and superficial spalling effect

Estas características demostradas deben probarse mediante los correspondientes informes de ensayo. En el caso de la Resistencia al Fuego, este tipo de ensayos consiste en preparar una muestra de hormigón y su protección lo mas parecida a como se instalará realmente, con tamaños de 4 x 3 m. y someterla en una instalación (horno) adecuada a la acción de un programa térmico normalizado como los anteriormente expuestos, midiendo durante todo el proceso las deformaciones del hormigón, la aparición del fenómeno *spalling*, y los gradientes de temperatura en la cara inferior del hormigón y en la armadura de refuerzo, controlado por un determinado número de termopares de control adecuadamente situados en la masa del hormigón.

Los requisitos que debe cumplir el sistema de protección dependen del tipo de túnel, del uso y de la legislación al respecto de cada país. A continuación se exponen algunos de los mas frecuentes:

Requisitos ZTV alemanes:

- Máxima temperatura en la cara inferior del hormigón < 300 °C cuando se somete a la curva RABT
- Permanencia de la protección durante el periodo de ensayo
- Efecto *spalling* mínimo y poco profundo.
- Temperatura en el sellado de la junta de dilatación entre 60 y 150 °C según el material

Requisitos RWS holandeses:

- Resistir al menos dos horas los efectos de la Curva RWS en dos ensayos diferentes.
- Máxima Temperatura permitida en la cara inferior del hormigón < 380°C, complementada con
- Máxima temperatura en las armaduras de refuerzo 250°C, con un recubrimiento de hormigón de 25 mm.
- Temperatura en las juntas de dilatación inferior a 60 °C

La emisión de un informe de ensayo por el Laboratorio clasifica y avala la solución ensayada para su uso en la protección de túneles, y puede ser complementado por otro tipo de ensayos, como ciclos de hielo deshielo, resistencia a gases de los tubos de escape, ensayos de abrasión (*Test Taber*), y otros, dependiendo de las solicitudes finales de uso del propio túnel.

¿Y en España, qué requisitos se exigen? Lamentablemente aún no existe una Normativa clara a nivel nacional que fije los requisitos. Existen algunas normas por Comunidades Autónomas, siendo las más importantes las de Cataluña relativas a tráfico de ferrocarril, que se refieren a los mas conocidos sistemas de protección (sistemas de extin-



Fig. 4. Incendio en el Eurotúnel/Fire in the Eurotunnel.

- Temperature in expansion joint seal between 60 and 150°C according to material.

Dutch RWS requirements:

- Minimum two hour resistance of RWS Curve effects in two different tests
- Maximum temperature at the interface between concrete and protective lining < 380°C, and that,
- Maximum temperature on the reinforcement be less than 250°C with a 25 mm concrete covering.
- Temperature at the expansion joints of less than 60°C

The ensuing test report issued by the laboratory classifies and guarantees the tested solution for use in tunnel protection and may be supplemented by additional testing such as freeze-thaw cycles, exhaust fume resistance, Taber abrasion test and others depending on the eventual use requirements of the tunnel.

And what are the requirements in Spain? Unfortunately do not have a clear national standard establishing these requirements. Some standards are employed by the regional autonomous communities, the most important of which being those of Catalonia regarding rail traffic and which refer to the more common protection systems (fire extinguisher and smoke

ción, de extracción de humos, etc.), pero se ignora totalmente cualquier aspecto relativo a la protección de la propia estructura del túnel. Mientras que Francia ha tomado buena nota de los acontecimientos recientes y ya dispone de una norma de ensayo para sistemas de protección para Túneles sobre la base de una curva de ensayo de hidrocarburos modificada, y ha empezado a proteger sus túneles de acuerdo con ella, como el de Tolón, en España todavía no se ha presentado iniciativa al respecto, con lo que la seguridad de los túneles nacionales depende de los buenos criterios de los técnicos e ingenieros responsables de los proyectos, muy conscientes, en general, de la importancia de estos aspectos. ♦

*extraction systems, etc.), but totally ignore any aspect regarding the protection of the tunnel structure itself. France has taken note of recent events and has established a code for the testing of tunnel protection systems on the basis of a hydrocarbon modified curve and has already begun to protect tunnels in accordance with the same, this being the case of the Toulon Tunnel. However, Spain has yet to present any initiative in this regard and the safety of national tunnels purely has to rely on the correct criteria of the technicians and engineers responsible for these project, in spite of the general awareness of the importance of these aspects. ♦*

#### Referencias

-Proceedings of the Internacional Symposium on Catastrophic Túnel Fires, 20-21 Nov. 2003 Boras, Sweden SP Fire Technology SP Reports  
-Matrix Engineered Products - the ultimate solution to the multiple needs of fire protection in tunnels. O Anton ETI European Transopor Infrastructure 2003  
-Runehamar Tunnel Fire Tests - UPTUN Fire Protection; Octavian Anton, X Wu, Proceedings of the Internacional Symposium on Cata-

strophic Túnel Fires, 20-21 Nov. 2003 Boras, Sweden  
-Summary of Large Scale Fire tests in Runehamar Tunnel in Norway, published by UPTUN, TNO and Promat, April 2004  
-DIRECTIVE 2004/54/EC of minimum safety requirements for tunnels in the TransEuropean Road Network  
-NORMA UNI 11076 Modalità di prova per la valutazione del comportamento di provetti applicati a soffitti di opera sotterranee, in condizioni di incendio Dic. 2003

-ITA/AITES Guidelines for structural fire resistance for road tunnels. Working group n° 6 Maintenance and Repair May 2004  
-TNO Building and construction Research. Fire Protection in Tunnels Part 1 Fire Test procedure. G.L. Tan, G.M. Wolsnik, J. Hoeksma (RWS) C. Both, P.W. van de Haar (TNO) 2000  
-Circulaire Interministerielle n° 2000-63 du 25 de août 2000 relative a la sécurité dans les tunnels du reseau routier national. Ministère de L'Interieur  
-STUVA Report Pormatect T Fire Protection Linings for Vehicle Tunnels. October 2005

# Los Grandes Proyectos Internacionales de construcción de obras subterráneas, un reto tecnológico para el siglo XXI

## Large International Underground Construction Projects. A technological challenge for the 21<sup>ST</sup> Century

**Laureano Cornejo Álvarez.** Ingeniero de Minas  
Presidente de Geoconsult Ingenieros Consultores S.A. [L\\_Cornejo@geoconsult.es](mailto:L_Cornejo@geoconsult.es)

**Resumen:** A lo largo del presente siglo, está prevista la construcción de importantes proyectos de carretera y ferrocarril, que optimizarán las comunicaciones entre países y continentes. Salvar los importantes accidentes geográficos existentes en ocasiones, como estrechos marinos o cordilleras montañosas, implicará la construcción de túneles de gran longitud. Para acometer con éxito obras de esta envergadura será necesaria una gran renovación en el diseño y en los procesos constructivos actuales. El auge de materiales de nueva generación y la inminente aplicación de nuevas tecnologías, harán viable acometer estas obras de ingeniería que permitirán agilizar sustancialmente las comunicaciones terrestres internacionales.

**Palabras Clave:** Mecatrónica, Nanotecnología, Automatismo, Rendimiento

**Abstract:** Large-scale road and rail projects will be undertaken in the 21<sup>st</sup> century to improve communications between countries and continents. The majority of these projects will require the construction of long tunnels through very irregular terrain, straits or mountain chains. In order to successfully accomplish works of this scale, current construction processes and design will have to undergo considerable renovation. The rise in new generation materials and the imminent application of new technologies will make these engineering works viable which will, in turn, lead to a substantial improvement in international land transport.

**Keywords:** Mechatronics, Nanotechnology, Automatism, Performance

### 1. Introducción

Los Organismos Internacionales y los Estados se verán obligados a promover, durante el siglo XXI, el desarrollo y la realización de megaproyectos que permitan establecer conexiones rápidas y seguras entre las distintas áreas geográficas del planeta, entre Continentes y entre Países geográficamente alejados, para favorecer la movilidad de las personas y el intercambio de todo tipo de mercancías.

La construcción de estas grandes vías de comunicación, exigirá atravesar importantes barreras naturales como: Estrechos y cadenas montañosas que, durante milenios, no se han pensado ni podido franquear. En muchos casos el modo más seguro y económico de remover estas barreras geográficas, será la realización de importantes obras subterráneas que exigirá el desarrollo de nuevos métodos de construcción más seguros y eficaces. Este desarrollo necesitará de nuevos avances tecnológicos, para el diseño de máquinas tuneladoras, maquinaria auxiliar, nuevos materiales de construcción y nuevos sistemas de seguridad, en los campos de la Automática, la Robótica, la Nanotec-

nología, la utilización de Materiales Compuestos más ligeros y resistentes, y la Mecatrónica (Figura 1).

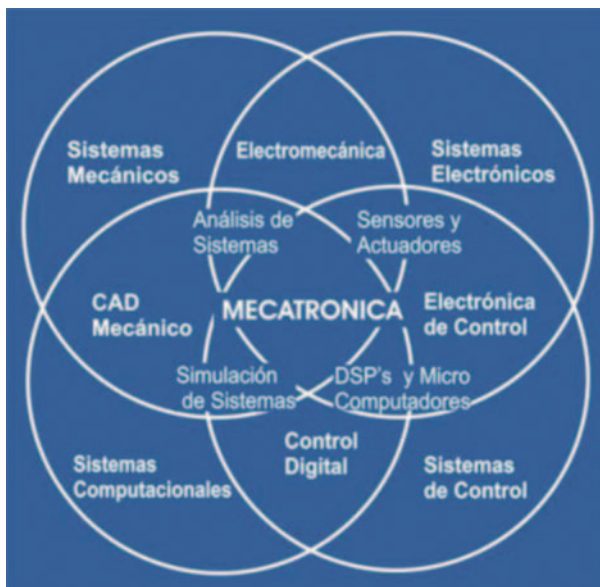
Ésta última, es la nueva ingeniería, que comienza en Japón en los años 80 con la fabricación de los primeros robots. Integra diferentes campos de la ingeniería como:

- La Mecánica de Precisión
- La Electrónica y la Micro-Electrónica
- La Computación
- La Inteligencia Artificial
- Los Sistemas de Control

El desarrollo de la Mecatrónica permitirá fabricar

- Máquinas inteligentes, robots capaces de procesar información y de adquirir experiencia para su funcionamiento.
- Estructuras inteligentes, que tendrán la capacidad de informar de su funcionamiento y de su estado de conservación, así como de adaptarse a las solicitaciones a las que se encuentren sometidas.

Fig. 1.  
Tecnologías  
relacionadas  
con la  
mecatrónica  
(Diaframa de  
Venn).



- Mecanismos de alta precisión controlados por dispositivos electrónicos reprogramables y adaptables para funcionar en diferentes condiciones

La Industria de la Construcción de Obras Subterráneas y la Ingeniería necesaria para implantarla, conocerá una gran auge en todo el Mundo a lo largo del siglo XXI, en el que se harán realidad proyectos muy importantes como: El Enlace fijo España-Marruecos con la construcción del túnel de Gibraltar, el Paso Central de los Pirineos con la construcción del Túnel ferroviario de Vignemale, la conexión Transalpina Lyon-Turín, la conexión Italia-Austria por el paso de Brenner, la Unión Interhemisférica, USA-Rusia, bajo el estrecho de Bering, la Autopista Euro-Asiática y el Enlace Japón-Corea del Sur, entre otros.

Este auge de las obras subterráneas, se verá acrecentado por la demanda de soluciones a la problemática que plantea el tráfico de las grandes ciudades, el uso creciente del espacio subterráneo en el medio urbano y la realización de conexiones rápidas interurbanas.

## 2. El futuro de las obras subterráneas

### 2.1. Demanda creciente de las obras subterráneas

A escala mundial son varias las demandas actuales que el desarrollo de las naciones plantea a los Organismos Nacionales y Supranacionales, en relación con la movilidad de los ciudadanos y el transporte de todo tipo de productos manufacturados y mercancías dentro de sus propios territorios y a través de otros países de su área económica de influencia.

El proceso continuo del desarrollo integral de los pueblos: social, cultural y económico exigen la desaparición de las barreras existentes entre ellos, mediante el desarrollo necesario de comunicaciones que permitan incrementar las relaciones entre los ciudadanos del mundo.

El establecimiento de nuevos lazos de comunicación exigirá, en un futuro más o menos cercano, de menor a mayor escala, la realización de uniones fijas entre territorios nacionales próximos, continentes y hemisferios.

En el momento presente se está empezando a hablar, y en algunos casos con estudios preliminares ya realizados; de megaproyectos como: El Enlace fijo España-Marruecos con el túnel de Gibraltar, el Proyecto Ferroviario Europeo de Alta Velocidad de Conexión Transalpina Lyon-Turín, el Proyecto de Autopista Euro-Asiática, el enlace fijo entre Japón y Corea del Sur, el enlace Interhemisférico Estados Unidos-Rusia a través del Estrecho de Bering.

Estos proyectos, en un pasado muy reciente, solo han tenido cabida en algunas mentes clarividentes dotadas de grandes dosis de imaginación y de creatividad.

Pues bien, estos megaproyectos han comenzado a pasar de estas mentes privilegiadas, a ser consideradas por algunos Gobiernos como respuestas válidas a las demandas de desarrollo que sus respectivos países van exigir en un próximo futuro.

Otro tipo de proyectos menos fantásticos será necesario realizar también para conseguir la adecuada vertebración territorial de los distintos países y la movilidad que demandan las grandes ciudades.

Para hacer frente a estos retos deberá acometerse, en los próximos años, la construcción de un número importante de túneles y obras subterráneas en todo el Mundo.

En el ámbito de la Unión Europea, la política de Infraestructura del Transporte, en la que se incluyen los proyectos más importantes como: *La Red Trans-Europea de Carreteras (TREN)* y *las Redes Trans-Europeas de Transporte, (TEN-T)*, implican la construcción de unos 2100 Km. de túneles hasta el horizonte temporal de año 2030 y los países Europeos que mayor número de túneles construirán en los próximos 20 años son:

- España : 567 Km.
- Noruega: 481 Km.
- Islandia: 109 Km.
- Suecia: 63 Km.
- Escandinavia-Dinamarca: ~58 Km.

Algunos de los megaproyectos anteriormente enumerados, actualmente en fase de estudio de viabilidad exigirán, en los próximos 40-50 años, multimillonarias inversiones y largos plazos de ejecución que, en algún caso, superarán los 50 años.

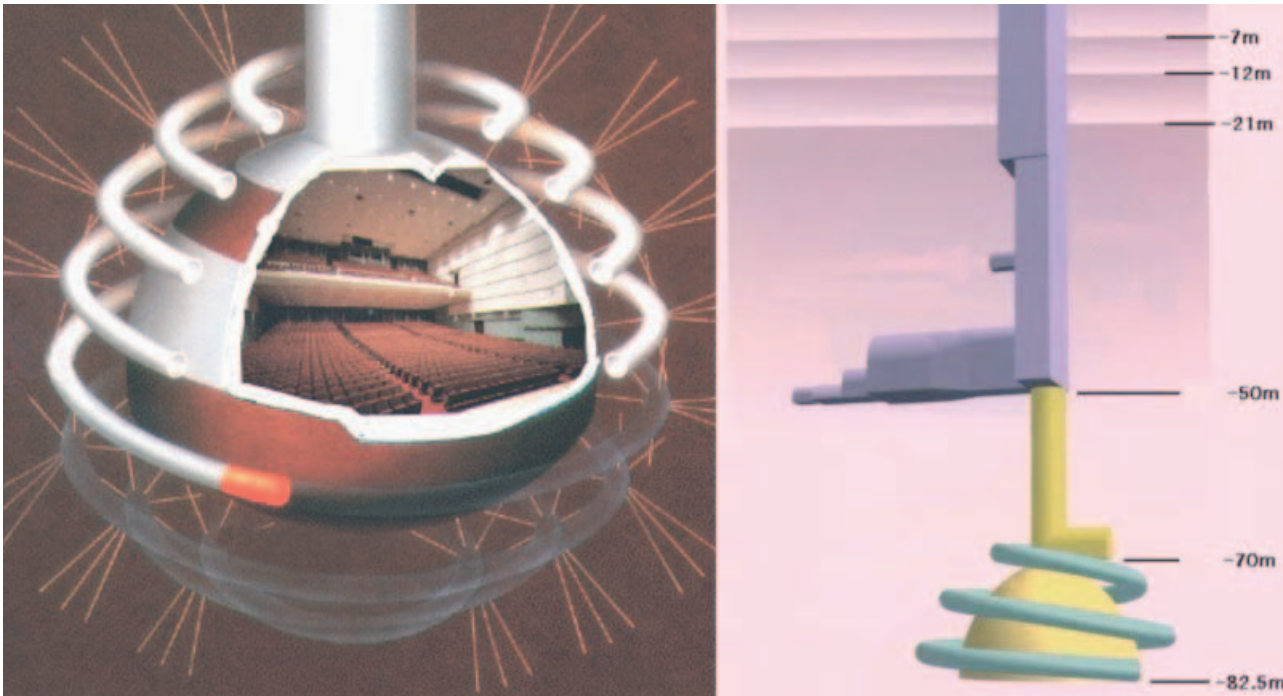


Fig. 2. Construcción de auditorio subterráneo en el subsuelo de un hotel, Japón.

La demanda creciente de espacio subterráneo, principalmente en las grandes ciudades, implicará también la construcción de túneles, recintos subterráneos y cavernas (Fig. 2).

Esta demanda de espacio subterráneo urbano, viene motivada por varias razones entre las que destacan

- La escasez de suelo urbano.
- El alto valor económico del suelo urbano.
- Motivos medioambientales: ruidos, vibraciones, impacto ambiental.
- Motivos de seguridad en caso de accidente o sabotaje.
- La protección de la superficie de riesgos y/o molestias de determinados tipos de actividades.
- El almacenamiento de materiales menos deseables.
- De un modo creciente, diversos equipamientos urbanos como: instalaciones deportivas, galerías comerciales, aparcamientos, zonas de recreo, auditorios, centros de transformación eléctrica, centros de comunicaciones, centros de control, instalaciones de grandes edificios (energía, iluminación, aire acondicionado ...), zonas de almacenamiento, zonas de seguridad etc.; serán ubicados en el futuro en el subsuelo de las grandes ciudades.

Por otra parte se estima que, de los túneles actualmente en servicio en la U.E., unos 512 túneles, con longitudes superiores a los 500 m, deberán ser reacondicionados y adaptados a las nuevas normativas antes de 2010.

*En definitiva, la construcción de obras subterráneas experimentará, en la próximas décadas y durante el siglo XXI, un importante auge en todo el mundo.*

Por lo que se refiere a la Unión Europea, la construcción subterránea representa una actividad vital desde el punto de vista social y económico, ya que involucra, en su actividad, una amplia gama de industrias y servicios como: fabricantes de vehículos y repuestos, empresas de comunicación y energía; compañías de seguros y de alquiler, organismos de investigación, etc.

*La construcción subterránea, junto con las industrias y los servicios involucrados indicados anteriormente, dan empleo a más de 14 millones de personas en Europa y contribuyen con un 11% al producto interior bruto europeo.*

## 2.2. Beneficios de la construcción subterránea

La construcción subterránea es necesaria y beneficiosa principalmente por las razones siguientes:

1. Permite realizar conexiones fijas y más fiables, entre continentes y entre países, salvando accidentes geográficos como: cadenas montañosas, estrechos (Fig. nº 3), ríos, lagos etc.
2. Acorta los tiempos de transporte y reduce los costes de mano de obra y consumo de carburantes.
3. Genera espacios subterráneos para equipamientos urbanos más económicos y seguros.
4. Ayuda a combatir eficazmente la congestión de tráfico, en especial en las grandes ciudades.



Fig. 3. Foto aérea del Estrecho de Gibraltar.

5. Produce un impacto medioambiental menor que las obras a cielo abierto.
6. Reduce la contaminación, principalmente, en las zonas urbanas. Necesidad de una innovación tecnológica.

La construcción subterránea mundial se mueve en un medio internacional muy competitivo.

La construcción subterránea europea tiene, a nivel internacional, unos competidores formidables como: Japón, Estados Unidos, Corea, Canadá, y Australia entre otros.

Estos países están invirtiendo en programas de Investigación e Innovación Tecnológica que les permite desempeñar el papel de líderes en el mundo.

Algunos de estos países, como Japón y Corea, han aprovechado la experiencia europea en la construcción de túneles, especialmente en los últimos 40 años. Ahora se encuentran, en muchos aspectos, tecnológicamente más avanzados que Europa.

En este contexto, Europa se encuentra frente al reto de ser competitiva en el mercado internacional frente a estos países, en todos los campos y, por tanto, en la construcción subterránea.

Esto exige de la U.E. una coordinación de esfuerzos en recursos humanos y en recursos financieros que permitan desarrollar programas de Innovación Tecnológica a corto medio y largo plazo (Tabla 1).

### 3. Futuras tendencias en las obras subterráneas

#### 3.1. Fase de proyecto

El proceso seguido, desde que se percibe la necesidad de construir una obra subterránea determinada hasta que ésta se construye, es largo y laborioso debiendo seguir un

desarrollo lógico de las diferentes etapas, desde la etapa inicial de los estudios de prefactibilidad, pasando por las etapas intermedias de realización de los estudios geotécnicos necesarios, de los estudios medioambientales, y de la redacción de un anteproyecto, hasta la etapa final de la elaboración del proyecto constructivo.

Nos referiremos, ahora, a las futuras tendencias que seguirá el desarrollo técnico en la diferentes etapas del proceso y que tienen como objeto la adecuada caracterización de los terrenos, su previsible comportamiento, la identificación de los principales factores generadores de incertidumbre geológica, el adecuado tratamiento e integración de los datos obtenidos en el diseño, así como el impacto ambiental y la seguridad de la obra subterránea proyectada.

##### 3.1.1. Investigación Geológica-Geotécnica

La investigación geológica-geotécnica que se realiza en la etapa de planificación de una obra subterránea debe adecuarse a la complejidad geológica y a las características de cada proyecto; de este modo se reducirán las incertidumbres geotécnicas y por tanto los sobrecostes, los incrementos de plazo y los posibles litigios durante la construcción.

La tendencia en los años venideros en relación con la investigación geológica y geotécnica pasará por los siguientes hitos:

**1. Se incrementará el número de sondeos mecánicos realizados**, llegando la longitud total perforada hasta alcanzar ratios máximos de 1,5 ml de sondeo/ 1ml de túnel.

Está bien documentado que, en caso de incertidumbres geológicas importantes, la aplicación de programas especiales de investigación, disminuyen los costes de construcción en una cuantía entre 5 y 10 veces el coste de la investigación adicional realizada, minimizando, además, los retrasos en el plazo de construcción y los potenciales conflictos y reclamaciones.

**2. Se incrementará la investigación geológica y geotécnica** de modo que represente hasta un 3% de los costes de construcción. En casos muy complejos este porcentaje podría llegar a superar el (8%).

**3. Mejora de las técnicas de perforación y obtención de testigos de roca**, incluyéndose en éstos los datos de su orientación.

**4. Incremento de la perforación de sondeos mecánicos dirigidos** para obtener un mayor conocimientos de las estructuras geológicas y testigos de roca orientados en la dirección del túnel.

**5. Incremento importante de las técnicas geofísicas** así como de otros métodos no destructivos, tanto de super-

Tabla 1. Plan Estratégico de la Comisión Europea, horizonte 2030

Horizonte	Objetivo	Innovación requerida
2030	Ausencia de operarios dentro del túnel durante la construcción.	Trabajo de construcción totalmente automatizado controlado por control remoto.
	Coste similar de las infraestructuras subterráneas y a cielo abierto.	Optimización del proceso de excavación, eliminación completa del comportamiento imprevisto del terreno.
	Conocimiento completo del comportamiento de los servicios públicos subterráneos.	Sistemas inteligentes durante todo el ciclo de vida.
2020	Tuneladora Universal.	Tuneladoras capaces de trabajar en cualquier terreno sin paradas.
	Completo conocimiento de las condiciones geológicas ("terreno transparente").	Métodos y equipamientos innovadores de exploración geológica.
	Avance tecnológico en el corte de rocas.	Nuevas tecnologías de corte (ej. Tecnología láser).
2010	Sistemas inteligentes de revestimiento.	Revestimiento con mecanismos de autocorrección en dependencia de las acciones del terreno.
	Coste satisfactorio de los túneles de gran diámetro.	Tuneladoras para túneles de gran sección. Mejora de la tecnología decorte.
	Equipos "inteligentes" capaces de auto-aprender.	Equipos capaces de realizar modificaciones automáticas a partir de los datos acumulados durante la construcción.

ficie como en sondeo, con una utilización a gran escala de los mismos.

Se desarrollarán herramientas de investigación del terreno más económicas y más fáciles de operar y de interpretar, que permitirán una mejor caracterización del macizo rocoso, mediante la obtención de una gran cantidad de datos a costes razonables.

Técnicas como: la detección lejana (Remote sensing) incluyendo la utilización del láser y el análisis multiespectral y la detección cercana (near surface imaging): imagen en sondeo, sísmica superficial y georadar, serán de uso generalizado en los próximos años.

El reto, con el desarrollo y utilización masiva de estas técnicas geofísicas, es hacer cada día "más transparente" la estructura rocosa del subsuelo con más y mejores métodos geofísicos.

**6. Perforación de galerías y/o pozos de reconocimiento,** debidamente instrumentados para reducir las incertidumbres, tanto geológicas como del comportamiento del macizo rocoso.

Algunos de los factores más importantes que incrementan las incertidumbres geológicas en las obras subterráneas son: una geología muy compleja, túneles largos y profundos de sección grande, la presencia de rocas blandas en proporciones significativas, la sismicidad del lugar y la posible presencia de aguas subterráneas y de gas.

**7. El perfeccionamiento de las técnicas actuales y el desarrollo de nuevas técnicas de localización y evaluación de acuíferos subterráneos.**

La presencia y el comportamiento de las aguas subterráneas es el factor de más difícil predicción y el que, sin embargo, puede tener una mayor incidencia durante la construcción.

**8. Desarrollo de nuevas técnicas más fiables, precisas y económicas para la determinación de las tensiones naturales dentro del macizo rocoso** que tienen una gran incidencia en el comportamiento de las excavaciones.

**9. Mejora en la estimación de los tiempos de estabilidad de los distintos terrenos** atravesados por la obra subterránea.

### 3.1.2. Ensayos de Laboratorio

En el campo de los laboratorios de rocas y suelos el reto de los años venideros se plantea en la **mejora del conoci-**

Fig. 4. Emplazamiento de máquina de sondeos para el Estudio Geotécnico del Túnel ferroviario de Pajares (León-Asturias).

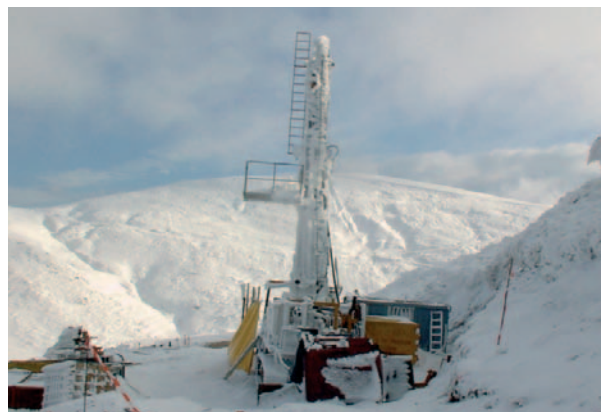
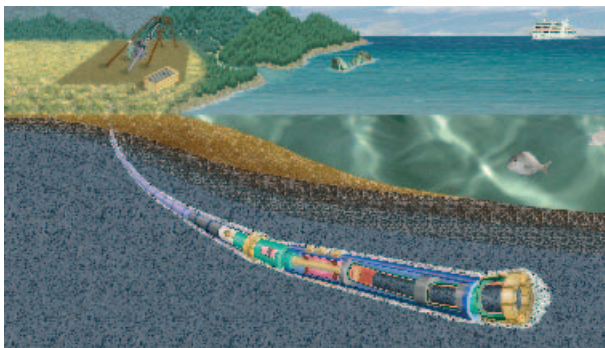


Fig. 5. Sondeo dirigido para investigación de zonas poco accesibles.



**amiento estructural de suelos y rocas así como en su modelización** con los objetivos siguientes:

1. El desarrollo de herramientas técnicas nuevas más fiables para medir las propiedades de los macizos rocosos en general y de las rocas blandas en particular mejorando su caracterización geotécnica.
2. Profundizar en el conocimiento de materiales como arcillas, rocas blandas arcillosas, suelos cementados, así como espumas y otros materiales que desarrollan comportamientos reológicos.
3. Profundizar en el conocimiento de la trasmisibilidad de los fluidos a través de medios porosos y de rocas fracturadas mediante el análisis de imágenes de resonancia magnética.
4. Desarrollar modelos de suelos y rocas más afinados y realistas que permitan obtener unas previsiones más reales de su comportamiento.

### 3.1.3. Mecánica de Rocas

La mecánica de rocas tiene un carácter interdisciplinar, y, sin duda, experimentará un importante desarrollo durante el siglo XXI, para mejorar el conocimiento en sus áreas críticas.

En relación con la construcción subterránea y la ingeniería de túneles las áreas críticas son:

#### 3.1.3.1. Caracterización del macizo rocoso

Los macizos rocosos son de naturaleza compleja con largos y complicados historiales geológicos; una caracterización y una modelización más precisa permitirá una mejor predicción del comportamiento del macizo rocoso.

La mejora en la caracterización de los macizos rocosos se conseguirá con la utilización de las técnicas siguientes:

#### Métodos Directos

- Escáner digital en sondeos (Digital Borehole Scanner, DBS) que proporciona imágenes ópticas de al-

ta definición de las paredes del sondeo. Con esta técnica es posible observar las alteraciones de las fracturas en las paredes del sondeo, el tipo de relleno y la rugosidad de la superficie de las fracturas.

- Técnicas acústicas y eléctricas para observar las fracturas en los sondeos.
- Métodos hidráulicos para investigar la circulación de fluidos a través de las fracturas.

#### Métodos Indirectos

En un futuro es previsible un incremento en la utilización de métodos indirectos (Remote sensing):

- Métodos elásticos: reflexión sísmica, perfil sísmico vertical (VSP), reflexión en sondeo (cross-hole) y registros acústicos, métodos eléctricos y electromagnéticos (sondeos eléctricos, profiling y tomografía), metodología con radar (penetración con radar, radar en sondeo, tomografía con radar) y registros convencionales de sondeos (neutrón, gamma, temperatura, calibre, medidor de flujo).

*En particular los métodos sísmicos experimentarán un importante desarrollo en la caracterización del comportamiento mecánico de grandes volúmenes de roca mediante su respuesta deformacional, utilizando frecuencias mucho más altas.*

En definitiva, se incrementará el uso de los métodos geofísicos existentes para mejorar la cuantificación de la densidad de fracturación y la permeabilidad en zonas profundas del macizo rocoso.

También se perfeccionarán las técnicas geofísicas actuales mejorando su resolución y aportando nuevas informaciones adicionales.

#### 3.1.3.2. Modelización del macizo rocoso

La caracterización y modelización de los macizos rocosos seguirá nuevos caminos en un futuro desarrollo, mediante la aplicación de nuevos campos del conocimiento científico como: la mecánica cuántica, la teoría del caos, el concepto de redes neuronales y el modelo lógico de predicción en entornos con incertidumbres, como la lógica difusa (fuzzy logic).

#### 3.1.3.3. La incertidumbre en los datos

La caracterización, modelización y análisis de los macizos rocosos están sujetas a incertidumbre; esta incertidumbre es tanto mayor cuanto mayor es la complejidad del macizo rocoso que debe caracterizarse.

Aunque se obtengan gran cantidad de datos de un macizo rocoso, estos no permitirán eliminar todas las incerti-

dumbres. Hay incertidumbres en el propio macizo rocoso, en la obtención de datos, en la testificación y en los modelos de predicción. Esta incertidumbre puede ser acumulativa y puede representar un problema, sobre todo, en macizos rocosos muy complejos.

Para manejar y paliar esta incertidumbre, en un futuro próximo se utilizarán modelos lógicos como los indicados en el punto anterior.

En un futuro próximo será práctica habitual incluir las incertidumbres en los procesos de decisión, mediante la utilización de procedimientos derivados de campos como el cálculo de probabilidades, la estadística y el análisis de riesgos.

#### 3.1.3.4. Otras Áreas críticas que es necesario desarrollar.

En los próximos años y a lo largo del siglo XXI será necesario profundizar en el conocimiento de determinadas áreas críticas relacionadas con la mecánica de rocas y suelos y con las técnicas de construcción como:

- Predicción del mecanismo de rotura de macizos rocosos con propiedades variables.
- Clarificación de las propiedades y los mecanismos de rotura de los macizos rocosos relacionados con el factor tiempo.
- Relacionar los mecanismos de rotura de los macizos rocosos con las tensiones in situ dentro del mismo.
- Desarrollo de programas de cálculo que relacionen características y propiedades estructurales de los macizos rocosos.
- Perfeccionar la práctica de la toma de muestras de rocas y suelos.
- Mejora en el conocimiento del mecanismo de interacción de las herramientas de corte, picas y discos con el terreno en el proceso de rotura.
- Desarrollo de técnicas fiables de uso rápido y económico para la caracterización y la determinación de las propiedades estructurales del macizo rocoso.
- Mejora de métodos de medición de las tensiones in situ.
- Mejora del conocimiento del efecto del paso del tiempo sobre las excavaciones.
- Distribución de la presión hidráulica a través de las juntas del macizo y su disipación a lo largo de ellas.
- Mejora de la imágenes en sondeo.
- Caracterización más precisa de macizos rocosos estratificados y anisotrópicos.
- Caracterización y testificación más precisas de las rocas blandas.
- Perfeccionamiento de los métodos de excavación de rocas en condiciones de frente mixto y variación rápida en sus propiedades.

- Desarrollo de nuevos métodos de excavación en terrenos con tensiones elevadas.
- Mejor conocimiento y evaluación de la influencia del agua en la construcción de las obras subterráneas y desarrollo de nuevos métodos y técnicas para paliar sus efectos.
- Desarrollar metodologías de toma de decisiones de las incertidumbres con estimaciones de riesgo.
- Desarrollo de técnicas más seguras, eficaces y económicas para la construcción de túneles en suelos y rocas blandas.
- Evaluación adecuada del efecto que las propiedades del macizo rocoso tienen en el rendimiento de las tuneladoras.
- Cuantificación más precisa del efecto que las filtraciones de agua subterránea tienen en la construcción de túneles en terrenos blandos.

El mejor conocimiento y cuantificación de las áreas críticas anteriormente enumeradas, redundará, en un futuro, en una construcción subterránea más segura y económica con un acortamiento de los plazos de ejecución.

#### 3.1.4. Ingeniería de Proyectos

La Ingeniería de Proyectos, en relación con las obras subterráneas, está inmersa en el mismo proceso evolutivo continuo que sigue la Ingeniería Civil en general con las especificidades propias inherentes a su especialización.

Destaca una marcada tendencia hacia una especialización creciente en disciplinas relacionadas con la Ingeniería Subterránea como: la ingeniería geológica, la mecánica de suelos y rocas, la geofísica, la hidrogeología, la ingeniería de computación y de cálculo de estructuras, la ingeniería de métodos constructivos y de instalaciones de seguridad, y la ingeniería medioambiental entre otras.

*Esta especialización continua y creciente durante los años venideros viene obligada por las nuevas exigencias que plantea la sociedad en aspectos vitales y que pueden traducirse, de un modo simplificado, en que las obras subterráneas proyectadas y construidas sean seguras, respetuosas con el medio natural y que sus costes de construcción tiendan a igualarse con los costes de construcción de las obras a cielo abierto.*

Este objetivo únicamente podrá alcanzarse mediante un desarrollo espectacular y continuado de nuevas tecnologías aplicadas a la construcción de obras subterráneas, a la seguridad de las mismas durante su vida útil y a la consecución de una mínima afección al medio ambiente.

Citaremos algunas de las áreas que van a experimentar un mayor desarrollo a lo largo del siglo XXI.

### 3.1.4.1. Bases de datos Inteligentes

Se generalizará el uso de sistemas centralizados expertos de almacenamiento de la información, que almacenan y realizan un tratamiento previo de los datos, detectando posibles datos erróneos, anomalías, excepciones, etc.

Utilizando datos con su situación espacial incorporada, es posible generar modelos tridimensionales que permitan la generación más fácil y completa de planos bidimensionales (plantas, alzados, secciones) con posibilidad de incluir propiedades y parámetros.

Estos sistemas permitirán también realizar funciones de distribución de parámetros y caracterizaciones por zonas. Toda esta información así tratada alimentará otras herramientas como: programas de cálculo de estabilidad, de análisis de riesgos...

Estos programas informáticos llamados "inteligentes" tienen la capacidad de adquirir experiencia con su uso y permiten mejorar y afinar el tratamiento de los datos.

### 3.1.4.2. Modelización y Cálculo

En los últimos años los cálculos estructurales relacionados con las obras subterráneas han experimentado un importante desarrollo, principalmente debido a la mejora de la potencia de los ordenadores.

Sin embargo, los modelos disponibles son imperfectos ya que no consideran el terreno real con sus juntas, fracturas, planos de estratificación y otras discontinuidades que aparecen muy a menudo en las estructuras geológicas y que tienen una gran influencia en el comportamiento de los macizos rocosos.

Hoy en día nos encontramos en plena expansión de la utilización de cálculos tridimensionales en modelos continuos. Una simulación realista de la construcción de un túnel, por ejemplo, tiene un marcado carácter tridimensional. Algunas de las modelizaciones no realistas que se asumen y que se utilizan muy a menudo son las siguientes:

- Los modelos continuos que no tienen en cuenta las discontinuidades y la formación de bloques en los macizos rocosos.
- La modelización no realista del comportamiento post-rotura.
- El uso de modelos visco-plásticos para macizos rocosos fracturados.
- La asunción de un comportamiento elástico del hormigón, cuando este tiene un comportamiento que es acusadamente no lineal y además dependiente del tiempo.
- La modelización inadecuada de los bulones con lechada.

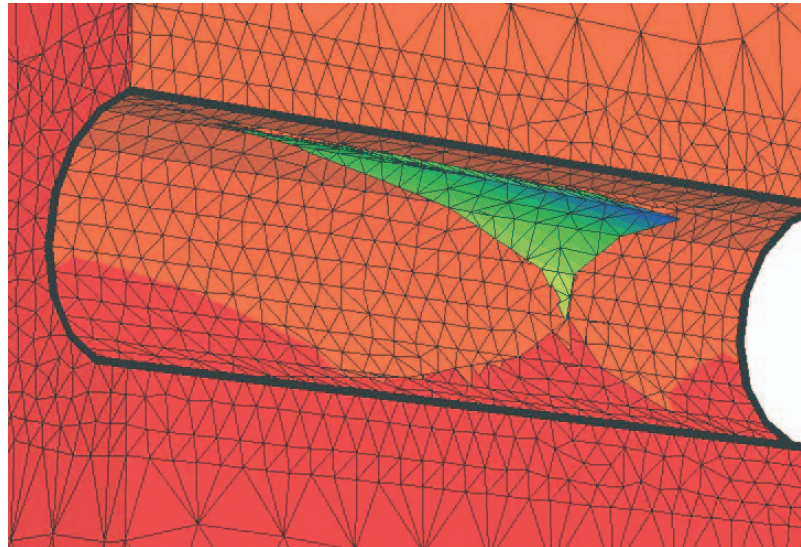


Fig. 7. Estudio de cuñas, mediante diferencias finitas, de un túnel en un macizo fracturado.

- La no consideración de la variable tiempo en el comportamiento del terreno.

¿Cuál será la evolución de los cálculos de las obras subterráneas en el próximo siglo? Parece claro que uno de los mayores problemas es como considerar las incertidumbres inherentes al modelo geológico.

Será necesario realizar una mejor caracterización del mismo y una mayor interacción con los modelos numéricos que permita que los datos sean tratados por el ordenador directamente. *Los datos geológicos se obtendrán, en un próximo futuro, mediante la aplicación de principios fotogramétricos usando modelos digitales para las propiedades del terreno.*

Los modelos estructurales de los macizos rocosos son muy complejos y los ordenadores están muy lejos todavía de resolver, con precisión matemática, todas las relaciones y ecuaciones que están involucradas en el comportamiento de un terreno que tiene múltiples fracturas, discontinuidades, agua, etc.

En el horizonte del año 2025 los ordenadores cuánticos, 1000 veces más potentes que los actuales, serán capaces de abordar estos cálculos.

Para mejorar los modelos será necesario investigar y utilizar los llamados sistemas expertos, que son capaces de, sin necesidad de utilizar el enorme número de datos necesarios para describir y modelizar con exactitud un sistema, en este caso un macizo rocoso, lograr un resultado válido.

Una de las disciplinas matemáticas, que ayudará a realizar una mejor modelización del macizo rocoso, es la teoría de la "lógica difusa", traducción del inglés fuzzy logic. La teoría de la lógica difusa permite describir un sistema complejo, como es el de un macizo rocoso, sin necesidad de disponer de la gran cantidad de información, necesaria para

caracterizarlo con absoluta precisión, utilizando un menor número de datos pero que permiten su caracterización con una precisión suficiente.

Datos como las densidades de fracturación, las direcciones de las mismas, las cantidades aproximadas de agua, los tipos de materiales, su distribución, serán necesarios para obtener buenos resultados, sin necesidad de tener que precisar con exactitud las características de todas y cada una de las fracturas o la cantidad precisa de agua en un determinado punto, por poner un ejemplo.

Para la realización de estos modelos será necesario crear grandes bases de datos con las observaciones del comportamiento de los macizos rocosos durante la construcción y la verificación de los diseños adoptados, de modo que estos datos puedan ser procesados por estos sistemas expertos y aplicados a la modelización numérica.

Además de todo el desarrollo encaminado a resolver las incertidumbres del medio en el que se desarrolla la construcción de una obra subterránea y la mejora de los modelos aplicables, es necesario resolver también, de una manera más precisa, el comportamiento de los elementos estructurales aplicados a su estabilidad.

Será necesario profundizar en el conocimiento del comportamiento del hormigón proyectado, desarrollando sofisticados modelos mecánico-termo-químicos, no lineales, que tengan en cuenta todos los aspectos del mismo. Igualmente deberán desarrollarse modelos que reproduzcan satisfactoriamente el funcionamiento e interacción de la lechada de los bulones con el terreno.

Por último, el desarrollo futuro del software mejorará la visualización y la presentación de los resultados numéricos, con la incorporación de la realidad virtual, de modo que éstos sean más fáciles de interpretar, incluso para cualquier técnico no especializado.

#### 3.1.4.3. Ingeniería de Decisión. Análisis de Riesgos

La ingeniería de la decisión y el análisis de riesgos aplicada a las obras subterráneas experimentará en los próximos años una mejora de la metodología actual disponible con la puesta en disposición de modelos más perfeccionados, junto con la implantación y utilización generalizada de los mismos.

Los sistemas de ayuda a la toma de decisión utilizarán árboles de decisión y redes neuronales, para que ésta se realice mediante un criterio preestablecido, gestionado por potentes sistemas informáticos inteligentes que podrán ir aprendiendo de las distintas experiencias y ajustando automáticamente los citados criterios para las siguientes tomas de decisiones.

Las variables del modelo responden a distribuciones estadísticas y el modelo proporciona resultados también en forma de distribuciones estadísticas.

Así mismo el modelo realiza un análisis de sensibilidad de las diferentes variables consideradas en el modelo, identificando los factores más importantes y las incertidumbres existentes, cuantificando la variabilidad de los parámetros en los modelos de análisis.

El modelo de análisis de riesgos relaciona las curvas de distribución de las distintas propiedades como: materiales, datos geológicos, datos de métodos constructivos, mediante algoritmos basados en teorías del tipo Monte Carlo, Hipercubo latino, Fuzzy, Cadenas de Markov, etc., generando como resultado distribuciones estadísticas de coste-plazo, sensibilidad de los parámetros, identificación de zonas problemáticas en un túnel, etc.

Estos modelos de toma de decisión necesitan alimentarse de una amplia y fiable base de datos; cuanto mejor sea la base de datos disponible, mejores serán las estimaciones realizadas.

Esta base debe ser alimentada con datos reales de obras subterráneas realizadas anteriormente en condiciones similares al proyecto en estudio, y deberá suministrar datos de rendimientos, consumos, incidencias, etc. La robotización y automatización de la maquinaria empleada permitirá que el proceso de alimentación de la base de datos se realice con un registro prácticamente continuo y de manera totalmente automática.

Durante la fase de ejecución del proyecto se sustituirán los datos estimados inicialmente por los reales obtenidos, realizándose nuevas estimaciones, para la obra restante, cada vez más precisas y con menores incertidumbres, pasando los datos reales a una base centralizada.

*Estos modelos permitirán también realizar diseños de nuevos proyectos utilizando la experiencia acumulada de proyectos ya realizados e integrando los modelos en el seguimiento de la ejecución y la supervisión de la obra.*

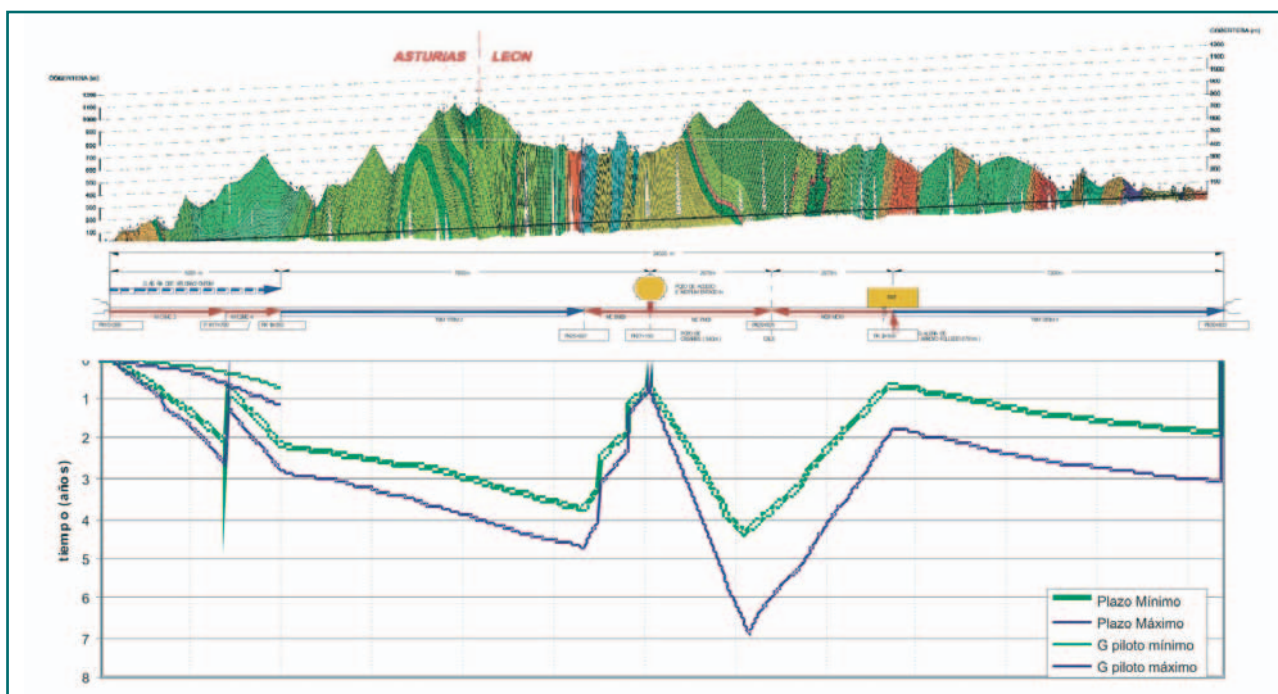
A continuación se representa alguno de los posibles resultados obtenidos aplicando un modelo de análisis de riesgos al caso concreto del túnel base de Pajares (Figs. 8 y 9).

#### 3.1.4.4. Seguridad

*Los aspectos relacionados con la seguridad de la obra subterránea, durante su construcción y durante su utilización, tienen una relevancia crucial y el objetivo permanente, durante el presente siglo, será mantenerla en los niveles adecuados compatibles con un análisis coste-beneficio, máximo nivel de seguridad con el menor coste posible.*

Los mayores factores de riesgo durante la construcción son: la presencia de gases por la potencialidad de producirse explosiones, la posibilidad de entradas de agua con caudales y presiones importantes y las excavaciones profundas en formaciones de rocas blandas con posibilidad de que puedan producirse deformaciones importantes.

Fig. 8. Perfil geológico del túnel de Pajares y diagrama constructivo espacio tiempo.

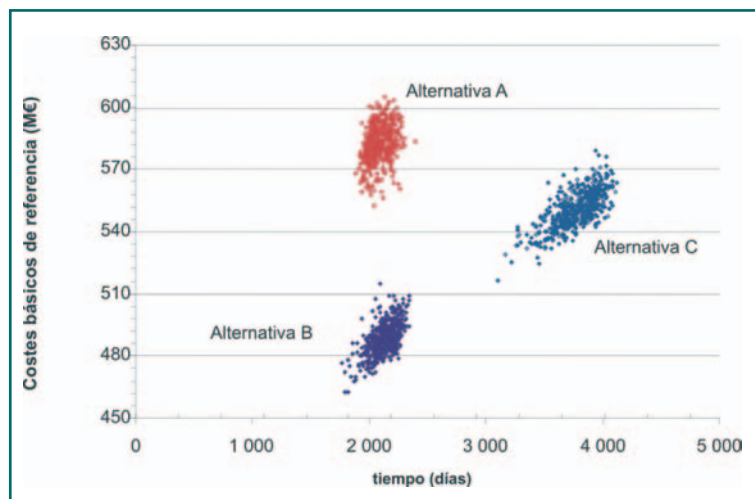


Durante los periodos de construcción y utilización, el mayor riesgo suele sobrevenir como consecuencia de algún incendio en su interior.

La seguridad pasiva aportada por la utilización, en espacios subterráneos, de nuevos materiales más duraderos, de una mayor resistencia estructural y de una mayor resistencia al fuego, será un elemento importante para alcanzar los objetivos de seguridad deseados.

Un sistema de evacuación diseñado para situaciones de emergencia, eficaz y fiable que permita la autoevacuación ordenada de las personas en el tiempo adecuado, incluso de las que tienen movilidad reducida y el fácil acceso de los equipos de rescate, será otro de los elementos

Fig. 9. Nubes de probabilidad para comparación de alternativas constructivas del Túnel de Pajares.



esenciales para alcanzar los niveles de seguridad deseados.

Además, un ambiente habitable en su interior, incluso de confort en determinados usos del espacio subterráneo, tanto en situaciones normales como en situaciones de emergencia, exige disponer de sistemas de instalaciones cada vez más eficaces y de funcionamiento y de gestión más sencillas y fiables.

Citaremos algunos de los sistemas que nos parecen más fundamentales y que tienen que mejorar en sus prestaciones, con unos consumos de energía y costes menores.

### 1. La Ventilación

El sistema de ventilación tanto normal como de emergencia, necesita mejorar en varios aspectos como:

- a) Equipos de ventilación más eficientes, de menor consumo energético y que ofrezcan los niveles de resistencia al calor suficientes para garantizar, durante el periodo necesario, el autorescate y rescate de las personas.
- b) Ampliar el campo de aplicación de la ventilación longitudinal a túneles de una mayor longitud; con el estado actual de la tecnología se pueden ventilar tramos de hasta 18 Km. desde un punto de aspiración de aire fresco (tecnología desarrollada en Japón).
- c) Los sistemas de ventilación, desde los más sencillos a los de mayor complejidad, tienen que ser gestionados mediante programas informáticos inteligentes, expertos

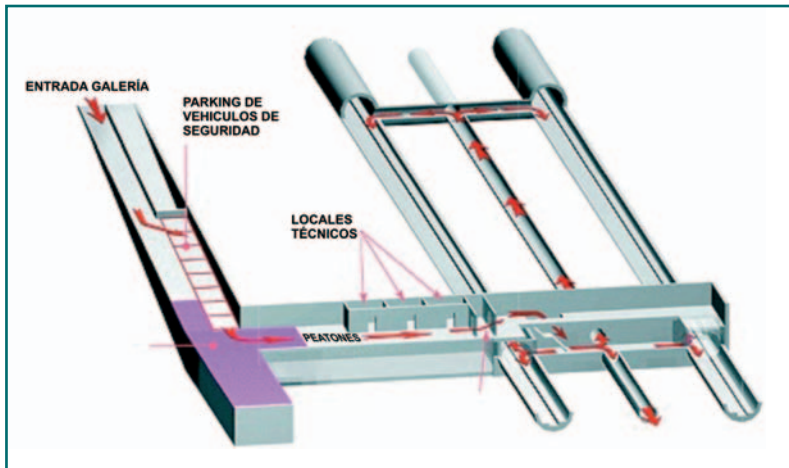


Fig. 10. Obra civil asociada para garantizar la seguridad de los túneles (Enlace Lyon-Turín).

en el manejo de situaciones de incertidumbre, utilizando modelos fuzzy logic, neuronal etc, para evitar que los operarios puedan tomar decisiones tardías o erróneas por incapacidad de procesar toda la información disponible.

Para conseguir un funcionamiento seguro, es necesario dotar al espacio subterráneo de una multitud de microsensores muy robustos y de bajo coste, capaces de enviar toda la ingente información generada a los ordenadores del centro de control que, mediante estos programas inteligentes, son capaces, incluso, de aprender de sus propios errores y de tener en cuenta, en futuras tomas de decisión, la experiencia obtenida en pasadas actuaciones.

En espacios subterráneos complejos, será necesario desarrollar técnicas fiables de acantonamiento de humos y gases, de modo que quede controlada y limitada su difusión a través del espacio subterráneo, mediante cortinas de agua y/o aire u otras técnicas eficaces.

## 2. La Iluminación

El nivel de iluminación dentro de un espacio subterráneo, tiene una gran importancia para conseguir un buen nivel de confort y de seguridad para sus usuarios.

Se ha demostrado que, en túneles, el nivel de luminancia juega un papel importante en la seguridad de la conducción dentro del túnel.

Es necesario continuar el esfuerzo innovador para mejorar el rendimiento de las luminarias, para disminuir su consumo energético, elevando al mismo tiempo los niveles de luminancia con la consecución de revestimientos, no porosos, más lisos, más resistentes al ataque físico-químicos, de tonalidades claras y fáciles de limpiar.

Es sabido que las lámparas normales pierden el 80% de la energía que consumen en calor. Actualmente se dispone de luminarias de bajo consumo energético me-

dante la utilización de filamentos de nanotubos de carbono puro.

En túneles largos (>1 Km) será muy conveniente que la superficie de rodadura no sea de colores oscuros, sean fáciles de limpiar y que no contengan betunes ya que, en caso de incendio, este genera una gran cantidad de humos muy densos y viscosos que impiden la visibilidad.

## 3. Los elementos de construcción resistentes al fuego

El desarrollo creciente de nuevos materiales compuestos, permitirá emplear, dentro de los espacios subterráneos, materiales más resistentes al fuego y a los ataques químico-físicos, utilizando diversos tipos de fibras de polipropileno, de vidrio, de carbono, etc. y de materiales cerámicos en tratamientos superficiales.

Dejarán de utilizarse todos los elementos o componentes que contengan materiales que, en caso de incendio, liberen gases tóxicos o nocivos, gases en gran cantidad o gases muy densos y viscosos.

## 4. El control integrado de las instalaciones

Se ve muy necesario realizar un esfuerzo continuado por conseguir una racionalización en la utilización y gestión de todas las instalaciones dispuestas dentro del espacio subterráneo como: control, señalización, ventilación, iluminación, drenajes y agotamientos, comunicación, detección automática de incidentes etc.

Es necesario disponer de un centro de control principal único, en el que se centralice y gestione, mediante un sistema informático inteligente, toda la información enviada por los equipos de control y por los sensores instalados.

## 5. La evaluación de Riesgos

El diseño y dimensionamiento de los elementos y sistemas de seguridad, se desarrollarán de acuerdo a las nece-

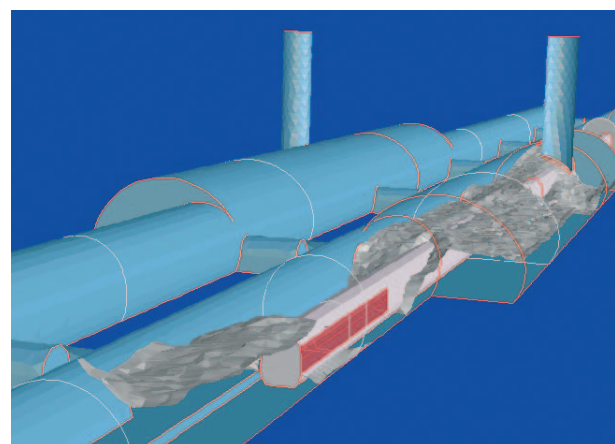


Fig. 11. Desarrollo de programas informáticos de simulación de incendios.

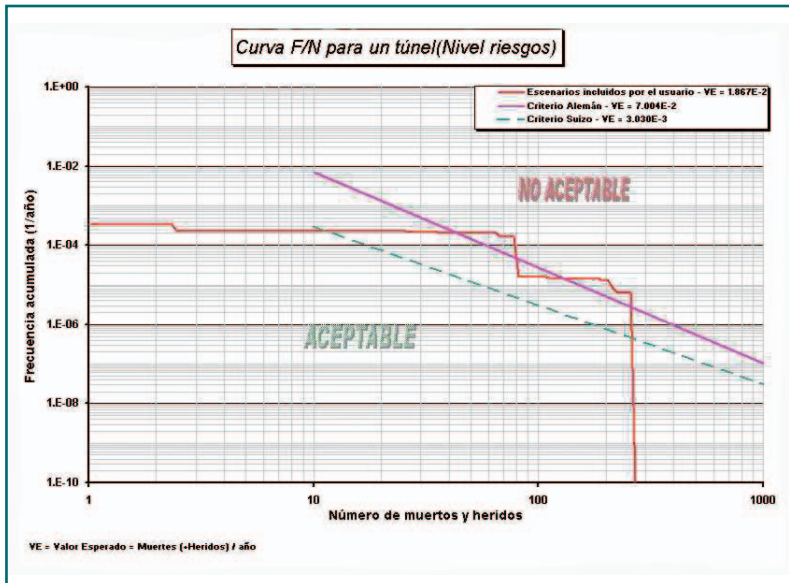


Fig. 12. Curva F/N para un túnel. Nivel de riesgo.

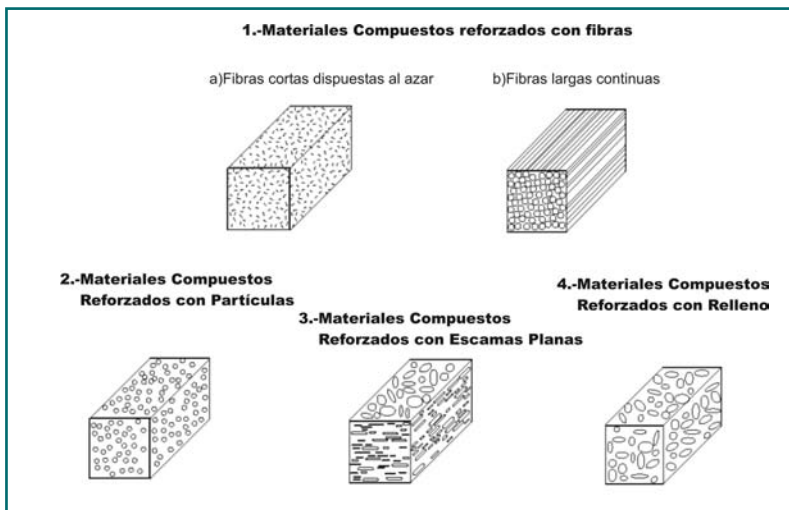
sidades y peculiaridades de cada proyectos y aplicando las normativas y recomendaciones básicas vigentes nacionales, comunitarias, e internacionales.

El diseño de estos elementos y de los sistemas de seguridad, debe concluir con una evaluación de riesgos en diversos escenarios, mediante programas de evaluación de riesgos que comprueben que el diseño de las obras y de las instalaciones proyectadas es eficiente y garantiza el nivel de seguridad adecuado para unas condiciones determinadas de utilización del espacio subterráneo.

3.1.4.5. Instrumentación y Auscultación

La Instrumentación y la Auscultación de la obra subterránea es una actividad muy importante que permite conocer, en cualquier momento, la respuesta del terreno

Fig. 13. Materiales compuestos (Composites).



a la excavación realizada, los reajustes tensionales y las deformaciones provocadas por la obra ejecutada en el conjunto terreno-revestimiento.

Mediante la Instrumentación y Auscultación adecuadas, se conocen y controlan, tanto en la etapa de construcción como durante el periodo de servicio de la obra subterránea, los datos de deformaciones y tensiones, entre otros, que permiten el conocimiento, en tiempo real, de las afecciones al medio circundante, de la estabilidad de la excavación, de las deformaciones y tensiones de los sostenimientos y revestimientos, así como del grado de deterioro de éstos a lo largo del tiempo.

La Instrumentación y Auscultación permiten realizar un proceso iterativo de retroanálisis de la obra subterránea durante su construcción, sustituyendo en los cálculos de estabilidad realizados los datos estimados, principalmente de los parámetros resistentes y deformacionales del terreno, presiones hidrostáticas..., por los datos reales obtenidos y, a lo largo del tiempo, conocer la evolución de estos, las condiciones de trabajo de los revestimientos y el deterioro de éstos.

La Instrumentación y Auscultación evolucionará en la dirección de incrementar los puntos de medición, construyendo sensores y aparatos más simples, más sencillos de manejo, más fiables y de un menor coste, con una mayor rapidez de las mediciones realizadas (sin interferencias con las actividades que se realizan); la medición de parámetros relacionados con las oscilaciones de los niveles freáticos, los asentamientos en superficie, las afecciones a edificios y servicios urbanos, el control de las filtraciones hacia el espacio subterráneo, el control de la contaminación y la química del agua subterránea que afecta a la tasa de corrosión de las estructuras subterráneas.

La Auscultación de la obra subterránea evolucionará hacia una ampliación masiva de puntos de medida con la utilización de equipos informatizados y robotizados de auscultación remota (cuerda vibrante, estaciones topográficas motorizadas...) que configurarán una adecuada red de auscultación con un sistema remoto de lecturas; estos datos serán almacenados y procesados mediante programas "inteligentes", desarrollados con las técnicas de la inteligencia artificial, que serán capaces de aprender de sus errores integrando su propia experiencia acumulada. La nueva instrumentación utilizará la fibra óptica para medir tensiones y deformaciones con una mayor precisión y economía.

El desarrollo de nuevos microsensores inalámbricos de bajo coste permitirá, en un futuro no lejano, realizar una instrumentación geotécnica y de estructuras que las haga "inteligentes", lo que hará que la obra subterránea esté adecuadamente controlada durante su construcción y durante su vida útil.

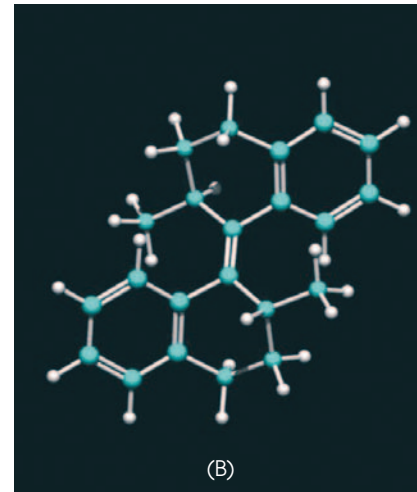
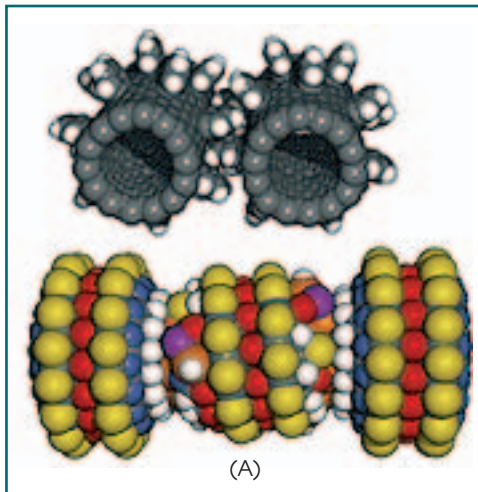


Fig. 14. Avances de la Nanotecnología (A) Nanoengranajes. (B) Motor molecular.

Fig. 15. Nanotubo de carbono puro.

### 3.1.4.6. Utilización de Nuevos Materiales

El diseño y la construcción de obras subterráneas en los años venideros utilizará nuevos materiales de un modo creciente. Los nuevos requerimientos para las obras subterráneas impulsarán, en los próximos años, la búsqueda de nuevos materiales que aporten mayores niveles de seguridad y una mayor durabilidad en comparación con los materiales que se vienen utilizando tradicionalmente en la construcción de túneles. La ingeniería de nuevos materiales experimentará un auge espectacular a lo largo de este siglo (Tabla 2).

#### 1. Materiales Compuestos (Composites)

La utilización del acero se verá disminuida, en detrimento de materiales más ligeros, estructuralmente tanto o más resistentes y con mayor protección a la corrosión, al desgaste, al ataque químico y al fuego. Nuevos materiales compuestos, como el FRP (fiberglass reinforced plastic), permitirán diseñar materiales con un rango importante de resistencias y propiedades físicas.

Una extensa diversidad de materiales se conseguirá combinando una amplia variedad de plásticos como matriz del material compuesto (poliesteres no saturados, resinas epoxy, fenólicas), adicionando a estos, aditivos y fibras de altas prestaciones (de vidrio, de carbono ... hasta 14 tipos de fibras).

Estos materiales compuestos, permitirán realizar formulaciones ignífugas con una producción de humos de poco volumen y de baja densidad y toxicidad.

#### 2. Nanomateriales

La nanotecnología, dentro de la que se agrupan ciencias como la física, la química, la medicina y el medio am-

biente, manipula uno a uno los átomos de la materia, formando compuestos moleculares de propiedades desconocidas hasta ahora, que revolucionarán la economía, los sistemas de producción y el nivel de vida de un futuro próximo.

Esta ciencia permitirá la construcción de nanomáquinas, nanorobots, que podrán autoreproducirse, cambiar y autodestruirse, y miniordenadores inteligentes (Fig. 14).

Materiales para un futuro, basados en esta tecnología, serán los nanocompuestos que proporcionarán mayores prestaciones aún que los materiales compuestos, al sustituir las fibras por partículas del tamaño de una micra distribuidas uniformemente dentro de una matriz, ofreciendo propiedades como un menor peso, una mayor resistencia mecánica y una menor alterabilidad.

#### 3. Materiales Cerámicos

Estos materiales, de bajo coste, ofrecen resistencias, a la corrosión y a las altas temperaturas, muy elevadas.

#### 4. Nuevos Hormigones

Los hormigones, por su potencialidad y versatilidad, continuarán utilizándose habitualmente aunque ofrecerán mayores prestaciones que los actuales.

a) **Hormigones Poliméricos (CP):** materiales compuestos más resistentes y ligeros que los hormigones tradicionales y con una mayor resistencia al fuego.

b) **Hormigones reforzados con fibras (FRC):** Permiten diseñar hormigones con una mayor resistencia a la rotura y un mejor control del mecanismo de rotura, adaptándose al régimen de cargas transmitidas por el terreno y adecuando su resistencia a la tracción y al corte, su

Tabla 2. Nuevos Materiales

Tipo de Material	
Compuestos Composites (FRP)	Matriz: metálica o de materiales plásticos (resinas epoxy, fenólicas, políesteres no saturados). Aditivos y fibras (acero, vidrio carbono); Altas resistencias, propiedades especiales.
Materiales Cerámicos	Muy resistentes a la corrosión y a elevadas temperaturas
Nuevos Hormigones	Hormigones poliméricos (CP): Más resistentes y ligeros; Mayor resistencia al fuego; Resinas/polímeros + cemento + fibras Hormigones reforzados con fibra (FRC). Mayor resistencia a la rotura. Fabricación adecuada a las solicitaciones que tienen que soportar Hormigones autocompactantes (SCC). No necesitan vibrado; mayor durabilidad y mejor acabado superficial. Nuevos hormigones proyectados: Mayores resistencias, más densos, menos porosos, mayor durabilidad, cemento sin yeso, más económicos y ecológicos.
Revestimientos Ligeros	Objetivo de la U.E. para 2010: Reacción de acuerdo a las solicitaciones. Objetivo de la U.E. para 2020: Incorporación de minisensores que permiten conocer como trabajan y el grado de deterioro en tiempo real.
Nanomateriales Nanocompuestos	Horizonte 2020; sustitución de las fibras por partículas de tamaño inferior a una micra e, incluso de tamaño molecular, (10-9 m). Mayores resistencias, mayor durabilidad, menos peso, más económicos, fabricación con propiedades determinadas, posibilidad de autogenerarse.

rigidez, su ductilidad y su absorción de energía, además de otras propiedades, a las necesidades reales de cada caso. Para hormigones estructurales se utilizan las fibras de vidrio y de carbono.

c) **Hormigones autocompactantes (SCC, Self-Consolidating Concrete):** en un próximo futuro se generalizará el uso de estos hormigones que no necesitan realizar un vibrado durante su colocación y que presentan una mejor calidad superficial y una mayor durabilidad.

d) **Nuevos hormigones proyectados:** los hormigones proyectados evolucionarán hacia unas mejores prestaciones de resistencia en los momentos iniciales y de edad temprana, una mejor adherencia con rocas y suelos y una mayor integridad y durabilidad; estas nuevas características del hormigón proyectado y el uso de fibras y aditivos, permitirán a éste formar parte del revestimiento (Proyecto Europeo BRITTEURAM).

e) **Revestimientos inteligentes:** la U.E. ha fijado como objetivo para el 2010, desarrollar revestimientos inteligentes que reaccionen de acuerdo a las acciones transmitidas por el terreno; esta posibilidad de autocorrección supondrá un avance importante en túneles y obras subterráneas profundas en rocas blandas, en las que el revestimiento tiene que absorber importantes deformaciones y solicitaciones.

*En resumen, el desarrollo de nuevos materiales permitirá construir obras subterráneas más seguras, de una mayor durabilidad y más económicas considerando, no solo la*

*construcción, sino también la explotación y el mantenimiento.*

Disminuirá el uso del acero en bulones, mallas, chapas, perfiles y se incrementará el uso de materiales compuestos (FRP) en reparación de túneles y revestimientos flexibles.

Se utilizarán hormigones auto-compactantes, con una menor retracción, más resistentes, de una mayor durabilidad, más impermeables y resistentes a la corrosión y al fuego, mediante la utilización de fibras y aditivos principalmente.

#### 3.1.4.7. Impacto sobre el Medio Ambiente

Toda obra subterránea ejerce un impacto sobre su entorno.

*La Ingeniería de Proyectos de obras subterráneas, en el horizonte del siglo XXI, evolucionará hacia una más completa y minuciosa evaluación de las modificaciones que, sobre su entorno, introducirá la construcción de una obra subterránea concreta.*

Deberán considerarse, con la verdadera importancia que tienen, las posibles alteraciones en la vulnerabilidad de los niveles freáticos y en la calidad de las aguas subterráneas; las afecciones en superficie, principalmente en obras subterráneas urbanas, a edificios, zonas arqueológicas, instalaciones y servicios; las afecciones al medio natural, principalmente en los accesos a las bocas y los accesos intermedios, en relación con el impacto a la biosfera, el impacto visual, las vibraciones, el ruido, la erosión del suelo y la

contaminación de las aguas, de los suelos y de la atmósfera, tanto en su etapa de construcción, como en su etapa de utilización.

*El proyecto de la obra subterránea deberá diseñar todas las medidas necesarias para minimizar el impacto medioambiental, que esta pueda producir.*

Deberá recoger medidas concretas y eficaces que permitan la reposición de los acuíferos, la minoración de las afecciones en superficie, la eliminación de cualquier tipo de contaminación que se genere durante la construcción y la utilización de la obra subterránea y las medidas correctoras para la restitución del medio natural (impacto visual, erosión, etc).

Los productos y materiales utilizados en la construcción de túneles no deberán ser potencialmente contaminantes, ni para los terrenos, ni para el agua subterránea ni para la atmósfera, lo que obligará a la fabricación de nuevos productos que cumplan con estas exigencias.

El agua subterránea de infiltración ejerce una gran influencia en la obra subterránea tanto durante su construcción, como durante su utilización. Las técnicas y los materiales de impermeabilización experimentarán una evolución permanente buscando una mayor eficacia, idoneidad y economía ante el objetivo de impedir que el agua de infiltración llegue hasta los revestimientos para evitar su contaminación y el deterioro de estos.

En las obras subterráneas en las que se permita el drenaje hacia ellas del agua, esta deberá ser adecuadamente captada, canalizada, embalsada en el exterior y tratada, antes de que se incorpore al sistema formado por las aguas superficiales, evitando siempre su contacto físico con el revestimiento.

En el futuro se prestará una atención creciente a las fluctuaciones del nivel freático y de la calidad del agua de filtración en las obras subterráneas así como a la minoración de asentamientos y daños en superficie principalmente en obras urbanas.

*La contaminación ambiental que pueda producirse, como consecuencia de la construcción y de la explotación de la obra subterránea, deberá eliminarse allí donde ésta se produzca, asegurando también el adecuado emplazamiento y estanqueidad de las escombreras y la restitución, en la medida de lo posible, del entorno natural.*

Hay una tendencia creciente a utilizar, siempre que sea posible, los materiales de excavación para agregados de hormigones o para rellenos y terraplenes, produciéndose así una economía en la construcción y una menor ocupación de terrenos destinados a vertederos.

### 3.2. Fase de construcción

Como respuesta a las demandas crecientes que plantea la movilidad de personas y mercancías en la aldea

global, en que vivimos la construcción de obras subterráneas será, en muchos casos, la única manera de eliminar las barreras físicas existentes entre continentes, entre países y entre territorios de un mismo país y la manera de salvar del colapso nuestras grandes ciudades, bastantes de las cuales se convertirán en megaciudades en las próximas décadas.

Los importantes retos tecnológicos a los que se enfrenta la construcción de obras subterráneas de gran longitud y profundidad, submarinas o subacuáticas o bajo el subsuelo de nuestras ciudades en entornos que plantean con frecuencia grandes condicionantes, hacen que las técnicas de construcción de las obras subterráneas estén en constante desarrollo con el objetivo de hacerlas más seguras y menos costosas.

Este continuo desarrollo es promovido por la utilización de los nuevos avances tecnológicos emergentes que permitirán superar las dificultades técnicas actuales que plantea la construcción de los grandes proyectos subterráneos internacionales, muchos de los cuales se encuentran ya en fase de Estudio Previo, haciéndolos más seguros durante su construcción y explotación, menos costosos y con un menor impacto sobre el Medio Ambiente.

Se habla ya de la 3ª Revolución Industrial que se producirá a lo largo del siglo XXI de la mano de las nuevas Tecnologías: Ingeniería de materiales compuestos, la Mecatrónica y la Nanotecnología; cuyo desarrollo permitirá una gran evolución de las técnicas aplicadas a la construcción de obras subterráneas.

Muchos son los campos y las actividades relacionadas con la construcción de obras subterráneas que van a participar de este desarrollo tecnológico que, sin duda, se experimentará a lo largo del siglo XXI.

En este documento destacaremos aquellas que, según la opinión generalizada entre los técnicos más prestigiosos de diversos países, van a experimentar un mayor desarrollo tecnológico durante el presente siglo.

#### 3.2.1. Conocimiento del terreno

Antes de iniciarse la construcción de la obra subterránea se dispondrá, en un futuro próximo, de una mayor información y conocimiento de las características y comportamientos de los terrenos (rocas y/o suelos), así como del entorno en el que se va a construir esta.

Este mayor conocimiento será el resultado de una aplicación más intensiva y más adecuada a cada proyecto, de las campañas previas de investigación en campo y laboratorio como:

- Perforación de un mayor número de sondeos.
- Utilización más intensiva de métodos geofísicos en superficie y en sondeo.

- Sondeos direccionales con extracción de testigos orientados en la dirección de la obra subterránea.
- Utilización de la técnica del microtúnel para realizar perforaciones de pequeño diámetro ("1m) paralelas a los túneles.
- Galerías de reconocimiento instrumentadas.
- Medición más precisa de las tensiones in situ.
- Realización de estudios hidrogeológicos con técnicas más resolutivas.
- Determinación de la presencia de gases.

Este mejor conocimiento del terreno y de su entorno natural, *permitirá identificar y evaluar mejor los riesgos que conlleva su construcción*, mediante programas de evaluación de riesgos en términos de coste-plazo y, en consecuencia, elegir los procedimientos constructivos más idóneos.

Sin embargo siempre van a subsistir algunas incertidumbres, tanto mayores cuanto mayor sea la complejidad del proyecto (grandes longitudes, grandes profundidades, geología compleja, túneles subacuáticos).

Para luchar contra estas incertidumbres, *durante la etapa de construcción de la obra subterránea*, tratando de evitar situaciones imprevistas que puedan conllevar riesgos y que, en cualquier caso, incidirían de un modo negativo en el progreso de los trabajos, *será práctica habitual intensificar determinadas actividades como:* realizar campañas de investigación complementarias desde superficie y desde el interior de la obra subterránea (sondeos desde superficie, sondeos de reconocimiento desde el frente, ensayos adicionales, geofísica desde el propio frente de excavación ) y realizar una auscultación sistemática de la obra que se está construyendo (deformaciones y presiones sobre los sostenimientos).

Este esfuerzo adicional por obtener más información, permitirá, además de reducir riesgos, adecuar los diseños iniciales realizados en el proyecto a las situaciones reales, mediante la técnica del retroanálisis utilizando modelos más afinados y herramientas de cálculo más poderosas; todas estas actividades se realizarán durante la construcción de las obras.

### 3.2.2. Capacidades de técnicos y operarios

El personal técnico especializado que, en un próximo futuro, intervenga en el diseño y en la construcción de las obras subterráneas, formará un equipo interdisciplinar y altamente especializado, además de en las áreas tradicionales, en nuevas áreas del conocimiento técnico como: la robótica, el automatismo, el control remoto, la resistencia de nuevos materiales (materiales compuestos, compuestos mecatrónicos, nanocompuestos), la seguridad, el medioambiente, los sistemas de gestión de la calidad, los sistemas de comunicaciones, la electrónica, la gestión y la cuantifi-

cación de las incertidumbres (modelos neuronales, lógica difusa,.. etc).

En cuanto a los operarios y operadores especializados, su demanda y valoración serán crecientes y deberán poseer nuevos conocimientos y habilidades que les permita manejar, conservar y reparar la maquinaria y los equipos que incorporen los nuevos avances tecnológicos. Los conocimientos de mecánica tradicional y electricidad no serán suficientes, ya que las máquinas del futuro incorporarán nuevos componentes tecnológicos en el campo de: la mecánica, la electricidad, la electrónica y la computación y que pasarán a ser elementos constitutivos de la propia máquina.

Los operarios no especializados deberán, también, adquirir unos conocimientos básicos que les permita familiarizarse con las nuevas tecnologías y poseer la experiencia y la destreza necesarias para realizar las distintas actividades que integra un ciclo de trabajo.

### 3.2.3. Maquinaria

La maquinaria para la excavación mecánica de rocas y suelos, tiene en la actualidad una gran incidencia y esta será en un futuro próximo aún mayor, sobre la construcción subterránea ya que, en gran medida, condiciona su viabilidad, su seguridad y su economía.

A lo largo de los años, desde la Revolución Industrial iniciada en Inglaterra S. XIX, la maquinaria ha venido, en general y la de túneles en particular, experimentando constantes avances tecnológicos, habiendo alcanzado un alto nivel de desarrollo en los últimos años del siglo XX, principalmente en las máquinas tuneladoras (topos y escudos).

Sin embargo en el último lustro se ha producido una deceleración en la incorporación de novedades tecnológicas importantes.

No obstante, el futuro desarrollo, de estas máquinas es muy prometedor y permitirá abordar la construcción de la obra subterránea con unos mayores niveles de seguridad y con unos costes menores que los actuales.

Por otra parte, este desarrollo hará posible realizar, durante el presente siglo, megaproyectos como los ya citados que, con el estado actual de la técnica, difícilmente podrían acometerse con las debidas garantías.

*En un próximo futuro el desarrollo de la maquinaria tendrá como objetivos principales: la automatización casi total de los procesos de excavación, la robotización, la operación por control remoto, la utilización de nuevos materiales como componentes de las máquinas derivados de la industria militar y espacial, la utilización de útiles de corte de mayor capacidad, eficacia y con una mayor resistencia al desgaste, el control, en tiempo real, del funcionamiento de la máquina, la utilización de la tecnología "water jet" como herramienta complementaria en la excavación de rocas*

duras y abrasivas, el desarrollo de tuneladoras de cabezas de corte capaces de detectar la zonas de roca más duras incrementando en ellas los empujes sobre los cortadores.

La aplicación de esta tecnología aportará las mejoras sustanciales siguientes:

a) **Incremento decisivo de la seguridad de los operarios**, al no verse obligado a tener que trabajar en el frente realizando actividades que entrañen riesgos como consecuencia de la implantación del automatismo, la robotización y el control remoto de las máquinas. *El Plan Estratégico de la Unión Europea fija la automatización total para 2030.*

b) **Incremento de los rendimientos**, el incremento de los rendimientos de las distintas actividades que constituyen el proceso constructivo se producirá como consecuencia del automatismo y la robotización de los procesos, de la utilización de cabezas de corte "inteligentes" en las tuneladoras, del trabajo continuo de éstas, de la simultaneidad de las actividades de excavación y revestimiento, de la utilización de herramientas de corte más eficientes, más duras y tenaces y más resistentes al desgaste.

Los rendimientos de excavación de rocas duras y abrasivas cuyos máximos actualmente están entre 25-30m/día, podrán superar en los próximos años los 100m/día.

Las herramientas de corte, discos y picas, mejorarán también su diseño, su geometría, su tamaño y su peso, (utilizando cortadores de menor diámetro), su disposición y acoplamiento en la cabeza y su eficacia, (con la utilización de discos vibratorios u oscilantes). Una propuesta tecnológica actual en esta dirección es el cortador de disco oscilante (Oscillating disc cutting, ODC) que desarrolla el australiano David Sugden, en la que el cortador incide oblicuamente sobre la superficie de la roca, induciendo en ella roturas de tracción con una importante reducción de la energía de rotura necesaria para producir la rotura de la roca. *El último Plan Estratégico de la U.E. fija para 2010 la mejora de la tecnología de corte de rocas.*

La tecnología del chorro de agua a alta presión (water jet) que se utiliza actualmente en el corte industrial de rocas, en demoliciones, en corte de diversos materiales podrá, en los próximos años, contribuir, con los nuevos desarrollos a mejorar el proceso de excavación de rocas duras y abrasivas.

c) **Reducción de los costes**, uno de los principales objetivos para los próximos años, es la reducción de los costes de la obra subterránea de modo que se aproximen a los de las obras en superficie.

Estos costes deben calcularse siempre sobre el ciclo total de vida de la obra subterránea, incluyendo los cos-

tes de construcción, de explotación y de mantenimiento. Es necesario evaluar también en términos económicos las ventajas de la obra subterránea: su menor vulnerabilidad, el menor impacto ambiental, así como el incremento del valor del suelo que induce en zonas urbanas etc.

*El Plan Estratégico de la UE fija para 2030 el objetivo de que las obras subterráneas tengan un coste similar al de las obras en superficie.*

Esta reducción de coste vendrá motivada por diversas causas como: la reducción de la mano de obra y la utilización de una mano de obra altamente especializada, el incremento de los rendimientos y de los ritmos de excavación, la reducción de los consumos de energía, la reducción del consumo de materiales fungibles (cortadores..) y de piezas de repuesto de las máquinas, la construcción de máquinas más ligeras, menos costosas y con menores costes de mantenimiento, la utilización de nuevos materiales en la fabricación de los componentes de las máquinas; finalmente las nuevas máquinas tendrán una mayor eficiencia y fiabilidad.

*Las tuneladoras de los próximos años serán más versátiles y polivalentes que las actuales* en las que los diseños son específicos para cada proyecto, lo que supone un encarecimiento de la máquina.

En un próximo futuro las máquinas se construirán con un diseño básico común que las permitirá excavar con diferentes diámetros y a las que se les agregaran diversos elementos y sistemas reemplazables y específicos para cada modalidad de funcionamiento adecuado a las características de cada proyecto.

Se avanzará en el diseño de una máquina polivalente capaz de trabajar en terrenos de características muy diversas dentro de un mismo proyecto, desde rocas duras y abrasivas hasta suelos permeables con carga de agua, mejorando los actuales diseños de los escudos mixtos multimodales (presión de tierras/presión de lodos/TBM).

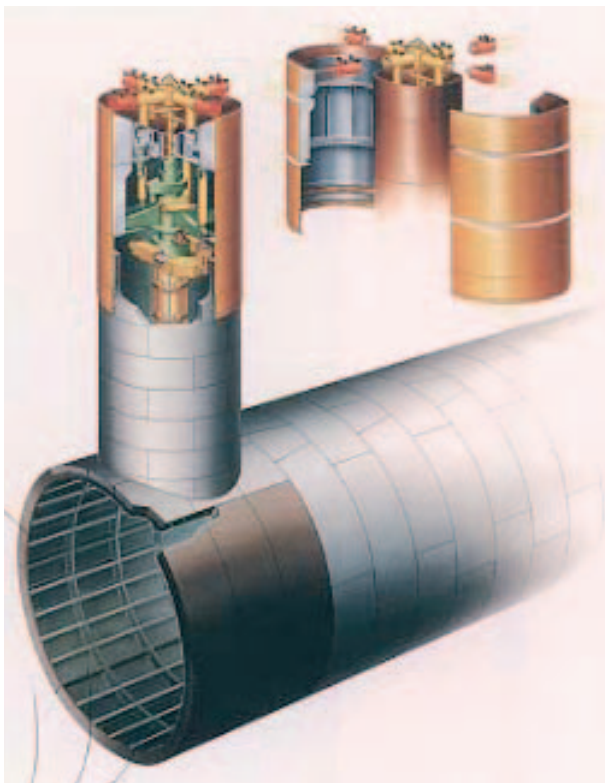
La configuración de las tuneladoras permitirá realizar excavaciones con condicionantes muy variados: perforaciones ascendentes, descendentes, en espiral con capacidad para trazar curvas de diámetro muy pequeño en vertical hacia arriba y hacia abajo; una única tuneladora podrá perforar con diámetros distintos, incluso con perforaciones oblicuas o perpendiculares a la perforación principal.

Esta tecnología se ha desarrollado en Japón y en los años venideros evolucionará y se ampliará su implantación en otros países.

*El último Plan Estratégico de la UE fija para 2020 el objetivo de desarrollar una "Tuneladora Universal".*

La configuración de la cabeza incrementará su versatilidad actual adaptándose a las necesidades que plan-

Fig. 16.  
Ampliación del  
ámbito de  
aplicación de  
las tuneladoras.



teen los proyectos en relación con la forma y el tamaño de la sección de excavación necesaria.

La sección circular seguirá siendo la más utilizada, no solo para túneles hidráulicos, ferroviarios y de metro, sino también para túneles de grandes dimensiones, superiores a 15m de diámetro (escudo de presión de tierra de D=15,20m, túneles de la M-30 en Madrid).

Las tuneladoras de cabezas múltiples en disposición horizontal o vertical, desarrolladas en Japón en los últimos años, se están actualmente utilizando en la excavación de estaciones y otros proyectos especiales, en los que la disposición de las cabezas se adapta a la forma de excavación deseada, incluyendo las secciones rectangulares.

Es previsible que esta tecnología japonesa perfeccionada, en un futuro próximo, se utilice también en proyectos similares en otros países.

*El gran impulso innovador que experimentará la maquinaria de excavación de rocas y suelos, y en particular las tuneladoras, se realizará como consecuencia de la aplicación en su construcción de la Mecatrónica y de la Nanotecnología, presumiblemente, bien entrado el presente siglo. (La Mecatrónica 2010? y la Nanotecnología 2025?).*

La Mecatrónica, que se inició en Japón en 1980, producirá productos y máquinas cada vez más "listas".

Los componentes mecatrónicos de las máquinas tendrán, como una parte integral de estos, un software específico.

*Estos componentes permitirán una mejor utilización de la energía y de los recursos disponibles en las máquinas, un manejo más fácil y una mayor versatilidad de estas.*

Estos componentes tendrán la capacidad de aprender, de autoadaptación y autocalibración. El software específico de cada componente integrará procesos lógicos de decisión ante incertidumbres como: el neuronal, el modelo de la "lógica difusa" (fuzzy logic) y sus variantes, que permitirá desarrollar robots más evolucionados que los actuales.

La Nanotecnología revolucionará el futuro en multitud de campos desde el industrial al alimentario.

En relación con su aplicación a la construcción de máquinas, permitirá la fabricación de productos y compuestos diseñados con propiedades de acuerdo a unas especificaciones determinadas. Serán productos más baratos y más fáciles de fabricar y de manejar. *La Nanotecnología hará posible la fabricación de máquinas con un menor peso y coste y más eficientes, más rápidas, más fiables y seguras con un menor consumo energético y con un grado de automatismo y robotización muy superiores a los actuales.*

La durabilidad de estas máquinas será también mayor y, por tanto, los costes de mantenimiento serán menores.

Estos avances tecnológicos permitirán, en un futuro no muy lejano y dentro de este siglo, que la construcción en general y las obras subterráneas en particular sean más seguras y con un menor coste.

#### 3.2.4. Revestimientos

Los revestimientos en los túneles y en las obras subterráneas desempeñan una función crucial en su estabilidad durante la construcción y en su seguridad durante el período de su vida útil.

La primera función que cumplen es la de asegurar la estabilidad en los momentos iniciales de la excavación y que puede llegar a ser crítica en determinadas circunstancias con suelos blandos o rocas blandas con importantes recubrimientos.

La práctica habitual es instalar un refuerzo o sostenimiento inicial y posteriormente colocar un revestimiento definitivo.

El refuerzo o sostenimiento inicial se compone de elementos como el hormigón proyectado, bulones, cerchas y mallazo metálico generalmente.

Para mantener estable el frente del túnel excavado en rocas blandas inestables, es necesario colocar, en el menor tiempo posible, un sostenimiento adecuado lo más próximo al frente que sea posible.

El desarrollo de nuevos métodos más eficientes de colocación de estos sostenimientos así como la aplicación de nuevos materiales para el sostenimiento serán objetivos preferentes para los próximos años.

El desarrollo de la robótica permitirá colocar con mayor rapidez y eficacia el sostenimiento en el frente. Precursores de este tipo de máquinas son los robots gunitadores actuales.

Los hormigones proyectados experimentarán importantes modificaciones en su composición y en sus propiedades de modo que podrán fabricarse con las características de colocación, resistencia y durabilidad adecuadas a las características del terreno que tiene que reforzar.

El uso de diferentes fibras de acero, y carbono, así como la utilización de polímeros permitirá conseguir las características: de resistencia a compresión, flexotracción y tenacidad necesarias.

El hormigón proyectado viene utilizándose tradicionalmente como un revestimiento provisional (sostenimiento), ya que sus características de menor densidad, menor resistencia y mayor permeabilidad que los hormigones colocados con encofrado no aconsejan, en la mayoría de los casos, su utilización como revestimiento definitivo.

Sin embargo, en un próximo futuro el hormigón proyectado se utilizará habitualmente como un material adecuado para formar parte y para ser utilizado como revestimiento definitivo.

El proyecto Europeo BRITE-EURAM, en el que participa un grupo de empresas de Alemania, Austria e Italia, ha desarrollado un nuevo hormigón proyectado más denso y menos poroso y que consigue unas resistencias finales a compresión un 50% superiores a las actuales.

El nuevo hormigón proyectado, que ha sido utilizado experimentalmente en los más importantes túneles en construcción en Alemania y Austria, es además más económico y más ecológico que el que se viene utilizando actualmente.

Los aditivos y acelerantes de fraguado que se utilizan habitualmente contaminan el agua subterránea al atravesar los revestimientos de gunita, pueden bloquear los sistemas de drenaje, contaminan el agua y suelo en su circulación por la solera del túnel, y son de naturaleza cáustica y nociva para la salud.

Este nuevo hormigón proyectado no necesita acelerante de fraguado y utiliza un aditivo no alcalino. Este nuevo aditivo retrasa el fraguado unos 3 minutos, los necesarios para proyectar el hormigón e incrementar la adherencia con la roca o suelo, produciendo un endurecimiento muy rápido, objetivos fundamentales para conseguir estabilizar las excavaciones.

El cemento que utiliza no contiene yeso o en ínfimas proporciones, ya que este produce retraso en el fraguado del hormigón convencional, razón por la que necesita un



Fig. 18. Túnel revestido con dovelas prefabricadas.

acelerante de fraguado que perjudica a las propiedades finales del hormigón proyectado.

Los sostenimientos tradicionales de hormigón proyectado, cerchas y mallazo metálicos, cederán protagonismo a los nuevos hormigones proyectados con fibras de acero y de carbono, sin cerchas ni mallazo, con un incremento sustancial de la calidad y de la durabilidad del hormigón proyectado.

Este nuevo tipo de sostenimiento permitirá incrementar los ritmos de avance en un 50%.

Otra tendencia que se ensayará en el futuro, será el desarrollo de espumas resistentes de fraguado rápido y muy rápidas y fáciles de colocar como sostenimiento, lo que permitiría la reducción de los tiempos de colocación del sostenimiento y por tanto del ciclo de avance.

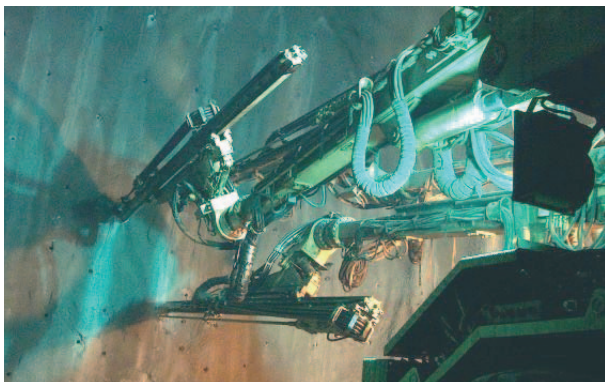
En un futuro no muy lejano se desarrollarán y utilizarán también, habitualmente como revestimiento, los hormigones poliméricos más ligeros, resistentes y de mayor durabilidad que los hormigones tradicionales. Estos hormigones conseguirán características resistentes, previamente prefijadas, utilizando resinas y otros polímeros en unión con el cemento Portland y distintos tipos de fibras.

El progreso en las cualidades y calidades de los revestimientos definitivos de las obras subterráneas en general y de los túneles en particular, es un objetivo muy importante para los próximos años.

El Plan Estratégico de la Unión Europea tiene como objetivo, para 2010, desarrollar sistemas de revestimientos "inteligentes" capaces de adaptarse a las acciones ejercidas por las rocas y suelos por ellas soportadas, permitiendo la flexibilidad suficiente para absorber el rango de deformaciones previsto junto con una resistencia adecuada.

Es además, objetivo en los años venideros, mejorar sustancialmente la calidad integral de los revestimientos definitivos de las obras subterráneas, confiriéndoles unas características más resistentes tanto estructuralmente como de resistencia al fuego y al ataque físico-químico por el agua subterránea de infiltración y por la atmósfera agresiva de los túneles en servicio.

Fig. 19. Mejora en capacidad y rendimiento de los equipos de perforación. A la derecha, Fig. 20. Sistema de extracción por cintas transportadoras.



Las superficies de los revestimientos deberán presentar un mejor acabado, con superficies más lisas de colores claros e impermeables que permitan, además de una menor absorción lumínica, una fácil limpieza de estas.

El desarrollo de nuevos materiales compuestos, de los hormigones polímeros con utilización de fibras y aditivos, de la mecatrónica y de la nanotecnología, permitirá conseguir, en los años venideros, importantes progresos en los objetivos marcados, que tendrán una importante incidencia en la seguridad, en la calidad y en la economía de la construcción subterránea futura.

### 3.2.5. Excavación con Perforación y Voladura

El método de excavación con perforación y voladura se viene utilizando desde hace más de 350 años y es, y seguirá siendo, el más utilizado en la excavación de rocas duras y abrasivas.

Las tendencias en la evolución futura de esta técnica constructiva pasa por:

- Conseguir explosivos de manipulación más segura.
- Una mejor utilización de la energía del explosivo mediante un mejor acoplamiento de las características de la roca y del explosivo, que evite el deterioro perjudicial del macizo rocoso y produzca una fragmentación adecuada.
- Reducir los costes de fabricación de los detonadores electrónicos.
- Perfeccionar el diseño y la ejecución de voladuras perimetrales que protejan la roca circundante de las vibraciones producidas por las voladuras.
- Perfeccionar los modelos de predicción de las vibraciones y de los posibles daños al sostenimiento, al revestimiento, a los edificios etc.
- Reducir los tiempos de carga de los explosivos desarrollando explosivos en forma de emulsiones bombeables.
- Mejorar el rendimiento y el control de la perforación, así como optimizar las prestaciones de las bocas y útiles de perforación.

### 3.2.6. Otros Métodos de Excavación

El impulso innovador debe experimentar nuevos métodos de fragmentar la roca que resulten seguros y económicamente rentables.

En la búsqueda de mayores rendimientos de la excavación en roca que los que se obtienen por los procedimientos habituales de utilización de energía mecánica y energía por reacción química explosiva, se continuará experimentando con técnicas de fragmentación del macizo rocoso como:

- Energía hidráulica, cañón de agua (Rusia tiene desarrollado un cañón de agua; está en fase experimental).
- Utilización de ultrasonidos.
- Utilización de la tecnología del rayo láser de materia.
- Este láser emitirá un haz constante de ondas de materia, mil veces más pequeño que un rayo de luz.
- Energía térmica; chorro de llama combinado con partículas abrasivas
- Utilización del Rayo de electrones.
- Técnicas de ablandamiento previo de la roca con productos químicos.

*La Unión Europea ha fijado para 2020, en el Plan Estratégico, el desarrollo de alguna tecnología nueva para la fragmentación de macizos rocosos (tecnología láser).*

### 3.2.7. Otros objetivos de importancia en la Innovación Tecnológica aplicada a la construcción subterránea

Además de los objetivos de innovación que ya se han señalado, otras actividades importantes relacionadas con la construcción subterránea estarán en un proceso de perfeccionamiento continuado durante los años venideros y contribuirán muy positivamente al control, la seguridad y los costes de construcción y explotación.

Algunas de estas actividades son:

### 1. Desarrollo, perfeccionamiento e implantación de técnicas de visualización del terreno por delante del frente de excavación.

Como complemento al importante desarrollo e implantación que tendrán, en los próximos años, las nuevas técnicas de campo, que permitirán un conocimiento muy completo de los terrenos en los que se ubiquen las obras subterráneas durante la etapa de proyecto, se desarrollarán otras técnicas complementarias principalmente geofísicas que se aplicaran en la fase de construcción y que permitirán "visualizar" el terreno por delante del frente.

El objetivo que se pretende es evitar situaciones imprevistas de riesgo tan perjudiciales a la seguridad y al correcto desarrollo de las obras, como consecuencia de la aparición sorpresiva de fallas, presencia de agua, gas, cambios litológicos bruscos, obstáculos, etc.

Estas técnicas de aviso temprano de "ver por delante" permitirán compensar la pérdida del contacto visual con el terreno, que conlleva la utilización de tuneladoras y obtener mayores niveles de control del sistema de excavación y del terreno circundante.

*El Plan Estratégico de la Unión Europea fija como objetivo para 2020 un conocimiento completo de las condiciones geológicas.*

En proyectos importantes y complejos, la aplicación de la tecnología del microtúnel permitirá realizar perforaciones largas de pequeño diámetro (1m) paralelas a los túneles principales que, además de sondear y drenar el terreno como sondeo piloto, permitiría, en fase de construcción, utilizar técnicas geofísicas como la detección con geroradar colocando antenas receptoras o emisoras a lo largo del sondeo piloto.

### 2. Posicionamientos de precisión por satélite (GPS)

La implantación de sistemas de control remoto de máquinas que realicen las actividades de construcción subterránea, llevará asociada la implantación de sistemas de posicionamiento de precisión utilizando varias señales por satélite (GPS) de las máquinas tuneladoras, rozadoras, excavadoras, etc.

### 3. Control de las actividades subterráneas

El control eficaz de todas actividades subterráneas, exigirá, en los próximos años, el desarrollo de sensores robustos y económicos colocados en las máquinas y en los puntos sensibles del proceso y de los sistemas de comunicación que reduzcan la necesidad de que el trabajador tenga que estar en los distintos puntos en los que se realiza el trabajo, permitiendo además una mejor identificación y localización de posibles fallos o averías en el proceso constructivo.

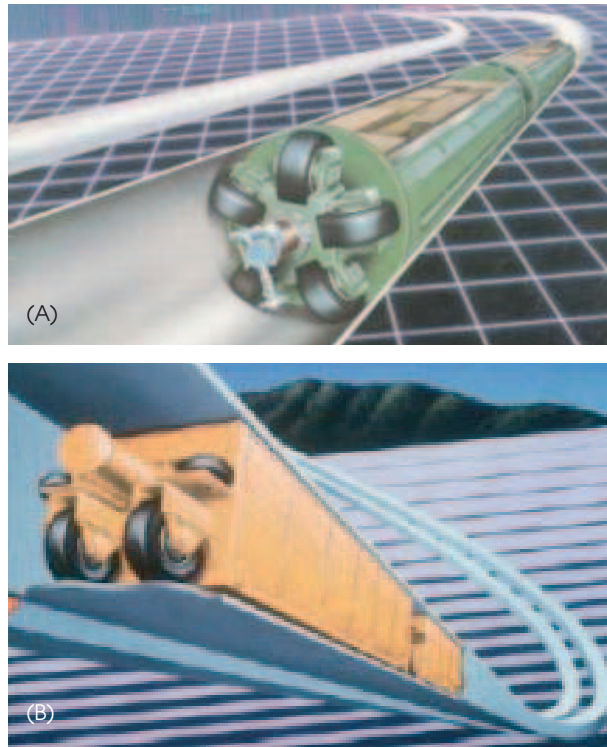


Fig. 21. Desescombrado por vía neumática. (A) Cápsula circular. (B) Cápsula rectangular.

### 4. Extracción de escombros

La extracción de los escombros producidos durante la excavación, es una de las actividades más importantes del ciclo de avance y la reducción de los tiempos necesarios para realizar esta actividad es también un objetivo de la innovación en la construcción de obras subterráneas.

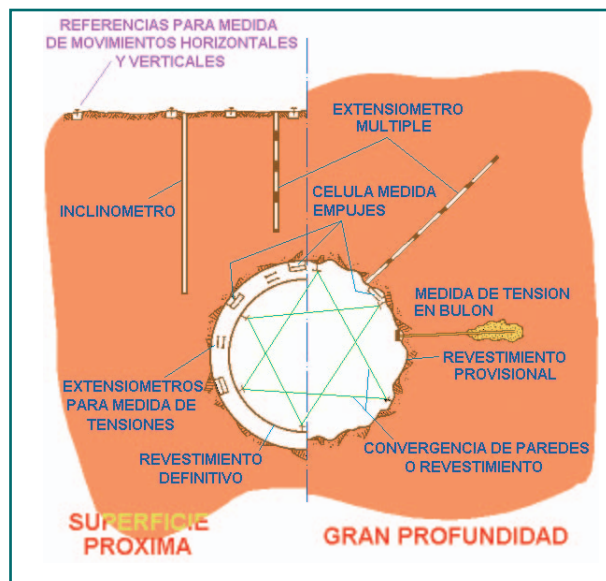
Actualmente es de uso creciente la utilización de cintas transportadoras de alta velocidad en túneles de una determinada longitud, y a través de galerías inclinadas o pozos. Cuando la excavación se realiza con perforación y voladura se instala dentro del túnel una unidad de machaqueo que produzca los tamaños adecuados para el transporte con cinta.

Otros métodos de transporte de escombros se desarrollaran en los próximos años, como el transporte neumático en cápsulas (pneumatic capsule pipeline, PCP) usado con éxito en Japón en el túnel ferroviario de Akima (8km).

Un sistema de transporte vertical ascendente que transporte cápsulas desde el túnel hasta la calle, se está estudiando para un túnel profundo en la ciudad de New York. Este sistema no solo incrementa la seguridad, si no que también reduce la contaminación atmosférica generada por el uso de camiones y el coste del túnel en medio urbano.

Otra técnica disponible es el transporte por tubería (tube transport system) que, previsiblemente adquirirá una mayor implantación de uso.

Fig. 22. Instrumentación y auscultación.



En este sistema el transporte se realiza a través de tuberías de acero de diámetro variable, mediante cápsulas provistas de ruedas que circulan por dentro del tubo, propulsadas por una corriente de aire a una velocidad de unos 12m/s. Cada cápsula puede transporta hasta 3Tm de escombros; este sistema es capaz de conseguir rendimientos de unos 900m<sup>3</sup>/día de escombros transportados.

Este método de transporte de escombros es idóneo para utilizar en túneles largos (> 8Km) en grandes ciudades ya que reduce la contaminación, los ruidos, los accidentes y su coste es la mitad del que resultaría utilizando camiones en medio urbano.

### 3.2.8. Instrumentación

La Instrumentación geotécnica y estructural de la obra subterránea experimentará un desarrollo importante con el uso de microsensores inalámbricos de bajo coste que permitirá la creación de estructuras y obras "inteligentes" que supervisen su propias prestaciones y la evolución de su deterioro a lo largo del tiempo y que, mediante programas es-

pecíficos, permita también diseñar y gestionar su mantenimiento.

## 4. Conclusiones

En el presente siglo XXI, se acometerá en el mundo la construcción de importantes proyectos de ingeniería que permitirán mejorar las conexiones terrestres, por ferrocarril y carretera, entre Países, Continentes e incluso entre Hemisferios.

Gran parte de estos proyectos exigirán la construcción de largos túneles a través de importantes accidentes geográficos, Estrechos y grandes cadenas montañosas.

Proyectos como el Enlace Fijo España-Marruecos con la construcción del túnel ferroviario de unos 39 Km, 28 Km de los cuales discurren bajo el Estrecho de Gibraltar, suponen un gran reto tecnológico, no solo en su construcción si no también en su explotación, para mantener los niveles de seguridad necesarios.

Estos retos tecnológicos que se plantean, serán superados por un gran esfuerzo de innovación tecnológica, que se producirá en el siglo XXI, lo que se está dando en llamar la tercera Revolución Industrial, de la mano de las tecnologías emergentes como: la Tecnología de los nuevos materiales compuestos, la Mecatrónica y la Nanotecnología, cuyos primeros frutos aparecerán en la presente década, con un desarrollo considerable hacia el final del primer cuarto de siglo (2025).

## 5. Agradecimientos

Agradecimiento, por la ayuda prestada en la redacción y preparación del presente trabajo, a los técnicos y personal de Geoconsult: Luis Gil, Paco Megía, José González del Tánago, Manuel Arlandi, Fernando Gómez, Luis de la Peña, Alberto Mozas, Ramón Páramo, J.A. Rivadeneira, Francisco Cornejo, Luis Carlos Toledo, Gema Gálvez y Mónica Hortelano. ♦

### Referencias

- (1) K Construction 2010 future trends and issues; P.Simmonds, J.Clark.CIRIA.
- (2) Use of Pneumatic capsule pipeline for underground tunneling; H.Lin, S. Kosugi. Septiembre 2004.
- (3) New Directions in Rock Mechanics a Forum sponsored by the American Rock Mechanics Association. S.D.Glaser, DN.Doolin; Diciembre 1999.
- (4) Wokshop on Industry-Government-University Partnership in Rock Mechanics and Rock Engineering: Challenges and Opportunities; B.

- Amadei, P. Smeallie, F.E.Henze. ARMA Septiembre 2000.
- (5) A report to the National Science Foundation; Rock Engineering Issues in Underground Urban Infrastructure Construction Workshop on research Needs; Ch. Dowling, P.Smeallie; ARMA Junio 2001.
- (6) Report to the National Science Foundation; Engineering research Opportunities in the Subsurface: Geo-hidrology and Geomechanics. D.Els-worth, Ch. Fairhurst. ARMA Mayo 2003.
- (7) Geoengineering considerations in the optimum use of underground space; R.L.Sterling, J-P.Godard, ITA-AITES 2002.

- (8) Unbounding the future: the Nanotechnology Revolution; Voidspace.org.uk/science.
- (9) Mechatronics Design Concept and its Application to a Large Hydraulic Robot Manipulator for concrete Spraying. G. Schweitzer, M. Monegger et al.
- (10) Sub-urban Renewal; Thanks to new tunneling technologies, real estate trends are dowi down; F. Hapgood.
- (11) Trans-European Transport net work.TEN-T priority projects; European Commision.

# Pronóstico de sequías

## Drought forecasting

*"Alegraos y gozaos en el Señor, vuestro Dios, porque Él os dará la lluvia a su tiempo y la hará descender sobre vosotros, la temprana y la tardía, como otras veces." (Profeta Joel 2,23).*

**José María Vizcayno Muñoz.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
jvizmun@ciccp.es

**Resumen:** Tras unas consideraciones generales sobre sequías, se buscan posibles indicadores previos de estas situaciones, al manejar los datos pluviométricos en forma de medias mensuales, integrados por acumulación desde el inicio del año, de una zona amplia representativa. Se comienza con los datos aparecidos en el Boletín Hidrológico del Ministerio de Medio Ambiente, y se confirman las conclusiones deducidas con los datos oficiales de series más extensas del Instituto Nacional de Meteorología. La conclusión más importante es que a 31 de enero, se puede pronosticar la calificación que va a tener todo el año.

**Palabras Clave:** Pluviometría, Hidrología, Sequía, Indicador

**Abstract.:** The article makes some general observations on droughts and goes on to seek possible prior indicators of these situations on the basis of average monthly rainfall records accumulated from the beginning of the year for a broad representative area. The study begins with the data published in the Hydrological Bulletin issued by the Ministry for the Environment and the conclusions are confirmed by the more extensive official data recorded by the National Meteorological Office. The most important conclusion is that the drought forecast for the entire year may be established by 31 January.

**Keywords:** Rainfall, Hydrology, Drought, Indicator

### 1. Generalidades

Hemos pasado un año hidrológico 2004-2005 muy seco, para algunos sectores sorprendente e inesperado. Fue el de menor precipitación lluviosa de, al menos, los últimos 60 años, y si no llegó a ser completamente catastrófico se debió al suministro del agua existente almacenada en acuíferos y embalses, que con carácter general terminaron exhaustos. No se debería olvidar que la sequía meteorológica es, y será, un fenómeno recurrente y relativamente normal en la Península Ibérica, endémico, esperable. Los que creen en el cambio climático afirman que este problema se acentuará en los próximos años.

La gravedad de los daños y perjuicios ocasionados por estas situaciones conlleva a la preocupación que recogen la Ley de Aguas, la Ley del Plan Hidrológico y

las Guías para la Redacción de los Planes Especiales de Actuación en Situación de Alerta ante una Eventual Sequía, en cada una de las cuencas hidrográficas.

La escasez del agua necesaria para los distintos usuarios tiene su raíz, como primer y principal motivo, en la disminución de las precipitaciones de lluvias, en la sequía meteorológica. Y para intentar paliar los graves daños producidos en estas situaciones anteriormente se ha recurrido a varios métodos, como: rogativas a los Santos, almacenamiento de las aguas en las épocas de abundancia, transporte desde otros lugares que tienen aguas excedentarias (sistemas no muy aceptados, hoy en día, por buena parte de la sociedad), y desalación (en vías de total desarrollo). Aún es pronto para utilizar técnicas de generar lluvias donde y cuando interese, de fabricación industrial de agua,

o incluso de trasladar de lugar el anticiclón de las Azores que parece ser el causante de estos males.

Por eso, desechados por la nueva cultura del agua los antiguos sistemas de conseguir más recursos hidráulicos e intentando en su lugar gestionar solamente la demanda, es decir reducir el consumo mediante la disminución de las dotaciones, la reutilización y la anulación de las pérdidas (lo que resulta prácticamente imposible una vez ya declarada la situación de sequía, si además no hay agua almacenada o no existen almacenes donde guardarla; y con la reutilización, o uso de agua residual depurada, no se genera más recurso sino utilizarlo en mejores condiciones sanitarias) es preciso recurrir a tardías y locales actuaciones de emergencia y a procurar reparar "a posteriori" los perjuicios ocasionados.

Siempre es conveniente gestionar la demanda, ahorrar agua; pero no sólo eso, pues mal se puede gestionar la escasez o la nada, ¿y cómo se gestionan los excesos de agua y las inundaciones? Es necesario entonces guardar y/o retrasar las avenidas en almacenes. En consecuencia habrá que actuar sobre la demanda, pero no sólo, pues además, y al mismo tiempo, sobre el recurso.

Desde luego es buena política intentar adelantar en el tiempo el conocimiento de una futura sequía o desabastecimiento de los usuarios, con meses de anticipación que permitan una actuación paliativa, por lo que se pretende dar normas, crear índices, inventar indicadores, ..., que de forma preventiva, avancen el conocimiento de una situación de escasez y puedan tomarse medidas para defenderse con suficiente, o al menos la mayor, anticipación posible.

La predicción meteorológica es actualmente sólo fiable a corto plazo; y normalmente los datos y cifras más conocidos y utilizados de lluvias se refieren a valores aislados, puntuales, pasados y sin conexión o enlace sucesivo en un periodo amplio de tiempo, que permitan pronosticar que se inicia o avicina la próxima sequía. Pero para que los datos puedan ser útiles a estos efectos hay que cambiar el método y la forma de considerarlos.

Para que las lluvias pasadas puedan servir de indicador de futura escasez para los usuarios habrá que utilizar valores medios de precipitaciones, representativos en una zona suficientemente grande, e integrarlos por acumulación durante algunos meses, ya que la sequía no se produce en un corto periodo, (a este respecto conviene recordar la diferente situación de otros países, por ejemplo Inglaterra donde con 15 días consecutivos sin llover la normativa declara la alerta de sequía) sino que se va generando durante un amplio plazo de tiempo, y aplicar la estadística.

## 2. Boletín Hidrológico semanal

Por comodidad, se ha comenzado utilizando el BOLETÍN HIDROLÓGICO que semanalmente publica el Ministerio de Medio Ambiente, (<http://www.servicios.mma.es/wl-boletinhidrologico>), en sus páginas de Información pluviométrica y concretamente en la denominada TABLA DE DATOS HISTÓRICOS DE PLUVIOMETRÍA en la que figuran los datos de lluvias medias mensuales peninsulares de los últimos 16 años hidrológicos, es decir, ordenado cada año desde el 1 de octubre hasta el 30 de septiembre siguiente. (en el Cuadro 1 se presenta el correspondiente al de la semana 6ª de 2006. Figuran en color los valores superiores a la media.)

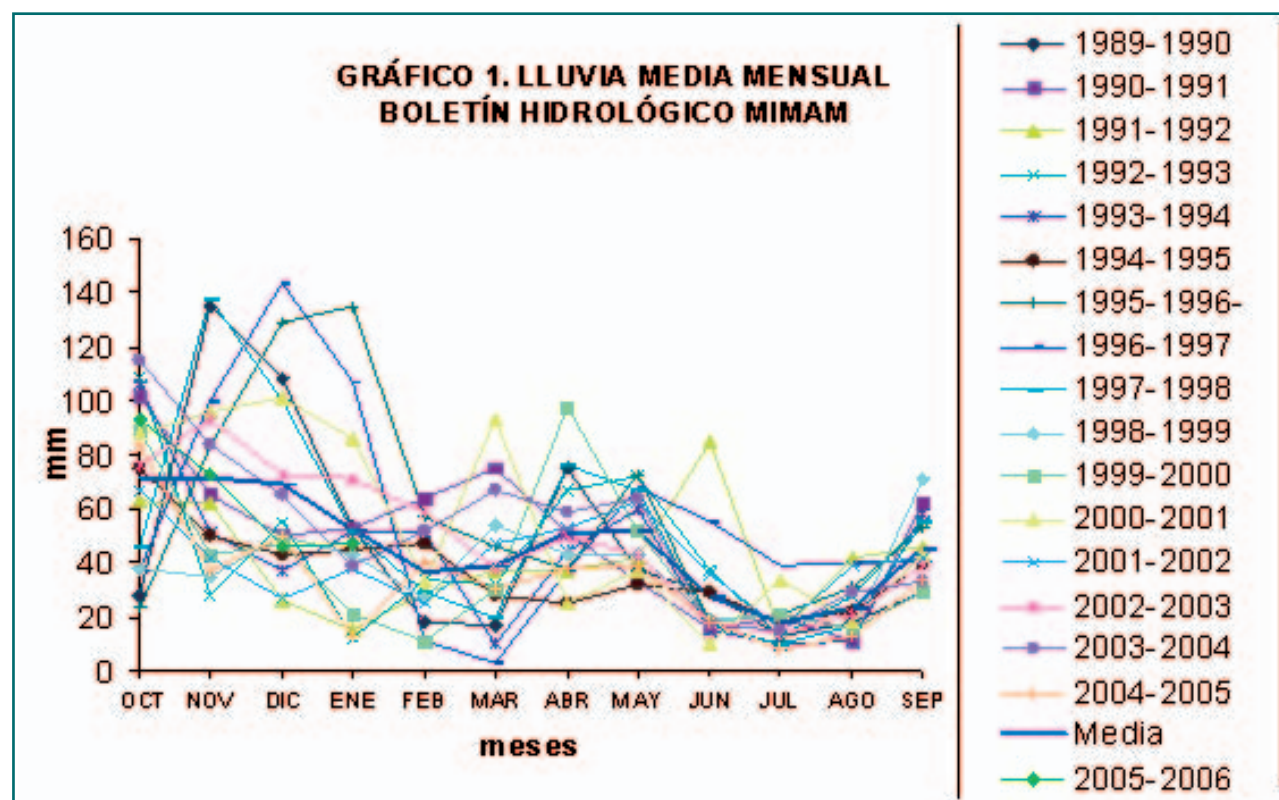
De este Cuadro es difícil deducir inmediatas consecuencias en cuanto a series repetitivas, ciclos, o ritmos sobre escasez de precipitaciones. Aparentemente el desorden es total. Al representar, (Gráfico 1), ese Cuadro, se ha dibujado también la curva de valores medios, y así, en principio, ya se puede apreciar que, con carácter casi general:

- Aparecen 2 épocas de lluvias máximas, la temprana y la tardía, en 2 periodos: el más importante, el primero o temprano, durante los 4 meses de octubre-noviembre-diciembre-enero; y otro máximo, pero secundario, el segundo o tardío, en el trimestre marzo-abril-mayo.
- Hay un pequeño mínimo relativo intermedio.
- Después del segundo máximo la curva es claramente descendente, con valores poco importantes.
- El mes de abril no es el más lluvioso, como afirma el refranero.
- El mínimo absoluto no corresponde ni al inicio ni al final del año hidrológico, sino al mes de agosto. El año pluviométrico debería entonces adelantarse y comenzar el 1 de septiembre y finalizar el 31 de agosto siguiente. El año hidrológico, que contabiliza las aguas fluyentes por los cauces hasta que se origina la escorrentía, lleva lógicamente un desfase o retraso normal de 1 mes después del año pluviométrico

En el total del año, la mayor cantidad de lluvia pertenece o se acumula en el periodo temprano, primer cuatrimestre. Después, durante el siguiente cuatrimestre, de mínimo relativo y segundo periodo lluvioso tardío, la precipitación caída es menos relevante. El resto del año carece de importancia en cantidad lluviosa. Estas consideraciones inducen a configurar los datos de forma acumulativa mensual (Cuadro 2 y su correspondiente representación Gráfico 2) dando a

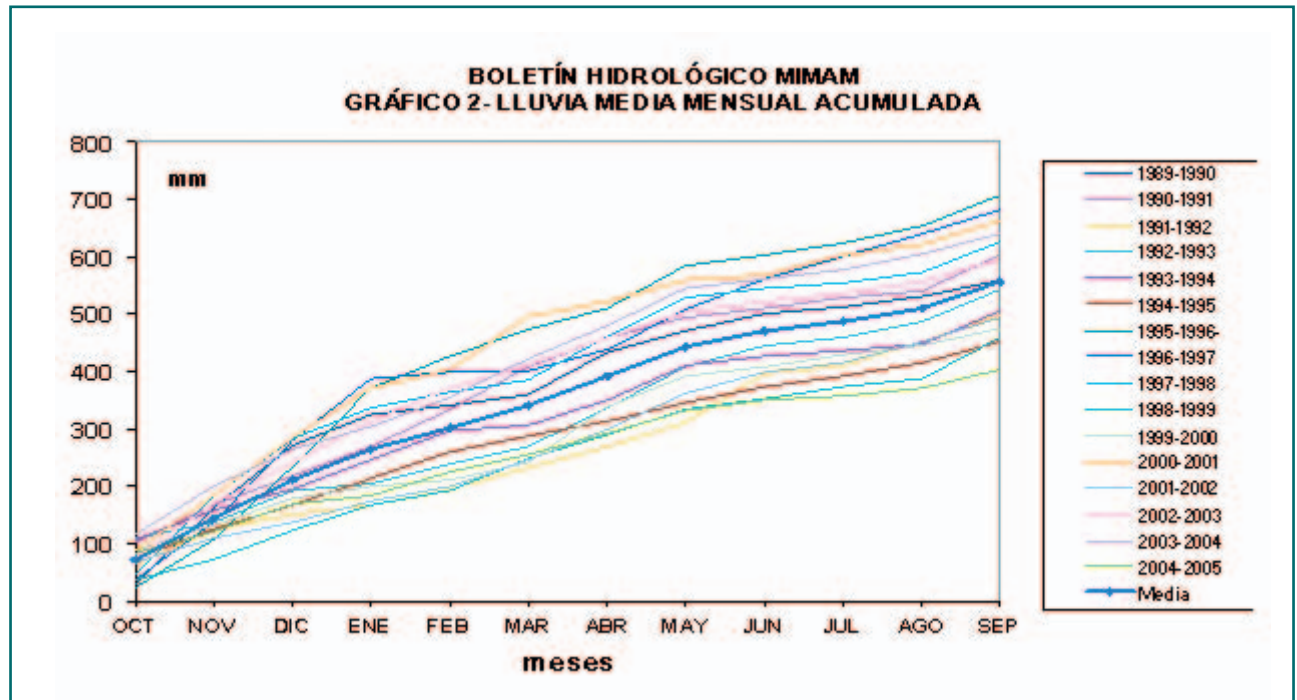
BOLETÍN HIDROLÓGICO MIMAM  
CUADRO 1. TABLA DE DATOS HISTÓRICOS DE PLUVIOMETRÍA

LLUVIA MENSUAL													
AÑO HIDROLÓGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTALES
1989-1990	28	135	108	53	18	17	75	37	29	13	18	29	560
1990-1991	102	65	50	53	64	75	51	33	16	20	11	62	602
1991-1992	63	62	26	15	29	37	37	42	85	14	42	46	498
1992-1993	109	28	55	12	34	32	67	72	37	13	28	55	542
1993-1994	106	51	37	52	51	10	44	60	15	10	11	58	505
1994-1995	75	50	43	45	47	28	25	32	29	18	22	39	453
1995-1996	23	83	129	135	57	46	38	73	18	21	31	53	707
1996-1997	37	100	144	107	11	3	37	68	55	39	40	41	682
1997-1998	46	138	100	52	29	20	76	67	17	10	17	55	627
1998-1999	38	35	50	43	27	54	43	43	19	21	15	71	459
1999-2000	89	43	47	21	11	30	98	52	18	21	16	29	475
2000-2001	88	96	101	86	33	93	25	37	10	34	18	43	664
2001-2002	67	42	27	38	25	47	53	63	36	16	39	42	495
2002-2003	76	93	73	71	59	38	50	43	18	14	21	39	595
2003-2004	115	84	65	39	52	67	59	64	17	15	29	33	639
2004-2005	83	37	50	13	41	30	38	39	18	8	13	34	404
<b>Media</b>	<b>72</b>	<b>71</b>	<b>69</b>	<b>52</b>	<b>37</b>	<b>39</b>	<b>51</b>	<b>52</b>	<b>27</b>	<b>18</b>	<b>23</b>	<b>46</b>	<b>557</b>
2005-2006	93	73	46	47									



**BOLETÍN HIDROLÓGICO MIMAM**  
**CUADRO 2. DATOS HISTÓRICOS DE PLUVIOMETRÍA ACUMULADA**

LLUVIA MENSUAL ACUMULADA												
AÑO HIDROLÓGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1989-1990	28	163	271	324	342	359	434	471	500	513	531	560
1990-1991	102	167	217	270	334	409	460	493	509	529	540	602
1991-1992	63	125	151	166	195	232	269	311	396	410	452	498
1992-1993	109	137	192	204	238	270	337	409	446	459	487	542
1993-1994	106	157	194	246	297	307	351	411	426	436	447	505
1994-1995	75	125	168	213	260	288	313	345	374	392	414	453
1995-1996	23	106	235	370	427	473	511	584	602	623	654	707
1996-1997	37	137	281	388	399	402	439	507	562	601	641	682
1997-1998	46	184	284	336	365	385	461	528	545	555	572	627
1998-1999	38	73	123	166	193	247	290	333	352	373	388	459
1999-2000	89	132	179	200	211	241	339	391	409	430	446	475
2000-2001	88	184	285	371	404	497	522	559	569	603	621	664
2001-2002	67	109	136	174	199	246	299	362	398	414	453	495
2002-2003	76	169	242	313	372	410	460	503	521	535	556	595
2003-2004	115	199	264	303	355	422	481	545	562	577	606	639
2004-2005	83	120	170	183	224	254	292	331	349	357	370	404
<b>Media</b>	<b>72</b>	<b>143</b>	<b>212</b>	<b>264</b>	<b>301</b>	<b>340</b>	<b>391</b>	<b>443</b>	<b>470</b>	<b>488</b>	<b>511</b>	<b>557</b>
2005-2006	93	166	212	259								



cada mes el valor suma de las precipitaciones ocurridas desde el origen del año hidrológico.

Las principales conclusiones de este Gráfico 2 son:

- Todas las curvas son crecientes pues evidentemente son acumulativas.
- Tampoco resulta fácil deducir reglas, cadencias, ritmos, criterios o agrupaciones que permitan pronosticar años y/o periodos secos o húmedos.
- La mayor cantidad de lluvia se concentra en los primeros meses y todas las curvas presentan una fuerte pendiente al principio que luego disminuye sensiblemente.
- Las lluvias tempranas del primer periodo lluvioso son las más importantes en cantidad y definen prácticamente el carácter del resto total del año pluviométrico. Las lluvias tardías del segundo periodo en importancia por su cantidad ya no modifican la calificación que va a merecer el año; esta última consideración se acentuará con la pérdida de eficacia de las lluvias al pasar a escorrentías, pues en esta época, de mayores temperaturas, aumentará la evaporación.
- La calificación que en el verano, época de mayor demanda y al final de cada periodo hidrológico, 30 de septiembre, tendrá cada año: muy húmedo, húmedo, medio, seco y muy seco, está bastante bien definida ya desde su mes de enero, pues las curvas representativas prácticamente desde ese mes son "cuasi-paralelas", no se interseccionan entre sí o lo hacen muy poco y de forma muy oblicua.

Esta última consideración permite pensar que se puede pronosticar ya en enero la calificación pluviométrica que va a tener todo el año y por tanto si va a resultar seco o muy seco, a efectos de sequía. (También sirve igualmente para pronosticar años muy húmedos).

### 3. El Instituto Nacional de Meteorología

Las afirmaciones anteriores se han basado en datos no totalmente representativos, como explica el propio Boletín Hidrológico, pues cada valor medio mensual se ha obtenido como la media aritmética de los valores de 55 estaciones pluviométricas situadas en las poblaciones de mayor importancia en número

de habitantes. Y se dispone de una serie corta de sólo 16 años.

Para obviar estos inconvenientes y poder confirmar las conclusiones anteriores se ha recurrido al Instituto Nacional de Meteorología, que tiene completa la serie de las medias mensuales de todos los pluviómetros peninsulares españoles, ponderado cada uno de ellos con la superficie geográfica que tiene asignada como representativa, correspondientes al periodo comprendido entre enero de 1947 y la fecha actual. Los valores resultan así ligeramente superiores, (del orden de un 10%) pues se han considerado zonas de mayor precipitación como son las áreas montañosas que tienen menor población. (El correspondiente Cuadro, en el que quedan reflejados los valores de estos 58 años pluviométricos no se ha incluido, dada la confusión de números que suponen los datos de 58 filas, años, por 13 columnas, meses y total; y solamente se ha recogido como Gráfica 4 la curva de valor medio, con origen en septiembre).

Con ellos se han formado otro Cuadro y su correspondiente Gráfica con los valores acumulados, también desde el origen del año pluviométrico, es decir desde el 1 de septiembre (pues se ha visto que el mínimo de pluviosidad coincide con el mes de agosto y también conviene hacerlo ya que la cuantía de la precipitación de septiembre, relativamente importante y colocada al inicio, sirve para reforzar el primer trimestre máximo de lluvias tempranas, sin considerarla al final del año hidrológico donde ya no sirve para modificar la calificación del año). Son el Cuadro 3 y la Gráfica nº 3.

Las conclusiones se pueden repetir, pues prácticamente se confirman las observaciones anteriores.

### 4. Consideraciones finales

Quizás de la comparación entre ambos orígenes de los datos se puedan deducir unas atenuaciones del mínimo relativo y del segundo máximo, o de lluvia tardía, pero sin mayores consecuencias para el propósito de la obtención de un indicador.

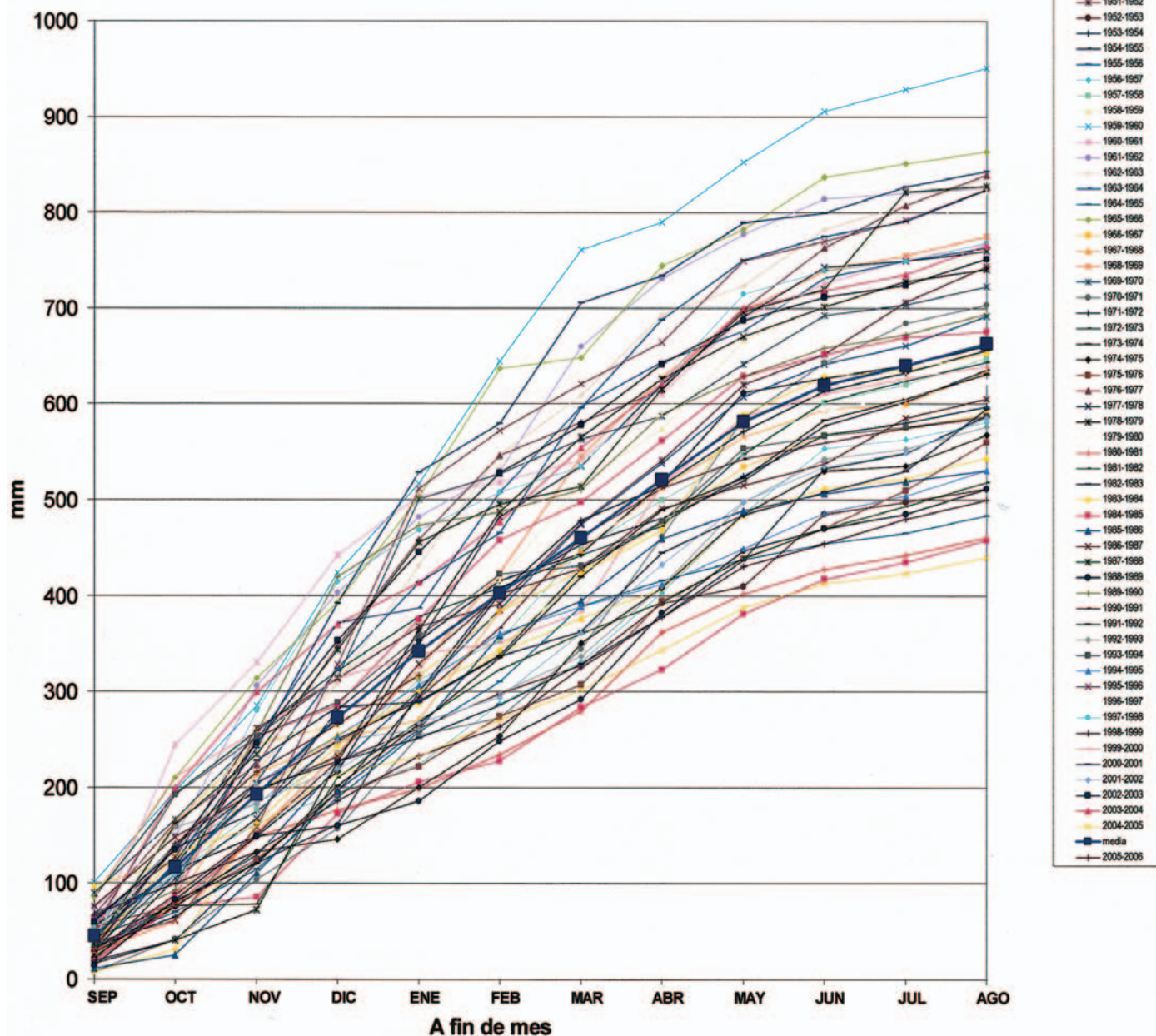
Por lo que se puede afirmar que a 31 de enero se conoce suficientemente la calificación que debe corresponder a la totalidad del año pluviométrico: muy húmedo, húmedo, medio, seco o muy seco, y por tanto el suministro de agua de lluvia en la inmediata primavera a los consumidores directos, es decir, en general, a los agricultores de secano.

Combinando este pronóstico con la cantidad de agua ya almacenada se podrá aventurar el grado de satisfacción que podrá proporcionarse en verano a la

**CUADRO 3. PRECIPITACIÓN MEDIA ACUMULADA  
INM. ESPAÑA PENINSULAR**

AÑO PLUVIOMÉTRICO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
1947-1948	55	113	149	217	353	416	444	517	612	627	640	661
1948-1949	18	75	85	172	206	228	284	323	381	418	435	458
1949-1950	98	123	193	256	288	341	377	407	485	513	522	544
1950-1951	32	80	129	221	301	386	474	538	607	642	661	691
1951-1952	64	127	262	313	368	392	475	541	620	652	706	744
1952-1953	29	88	151	227	262	298	328	392	410	486	498	512
1953-1954	42	137	174	250	291	338	428	476	525	568	580	598
1954-1955	19	41	121	162	300	406	453	481	520	578	602	636
1955-1956	31	109	206	324	414	466	596	688	750	775	790	824
1956-1957	63	112	162	194	224	288	331	404	486	554	564	581
1957-1958	38	112	176	236	313	353	448	500	547	602	620	648
1958-1959	28	78	114	316	375	417	518	575	667	702	725	764
1959-1960	101	196	285	424	517	644	761	790	852	906	929	951
1960-1961	46	245	330	443	504	519	542	611	691	726	750	767
1961-1962	75	149	306	404	482	530	660	731	777	814	820	826
1962-1963	50	142	218	309	432	547	609	693	723	782	809	837
1963-1964	70	99	249	372	387	508	597	644	676	732	749	763
1964-1965	35	70	115	190	258	310	389	416	438	454	466	484
1965-1966	86	210	314	393	503	637	648	744	782	837	851	864
1966-1967	32	164	246	266	317	384	427	475	534	568	575	590
1967-1968	26	78	215	250	271	384	447	514	566	594	601	634
1968-1969	29	61	152	236	324	424	546	628	697	739	755	775
1969-1970	90	167	254	315	501	527	563	588	642	693	704	723
1970-1971	7	42	104	157	255	273	344	462	586	643	684	703
1971-1972	33	65	123	195	294	402	479	515	571	614	632	656
1972-1973	86	193	259	322	379	408	443	473	548	602	624	644
1973-1974	23	82	120	201	266	336	419	489	523	584	606	631
1974-1975	28	75	133	146	200	254	351	408	485	530	535	568
1975-1976	54	78	125	194	222	275	308	394	439	471	511	560
1976-1977	67	164	223	347	459	547	581	615	699	763	807	839
1977-1978	20	105	167	281	351	482	535	620	691	743	749	760
1978-1979	16	40	73	227	364	487	566	626	670	702	728	740
1979-1980	42	185	229	272	321	371	431	480	562	593	608	624
1980-1981	21	76	148	176	198	234	280	362	402	428	442	461
1981-1982	44	77	79	210	269	323	361	393	440	470	494	519
1982-1983	45	118	228	284	289	337	363	445	485	508	530	595
1983-1984	8	31	163	244	301	344	423	469	589	629	635	653
1984-1985	29	85	253	286	375	458	498	562	629	652	670	676
1985-1986	11	25	110	196	261	359	395	459	489	506	519	531
1986-1987	76	149	195	232	329	402	429	491	515	538	586	605
1987-1988	36	160	235	344	456	495	514	616	696	720	821	828
1988-1989	14	83	149	160	186	248	292	382	447	470	486	512
1989-1990	52	93	258	419	474	487	511	590	629	659	673	694
1990-1991	33	140	204	248	293	367	462	512	543	560	575	586
1991-1992	61	134	198	227	251	286	329	378	438	532	549	588
1992-1993	43	159	182	249	261	299	337	410	498	543	553	577
1993-1994	53	193	253	289	358	423	432	478	554	567	576	588
1994-1995	54	141	205	254	307	361	389	412	449	487	504	531
1995-1996	39	61	159	328	512	572	621	664	750	770	792	825
1996-1997	61	99	205	397	528	538	541	589	674	733	776	823
1997-1998	54	109	281	414	469	508	535	623	715	739	749	768
1998-1999	67	100	133	186	233	264	325	378	431	455	480	500
1999-2000	85	212	258	314	339	351	384	516	587	611	627	639
2000-2001	29	121	241	392	529	580	706	734	789	800	827	843
2001-2002	49	137	185	219	268	295	361	433	499	535	550	585
2002-2003	60	135	246	353	445	528	578	641	687	712	724	752
2003-2004	49	199	299	370	414	477	554	621	700	718	735	766
2004-2005	29	130	160	215	233	271	301	344	388	413	423	441
<b>media</b>	<b>45</b>	<b>116</b>	<b>193</b>	<b>273</b>	<b>342</b>	<b>403</b>	<b>460</b>	<b>521</b>	<b>582</b>	<b>620</b>	<b>640</b>	<b>663</b>
2005-2006	31	141	216	266	317							

Gráfico 3. LLUVIAS MEDIAS MENSUALES ACUMULADAS. INM.

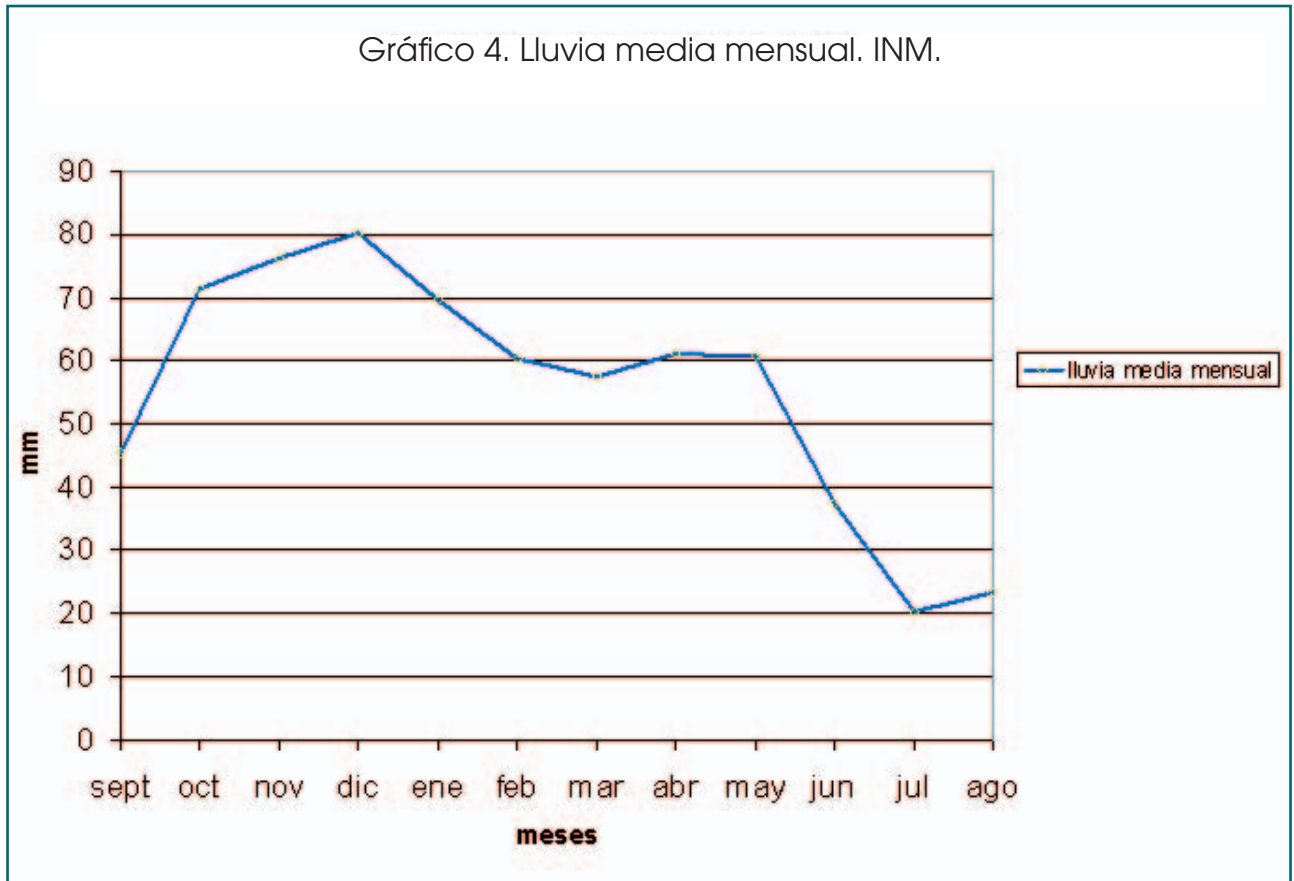


gran mayoría de los usuarios del agua, que son los que se abastecen de la previamente guardada.

Aplicando este indicador al presente año, la suma de precipitaciones de lluvia ocurridas desde el 1 de septiembre de 2005 hasta el 31 de enero de 2006 asciende, según datos del Boletín Hidrológico, a 293mm,

que al compararse con el valor medio de los 16 años de ese mismo periodo, 310mm, permite calificar a todo el año pluviométrico 2005-2006 como ligeramente inferior al medio, levemente seco. Repitiendo la comparación con los datos análogos del Instituto Nacional de Meteorología, 317mm de enero 2006 en relación

Gráfico 4. Lluvia media mensual. INM.



con los 342mm del año medio, se ratifica la calificación. En consecuencia y a nivel medio peninsular español, será un año casi normal para el secano; para los que se abastecen de agua almacenada, como el volumen de agua embalsada es actualmente bastante escaso, incluso menor que el de las mismas fechas del pasado 2005, con una lluvia ligeramente inferior a la media no se producirá recarga suficiente de acuíferos y embalses y por tanto no se puede ser optimista.

Se puede comprobar si este indicador sirve y se verifica también en zonas, cuencas y subcuencas hidrográficas de menor superficie. ♦

#### Referencias

- Datos del Instituto Nacional de Meteorología.
- Boletín Hidrológico semanal del Ministerio de Medio Ambiente.

## El último galardón a Clemente Sáenz Ridruejo Premio Nacional de Ingeniería 2005

El pasado 14 de febrero tuvo lugar en el Salón de Actos del CEHOPU la entrega del título del Premio Nacional de Ingeniería a Clemente Sáenz Ridruejo, entrega que estuvo dominada por la profunda emoción que a todos afectaba al conocer la gravedad de su dolencia que, desgraciadamente llevaría a su fallecimiento el día 1 de marzo.

Era, pues, y a pesar de su ausencia, el último acto en el que brillaba la figura de Clemente, y así lo apreciaban los asistentes cuando oían sus últimas palabras, escritas por él mismo y leídas por su hijo, también Clemente.

Presidió al acto la Ministra de Fomento, acompañada por el Director General de Carreteras, Francisco Javier Criado y por el Director General del CEDEX, Ángel Aparicio, que fue quien presentó el acto. Al Presidente de la Real Academia de la Ingeniería, Enrique Alarcón correspondió pronunciar la "Laudatio" del premiado con las siguientes palabras:

Excma. Sra. Ministra de Fomento  
Excmos. e Ilustrísimos miembros de la mesa presidencial  
Sras. y Sres.

Queridos amigos:

Quiero empezar expresando mi agradecimiento al Ministerio de Fomento por invitarme a participar en la ceremonia de entrega del Premio Nacional de Ingeniería Civil.

Al mismo tiempo, quisiera ser capaz de llevar a su convencimiento la importancia de este acto que, a mi juicio, es trascendente por tres motivos.

En primer lugar, naturalmente, por la personalidad del ingeniero premiado, Clemente Sáenz Ridruejo, en quien corren parejas la sabiduría y la categoría humana.

También por la rama en la que alabamos su excelencia: la ingeniería geológica,



especialidad frontera con las ciencias, para la que es preciso un contacto frecuente con la naturaleza real y una profunda capacidad de observación y análisis que tiende a menospreciarse en estos tiempos de realidades virtuales.

Finalmente porque, en un país tan reacio a reconocer los méritos profesionales, el Gobierno señala, nada menos que con un Premio Nacional, los valores de una ingeniería que tradicionalmente ha hecho bandera del servicio al bienestar y desarrollo de la sociedad y, al seleccionar a sus premiados, envía a aquella un mensaje directo sobre lo que considera ejemplar y meritorio.

Y ello es especialmente motivador para una profesión que se ha distinguido por evitar protagonismos personales y poner el énfasis en el trabajo en equipo y en la obra bien hecha.

Clemente Sáenz cursó las carreras de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y de Ciencias Geológicas. En su padre tuvo muy próximo un ejemplo a quien emular, pero en su elección pesó también su gusto

por las tradiciones complementarias de estas dos disciplinas: por un lado la aplicación de las ciencias físicas y matemáticas para el proyecto racional de obras de ingeniería, por otro, como decía antes, la observación e interpretación del paisaje natural.

Ambos enfoques han estado presentes desde los primeros planes de estudio en el "alma mater" del profesor Sáenz: *la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid* fundada por Betancourt, el padre de la ingeniería española moderna.

Una escuela caracterizada durante dos siglos por la fuerte selección y a la que se acudía, además de por motivos vocacionales, como un perfecto "paso honoroso" donde contrastar la propia valía intelectual.

Posiblemente él también, como Machado, "cuando era niño soñaba con los héroes de la *Ilíada*".

En esta Escuela ha sido Catedrático durante un cuarto de siglo en la asignatura de Geología Aplicada a las Obras Públicas, cátedra en la que sucedió a su progenitor y en la que ha gozado de una prerrogativa que Gerardo Diego envidiaba al Duero y de que todos los profesores disfrutamos.

*"Quien pudiera como tu  
A la vez quieto y en marcha  
Contar siempre el mismo verso  
pero con distinta agua"*

Mariano Carderera decía en 1899 que la Escuela se caracterizaba por exigir "constancia, trabajo asiduo y severa disciplina" virtudes todas que cuadraban perfectamente con el espíritu que transmitía el profesor Sáenz a sus alumnos si hacemos excepción de la presunta "severidad" ya que, al contrario, él conseguía la participación entusiasta de los estudiantes gracias a la amabilidad de su trato, al entusiasmo contagioso por la disciplina que enseñaba

y a su ejemplo de sabiduría, generosidad y calidad humana, virtudes características de los grandes maestros como él.

Esa misma maestría es reconocida por los compañeros de profesión que han podido aprovechar su experiencia estudiando sus más de 100 artículos, comunicaciones a congresos o monografías.

Además de estas publicaciones de uso general, Clemente Sáenz ha participado activamente como responsable directo o asesor en numerosas obras de infraestructuras.

Si como norma general en ingeniería, el conocimiento de las leyes naturales es necesario para construir los artefactos que deben funcionar en ella, en el caso de las grandes infraestructuras eso es especialmente cierto ya que hay que contemplar el conjunto de obra y territorio a escala geológica tanto en dimensiones como en tiempo.

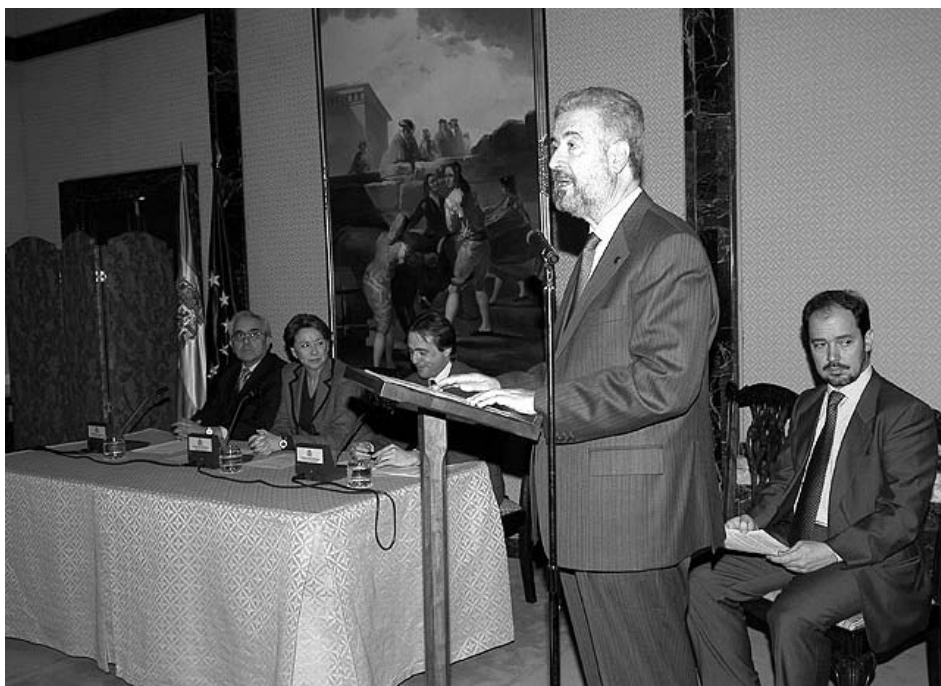
Las brutales acciones que se desarrollan deben ser previstas tanto si se desea evitarlas como si se decide desafiarlas conscientemente apoyándose en bases racionales, y aquí cabe recordar la opinión de Virgilio: "Esta es la primera preocupación para el hombre, conocer la tierra y señalar las maravillas que la naturaleza ha puesto en ella" o el lema: "Observación y cálculo" de la Real Academia de Ciencias que vienen como de molde para definir la actividad profesional de Clemente Sáenz.

Desde 1956 se acumulan en su Curriculum intervenciones relacionadas con grandes presas, túneles, trazados de carretera y ferrocarril, cavernas para centrales hidráulicas, canales, abastecimientos de agua, centrales nucleares o térmicas, urbanismo y ordenación del territorio, etc.

Entre ellas se encuentran estudios para obras míticas de la ingeniería española como Aldeadávila, Valdecañas, Belesar, el túnel de Talave, los trazados de Alta Velocidad desde Madrid a Sevilla, Lérida o Segovia, etc.

También ha influido en el progreso del conocimiento desde sus puestos en la Administración como la Dirección del Servicio Geológico de Obras Públicas o el Consejo de Obras Públicas y Urbanismo.

En todos estos casos su conocimiento tanto del territorio como de la ingeniería



Enrique Alarcón, Presidente de la Real Academia de la Ingeniería.

ha sido fundamental para la llegada a buen puerto de las obras y su generosidad en el esfuerzo le ha ganado el respeto y aprecio de toda la profesión.

Quisiera destacar ahora un aspecto de su dedicación: el mantenimiento de grupos profesionales, al que los ingenieros españoles dedicamos poco tiempo en comparación con la pujanza que tiene en otros países.

Por ejemplo, la creación de la Institution of Civil Engineers en Inglaterra fue en 1818 e instituciones semejantes se crearon en Europa, Bélgica, Alemania, Francia y Estados Unidos entre 1840 y 1850.

En todas ellas eran comunes las finalidades: la salud, la seguridad y el bienestar de la población pero también algunas actitudes como la expresada en el primer código ético de la American Society of Civil Engineers cuyo sexto y último artículo establecía la obligatoriedad de no hacerse publicidad, idea ciertamente extrema en esta "edad del hierro" pero congruente con la falta de búsqueda de protagonismo a que hacía referencia al comienzo de mi charla.

En España la Asociación de Ingenieros de Caminos nació en 1903 como corporación privada al crearse el Instituto de Inge-

nieros Civiles y el Colegio fue creado por Decreto en 1953, como corporación de Derecho público.

En la dinamización de estas organizaciones ha tenido nuestro protagonista de hoy un papel destacado ya que ha sido Vicepresidente del Instituto de Ingeniería de España y es Presidente de la Asociación de Ingenieros de Caminos y Vicepresidente del Colegio.

También, ha sido Presidente de la Asociación Española de Geología aplicada a la Ingeniería.

En estos puestos, además de organizar actos sobre temas profesionales de actualidad, ocuparse de la defensa de la profesión y de la calidad de los trabajos ha tenido iniciativas destacables entre las que me gustaría citar su contribución a la creación de la Colección de libros del Colegio cuyo Comité preside y en la que aparecen obras del más variado interés técnico y cultural.

Para acabar quisiera comentar algunas de sus aficiones.

El Anuario de los Ingenieros de Caminos era una curiosa publicación donde uno se confesaba ante los compañeros. Pues bien, en el de 1970, Clemente declaraba

que sus aficiones vocacionales eran la espeleología, la arqueología y la historia.

No sorprende que el amor al paisaje vaya acompañado por el conocimiento y amor al patrimonio cultural en una persona acostumbrada a explorar in-situ el territorio.

Clemente Sáenz ha dejado muestra de ello en algunas publicaciones como las dedicadas a "Soria medieval y sus castillos" o al "Patrimonio geológico del Camino de Santiago". También en las revistas "Castillos de España" y "Celtiberia" publicada por el C.S.I.C.

Como muestra de su voluntad de defensa del patrimonio monumental citaré las acciones que encabezó para detener un malhadado proyecto de carretera dentro de la hoz del Duero que conducía a la destrucción del entorno de San Polo y San Saturio.

Como dice él mismo en su artículo sobre "Ingeniería civil y naturaleza humanizada": "...hasta las adherencias literarias de un paisaje forman parte del Patrimonio: los versos de Machado y las Leyendas de Gustavo Adolfo Bécquer fueron el mejor escudo... de la ciudad de Soria".

No es sorprendente por ello que sea patrono-fundador de las fundaciones "Ingeniería y Sociedad" y "Desarrollo y naturaleza" que muestran su interés por patrocinar una ingeniería que contribuya a la sostenibilidad.

Su experiencia con los alumnos le ha permitido también organizar excursiones memorables con los miembros de estas sociedades donde se mezclaban en las sabias dosis que sólo él es capaz de ponderar, la geología, el arte y la historia. Por supuesto las llevadas a cabo en el Camino de Santiago pero también la del Camino de San Millán a Medinaceli siguiendo en su aniversario la ruta que llevó a Almanzor al desastre.

En reconocimiento a sus conocimientos y trabajos las Reales Academias de Historia y Bellas Artes de San Fernando, le han elegido Académico Correspondiente.

Al otorgar el Premio Nacional de Ingeniería Civil del año 2004 se alaba la competencia técnica y la creación y transmisión del conocimiento, pero también la generosidad en la entrega al movimiento asociativo y al equilibrio de conceptos en



Clemente Sáenz Sáenz agradece el Premio en nombre de su padre.

tre técnica y cultura del gran ingeniero y humanista Clemente Saenz Ridruejo.

A continuación el hijo del galardonado procedía a leer el discurso escrito por Clemente (el último que salía de su pluma) y que era el siguiente:

Excma. Sra., Sres. representantes institucionales, Sras. y Sres.

Queridos amigos aquí reunidos:

Cuando a mediados de diciembre llamé tan cariñosamente doña Magdalena Álvarez para comunicarme esta distinción que hoy me entrega, tras el susto, tuve fuerzas para decirle que este premio me rebasa y me rebosa, por la sencilla razón

de que mi labor ha sido la de colaborar con los más variados equipos con profesionales de gran altura (es así, he tenido suerte). Pero sólo en contadas ocasiones los he dirigido, salvo cuando estuve en la Administración Central. A menudo mi esfuerzo ha consistido en eso que en el ciclismo se llama un gregario, al servicio del equipo.

Han sido de tal relieve las personas con que he colaborado, que esta distinción me llena de orgullo al pensar que se me pueda equiparar con alguna de ellas.

Permítanme un breve repaso, con todo el riesgo de lagunas y olvidos.

En primer lugar, **mi padre**. Se dice que no hay gran hombre para su ayuda de cámara. Le ayudé durante años y cada vez me pareció más grande. Pero no sigo en esa tecla, porque estoy hablando de asuntos familiares.

Tuve la suerte de trabajar con **Mariano Fernández Bollo** y llegar a ser su brazo derecho. Tenía (años 50) oficina en París, en Madrid, en la Dominicana, luego en San José de Costa Rica. Fue él quien implantó en Centroeuropa la Geofísica Aplicada a las O. P. (y luego, con su íntimo Talobre la Mecánica de Rocas) ¿Quieren ustedes creer que gran parte de nuestro tiempo lo dedicábamos a escribir un libro (nonato) sobre las curvas de interés en la ingeniería: la loxodroma, la lemniscata, la catenaria, las clotoides, etc? Me estaba enseñando técnica con "pedigree".

Algo parecido con **José Torán**. La primera vez que me contrató (es un decir lo del contrato) aquel hombre brillante que tenía siete oficinas en Madrid (por donde circulaban de redactores jefes Carmiña Martín Gaité y Rafael Sánchez Ferlosio, o de impresor principal D. Jaime Valle-Inclán, mimético de su padre hasta en las cóleras) se me llevó a la tasca del Redruello, junto al Congreso, con una secretaria para tomar notas y nos dieron las cuatro de la mañana en vapores de ginebra. Y así dos noches más. ¿Qué hacíamos?: escribir todos los ítems posibles de geología aplicada, geofísica, geotecnia, correcciones de terrenos etc. etc. que puedan entrar en una obra pública. La verdad es que el libro-guía que salió de allí fue muy útil con el tiempo. Y es que



estamos hablando de auténticos d'orsianos: seamos pragmáticos, sentemos las bases teóricas. Creían en ello, lo predicaban y nos lo transmitían a los jóvenes.

En esa época se instaló entre nosotros la pedagogía del fracaso. Sin duda su máximo exponente fue don **José Entrecanales** (inciso: ¿cómo puede ser que a estas alturas no se haya escrito la biografía del ingeniero civil español más destacado del siglo XX?), Pues bien, don José, antes de contarte sus grandes obras, te contaba sus descalabros. Yo fui muy amigo de **Juan Benet**: viajamos mucho juntos, dimos conferencias al alimón, bromeábamos ante manteles... pero también colaboramos en la técnica. Cuando hizo el túnel de Río Ferreiros pasamos varios días tratando de encajar la traza en las pizarras silúricas, pero acabamos metiéndolo en las babosas arcillas bercianas. Como don José, se lo contaba a todo el mundo. Bien es verdad que en esos días apareció su "ópera prima". Su título lo decía todo: "Nunca llegarás a nada". Influencias del gran don José.

Pero claro, si uno ha tenido ocasión de aprender de estos genios, creo que también he tenido la ocasión única de tratar al genio en estado puro (eso de que el genio se hace con esfuerzo y estudio es una paparrucha: el genio es un ente autónomo que aparece de golpe como un gran diamante en una chimenea volcánica). Me estoy refiriendo a **Pepe Espinet**. Era de mi misma promoción, dos o tres años mayor que yo, pero si bien en la Escuela era alumno, antes se había hecho licenciado en Matemáticas y profesor de la Universidad; creo daba ecuaciones diferenciales. ¿Cómo puede ser que un huertanito de Lérida -yo he vivido en su casa semirural al otro lado del Segre- fuera capaz de saber con toda perfección el alemán, el inglés, el francés y otras lenguas romances? ¿Cómo puede ser que tocara todos los instrumentos habidos y por haber? ¿Y que hipnotizase -que no me lo han contado- y tuviese una desafortada capacidad de transmisión de pensamiento? El genio está ahí. Pepe fue director general de no se qué ¿Urbanismo



Entrega del Premio.

tal vez?. Fundó –con dos o tres más– la Escuela de Caminos de Barcelona, pero lo que le interesaba era la Asociación de Amigos del Órgano, que también fundó. Qué puede uno conservar sino admiración y orgullo por un hombre así, que tanto le enseñó.

Déjenme referirme a un humanista con el que tuve mucha relación y por quien sentí enorme devoción: don **Carlos Fernández Casado**. Enfrascado siempre él en grandes proyectos ingenieriles, yo, un chisgarabís, podía llamarle y decirle “don Carlos, están apareciendo mármoles romanos frente a Titulcia”. Por la tarde había dejado todo y estábamos allí. Y así en Bab-el-Mardún de Toledo o en la variante carretera de Soria. ¿Si no se aprendía de ese hombre bueno y sabio, de quién se iba a aprender? Y aquí una llamada de atención: los personajes como don Carlos se rodean de los mejores discípulos. Éstos, con el tiempo, cubren gran parte del tra-

bajo del maestro, que también les pertenece, claro. Pero de ahí a trocear sus obras hay gran distancia.

Algo parecido barrunto con la obra de **José Antonio Fernández Ordóñez**, uno de los varones más decididos, animosos y listos de cuya intimidad he disfrutado. Tal vez en el Colegio de Caminos habría que montar un órgano de preservación de la Memoria Debida.

Pero hablo todo el tiempo de ingenieros de caminos. Y aún podría hablar de muchos otros de los que tanto he aprendido (**Vallarino**, Haçar, por ejemplo) Pero en mis trabajos me he visto amparado por notables de otras profesiones. Recuerdo a **Ángel Galíndez**, el agrónomo a quien ayudé a encajar la mayor presa de España: Almendra. Era en ese momento director de proyectos de Iberduero, tomaba resoluciones sobre el terreno y sobre la marcha. Al cabo de poco dirigía la empresa y des-

pués presidía el Banco de Vizcaya. Volvimos a relacionarnos en la traída de aguas de Bilbao, en las largas conducciones del Zadorra.

Juan Benet solía decirme –y creo llevaba razón– que él y yo no éramos ingenieros, sino geógrafos. Pues yo he tenido al mejor de todos (con perdón) a mi lado: **Eduardo Martínez de Pisón**, unas veces con las botas heladas de los siete miles y otras quemadas por el Etna o el Teneguía. Y qué decir de los geólogos: **Fontboté**, **Carmina**, **Fúster**, o el casi desconocido en España y solicitado fuera de ella: José Antonio Arribas. ¿Y paleontólogos? **Emiliano Aguirre** estuvo a cargo del Laboratorio nuestro en la Escuela, y no olvidemos, por ejemplo, que Atapuerca se debe a Emiliano y todo lo demás son merecimientos añadidos de una escuela viva de paleoantropólogos.

Pero como uno es viejo puede parecer que no ha aprendido nada de la juventud. Hace años que el actual Director del Instituto Geológico, **Pedro Calvo Sorando**, trabajó conmigo en la Escuela. ¿Y qué decir de la novedad, las mujeres? Al principio –puedo presumir de pionero en la Cátedra con *geólogas e ingenieras*– llegaron a tenerme mosca e incluso a enfadarme. Sus puntos de vista solían diferir mucho de los implantados. Hoy no sabría manejarlos sin los criterios de **Charo Vázquez de Parga** o **Marisa Delgado**.

“*Laudemos viros gloriosos et parentes nostros in generatione sua*”, dice el Eclesiástico. En definitiva, laudemos a los que nos precedieron. Es lo que he tratado de hacer aquí. ¡Infinitas gracias a todos!

Finalmente, la Ministra cerró el acto, pronunciando unas palabras de homenaje a Clemente llenas de admiración por su obra.

Fue un acto lleno de tristeza y de orgullo. Se premiaba a uno de nuestros mejores profesionales, muy querido y admirado por todos sus compañeros, mientras se hacían todavía votos por un cambio en su estado de salud que, desgraciadamente, no llegó a producirse. ◆

# Entrega de Premios ANCI 2005 a Tesis Doctorales sobre construcción de obras pública

El 11 de enero la Ministra de Fomento, Magdalena Álvarez, entregó el Premio ANCI 2005 a Tesis Doctorales que recayó en la tesis del Doctor Ingeniero de Caminos, Jaime García Palacios, Titulada "Análisis tensional del proceso constructivo de emisarios y fondeados".

En el acto, que estuvo presidido por el Presidente de la Asociación Nacional de Constructores Independientes (ANCI), Jaime Lamo de Espinosa, se entregaron también dos accésit, uno a la Doctora Ingeniero de Caminos, Simara Cristina de Asís Silva y otro al Doctor Ingeniero de Caminos, Jaime Jiménez Ayala.

En el acto, que estuvo presidido por el Presidente de la Asociación Nacional de Constructores Independientes (ANCI), Jaime Lamo de Espinosa se entregaron también dos accésit, uno a la Doctora Ingeniero de Caminos, Simara Cristina de Asís Silva por su tesis "Optimización de los diferentes sistemas de protección de estructuras respecto a la excavación de túneles" y otro al Doctor Ingeniero de Caminos, Jaime Jiménez Ayala por su tesis "Gestión de contratos de obras de Administraciones Públicas, estudio de los orígenes y causas de las habituales desviaciones presupuestarias."

Durante su intervención, Magdalena Álvarez felicitó a ANCI, por mostrar su compromiso con una sociedad más moderna científicamente, y por estimular la investigación y la innovación universitarias aplicada a la obra pública.



En la imagen, de izquierda a derecha, el director de la Escuela T.S. de Ingenieros de Caminos de Madrid, Juan A. Santamera; el premio-do, el doctor ingeniero Jaime García Palacios; la ministra de Fomento, Magdalena Álvarez; el rector de la Universidad Politécnica de Madrid, Javier Uceda; el presidente de ANCI, Jaime Lamo de Espinosa, y el presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Edelmíro Rúa.

La Ministra de Fomento recordó que precisamente una de las prioridades del Gobierno es la apuesta por la investigación, el desarrollo y la innovación (I+D+i): "es el camino más seguro para conseguir un crecimiento económico sólido, que, a su vez, suponga la creación de empleo de mayor calidad, y por tanto estamos decididos a invertir más y mejor".

## Programa Ingenio 2010

Magdalena Álvarez señaló que prueba de esta política es la elaboración del Programa Ingenio 2010, mediante el cual el Gobierno establece el objetivo de que la inversión en I+D+i

alcance el 2 % del PIB en 2010: "para ello vamos a incrementar en un 25% cada año, durante esta legislatura, el presupuesto I+D+i".

Este compromiso se ha ido cumpliendo en los sucesivos presupuestos elaborados en la presente legislatura. Así, en los Presupuestos Generales del Estado de 2006, se destinan a esta política de recursos 6.510 millones de euros. "Respecto a la situación de partida que encontramos en 2004, supone un incremento del 50% en el periodo 2005-2006 y representa el 1,05 del PIB", dijo la Ministra de Fomento.

De esta forma, el Gobierno espera estimular la inversión finan-

ciada por las empresas, hasta que en 2010 alcance el 55 % del total. El objetivo: poner fin a la caída que ese porcentaje ha sufrido en los últimos años.

Además, Magdalena Álvarez recordó que el Programa Ingenio 2010 incluye una serie de medidas encaminadas a apostar por el talento de los científicos y de los investigadores españoles cuyos objetivos son: "conseguir una mayor inserción de doctores en el sector privado, incrementar de forma cualitativa y cuantitativa, la comunidad científica y aumentar la excelencia investigadora".

En este sentido, la Ministra de Fomento insistió en que España "no se puede permitir el lujo de

perder más talentos. Por ello desde el Gobierno haremos todo lo que esté en nuestras manos para configurar un entorno favorable a la investigación, al cultivo del saber, y al del conocimiento”.

En su intervención el presidente de ANCI Jaime Lamo de espinosa felicitó a los galardonados con el Premio y Accésit y destacó el apoyo de la Asociación de empresas constructoras a las actividades de investigación, desarrollo e innovación. Seguidamente, el director gerente de ANCI Santiago Eguiagaray, en su calidad de secretario del Jurado leyó el acta del fallo del mismo.

A continuación la Ministra de Fomento entregó los galardones al premiado y a los dos accésit, así como una bandeja de recuerdo a los respectivos directores de las tesis. En nombre de los primeros pronunció unas palabras el Premio 2005, Jaime García Palacios, quien agradeció a los tutores de su tesis que uniendo la ingeniería marítima y la estructural le haya permitido el desarrollo de este trabajo sobre emisarios submarinos por flotación y fondeo.

Por su parte el rector de la Universidad Politécnica de Madrid, Javier Uceda, en una breve intervención se congratuló de asistir a una convocatoria de este tipo, que auna los esfuerzos que deben hacerse por todos (Administración, empresas y sistema universitario) para paliar en lo posible el déficit que España tiene en I+D+i, y felicitó a ANCI por la iniciativa y al premiado, de la Escuela Técnica Superior de I.C.C. y P. De Madrid, por el trabajo de investigación que ha merecido este reconocimiento público. ◆

## Ingeniero Humanista. Julio Martínez Calzón “Y Foster me dijo: ‘Ya estoy tranquilo’”

*Reproducimos la entrevista publicada en La Vanguardia de Barcelona realizada a nuestro compañero y Consejero Julio Martínez Calzón por Nuria Escur.*

**T**engo 68 años, nací casualmente en Valencia, me siento madrileño y vivo con una catalana. Estoy divorciado y tengo tres hijos que pasan de los 40. No llego a ser miista, como decía Arniches, pero sí autóctono y políticamente centrado. Me considero agnóstico, pero hay que recurrir a la religión para no perder el sentido de la metafísica.

*–¿Cómo se llevan los ingenieros con los arquitectos?*

–Pues como los matrimonios. Les tengo respeto y admiración. Los entiendo, hice el esfuerzo. Sé perfectamente lo que necesitan. Un arquitecto coartado por un ingeniero puede perder la posibilidad de hacer una gran obra.

*–¿Qué tal Isozaki en su palacio?*

–Es una persona muy culta, muy rica en matices. Una vez estuve en desacuerdo con las soluciones que le deban los suyos ¡tremendas!... Estaban acostumbrados a construir en prevención de seísmos. Aquí no hacía falta.

*–Y usted se saltó las normas*

–Los japoneses defienden su jerarquía. Nadie se atreve a dar su opinión al jefe cara a cara. Yo en mi ignorancia, me salté la jerarquía y, jante el asombro de todo japonés, le dirigí mi opinión de viva voz! Y creo que le quité un peso de encima. Una vez Isozaki dio el visto bueno, toda la pirámide de gente que tenía por detrás se deshizo

por darme la razón. Se desató el nudo japonés.

*–¿Alguien más olvidado que el ingeniero?*

–Los físicos. Han hecho por el mundo muchos más que arquitectos e ingenieros juntos.

*–¿Quién es el que manda?*

–En todo el edificio hay un director de orquesta: el arquitecto. La sociedad siempre busca un mandarín. Yo sólo quisiera ser un buen chelo... y de vez en cuando tener un solo e interpretar una buena suite de Bach.

*–¿Cómo es Foster trabajando?*

Le presenté mi solución, muy novedosa, a la torre de Colse-rola. Algunos arquitectos españoles recelaban de ella. Pero él me escuchó atentamente. Al final me dijo “¡Uf! Ya estoy tranquilo. Ahora sé que la torre se puede construir. No estaba seguro”. Ese es el mayor elogio que puede recibir un ingeniero.

*–Y si un día se cae la torre, ¿a quién buscarán: a Foster o a usted?*

–Antes el responsable total era el arquitecto. Hoy la ley permite que cada uno lo sea por su lado: podría ser exonerado un arquitecto si es el ingeniero que se equivoca.

*–¿Muchas decisiones graves?*

–A veces hay que tomar decisiones muy duras y muy rápidas: cortar, ensamblar....

*–Como un cirujano*

–Puedes matar al paciente o salvarlo.

*–¿Cuál es el edificio más feo de España?*

–¡Un puente de Orense! En el extranjero hay más horrores, como esos edificios de Frank Gehry, Ginger & Fred, en Praga.

*–¿Con quién hablo ahora: con el ingeniero, el filósofo, el músico o el pintor?*

–Más allá de mi compromiso con la ingeniería está otro, más radical aún, con la cultura. Nada cartesiano, lo sé, es que no quiero desgajarme. Etimológicamente, ingeniero es el que utiliza el ingenio.

*–¿Intelectual antes que ingeniero?*

–Yo diría ingeniero artista. De pequeño ya me di cuenta de que yo era raro: fui a ver una película de Mario Lanza y todos salieron aborreciendo la ópera menos yo.

*–Usted ve un edificio como un ser vivo.*

–En las fachadas veo rostros, tersos unos, con arrugas otros. Los edificios son como las personas: unos lucen una belleza inmediata pero impostada; otros; tras su normalidad, maravillas. La Bauhaus sabía eso.

*–¿Y si el edificio fuera usted?*

–¡Entonces me gustaría ser una construcción de los años cincuenta! Una de esas estructuras tan trabadas en la mate-

# normas para la publicación de artículos en la Revista de Obras Públicas

## 1. Normas generales

1.1. Los artículos que se presenten a la ROP deberán cubrir aspectos de política sectorial, científicos, técnicos o históricos y culturales relacionados directamente con la ingeniería civil presentando, además, la debida actualidad.

1.2. La ROP, siguiendo los criterios técnicos y científicos que corresponden a una publicación del prestigio de ésta, someterá a su COMITÉ DE REDACCIÓN cuantos artículos se reciban en su domicilio editorial. Este Comité trasladará dichos artículos a los expertos que se acuerden quienes serán los que decidan acerca de la idoneidad de su publicación. Los informes serán trasladados a los autores y las decisiones asumidas serán inapelables.

1.3. Los artículos deberán ser totalmente inéditos, y no podrán ser publicados en otra revista en el plazo de un año sin consentimiento del autor y de la dirección de la ROP, siendo en cualquier caso necesario hacer referencia a ésta.

1.4. La dirección de la ROP se compromete, en caso de aprobación del artículo, a publicarlo en su integridad, salvo que, por cualquier causa se acordase lo contrario con el autor.

1.5. Tendrán siempre preferencia aquellos artículos que versen sobre temas de interés para el mayor número posible de los lectores de la ROP, es decir, para el mundo de la ingeniería civil, evitando aquellos que caigan en una acusada especialización.

## 2. Estructuración del manuscrito

2.1. Los artículos principales serán publicados en uno de los siguientes apartados generales de la ROP:

- ◆ Política de Obras Públicas
- ◆ Ciencia y Técnica de la Ingeniería Civil
- ◆ La Actividad del Ingeniero
- ◆ Historia y Cultura de la Ingeniería Civil

2.2. Como regla general, los originales de estos artículos principales no sobrepasarán las 12 páginas escritas por una sola cara, incluyendo gráficos y bibliografía. El número de dibujos, fotografías o gráficos no será superior a 10.

2.3. Tanto los gráficos como las fotografías deberán ser de la mayor calidad, no aceptándose las fotocopias, tanto en color como en blanco y negro. Se recomienda el uso de soportes magnéticos de alta resolución, admitiéndose asimismo el uso de diapositivas y de papel (en blanco y negro o color), tamaño mínimo de 13x18 mm.

2.4. Los comentarios a artículos publicados o las opiniones sobre temas de actualidad, serán publicados en una sección especial denominada "Debate y Opinión".

2.5. Los originales de estos comentarios tendrán una extensión máxima de 4 páginas, incluyendo gráficos y bibliografía. El número de dibujos, fotografías o gráficos no será superior a 5.

2.6. La ROP publicará, periódicamente, las reseñas de las Tesis Doctorales presentadas en las distintas Escuelas de Ingenieros de Caminos, con su resultado. De aquellas que, además, se consideren de interés adicional, se podrá publicar un resumen con un máximo de tres páginas de la Revista.

2.7. Se incluirá un breve resumen del artículo, de no más de ocho líneas, que será publicado al frente del mismo. Si es posible, se acompañará una traducción de dicho resumen al inglés, haciéndose cargo de la misma la ROP en caso de que no se acompañe.

2.8. Los artículos deberán presentarse en soporte magnético, especificando el tratamiento de textos empleado que será uno de los habituales en el mercado.

2.9. Se harán constar los siguientes datos:

Título del artículo, que deberá ser corto y enunciativo.

Nombre del autor o autores, sus títulos profesionales y académicos y señas completas.

Cinco palabras clave que permitan la localización del artículo

2.10. En la redacción del artículo se empleará una forma de expresión clara, evitando frases intrincadas, repeticiones y, especialmente, el uso de la primera persona y (salvo excepción en los artículos que así lo requieran) las anécdotas personales.

2.11. El texto se ordenará claramente, con titulares intermedios. A fin de hacer atractivo el esquema del artículo, se procurará que haya un titular intermedio, al menos, cada dos páginas del original, autorizándose a la Dirección de la ROP a intercalarlos, previo acuerdo con el autor, en los casos en que se considere necesario.

2.12. Se autorizará el uso de la letra cursiva.

2.13. Se procurará incluir toda serie de mapas, planos, dibujos y gráficos que se adjuntarán a los originales debiendo ser todos ellos de la mayor calidad posible para su correcta reproducción. De manera excepcional, la ROP se reserva el derecho de repetir, a su costa, aquellos originales que lo justifiquen, mejorando así, si es preciso, la calidad de los remitidos.

2.14. Todas las ilustraciones deberán ir numeradas correlativamente y con pie de foto.

2.15. Será imprescindible incluir referencias bibliográficas cuando sea posible, las cuales se ordenarán al final del artículo e irán numeradas correlativamente.

2.16. Se evitarán, en lo posible, las notas a pie de página.

## 3. Artículos en lengua inglesa

La ROP podrá publicar los artículos bilingües (español e inglés) que se refieran a asuntos que presenten interés para sus lectores de lengua inglesa. En este caso, la longitud no sobrepasará los siete folios, además de cuantas fotografías e ilustraciones se consideren precisas.

## 4. Cartas del lector y contestación a artículos

La ROP aceptará, siempre, las cartas de los lectores y las contestaciones y réplicas a los artículos publicados.

A fin de mantener la actualidad debida, el plazo para remitir estos comentarios es de tres meses a partir de la fecha de publicación del artículo.

## 5. Plazo de publicación de los artículos

La Redacción de la ROP acordará con cada uno de los autores el plazo de presentación de los artículos remitidos, teniendo en cuenta no sólo el orden de entrada, sino la actualidad de los mismos, publicaciones de otras revistas, volumen limitado de la revista, orden temático, etc.

En el caso de no poder llegar a un acuerdo sobre su plazo de publicación, la ROP devolverá el original a su autor.

## 6. Ejemplares para los autores

La ROP entregará gratuitamente al autor del artículo dos ejemplares del número de la Revista en que aparezca su colaboración, así como tres separatas del mismo.

Si el autor deseara mayor número de separatas, deberá ponerlo en conocimiento de la ROP antes de proceder a la tirada de la revista, pasándosele el cargo correspondiente.

mática que daban a la fachada un profundo peso específico, su rigor interno. O el puente de Tortosa.

–¿Me dice que le gustaría ser un puente?

–Pues sí, me refleja mucho. Como metáfora, es un diálogo que el río mayor de España, un río tranquilo, casi europeo, nada torrencial, nada a la española.

–Usted, construye puentes, ¿podría tender uno mental entre Madrid y Barcelona?

–¡Lo vengo diciendo desde hace tiempo!; ¡sería fantástica una sinergia entre estas dos ciudades! Barcelona ha sido durante mucho tiempo una extraordinaria referencia cultural

para Madrid. Su relación se ha vuelto difícil y eso ha hecho perder mucho voltaje.

–¿Pierden los dos?

–Sin duda. Es algo que ya ocurre en la naturaleza: si dos fuerzas separan sus capacidades en lugar de unir las, pierden. Barcelona es una ciudad con un alto nivel de vida, muy armónica. Madrid es la mezcla, el barullo.

–Algo que ver tendrá la clase política.

–No han desarrollado el papel que yo sueño para un país. Han mantenido la cultura como un excipiente lateral cuando es el pilar básico de una sociedad digna. No lo ven.

–Es que usted sueña con un mundo ateniense.

–¡Claro! Mi política ideal o está por llegar o ya pasó. Y no soy del despotismo ilustrado....pero me encantaría que la ilustración regresara sólo unos días para iluminarnos. El siglo de las luces no nos dejó muchas. ¡Nuestra sociedad está a oscuras!

–¿Es más mediocre de lo que merecemos?

–Sí. Siento una intensa insatisfacción porque nuestra sociedad no está a la altura de la excelencia que nos enseñaron los griegos.

–Pide mucho

–Si hay algo de lo que me sienta orgulloso (aunque no llevo a

decir lo de Tagore “Me molesta el halago porque lo mendigo en silencio”) es de que he podido conocer el mundo científico y he entendido el humanístico.

–Deberían aprender algunos intelectuales.

–Muchos humanistas no muestran reparo en decir “no sé nada de matemáticas”. Muy mal. Es un desprecio y un error. Entender un teorema puede ser tan bello como entender una obra de arte.

–“Llega a ser lo que eres”. ¿Lo logrará?

–Eso dijo Pindaro. lo conseguiré si me júbilo. Pero la intensidad de los episodios de mi vida aún no me ha dejado. ♦

## Julio Martínez Calzón publica su ingeniería humanista

El autor de ‘Puentes, estructuras, actitudes’ reivindica el espíritu renacentista.

El ingeniero de caminos Julio Martínez Calzón (Valencia, 1938) hace coincidir la estética, la técnica y la construcción en los 200 obras realizadas y en otros 100 proyectos no construidos desde 1962. Su biografía profesional, Puentes, estructuras, actitudes (Turner, www.turnerlibros.com), con prólogos del filósofo Eugenio Trías y del arquitecto Luis Fernández-Galiano, se presentó en Barcelona y en Madrid. “Me considero un ingeniero humanista y he deseado siempre alinearme con el espíritu renacentista de mirada total sobre lo alcanzado por el ser humano”, declara.

Martínez Calzón, premio Puente de Alcántara 1992 por la Torre de Collserola y 43 años de docencia en las escuelas de Caminos de Madrid y Santander, recorre en el libro una selección de 26 puentes (la mayoría, en colaboración con el ingenie-

ro José Antonio Fernández Ordóñez) y 24 estructuras para diferentes edificios, de arquitectos como Navarro Baldeweg (Museo de Altamira, Teatros del Canal), Pei (Torre Espacio), Cruz y Ortiz (La Peineta), Foster (Collserola), Miralles y Tagliabue (Gas Natural), Moneo (Diputación Cantabria), Isozaki (Palau Sant Jordi) y Vázquez Consuegra (Torre de Cádiz).

“La componente biográfica se expresa a través de las obras principales, obras menores y otras no realizadas, pero el libro tiene la intención de reflejar el estilo o carácter propio de todo el trabajo realizado”, afirma Martínez Calzón (www.mc2.es). “Lo primordial es el intento de transmitir mi manera de entender y proyectar el mundo de las estructuras resistentes civiles, y vincularlo con otros aspectos que son tan constitutivos de las obras como las teorías, tipologías y ma-

teriales en que se sustentan, como el proceso constructivo y el aspecto estético. Puede decirse que técnica (dominio), estética (belleza y sensibilidad) y construcción (economía y funcionalidad) son las líneas maestras que se entrelazan en las obras”. En el libro se describen puentes construidos desde 1970, sobre los ríos en Martorell, Tarragona, Sevilla, Córdoba, Valencia, San Sebastián, Bilbao, pasos en ciudades, viaductos para alta velocidad, y obras en Canadá y Uruguay. Su forma de acercarse al puente es “muy dialéctica” entre tipología estructural, materiales y formas”, “con una persistente mirada hacia la cultura clásica y un afán innovador, originario y personal”. La cultura clásica aparece en la tercera parte del libro, con textos, dibujos y poemas, que completan los análisis de los puentes y estructuras. ♦

## Ante-Proyecto para el Ensanche de Barcelona

Hemos tenido el gusto de examinar detenidamente los trabajos que ha presentado al ministerio de la Gobernación el ingeniero D. Ildefonso Cerdá, relativos al ensanche futuro que se proyecta para la ciudad de Barcelona. Comisionado este ingeniero por el señor gobernador civil de la provincia para hacer los trabajos preparatorios que han de servir de guía para todo proyecto definitivo que se haya de adoptar, se vió en la precisión de levantar el plano de todo el terreno en que dicho ensanche pueda racionalmente verificarse, por no existir ningún plano exacto, ni nivelación de ninguna especie. Para esto tuvo que abrazar toda la zona comprendida entre el actual perímetro de las murallas de la ciudad hasta los pueblos circunvecinos que a corta distancia la rodean por todas las partes, y cuya tendencia manifiesta es a aumentarse por el lado de la capital.

Este trabajo, cuya dificultad podrá apreciar apenas el que por sí mismo no lo haya llevado a cabo, se hizo dividiendo todo el territorio en tres parte limitadas por los polígonos que forman los caminos principales, y para la nivelación se dividieron estos polígonos en fajas de 40 metros de anchura, y tanto sobre el perímetro del polígono como en las líneas de separación de cada faja, se practicó esta

operación con tal escrupulosidad, que se repitieron todas las nivelaciones transversales que no coincidieron con la perimetral. Operaciones tan importantes las ejecutó el Sr. Cerdá con 25 cuadrillas de niveladores trabajando a un mismo tiempo bajo su dirección, y resultado de ellas ha sido el plano topográfico mas claro y mas perfecto que hemos visto, en que se representa el terreno por secciones de nivel, distantes entre sí un metro, cuya figura no tiene de arbitrario la mas pequeña porción.

Este plano, primorosamente dibujado en grande escala y acompañado de numerosos datos estadísticos, de que os haremos cargo después, no contiene mas que lo que en el día existe, es decir, el perímetro de Barcelona, las avenidas principales, los pueblos inmediatos, los fuertes si cuantas fábricas y edificios rústicos se hallan esparcidos en aquel campo dilatado. Los ferro-carriles, las carreteras, los caminos vecinales y aun los rurales, las ramblas y arroyos, todo está minuciosamente detallado, y no podemos menos de decir, que el Ayuntamiento de Barcelona, a imitación del de Madrid debe grabar este plano, como documento indispensable en adelante para todas las cuestiones locales, y para hacer al público participe de estos trabajos tan importantes.

### DIRECTORIO DE EMPRESAS



TECNICAS REUNIDAS  
INGENIEROS Y  
CONSTRUCTORES



INITEC  
INFRAESTRUCTURAS

#### INFRAESTRUCTURAS Y MEDIOAMBIENTE

##### CAMPOS DE ACTIVIDAD

- AEROPUERTOS Y TRANSPORTE AÉREO
- DESALACIÓN, POTABILIZACIÓN Y DEPURACIÓN DE AGUAS
- HIDRÁULICA Y RECURSOS NATURALES
- EDIFICACIÓN/EDIFICIOS SINGULARES
- TRANSPORTE TERRESTRE
- COSTAS Y PUERTOS

##### ÁREAS DE NEGOCIO

- INGENIERÍA
- CONSTRUCCIÓN
- EXPLOTACIÓN



ER-0029/1995

Rafael Calvo, 3 y 5  
28010 Madrid  
Tel.: 91 592 39 00  
Fax: 91 592 39 01 / 02

e-mail: comercialinf@tecnicasreunidas.es



CGM-99/037



VÍAS DE COMUNICACIÓN  
OBRAS HIDRÁULICAS  
OBRAS MARÍTIMAS  
PLANTAS INDUSTRIALES  
OBRAS SUBTERRÁNEAS  
EDIFICACIÓN Y ARQUITECTURA  
RESTAURACIÓN Y REHABILITACIÓN

Avda. de Europa, 18 • Parque Empresarial La Moraleja  
28108 Alcobendas (Madrid)  
Tel.: 91 663 28 50 • Fax: 91 663 30 99  
www.accionacom

## ◆ La ROP hace... 150 años ◆

Un bosquejo de la distribución de la nueva ciudad, dibujado en un papel transparente, acompaña al citado plano para superponerlo, pudiendo hacerse lo mismo con cuantos se imaginen, sin tocar por eso a la exactitud y claridad del plano actual.

Pero si notable es la parte gráfica, no lo es menos la memoria, tanto por los puntos que abraza, como por la utilidad de los datos que presenta. Partiendo del principio de que la higiene pública ha de ser la base de la distribución de los edificios, así como de su construcción, el autor forma los proyectos de casas de diferentes órdenes, con sus accesorios, examina su más conveniente agrupamiento en manzanas y deduce la forma, dimensión y arribamientos de las nuevas calles y plazas que hayan de formarse, así como las obras subterráneas y las varias disposiciones que puedan recibir.

Demostrada como causa de la mayor parte de las enfermedades la falta del aire y luz que cada individuo necesita para vivir en buenas condiciones de salud, la comparación de la densidad de la población de Barcelona con la de otras ciudades del extranjero y de la península, la comparación de la mortalidad anual y la de la vida media, el examen de las plantas y alzados que en el día están en uso en dicha ciudad, y el aumento progresivo de la edificación y de la población específica y absoluta, son datos incontestables que manifiestan la urgente necesidad del ensanche, haciendo ver que la mayoría de los habitantes de Barcelona no viven en las condiciones de salud indispensables, siendo frecuente ver casas que no contienen la tercera parte del aire necesario para el número de sus

habitadores. El tráfico interior y exterior de la población sirve para determinar un ancho mayor aun para las calles principales y la combinación de las manzanas, junto con la forma trasversal de las calles públicas, sirve de apoyo a un bien combinado sistema de alcantarillas, conducción de aguas, gas del alumbrado, etc.

Todas las consideraciones en que se apoya el trabajo que hemos bosquejado rápidamente, están fundadas en datos estadísticos, cuyo resumen hemos dicho que se había escrito en el mismo plano, y que versan principalmente sobre las afecciones meteorológicas de la ciudad y pueblos del llano, los censos anuales de población desde 1849, la población específica, la mortalidad y la vida media en diferentes puntos de Europa y América, el progreso de la edificación, el movimiento mercantil, la fabricación y la riqueza mueble e inmueble del territorio de Barcelona y otros que no recordamos, presentados con el mayor orden y claridad, y algunos de los cuales no pueden haberse recogido sin laboriosas y preservantes investigaciones.

Solo falta que el Gobierno, en vista de este trabajo, resuelva la cuestión del modo más favorable a los pacíficos intereses de la industriosa capital del Principado, mandando proceder a la formación del proyecto definitivo del ensanche de esa ciudad. No terminaremos sin felicitar al ingeniero Cerdá, que ha desempeñado gratuitamente esta ímproba comisión, saliendo del retiro de la vida privada y de la gestión de sus propios intereses en que se encontraba hacia tiempo. ◆

## ◆ La ROP hace... 100 años ◆

Año LIV • Nº 1.583. 1 de marzo de 1906

### El Canal de Aragón y Cataluña

En tiempos del Emperador Carlos V se inició la idea de construir un canal que tomando sus aguas de los ríos Cinca y Esfera sirviese para fertilizar la seca y extensa comarca literana, entonces, como ahora, combatida por largas sequías que hacían inhabitable el país; no se tienen, sin embargo, noticias concretas del comienzo de los estudios hasta que, reinando Carlos III, fue encargado el arquitecto Inchauste en 1783 de hacer el canal de Tamarite de Litera, labor que llevó a término el arquitecto Rocha que le sucedió, presentando su trabajo en 1806.

No deja de ser interesante la historia de las modificaciones introducidas al proyecto que para navegación y riego presentó Rocha, y lo mismo sucede con el relato de las vicisitudes de los diversos concesionarios, pero me parece de mayor utilidad dedicar el tiempo a describir las obras y su plan tal como en la actualidad se están llevando a la práctica.

Cuando en 5 de septiembre de 1896 se incautó el Estado de las obras del canal, lo ejecutado hasta entonces se reducía a cuatro túneles y obras de tierra de poca importancia; la valoración que oportunamente se hizo alcanzó a 3.800.000 pesetas; puede, por tanto, decirse que a partir de esta época fue cuando comenzaron

realmente las obras; todavía en los seis primeros años hasta 1903, la necesidad de ordenar y redactar proyectos, fijar planos y discutir soluciones, absorbió gran parte del tiempo, como lo prueba el que en todo ese intervalo no se gastaron más que 6 millones de pesetas, o lo que es igual, un término medio de un millón por año; quedaron entonces en cursos de ejecución las obras de la primera sección del canal en una longitud de 20 kilómetros; y si bien el adelanto de la obra fue escaso, como se deduce de los datos expuestos, se llevaron a cabo proyectos importantes y nivelaciones cuidadosas, fijando el emplazamiento definitivo de la toma de agua, punto esencial que dió lugar a numerosas controversias y largos estudios.

Desde el año 1903 hasta la fecha, en que sólo faltan dos meses para que el agua recorra 70 kilómetros, el avance dado a las obras ha sido tan extraordinario, que bien puede ponerse en parangón honroso el canal de Aragón y Cataluña con los canales que más rápidamente han sido construidos.

El servicio actual está dividido en secciones, que corresponden a otros tantos trozos de Canal y a trabajos complementarios de administración, levantamiento del plano de la zona regable y estudio de los planes generales de riego.

## ◆ La ROP hace... 100 años ◆

El canal principal comprende cuatro grupos: el primero está constituido por el tramo de Essera, tramo de un carácter particular y esencialmente distinto del resto de las obras; el segundo grupo se denomina primera sección y comprende desde la confluencia de los ríos Cinca y Essera hasta la bifurcación del canal en el arranque del de Zaidín; el tercer grupo o segunda sección, desde este partido hasta Coll de Foix, en la divisoria del Cinca o del Segre, y, por último, la tercera sección o cuarto grupo, hasta la desembocadura del canal en el término de Masalcorreig y punto denominado La Granja de Escarpe.

La cuarta sección corresponde al canal de Zaidín, arteria la más importante de las derivadas del canal principal.

La dotación del canal es en su origen y en toda la primera sección de 35 metros cúbicos por segundo, y, naturalmente, para dar

paso a toda esta cantidad de agua se han dispuesto las obras, en la segunda sección la capacidad de 23 metros cúbicos en su comienzo y de  $17\frac{1}{2}$ , en su terminación, y en la tercera capacidad va reduciéndose a medida que se derivan las diversas acequias. La capacidad del Canal de Zaidín son de 15 metros cúbicos. Fácilmente se comprende por todas estas capacidades, que las dimensiones de las secciones transversales tienen que ser forzosamente grandes; así en la primera sección para pendientes de 4 por 10.000, el canal tiene, aproximadamente, 3 metros de altura de agua y 7 de ancho en el fondo y 14 metros de ancho en la superficie.

De la importancia de la obra puede juzgarse con solo decir que la longitud total del canal principal es de 120 kilómetros y la de Zaidín 60 y la suma de las longitudes de las diversas acequias que forman parte del plan del Estado es de 165. ◆

## ◆ La ROP hace... 50 años ◆

Año CIV • Nº 2.891. Marzo de 1956

### Posibilidades de convertir la red ferroviaria inglesa en carreteras

por Thomas Ifan Lloyd

(De la Revista *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, noviembre 1955, págs.732 a 788)

#### INTRODUCCION

En este artículo, el autor considera a los ferrocarriles británico como una soberbia herencia del pasado dispuesta para ser convertidos en una magnífica red de carretera. No hace ninguna proposición en cuanto a la manera de financiar lo que propone, dejándolo como tema de libre discusión.

#### CARACTERÍSTICAS DE LAS CARRETERA CONSTRUIDAS SOBRE EL TRAZADO DE FERROCARRIL

La magnitud de las curvas y las pendientes moderadas de un trazado de ferrocarril hacen que se pueda pensar en una carretera con magníficas condiciones de estabilidad y con las ventajas de la tracción por neumáticos en cuanto a movimiento del vehículo y ausencia de ruidos. Sin embargo, existe la cuestión de saber si una carretera puede llegar a tener una superficie de rozamiento tan llana como los railes de ferrocarril, pero cabe esperar que los progresos en la técnica del pavimento hagan desaparecer estos temores, con la ventaja de la ausencia de juntas en el mismo.

La rampa de pendiente más pronunciada en los ferrocarriles ingleses es del 3% aunque la mayoría de las líneas no sobrepasan el 3% aunque la mayoría de las líneas no sobre pasan el 1%. La ventaja de un sistema de carreteras horizontales se puede resumir en las experiencias realizadas por los ingenieros ingleses, que han llegado al resultado siguiente: una carretera horizontal entre dos puntos presenta una posibilidad de aumento de velocidad

del 20% y un ahorro de combustible del 10%, sobre un camino de igual longitud con subidas y bajadas, lo cual descubre unas inusitadas posibilidades económicas de explotación de este sistema de carretera.

#### ANCHO DE CARRETERAS

El ancho de cada vía de circulación, según las normas inglesas, es de 3,04 metros, aumentándose a 3,34 cuando tiene solamente dos vías, cifras que pueden alcanzarse con facilidad con el actual sistema de ferrocarriles, cuyas características son las siguientes:

	Kilómetros
Vía cuádruple . . . . .	2.450
Vía triple . . . . .	710
Vía doble . . . . .	16.600
Vía única . . . . .	11.100

#### CAPACIDAD DE LA RED

Contando con una velocidad de cálculo de 96 kilómetros por hora, una separación entre vehículos de 91,4 metros, el autor la estima en 1.000 vehículos por hora, aunque para conseguir esta capacidad es evidente que sería necesaria una revisión de los vehículos que utilizasen estas carreteras, en el sentido de que fuesen capaces de alcanzar esta velocidad, y un excelente servicio de reparación de averías en carreteras. ◆

# El metro de Sevilla

## The Seville Underground

**Por la Redacción de la ROP**

Fotos: Fernando Alda. fernandoalda@fernandoalda.com

**Resumen:** La Junta de Andalucía adjudicó en el año 2003 la concesión para la construcción y explotación de la línea 1 del Metro Sevilla, a la Ute Dragados, Sacyr, Gea 21, Caf, Tuzsa y Tussan.

Su construcción se ha dividido en los tres tramos e incluye la ejecución de 23 estaciones.

El presupuesto total es de 428,5 millones de euros, distribuidos en un 50% aportado por la Junta, un 33% la Administración Central y el 17% los cuatro ayuntamientos implicados: Sevilla, Dos Hermanas, Mairena del Aljarafe y San Juan de Aznalfarache.

Está prevista su finalización a lo largo del 2008.

**Palabras Clave:** Sevilla, Metro, Tuneladora, Concesión, Estación.

**Abstract:** In 2003 the Andalusia Regional Council awarded the concession for the construction and operation of Line 1 of the Seville Underground, to the joint venture of Dragados, Sacyr, Gea 21, Caf, Tuzsa and Tussan.

The construction of the underground has been divided into three sections and includes the construction of 23 stations. The total budget is € 428.5 million, 50% of which being provided by the Regional Council, 33% by the State and 17% by the four municipal councils involved: Seville, Dos Hermanas, Mairena de Aljarafe and San Juan de Aznalfarache. Work is expected to be completed in 2008.

**Keywords:** Seville, Underground, Tunnelling Machine, Concession, Station

### Introducción

La Junta de Andalucía constituyó, el 30 de marzo de 2001, el Consorcio de Transportes del Área de Sevilla, integrado por la propia Junta, la Diputación Provincial y 22 municipios del área metropolitana.

El consorcio se planteó la ejecución del Metro de Sevilla, con el fin de dotar al área metropolitana de un moderno sistema de transporte público que mejore la movilidad en este territorio. Con posterioridad, en Julio de 2003, se aprobaron los estatutos del Ente Público de Gestión de Ferrocarriles Andaluces, que ejercerá, entre otras competencias, el control y tutela de las concesiones otorgadas por la Junta para la construcción y explotación de las nuevas líneas de ferrocarril metropolitano de Sevilla y Málaga, así como el desarrollo, control y supervisión de los proyectos de metro ligero de Granada, Eje Ferroviario Transversal de Andalucía, Corredor Ferroviario de la Costa del Sol y tren-tranvía Bahía de Cádiz.

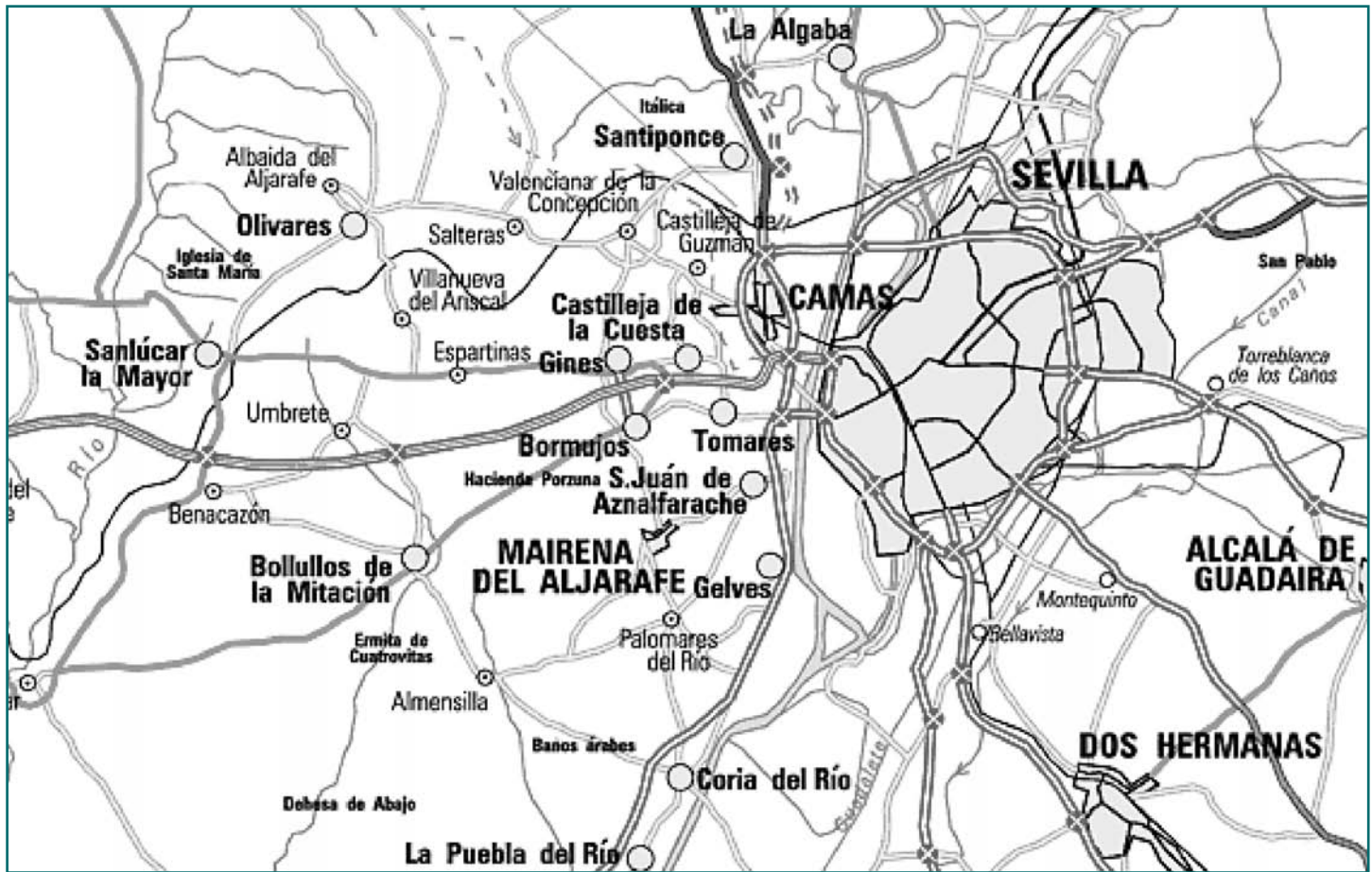
Dicho Ente, está adscrito a la Consejería de Obras Públicas y Transportes.

Se convocó en consecuencia un concurso para la construcción y explotación de la línea 1 del Metro de Sevilla, que comenzó sus trabajos a finales de 2003.

A pesar de las dificultades surgidas en los trabajos de construcción, como consecuencia de los hallazgos arqueológicos, la compleja composición geotécnica del subsuelo de Sevilla o las modificaciones incorporadas al proyecto, se espera poner en servicio la línea 1 en la primavera de 2008.

El área metropolitana de Sevilla integra veintidós municipios y 1.144.000 habitantes.

La sociedad concesionaria para la construcción y explotación de la línea 1 Interurbana Metro de Sevilla está formada por las empresas DRAGADOS, SACYR, GEA 21, CAF y TUZSA, grupo multidisciplinar formado por empresas constructoras y de servicios, operadores de servicio público de viajeros y fabricante de material móvil ferroviario.



Área metropolitana de Sevilla.

### Financiación

El sistema de financiación previsto para el proyecto es el siguiente:

- Las administraciones públicas pagan los 428,5 millones de euros que cuesta la línea 1 del Metro de Sevilla (precio de adjudicación), distribuidos entre el 50% que aporta la Junta de Andalucía, un 33% de la Administración central del Estado y el 17% restante que corresponde a los cuatro ayuntamientos implicados: Sevilla, Dos Hermanas, Mairena de Aljarafe y San Juan de Aznalfarafe
- El Banco Europeo de Inversiones y las empresas concesionarias de la Línea 1 (Dragados, Sacyr, Gea 21, CAF, Tuzsa y Tussam) prestan su colaboración para que las administraciones públicas puedan realizar este pago y el correspondiente a la subvención a la fase de explotación durante los 30 años de vida de la concesión. Los pagos que realiza la Junta de Andalucía a la concesionaria durante 30 años significan la

garantía para el BEI de la recuperación de su préstamo. De esa garantía toma conocimiento la Junta de Andalucía a través del documento firmado. Se trata de un sistema de financiación singular que propicia la Unión Europea ante las exigencias formales en relación con el endeudamiento de las administraciones públicas. Las características del crédito son:

- Importe: 260 millones de euros:
  - 50 millones en 2004
  - 150 millones en 2005
  - 60 millones en 2006
- Duración: 30 años
- Tasa de interés: Variable:
  - Período de construcción: Euribor + 0,32
  - Resto: Entre Euribor + 0,07 y Euribor + 0,32
  - Contrato de aseguramiento del riesgo de incremento de los tipos de interés con El Monte y Caja San Fernando por el 70% del saldo de la deuda entre 10 y 15 años.

## Datos generales

La línea 1 tiene una longitud de casi 19 Km, desde Mairena del Aljarafe hasta Montequinto, de los que aproximadamente la mitad son subterráneos y el resto en superficie. Cuenta con 23 estaciones, y se prevé un tráfico de viajeros de 20 millones anuales.

El diseño de esta primera línea ha tenido especialmente en cuenta la accesibilidad para personas de movilidad reducida y los aspectos de seguridad e integración ambiental.

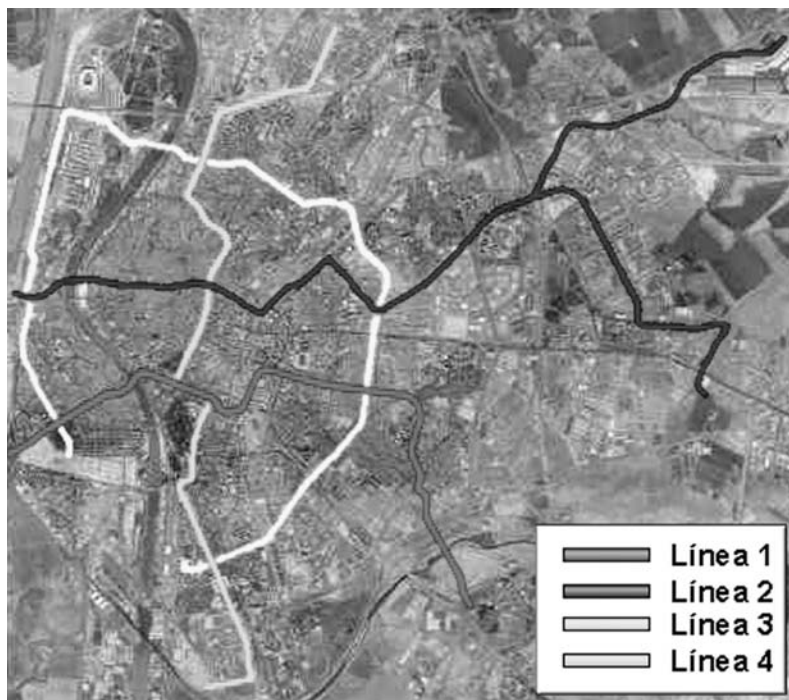
Este sistema de Metro Ligero, alimentado eléctricamente, es al día de hoy el sistema de transporte menos contaminante. Se ha optado por la racionalización y ahorro del consumo de energía, que combina de modo óptimo el respeto al medioambiente, la eficiencia energética y la viabilidad económica, basado principalmente en:

- Implantación de un sistema de energía solar con acumulación de energía a instalar en los Talleres, conectándose el mismo a la red de servicios.
- Implantación de acumuladores para aprovechar la energía producida en el frenado de los trenes, que no pueda ser aprovechada en el momento.
- Aprovechamiento de las aguas subterráneas para la climatización parcial de las estaciones, mediante intercambiadores de calor.
- Recorre 4 Municipios: (Mairena del Aljarafe, San Juan de Aznalfarache, Sevilla y Dos Hermanas) y atenderá a una población de 858.000 habitantes (en los 4 municipios), dando servicio a una población de (a 500 m de las paradas) 227.974 habitantes.
- El recorrido previsto es: Montequinto (Dos Hermanas) - Universidad Pablo de Olavide- Puerta de Jerez - Plaza de Cuba - Avenida Blas Infante - San Juan de Aznalfarache - Ciudad Expo (Mairena del Aljarafe).

## Descripción del trazado

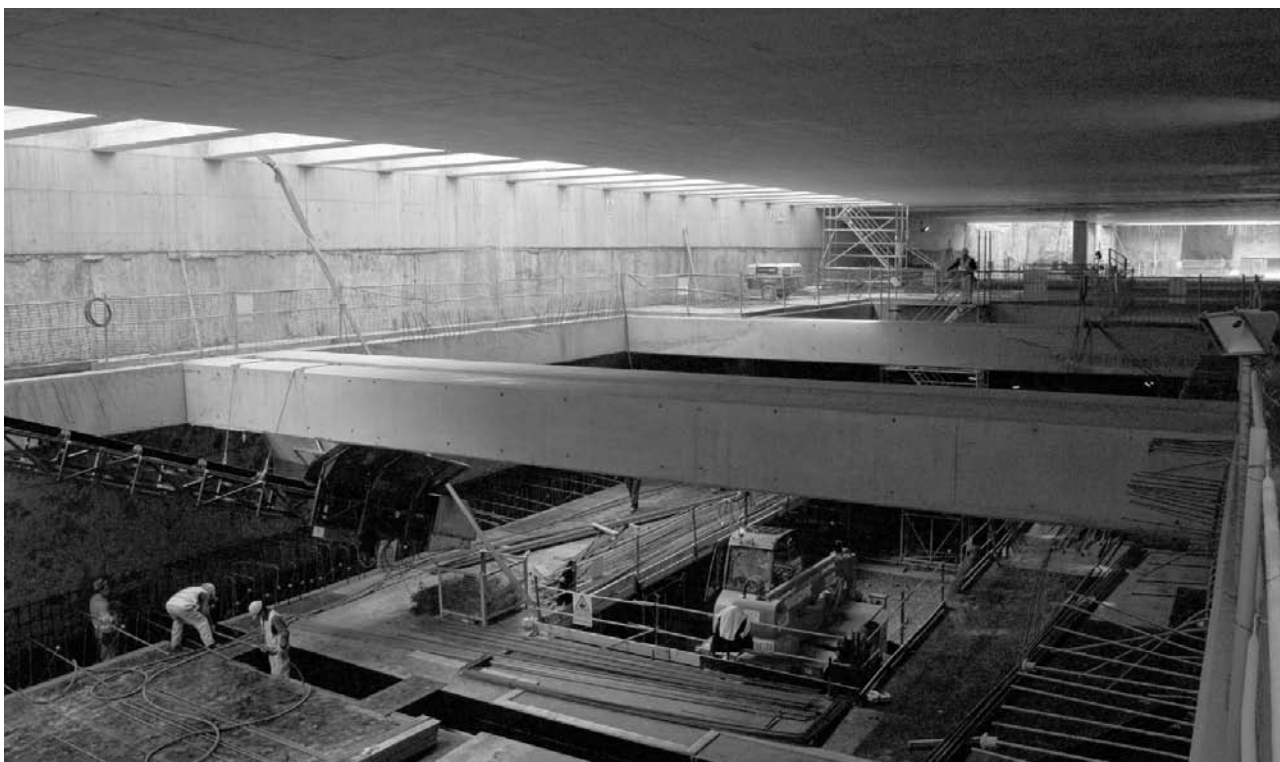
La Línea 1 del Metro de Sevilla se desarrolla entre Aljarafe Sur (Términos Municipales de Mairena del Aljarafe y San Juan de Aznalfarache) y Dos Hermanas (Los Quinto), atravesando la ciudad de Sevilla de Oeste a Este.

El trazado se inicia en Mairena del Aljarafe, en la Avenida de los Descubrimientos, donde se sitúa el intercambiador I-1 "Ciudad EXPO" en superficie. Esta estación dispone de plazas de aparcamiento disuasorio e intercambio con autobuses. La traza continúa en subterráneo con un falso túnel (túnel somero ejecutado a cielo abierto) bajo la Avenida de los Descubrimientos, la Avenida de Mairena, Plaza y Parque de Cavaleri. En la Plaza de Cavaleri se ubica la estación subterránea de "Cavaleri".



El trazado continúa a la salida del Parque de Cavaleri en superficie por la franja de terreno existente en la margen de San Juan de Aznalfarache entre la Autovía de Mairena del Aljarafe y su vía de servicio. Salva mediante dos estructuras el ramal de incorporación a San Juan de Aznalfarache, llegando a la estación intercambiador I-2 "San Juan Alto". Esta estación dispone de aparcamiento subterráneo disuasorio e intercambio con autobuses. El trazado continúa paralelo a la Variante de San Juan y salva mediante viaducto la autovía de Coria. A continuación discurre en falso túnel y en túnel en mina bajo el Cerro del Monumento al Sagrado Corazón. Continúa en terraplén hasta el cruce con la carretera SE-610 que se pasa a distinto nivel. A continuación se ubica el intercambiador I-3 "San Juan Bajo" en viaducto. Esta estación dispone igualmente de aparcamiento disuasorio e intercambio con autobuses. La traza continua en viaducto hasta conectar con un nuevo puente en proyecto, paralelo al actual puente metálico de San Juan, y salvar así el Río Guadalquivir aprovechando la infraestructura existente. Sigue en viaducto salvando la SE-30 y los accesos a Sevilla (puente de las Delicias). Continúa en terraplén por el borde del Campo de la Feria paralelo al nudo de Juan Carlos I hasta enlazar en superficie con la estación semienterrada "Blas Infante". A partir de ella el trazado continúa en túnel entre pantallas por la Avenida Blas Infante mientras se separan las vías para llegar a la estación subterránea de "Parque de los Príncipes", que se ubica bajo la Glorieta cruce de la Avenida de República Argentina y Calle de López de Gomara. Desde la esta-

Estación del Prado de San Sebastián.



ción se inicia el doble túnel ejecutado con tuneladora a lo largo de la Avenida de la República Argentina, donde se sitúa la estación subterránea de "Plaza de Cuba".

Tras la estación de Plaza de Cuba el trazado de doble túnel gira hacia el Norte con el fin de evitar el Puente de San Telmo, pasa bajo el aparcamiento subterráneo de la Plaza de Cuba y el Canal de Alfonso XIII. Una vez superado el río, la traza discurre bajo el aparcamiento subterráneo de la Avenida de Roma, donde se ubicará la estación Puerta de Jerez, alcanzando la C/ San Fernando. Continúa la traza con doble túnel por la C/ San Fernando y la Avenida Carlos V, donde se sitúa la estación subterránea "Prado de San Sebastián", futuro intercambio con la Línea 3. La traza con doble túnel sigue por la Avenida de Carlos V y gira a la altura de la Avenida de la Burbolla hacia el Sur para cruzar bajo la línea de RENFE en el Apeadero de San Bernardo.

En el cruce con el apeadero de RENFE se ubica la estación subterránea "San Bernardo", donde se extraerá la tuneladora. Esta estación es de intercambio con la Red de Cercanías de RENFE. Continúa en túnel único por Huerta de la Salud y enlaza con la Estación "Nervión" bajo la calle San Francisco Javier. Continúa la traza por el túnel ya existente (ejecutado entre pantallas) a lo largo de la Avenida de Eduardo Dato, llegando a la estación subterránea existente de "Gran Plaza". Continúa por la Avenida del Marqués de Pickman y la C/ Federico Mayo, donde se sitúa la estación subterránea existente "Mayo". El túnel gira hacia la C/ Los Gavilanes donde se ubican las estaciones subterráneas

existentes de "Amate" y de "La Plata". Tras esta estación se modifica el trazado bajo la C/Maqueda para convertir el túnel existente en vía única, en túnel de vía doble.

Antes de llegar al Depósito Municipal de Coches se sitúa la Estación semienterrada de "Cocheras", La traza sale después a superficie y continúa en viaducto, que permite el paso sobre los futuros viales a diseñar entre la estación de Cocheras y la SE-30. A este viaducto conectan dos ramales para acceso a las Nuevas Cocheras y Talleres del Metro. Una vez atravesadas las vías de ferrocarril y la SE-30, se inicia el trazado del tramo 2, que discurre entre la Universidad Pablo de Olavide y la estación Olivar de Quintos, ya en el término municipal de Dos Hermanas. El viaducto cruza sobre la SE-30, el Río Guadaira y la Línea de FF.CC. Esta traza ha sido objeto de diversas demandas ciudadanas para su modificación, lo que motivó el desarrollo de un proyecto de trazado con una solución alternativa a la prevista, recibiendo un total de 17 alegaciones en la fase de información pública, principalmente de la Universidad Pablo de Olavide y del propio Ayuntamiento de Dos Hermanas. A continuación, el Ente Público de Gestión de Ferrocarriles Andaluces emitió el pertinente expediente de resolución de alegaciones al nuevo proyecto de trazado y, actualmente, la sociedad concesionaria se encuentra redactando el proyecto constructivo que entregará en mayo a la Consejería de Obras Públicas y Transportes para su aprobación, con el objetivo de que las obras se puedan iniciar antes de que concluya el primer semestre del presente año.



Estación  
Parque de  
Los Príncipes.

### Características principales

La longitud total de la Línea 1 Interurbana del Metro de Sevilla es de 18.988,16 metros. De esta longitud el 75 % (14.632,75 m) es de plataforma exclusiva, esto es, plataforma arquitectónicamente separada, túneles, viaductos o terraplenes. De esta plataforma exclusiva 9.289 m (50% del total) lo componen los túneles, 2.846 m (15%) son viaductos o puentes y 2.498 m (12%) terraplenes.

El resto, 4.355,41 m (23 %) es plataforma exclusiva, esto es, plataforma en superficie separada de las calzadas con cruces a nivel con prioridad semafórica.

Los tramos de los túneles son los de Ciudad EXPO – Cavaleri con 1.300 m, túnel bajo el monumento con 350 m y túnel bajo Sevilla con 7.650 m, de los que 3.100 son ya existentes.

### Características de las estaciones

El número de estaciones de la Línea 1 Interurbana del Metro de Sevilla asciende a 23 unidades.

- Características del material móvil (trenes)
  - Número de vehículos iniciales: . . . . . 17 Unidades
  - Longitud del tren: . . . . . 32 metros
  - Ancho caja: . . . . . 2,65 m
  - Altura piso (100 %) . . . . . 35 cm
  - Bicabina

- Nº de viajeros . . . . . 200 pax
- Sentados . . . . . 56 pax
- Velocidad máxima . . . . . 70 – 80 Km/h

- Mediciones más significativas de la obra de construcción

- M<sup>3</sup> hormigón . . . . . 426.100,00
- Metros Vigas . . . . . 9.800,00
- Kg Acero estructura . . . . . 1.234.600,00
- Kg Acero de carriles . . . . . 2.940.000,00
- M<sup>3</sup> Excavación . . . . . 1.447.000,00

### Fase y desarrollo de las obras (enero de 2006)

La construcción de la obra se ha estructurado en los siguientes tramos:

- Tramo 0: Mairena del Aljarafe-Blas Infante pasando por San Juan de Aznalfarache
- Tramo 1: Casco Urbano de Sevilla, entre la estación de Blas Infante y la Universidad de Pablo Olavide
- Tramo 2: Universidad Pablo Olavide-Olivar Quintos (Dos Hermanas)

#### Tramo 0. Ciudad Expo - Estación de Blas Infante

Este tramo discurre por los Municipios de Mairena del Aljarafe, San Juan de Aznalfarache y Sevilla, finalizando

Viaducto  
Guadaira-  
Universidad  
Pablo de  
Olavide.



al comienzo de lo que se puede considerar casco urbano de Sevilla.

Tiene una Longitud de 5425 m según las siguientes características:

Subterráneo . . . . .	1460 m
Superficie . . . . .	3965 m
Viaductos . . . . .	1681 m
Estaciones . . . . .	4

Hasta el momento se está finalizando la obra civil, teniendo el siguiente avance:

*Subterráneo 80%*

Se ha finalizado el tramo entre Estación Ciudad Expo y la salida en superficie en el P.K. 1+300, quedando aproximadamente 300 metros correspondientes al Falso túnel II en San Juan de Aznalfarache. Dicho túnel se ha comenzado a construir en el mes de Diciembre de 2005.

*Tramo en superficie*

El tramo en superficie paralelo a la autovía

*Estructuras*

Cimentaciones . . . . .	100 %
Alzados . . . . .	100 %

Tableros . . . . . 100 %

Estructura E-1 (Paso Inferior de 150 m incluidas rampas de acceso), se encuentra finalizada.  
Estructura E-2 (Paso superior de 38 m), Finalizada  
Estructura E-3 (Estructura volada de 120 m). Finalizada  
Estructura E-4 Finalizada

Las estructuras E-7 (420 m), E-8 (199 m), E-9 (480m), E-10 (70 m) y E-11 (Paso Inferior 80 m), no se han comenzado. De estas estructuras las E-7, E-8 y E-9 se corresponden con la variación de trazado al construir un nuevo puente metálico sobre el Guadalquivir paralelo al existente. Estos puentes se están proyectando en la actualidad.

*Estaciones*

Pantallas Estación Cavaleri 100%  
Falta por construir la losa del vestíbulo y el resto de la Estación en superficie.

El avance general de la obra civil en este tramo se puede estimar en un 75%.

**Tramo I. Estación de Blas Infante - Universidad Pablo de Olavide**

Este tramo discurre por los Municipios de Sevilla y Dos Hermanas.

Tiene una Longitud de 8.705 m según las siguientes características:

Total subterráneo	7343 m
Túnel existente vía doble	3098 m
Túnel nuevo (2 túneles)	2114 m
Túnel entre pantallas (excluyendo estaciones)	1306 m
Tramos en superficie	1362 m
Viaductos	936 m
Estaciones existentes	5
Estaciones nuevas	8

Hasta el momento se está ejecutando la obra civil, teniendo el siguiente avance:

*Túnel existente vía doble 30 %*

Este tramo comprende desde la Estación de Nervión hasta la Estación de Cocheras (Tramo construido con anterioridad). Se han realizando labores de impermeabilización y demolición de andenes para adaptarlos al nuevo material móvil.

*Túnel nuevo (2 túneles) 7%*

Los trabajos correspondientes a la tuneladora comenzaron el día 11 de agosto de 2005, habiéndose excavado hasta el momento 360 metros del túnel correspondiente a la margen izquierda (nº pares de la Calle República Ar-

gentina). En la actualidad la tuneladora se encuentra en la estación de Plaza de Cuba realizándose una parada técnica programada.

*Túnel entre pantallas 90 %*

Se ha finalizado el tramo entre Blas Infante y la Estación de Parque de los Príncipes 537 m.

En el tramo entre la Estación de San Bernardo y Nervión de 769 m., se han construido aproximadamente 730 m. de pantallas y 198 m de losa de cierre. Quedando por hacer la excavación de tierras entre pantallas y la construcción de contrabóveda.

*Viaductos (Guadaira)*

Se ha construido la cimentación y alzado del estribo 1 y 15 pilas (incluido dinteles) de las 29 previstas. Solamente se está construyendo el tramo hasta la zona de cocheras, el resto de pilas no se podrá construir hasta no tener el trazado definitivo del Tramo II.

*Estaciones existentes 0 %*

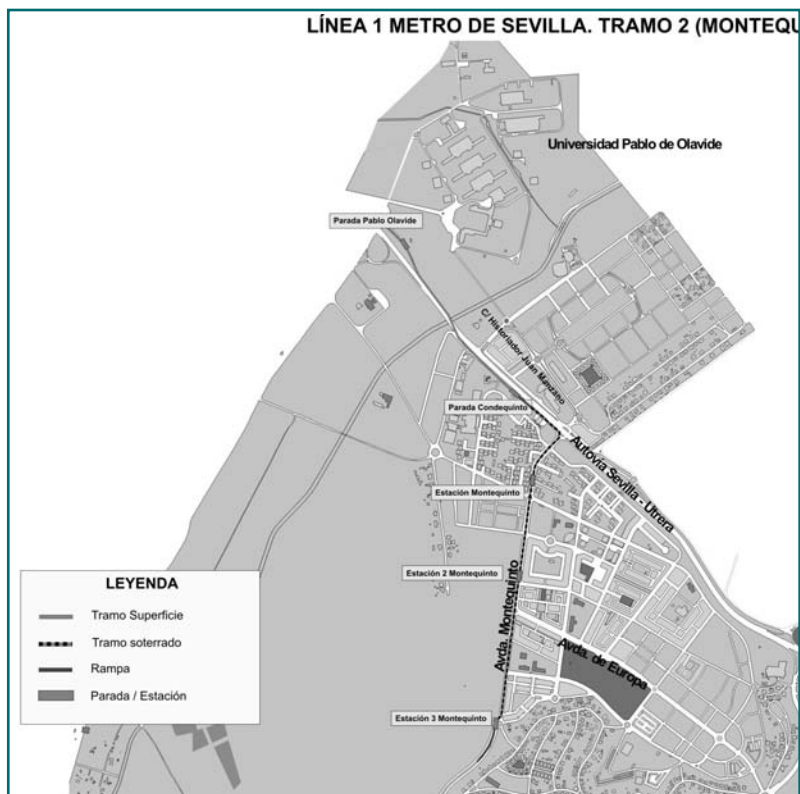
Aún no se dispone de los proyectos definitivos.

*Estaciones nuevas 60 %*

La Estación de Blas Infante se está finalizando la obra civil, quedando por hacer la parte de arquitectura.



Túnel Estación Plaza de Cuba.



Se ha finalizado la obra civil de las estaciones de Parque de los Príncipes y Plaza de Cuba.

En la Estación del Prado de San Sebastián se está excavando el 2º nivel bajo el vestíbulo.

En la Estación de San Bernardo se están construyendo las pantallas. Estas se deben modificar en alzado para adaptarlo al proyecto de la Universidad que se está redactando en la actualidad.

#### Excavaciones arqueológicas (100 %)

Se han descubierto los siguientes restos arqueológicos:

- En la Calle San Fernando existe la cimentación de la muralla y barbacana de Sevilla. Se ha aprobado el cambio de ubicación de la Estación de Puerta de Jerez bajo el aparcamiento situado entre el Edificio Cristina y los jardines. En la actualidad se está redactando el Proyecto de Construcción de la estación en dicha ubicación.
- En el cerro de Nuestra Señora del Loreto en San Juan de Aznalfarache han aparecido restos de una muralla islámica del siglo XII y restos de poblamiento de época ibérica, romana e islámica, lo que ha obligado a modificar el sistema constructivo en esta zona. El Proyecto Constructivo de forma que no se afecten los restos, se

ha entregado a FCCAA el mes de Octubre de 2005. Ha sido aprobado y se ha comenzado a realizar el movimiento de tierras en la boquilla lado Sevilla.

El avance general en este tramo se puede estimar en un 40%.

#### Tramo II Universidad Pablo de Olavide - estación Olivar de Quintos

En este tramo se han producido numerosas demandas ciudadanas, de la Universidad Pablo de Olavide y del Ayuntamiento de Dos Hermanas, por lo que se ha elaborado un Proyecto de Trazado con una alternativa al trazado previsto.

Este Proyecto se ha sometido al oportuno trámite de Información Pública. Se han recibido 17 alegaciones. Se ha elaborado un informe contestando a dichas alegaciones y la Concesionaria está elaborando el oportuno Proyecto de Construcción. Dicho proyecto será entregado en el mes de Mayo de 2006, para comenzar los trabajos de construcción en el primer semestre de este año.

#### Material móvil

Al ser un prototipo ha sido necesario preparar una Ingeniería de Desarrollo. Estos trabajos se pueden considerar que se han cumplido al 100%.

De las 17 unidades encargadas a la Empresa CAF se están construyendo 7 unidades. Del resto de material, bogies, etc... se ha construido la totalidad de material necesario.

El avance total de los trabajos en el material móvil se puede estimar en un 60%.

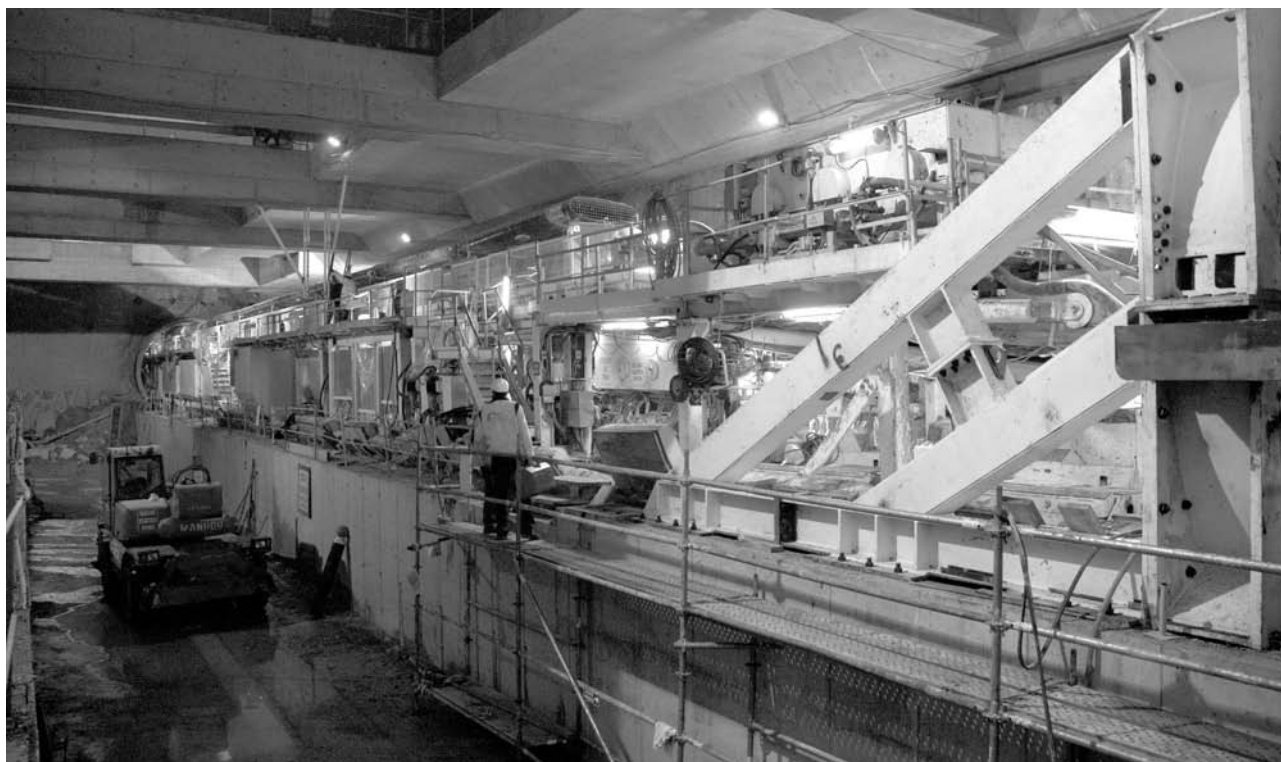
En la actualidad se está trabajando en el 75% de la longitud total de la Línea 1.

#### Estaciones

El número de estaciones de la Línea 1 Interurbana del Metro de Sevilla asciende a 23 unidades. La distancia media entre estaciones es de 585 metros y la profundidad media de las subterráneas es de 10,4 m. La longitud de andenes es de 65 m por estación de las 11 son de tipología de andén central único y 12 de dos andenes laterales.

#### Tuneladora

La fabricación de la Tuneladora se encargó a la empresa canadiense LOVAT Inc., empresa líder en el mundo del diseño y fabricación de máquinas de última generación y equipos auxiliares para la construcción de todo tipo de túneles; metro, ferrocarriles, carreteras, conducciones de agua, accesos a minas, túneles para tele-cabinas, etc.



Back up de la tuneladora.

LOVAT Inc. fue fundada en 1972 por Richard Lovat, siendo su propósito inicial mejorar la seguridad y eficiencia en trabajos subterráneos. Desde entonces LOVAT ha construido más de 211 Tuneladoras y ha completado más de 380 proyectos de túneles en los cinco continentes.

Desde Seattle hasta Singapore, las máquinas LOVAT han excavado más de 12.000 metros de túnel en más de veinte países. Cabe destacar que LOVAT ha trabajado en todo tipo de terrenos y con una amplia gama de diámetros (entre 1,5 y 14 metros).

En la actualidad, LOVAT dispone de unas modernas instalaciones de más 14.000 metros cuadrados en Toronto y tiene una plantilla de más de 300 ingenieros encargados del diseño y producción, control de calidad, asistencia técnica, servicios especiales y ventas.

LOVAT es en estos momentos la única empresa fabricante de Tuneladoras que diseña, fabrica, ensambla y prueba sus máquinas. Como dato significativo cabe destacar que a pesar de exportar el 98% de su producción, el 85% del total de sus componentes han sido fabricados en su factoría de Toronto.

Las últimas obras realizadas en el mundo con máquinas LOVAT de similares características a la máquina que se está fabricando para la construcción de los túneles del Metro de Sevilla son:

- Metro de Lisboa, Portugal.
- CN Rail Túnel, Canadá

- Metro de Valencia. Venezuela
- Passante Ferroviario di Bologna, Italia
- CTRL. Contract 250, U.K.
- Metro di Torino, Italia
- Acceso a mina de carbón en Cape Breton, Canadá
- Metro de Madrid, España
- Línea RER D, París
- Metro NEL, París
- Metro Washington, Usa.

#### TUNELADORA TBM modelo RME 238 SE LOVAT.

#### FICHA TÉCNICA BÁSICA

Dimensiones:

- Diámetro exterior:** 6,06 metros  
(equivalente a una vivienda de dos alturas).
- Longitud de TBM:** 10 metros  
(equivalente a un autobús municipal)
- longitud del Back-UP:** 95 metros  
(equivalente a un campo de fútbol)

Otros datos técnicos:

- Voltaje de trabajo: 600 V.
- Potencia de corte en cabeza: 1.020 KW.
- Potencia total de trabajo: 2.107KW. (igual potencia para 500-600 viviendas).
- Avance medio: 12 m/d.

### Material Móvil

El Material Móvil diseñado especialmente para el Metro de Sevilla, consiste en vehículos multiarticulados compuesto de 5 módulos, 3 de ellos apoyados en un sistema de rodadura.

Está concebido con las últimas tecnologías existentes dentro de este tipo de material, destacando los siguientes conceptos:

- **Modularidad.** Este tipo de vehículo está basado en una serie de módulos acoplables de tal forma que permiten ampliar la longitud, y por tanto la capacidad de los trenes.
- **Accesibilidad.** El vehículo responde al concepto de 100% piso bajo, con una altura del piso de 350 mm sobre el carril, en toda su longitud, para permitir un fácil acceso tanto a personas con movilidad reducida como para personas mayores, carritos de niños, etc., puesto que desde la acera se accede directamente al vehículo sin ningún escalón.
- **Pasillo de intercurrencia.** La unión de los diferentes módulos que componen el tren se realiza mediante un pasillo de una gran amplitud que permite una fácil circulación de los viajeros a lo largo del vehículo, con lo cual, al mismo tiempo que una mejor distribución para la comodidad de los pasajeros, se consigue un mayor grado de seguridad, al no dejar módulos aislados.
- **Personas de movilidad reducida (PMR).** Además de la facilidad de acceso comentada en el capítulo de Accesibilidad, está previsto la ubicación dentro del tren de un espacio para personas discapacitadas en sillas de ruedas, con un mecanismo de anclaje de la misma, asegurando la inmovilidad durante el viaje y con los elementos adecuados de aviso al conductor.
- **Equipo de tracción.** Responde a la tecnología trifásica con la electrónica de última generación, lo que supone menor peso, menor consumo de energía y un mantenimiento mínimo.
- **Freno de recuperación.** El sistema básico de freno es eléctrico, con recuperación de energía, es decir, devolviendo energía a la red durante la fase de frenado. Con este sistema, se pueden conseguir ahorros considerables de consumo (entre un 20 y un 30%). También dispone de freno mecánico interrelacionado con el eléctrico para asegurar el frenado, aunque el diseño prioriza el uso del eléctrico minimizando el consumo de energía y el desgaste de elementos mecánicos.
- **Información.** Los vehículos están informatizados para conseguir de forma automática:
  - Control de marcha del tren
  - Información al viajero
  - Ayuda a la conducción

- **Diagnóstico de averías y ayuda al mantenimiento.** El sistema de Control y Diagnóstico realiza como funciones principales las siguientes: control de los equipos auxiliares de la unidad, indicación al maquinista mediante el terminal de cabina de las averías o incidencias ocurridas y su recomendación asociada.

La conducción en túneles y en zonas de traza exclusivas para el metro ligero, se realiza supervisada por un sistema de protección automática (ATP) que conmutará a un sistema de conducción manual con marcha a la vista pero con priorización semifórica en la circulación del metro ligero a la intemperie cuando comparte viales.

- **Caja Negra.** La unidad dispone de un registrador de eventos o caja negra que recoge los parámetros necesarios para en caso de accidente analizar las incidencias ocurridas antes del mismo.

- **Comunicaciones.** Como un elemento de seguridad, incorpora un sistema de Tren-Tierra, que mediante radiotelefonía digital TETRA de última generación que permite comunicación entre el Puesto de Control Central y el conductor del tren. Así pues ante cualquier incidencia el conductor se puede ver auxiliado por especialistas que desde dicho Puesto de Control Central le asesoren para una mejor información a los viajeros y una más rápida resolución de los problemas que se produzcan durante la explotación. Adicionalmente, los trenes equipan sistemas de megafonía para establecer comunicaciones entre las cabinas de conducción y los recintos de viajeros.

Asimismo, mediante un sistema de fibra óptica en toda la red se puede establecer, a través del Puesto de Control Central, comunicación con Protección Civil, Policía, Bomberos, etc.

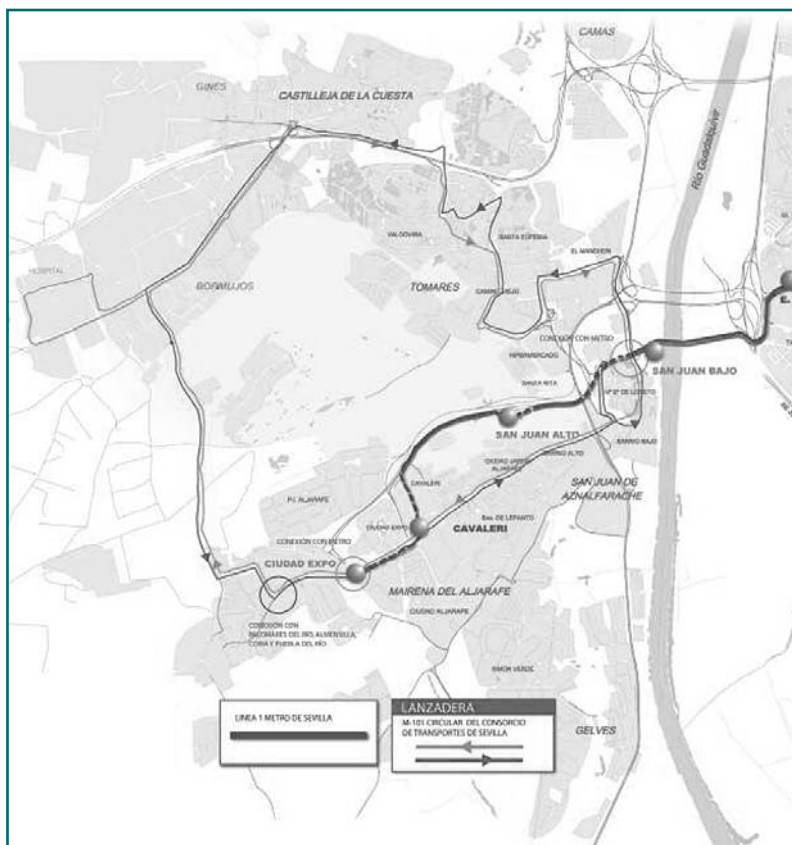
- **Confort.** El tren está concebido para facilitar un alto grado de confort y seguridad al pasajero, creando un espacio luminoso, con climatización, seguridad ante el fuego e insonorización.

- **Respecto al medio ambiente.** Para amortizar la emisión de ruidos y vibraciones, tanto al interior de los vehículos como al exterior, se utilizan ruedas elásticas, basadas en un sistema acero-caucho.

### Obras adicionales

#### Conexión de la Línea 1 de Metro de Sevilla con Alcalá de Guadaíra

La inversión prevista para la puesta en marcha del servicio de conexión de la línea 1 de Metro de Sevilla con Alcalá de Guadaíra, ascenderá a unos 98 millones de Euros (incluido material móvil). Se ha dividido en 2 tramos,



de los que se acaba de licitar la redacción de ambos proyectos constructivos

El tramo I comprende el trazado desde la Universidad Pablo de Olavide hasta Adufe y el tramo II discurre entre Adufe y Monte Carmelo.

Se trata de un ramal de conexión de unos 12 km. (con un total de 10 estaciones) que conectará desde la Universidad Pablo de Olavide hasta Monte Carmelo. El trazado se proyecta en superficie en toda su longitud, a excepción de un tramo paralelo a la A-92 (ya en Alcalá de Guadaíra) que se proyecta en subterráneo. La frecuencia estimada de paso en hora punta sería de un vehículo cada 10 minutos, con una puesta en marcha del servicio de 5 vehículos 100% piso bajo (para permitir el acceso a personas de movilidad reducida). La demanda estimada a los 10 años de la puesta en marcha del servicio está cercana a los 5 millones de viajeros/año.

#### Descripción detallada del trazado

El trazado de la ampliación de la Línea 1 del Metro de Sevilla a Alcalá de Guadaíra, comienza en la Línea 1, tras la estación de la "Universidad Pablo Olavide" donde se separa de la misma a la altura del paso del Canal del Bajo Guadalquivir hacia el Este. Continúa paralelo al cami-

no de servicio del Canal del Bajo Guadalquivir bordeando la Universidad por su borde sur, donde se ubica estación de "El Canal" que recogerá parte de los tráficos de la Universidad y de la Barriada de Condequinto. A continuación cruza los terrenos del futuro Parque Tecnológico de Alcalá de Guadaíra, donde se proyecta una nueva estación del "Parque Tecnológico" a 2 Km. de la Estación El Canal.

El trazado prosigue paralelo a la plataforma ferroviaria del antiguo corredor de "Los Panaderos" (Sevilla-Alcalá de Guadaíra-Mairena del Alcor-Carmona) hasta salvar el actual ferrocarril, La Negrilla-Polígonos Industriales del entorno de la A-92, tras la que se sitúa sobre la antigua plataforma hasta alcanzar el núcleo urbano. En este tramo se ubican tres estaciones en "Polígono la Red", "Venta Liebre" y "Polígono Cabeza Hermosa".

Al alcanzar el núcleo urbano, la traza gira hacia el Noroeste, cruzando a distinto nivel bajo la carretera SE-410 y continuando por el bulevar de la fortuna Avenida del Zacatín. En este tramo se ubica la estación de "Zacatín".

El trazado gira al sudoeste al alcanzar la A 92 en subterráneo mediante un falso túnel y sigue paralela a esta por el carril de servicio de la misma. En este tramo se ubican las estaciones de "La Paz" y "Pablo VI".

A continuación la traza gira al sur por la nueva ordenación urbana de la zona para finalizar en la estación "Monte Carmelo" al borde de la travesía Alcalá de Guadaíra, Mairena del Alcor y El Viso del Alcor.

#### Resumen de Características Técnicas

Longitud: 12.179,722 m.

El trazado discurre en plataforma reservada y plataforma segregada:

L. Plataforma reservada nuevo ramal: 6.080 m.

L. Plataforma segregada nuevo ramal: 6.100 m.

Cuando discurre en plataforma reservada, va con vía en placa y una velocidad máxima de 50 km/h. mientras que cuando lo hace en plataforma segregada (aprovechando el trazado del antiguo "tren de los Panaderos") la vía va en balasto y la velocidad máxima oscila de los 70 a los 100 km/h.

#### Estaciones

Las estaciones van en superficie a excepción de la proyectada como "Estación de la Paz", paralela a la A-92 que será subterránea. Las estaciones de zona interurbana se configuran con andenes laterales y las estacio-

nes de zona urbana lo hacen con andén central. La longitud aproximada de cada estación es de 65 m.

*Material móvil*

Se utilizará un vehículo tipo metro ligero, 100% piso bajo, bicabina de unos 33 m. de longitud, con capacidad para unos 200 pasajeros ( 56 de ellos sentados).

**Otros proyectos**

La red metropolitana se completará con los proyectos de conexión de la Línea 1 del metro de Sevilla con Dos Hermanas y el tranvía del Aljarafe. Estas dos iniciativas, aún en fase estudio informativo, junto a la prolongación de la línea 1 hasta Alcalá de Guadaíra, supondrá una inversión conjunta de más de 190 millones de euros.

También está previsto que durante el presente año se liciten la redacción de los proyectos constructivos de las líneas 3 y 4 del Metro de Sevilla.

**Obras de protección del Paso de la Línea 1 del Metro de Sevilla bajo el río Guadalquivir (Afección al lecho del Canal Alfonso XIII)**

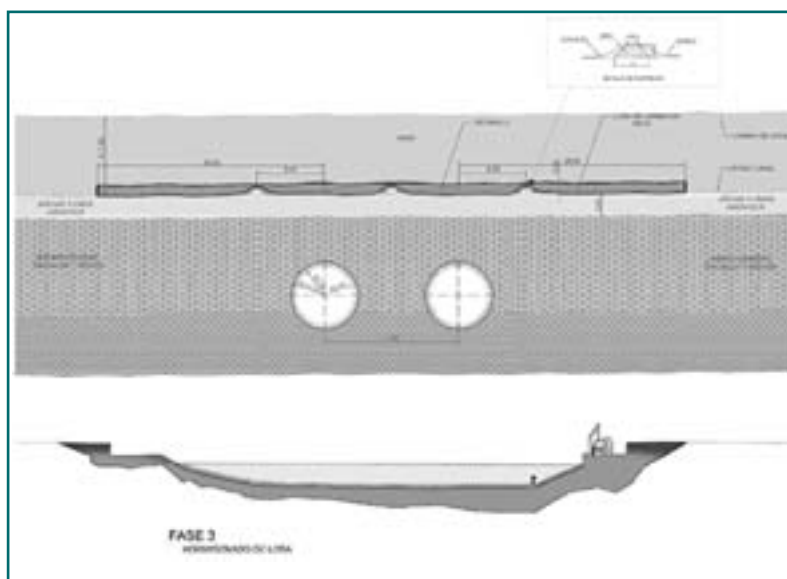
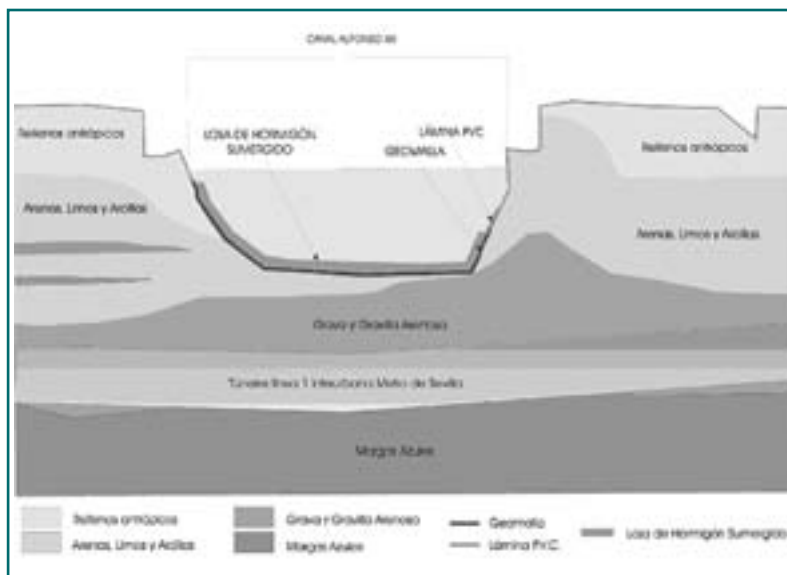
El trazado de la línea 1 Interurbana de Metro de Sevilla atraviesa mediante dos túneles el Canal Alfonso XIII.

Para la definición de la solución adoptada para la ejecución de los Tratamientos del Lecho del Canal de Alfonso XIII se han realizado expresamente un *levantamiento batimétrico* así como una *campana de sondeos geotécnicos*.

*La solución adoptada consta de los siguientes elementos*

1. Ejecución de un *Losa de Fondo de Hormigón* en masa, que dificulta el acceso del agua al frente de excavación, alargando los recorridos de flujos de agua y disminuyendo la velocidad del mismo. Esta losa de hormigón tendrá unos 0,80 m. de canto y 52 m. de anchura total.

Para la colocación de la losa se necesitarán previamente la colocación de rastreles (tres líneas de hormigón situadas en el fondo del cauce que servirán de anclaje para la geomalla) sobre los que se colocará una geomalla con el fin de evitar que al colocar la losa, ésta pueda llegar a romperse por los



asientos diferenciales. El proceso de hormigonado de la losa se llevará a cabo mediante buzos.

2. Ejecución de una *impermeabilización* en la zona de apoyo del dique en el margen izquierdo del canal (lámina de P.V.C.)

Esta solución ya se ha adoptado satisfactoriamente en la construcción de túneles como los referentes a la Construcción del Metro de Kazan (Rusia), Botlek Tunnel (Holanda), Línea 9 del Metro de Barcelona, Metro de Singapur, etc..

El presupuesto global de la actuación rondará los 3 Millones de Euros y el plazo de ejecución se aproximará a los 6 meses. ♦

## Aprobada la regulación de transacciones de derechos para el aprovechamiento de agua entre cuencas

El pasado 16 de diciembre se aprobaron por Real Decreto Ley las medidas urgentes para la remodelación de las transacciones de derechos del agua entre cuencas diferentes con el fin de disponer de un instrumento para aliviar el déficit de recursos que pueden presentarse en determinadas zonas de nuestro país.

Tras el pasado año hidrológico 2004-2005 en el que las precipitaciones fueron las más bajas de toda la serie registrada, el inicio del año hidrológico 2005-2006 presentaba una crítica situación de partida en lo que se refiere a las reservas de agua superficiales embalsadas.

La situación de las reservas para usos comunitarios al inicio del año hidrológico se elevaba a 12.257 hectómetros cúbicos, lo que representa el 34% sobre la capacidad de almacenamiento.

Esta situación supone una disminución de más de veinte puntos porcentuales sobre la situación de inicio del año anterior, doce sobre la media de los últimos cinco años y nueve sobre la media de los últimos diez años.

Según el Gobierno la urgencia en la aprobación de éstas medidas ha venido determinada por un conjunto de factores, de los cuales los dos primeros están relacionados con las cuencas potencialmente receptoras del agua y el tercero con las cuencas cedentes.

En cuanto a las cuencas receptoras -la cuenca del Segura y la del Almanzora- se plantean dos tipos de necesidades: en primer lugar, la urgencia en aliviar el déficit hídrico de determinados cultivos leñosos, en concreto los cítricos, cuya necesidad de agua es crucial por razones biológicas, necesidad que se ve

agravada ante el insuficiente aporte de agua en el año hidrológico pasado.

Pero a este primer elemento vinculado al regadío se une otra insuficiencia en un uso de mayor importancia aún, el abastecimiento de poblaciones; en concreto, el área de la mancomunidad de municipios servidos mediante los recursos del Taibilla, cuya situación presenta unos perfiles tan ajustados que hace imprescindible contar con una mínima reserva de agua ante la eventualidad de que las precipitaciones sigan siendo escasas.

Por lo que se refiere a las cuencas cedentes la razón de la urgencia se deriva del carácter irreversible de la decisión que adopten los usuarios del agua en cuanto a la siembra.

La compensación económica para los cedentes será au-

torizada por el Ministerio de Medio Ambiente, para que revierta equitativamente para ambas partes.

La disposición legal puede considerarse como "embrión" de los futuros bancos de agua; este mercado permitirá traspasar agua de unas cuencas a otras, a través de las infraestructuras ya existentes; la conexión entre los embalses de Negratín (Granada) y Almanzora (Almería) y la que existe entre el Tajo (desde los embalses de Entrepeñas y Buendía) y el Segura.

No se modifica, sin embargo, la regulación del trasvase Tajo-Segura ni del Negratín-Almanzora.

El intercambio de agua entre cuencas está previsto en la Ley de Aguas vigente aunque requiere una norma específica para ponerse en marcha. ♦

## Real Decreto sobre evaluación y gestión del ruido ambiental

El gobierno ha aprobado un Real Decreto por el que se desarrolla la ley 37/2003 del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental que tendrá una repercusión importante en la planificación, el proyecto y la explotación de infraestructuras, en particular la de las carreteras, en los próximos años.

El Real Decreto tiene por objeto la evaluación y gestión del ruido ambiental, con la finalidad de prevenir, reducir o evitar los efectos nocivos, incluyendo las molestias derivadas de la exposición al ruido ambiental, según el ámbito de

aplicación de la directiva comunitaria que se incorpora al derecho español. Se desarrollan los conceptos del ruido ambiental y sus efectos y molestias sobre la población, junto a una serie de medidas que permiten la consecución del objetivo previsto, como son los mapas estratégicos del ruido, los planes de acción y la información a la población.

En consecuencia, supone un desarrollo parcial de la Ley del Ruido, ya que ésta abarca la contaminación acústica producida no solo por el ruido ambiental, sino también por las vibraciones y sus implica-

ciones en la salud, bienes materiales y medio ambiente, en tanto que el Real Decreto sólo comprende la contaminación acústica derivada del ruido ambiental y la prevención y corrección, en su caso, de los efectos en la población.

Para el cumplimiento de su objetivo se regulan determinadas actuaciones, como son la elaboración de mapas estratégicos de ruido para determinar la exposición de la población al ruido ambiental, la adopción de planes de acción para prevenir y reducir el ruido ambiental y en particular, cuando los ni-

veles de exposición puedan tener efectos nocivos en la salud humana, así como poner a disposición de la población la información sobre el ruido ambiental y sus efectos y aquella de que dispongan las autoridades en relación con el cartografiado acústico y los planes de acción derivados en cumplimiento del mismo.

Se incorpora en la ley las previsiones básicas de la directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, y se completa la incorporación de la norma comunitaria sobre ruido ambiental. ♦

## Proyecto de ley sobre gestión de las Autoridades Portuarias

El Consejo de Ministros ha aprobado el Proyecto de Ley de modificación de la Ley sobre el régimen económico y la prestación de servicios de los puertos de interés general. Mediante esta modificación se refuerza la autonomía de gestión y funcionamiento de las Autoridades Portuarias que, además, podrán fijar su propia cuantía de tarifas.

Este Proyecto, que deberá seguir su tramitación parlamentaria dotará al

sistema portuario español de las herramientas indispensables para incrementar su capacidad competitiva, con prestaciones de mayor calidad y, lo que es más importante, con una oferta de servicios coordinada por las Autoridades Portuarias, dotadas de un amplio margen de autonomía de gestión y funcionamiento, muy superior en muchos casos al que disponen otras alternativas portuarias europeas.

El sector privado participa en la prestación de servicios portuarios en régimen de gestión indirecta y en el desarrollo de actividades comerciales e industriales en el dominio público portuario. Corresponde, a las Autoridades portuarias las funciones de provisión de la infraestructura de uso general y la de uso específico. En éste último caso, en colaboración con el sector privado y en coordinación con la oferta integral del puerto.

Concretamente, el Consejo de Ministros ha acordado modificar los Títulos I y III de la Ley 48/2003, de 26 de noviembre. Con respecto al Título I, relativo a las tarifas portuarias, el Proyecto mantiene la naturaleza



jurídica de las tasas de los ingresos que perciben las Autoridades Portuarias por la utilización privativa o aprovechamiento especial del dominio público portuario, estableciendo una estructura común.

La modificación permite que cada Autoridad Portuaria cuantifique sus tasas conforme a sus costes individualizados, en el marco de sus Planes de Empresa, acordados con el Ministerio de Fomento a través de Puertos del Estado. De esta forma, se propicia una competencia interportuaria ordenada dentro de un marco de libertad y de lealtad económica. Se potencia también el principio de autosuficiencia económica y financiera de los puertos.

Además, el Proyecto introduce una serie de mejoras técnicas entre las que cabe destacar las siguientes:

- la supresión de la tasa de servicios generales
- la reducción de la cuota de la tasa de embarcaciones deportivas y a la pesca
- una nueva definición de las bonificaciones para potenciar la intermodalidad
- la reducción de la tasa de estancia de los buques en puerto durante los fines de semana

Este sistema de fijación de las tasas supone una importante racionalización en el procedimiento de determinación de las mismas. Este hecho viene motivado porque se podrán imputar mejor los costes en los que incurra cada Autoridad Portuaria. Con ello, se favorece la contención de los gastos de explotación y se mejoran los criterios para el establecimiento del plan de inversiones, de conformidad con los re-

querimientos reales de la demanda.

Además, el Proyecto incluye bonificaciones con el objetivo de potenciar y consolidar, a nivel internacional, el papel de España como plataforma crucial y logística. Se pretende potenciar la intermodalidad marítima e incentivar las prácticas medioambientales con el fin de incrementar la calidad.

Con respecto a la modificación del Título III, relativo a la prestación de servicios, las modificaciones más sustanciales son:

- La desaparición de la distinción artificial existente actualmente entre servicios portuarios generales y básicos.
- La modificación de las Sociedades de Estiba, que pasarán a denominarse Sociedades Anónimas para el Trabajo de Estiba. En defensa del interés general, en estas sociedades tendrán participación mayoritaria las Autoridades Portuarias.

Pero se exigirán mayorías cualificadas para la adopción de ciertos acuerdos relevantes, con el objetivo de provocar aproximaciones con los sectores privados involucrados.

- El fomento de la contratación por parte de las empresas estibadoras de trabajadores en relación laboral común.
- Un tratamiento específico para los nuevos tráficos asociados a las autopistas del mar, a fin de hacer más atractivo en términos de calidad y precio el transporte marítimo en relación con otras alternativas. ♦

## Por primera vez la producción eléctrica de origen eólico superó a la hidráulica

Según datos de la Red Eléctrica Española (REE) la producción del sector eléctrico en España aumentó un 4,1 % durante el año 2005.

Sin embargo varió sustancialmente el reparto entre los distintos tipos de fuentes de generación. Por primera vez la producción de energía de origen eólico superó a la hidráulica, en gran parte debido a la sequía padecida durante el período, así como al aumento de los parques de generación eólica.

Las centrales de carbón (77.550 Gw hora) y nucleares (55.549 Gw hora) se mantienen como los principales generadores de energía en nuestro país, si bien la primera aumen-

ta ligeramente (1,56 %, sobre la producción del año 2004) la nuclear descendió el 9,52 %.

Aumentó de forma muy importante la energía suministrada por centrales de ciclo combinado (48.162 Gw hora, con un crecimiento del 66,2 %), así como la eólica (20.026 Gw hora con un crecimiento del 28,58 %). La producción de origen hidráulico alcanzó 19.307 gw/hora con un descenso del 35, 16 % viéndose por vez primera superada por la de origen eólico y de ciclo combinado.

El sistema español de energía eléctrica cuenta con un parque de generación de ciclo combinado de una potencia de 12.559 Mw (diez veces más



que en 2000) y con instalaciones eólicas con 10.000 megavatios (seis veces más que hace cinco años)

Entre 2001 y 2005, las principales empresas españolas de producción de electricidad (Endesa, Iberdrola, Unión Fenosa, Hidrocantábrico y Viesgo) han invertido 12.100 millones de euros en el negocio de la generación.

Iberdrola, con 4.000 Mw en ciclos combinados y 3.200 Mw en parques eólicos, es la compañía con más peso en estas tecnologías, compensando así su dependencia de la producción de origen hidráulico.

Sin embargo las plantas de carbón (Endesa y Unión Fenosa como principales propietarios) se mantienen como las que más aportan al sistema (77.550 gigawatios hora).

## El Tribunal Supremo ordena la demolición de la depuradora de la cuenca Saja-Besaya (Cantabria) recientemente inaugurada

A finales de diciembre, la Ministra de Medio Ambiente, se reunió con la asociación ecologista ARCA (Asociación Para la Defensa de los Recursos Naturales de Cantabria) con el fin de tratar la posible paralización de la ejecución de una sentencia del Tribunal Supremo que obliga al Estado a derribar la recientemente inaugurada depuradora de la cuenca del Saja-Besaya. Se trata de una obra muy importante en la se invirtieron 26 millones de euros, con una superficie de 87450 metros cuadrados asentada sobre un relleno de 5 m de altura consolidado con pilotes de hormigón de 20 m, sobre las marismas de la Junquera, zona de protección especial que forma parte del dominio público marítimo terrestre.

La planta de Cortiguera, (también llamada de Vuelta Ostrera) es una pieza clave del Plan de saneamiento de la cuenca de los ríos Saja y Besaya, pero según la asociación ecologista ARCA se salta parte de la legislación autonómica estatal y europea, lo que ya fue advertido cuando se iniciaron las obras, a través de sendas actas notariales que verificaban la inundación periódica de los terrenos, origen de su naturaleza legal como dominio público marítimo terrestre.

Ello provocó la paralización de los trabajos de relleno durante ocho meses, hasta que el Consejo de Ministros del 27 de abril de 2001 retiró la protección al calificar el lugar como reserva del estado, un

cambio que los ecologistas denunciaron ante el Tribunal Supremo de justicia.

Finalmente el alto Tribunal dictó en noviembre una sentencia histórica, declarando nulo el acuerdo gubernamental y ordenado la demolición de la planta depuradora.

El Supremo mantiene que el acuerdo gubernamental no respeta la exigencia impuesta por el artículo 32.1 de la Ley de Costas referida a que únicamente se podrá permitir la ocupación del dominio público marítimo-terrestre para aquellas actividades o instalaciones que, por su naturaleza no pueden tener otra ubicación. En el origen del proyecto, junto al emplazamiento actual se presentaron se-

gún ARCA tres lugares alternativos a tan solo 500, 1300 y 3500 m. de distancia de éste pero Medio Ambiente recogió el único calificado de dominio público de de gran riqueza ecológica.

La asociación ecologista plantea como alternativa que el saneamiento se divida en dos partes, con dos depuradoras, una cerca de la actual pero fuera de la marisma y otra en una parte más alta de la cuenca, en Los Corrales de Buena. Ambas deberían tener un volumen de depuración mayor que la que hay que demoler y verter la mayor parte del agua reciclada al propio río, para evitar que este se seque y permitir que la marisma tenga siempre agua salobre. ♦

Las nucleares, a pesar de haber reducido su producción en un 9 % por la parada de algunas plantas, siguen en segunda posición en cuanto a fuente de producción. Endesa e Iberdrola son las compañías con más presencia en el negocio nuclear.

Por lo que respecta a la producción de electricidad de origen eólico, el 15 de febrero se registró en España el máximo histórico, con 7.006 Mw a las 21,25 horas, cubriéndose el 20 % de la demanda de energía eléctrica en nuestro país. El anterior record se había alcanzado el 8 de abril de 2005, con 6.402 Mw de generación eólica.

La contribución de este sistema de generación alternativo se prevé creciente debido al aumento de la capacidad instalada. A finales del pasado año la potencia eólica alcanzó los 10.028 Mw mientras que actualmente se sitúa ya en torno los 10.200 Mw. La gran singularidad que presenta la energía eólica es que tiene graves problemas de gestión por su carácter imprevisible, por lo que por el momento solo puede ser un sistema de apoyo al resto de medios de generación tradicionales.

La empresa Acciona, que a principios de febrero puso en marcha la mayor planta de energía solar de Estados Unidos, en el desierto de Arizona, ha anunciado el inicio de la actividad de una "huerta solar" en la población Navarra de Castejón, que será la mayor instalación fotovoltaica de España. La inversión de 19 millones de euros permitirá generar 4,4 millones de Kw hora anuales de electricidad. ♦

## Plan Estratégico de ADIF para el período 2006-2010

El presidente de Adif, Antonio González Marín, ha presentado al Consejo de Administración de la entidad pública empresarial las líneas maestras del Plan Estratégico de la empresa para el período 2006-2010.

El Plan Estratégico de Adif recoge las líneas de actuación empresarial, para su adaptación a las responsabilidades derivadas del marco legal en que se desenvuelve la actividad de la entidad, constituido básicamente por el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte y la Ley del Sector Ferroviario. El Plan aborda y define la hoja de ruta de la empresa para el quinquenio 2006-2010, marcada por cuatro aspectos básicos:

- La evolución del entorno regulatorio, que obliga a una revisión de funciones dentro del ámbito de responsabilidad de Adif para asegurar un acceso no discriminatorio a la red (en 2006 mercado liberalizado para operadores de mercancías y, previsiblemente, en 2010 para operadores de viajeros).
- La evolución del sector, para dar respuesta a los objetivos de desarrollo del mercado y facilitar la mejora de competitividad del ferrocarril frente a otros modos de transporte.
- Nuevo modelo de relación con los actores del sector para definir el modelo de negocio de algunos activos determinados y de-



sarrollar una red interoperable de altas prestaciones, y diseñar el modelo de rentabilidad económico-social.

- Nuevo modelo de empresa que permita la potenciación de una cultura y valores acordes con el nuevo entorno y la misión de Adif.

### Un nuevo modelo de gestión

Igualmente, el Consejo de Administración aprobó la nueva organización de la empresa adaptada a los retos y objetivos del Plan Estratégico.

Destaca la incorporación al ámbito corporativo de una nueva área de Planificación Estratégica, cuyas competencias serán entre otras, el estudio y análisis de la red a futuro en coordinación con las administraciones públicas así como la gestión estratégica de los activos.

En la parte operativa de la estructura se identifican las tres grandes áreas en las que se concentra la actividad de la empresa:

- Grandes Proyectos de Alta Velocidad, cuya misión es la elaboración de los proyectos y la construcción de las plataformas de las futuras líneas de Alta Velocidad, además de los servicios asociados a esta actividad.
- Desarrollo de la infraestructura, con el cometido de gestionar la construcción de la superestructura y el mantenimiento tanto de la red de alta velocidad como convencional así como la potenciación del área de I+D+i.
- Explotación de la infraestructura, que incorpora las áreas más directamente relacionadas con los clientes: estaciones, terminales, energía, telecomunicaciones, así como la gestión de la capacidad y la regulación de la circulación.

Además, se crea la figura de "responsable de corredor" con la misión de garantizar la integridad de todo el proceso constructivo de las nuevas infraestructuras de alta veloci-

## CUADRO DEL MES

### LICITACIONES

Proyectos	Presup. Licitación (€)
Estudio de viabilidad e informativo de la prolongación de la Autopista de Peaje R-3 hasta Tarancón	1.230.000,00
Estudio de la variante de Ayora de la N-330 Valencia	157.808,00
Estudio para adecuar el tra. Alcolea del Pinar-Monreal del Campo de la N-211, en las provincias de Guadalajara y Teruel	1.734.472,00
Proyecto para la supresión de 16 pasos a nivel en las provincias de Valencia y Castellón	1.123.202,49
Obras	Presupuesto
Consevación del firme en varios tramos de la M-40 y de la Autovía de Toledo en Madrid	6.110.239,05
Obras del acceso sur a Toledo de la carretera N-401	11.937.582,07
Obras de mejora en los accesos s San Fernando, en la Provincia de Cádiz	5.916.633,56
Mejora del firme en un tramo de la autovía A-2, en Lleida	9.676.178,92
Obras de conservación de firme en varios tramos de carreteras en las provincias de Zaragoza y Huesca	5.720.830,94
Consevación y refuerzo del firme de la N-625 entre el límite provincial de León y Santillán, en Asturias	1.317.577,07
Colocación de barreras en la A-6 entre los límites provinc. de León y .Coruña, en la provincia de Lugo	698.251,98
Rehabilitación del firme del tra. Santa Eulalia del Campo-Monreal del Campo, en Teruel	1.347.537,40
Rehabilitación del firme en el tra. Montgat- Arenys de Mar de la N-II, en Barcelona	4.893.376,02
Rehabilitación del firme en el tra. entre el límite provinc. de Madrid y Maqueda de la A-5 en Toledo	6.004.303,93
Obras de seguridad vial en el tra. Almenara-Nules de N-340 en Castellón	9.098.083,36
Obras de mejora de los accesos a Sopeira en la N-230, en Huesca	1.483.309,83

### ADJUDICACIONES

Proyectos	Presupuesto	Empresa Adjudicataria
Proyecto de 6 tramos de la circunvalación SE-40 de Sevilla	2.890.000,00	Varias empresas
Construcción una vía de servicio en la A-5 en Navalcarnero (Madrid)	112.781,24	Ingeoconsult Ingeniería S.A.
Estudio para construir una autovía entre Zafrá (A-66) y Huelva (A-49), provincias de Badajoz y Huelva	2.360.000,00	Euroestudios y Equipo Técnico en Transportes y Territorio S.A.
Estudio para la conexión de las carreteras N-120 y N-536 en el Barco de Valdeorras en Ourense	120.701,48	Norcontrol S.L.
Proyecto vía de servicio en la margen izquierda de la A-5 en Navalcarnero en Madrid	114.297,37	Intraesa S.A
Proyecto de la variante de Aranda de Duero de la A-11, en la provincia de Burgos	773.750,00	G.O.C. S.A
Estudio del tramo Ponferrada-Ourense de la autovía A-76 en las provincias de Ourense, Lugo y León	945.629,22	Prointec S.A.
Proyecto del tramo La Algaba-La Rinconada de SE-40 en Sevilla	599.438,70	UTE Urbaconsult S.A. yTorroja Ingeniería
Estudio de la Variante de Las Roza de la A-6 en Madrid	391.970,52	Intecsa-Inarsa
Proyecto de reordenación de accesos de la A-1 en el término Municipal de El Molar	112.947,01	Sociedad de Estudios del Territorio e Ingeniería S.A.
Obras	Presupuesto	Empresa Adjudicataria
Reposición de marcas viales en varios tramos de carreteras de la provincia de Ciudad Real	513.672,29	Señalizaciones de Vías Públicas, S.L.
Instalación de pantallas antirruido en el tramo Estepona-Marbella-Fuengirola-Mijas Costa-Málaga de la A-7 en la provincia de Málaga	14.072.274,17	Construcciones, Asfaltos y Control S.A
Obras de repintado de marcas viales en varias carreteras de la provincia de León	1.028.000,00	Garse S.A.
Obras de seguridad vial en la carretera N-232 en La Puebla de Híjar y Alcaniz (Teruel)	2.485.000,00	Viales y Obras Públicas S.A.
Conservación del firme en la A-4. entre Carmona y Enlace Brenes con Mirena, en Sevilla	1.500,00	Construcciones y Contratas Aldilop, S.L.
Obras del tramo Vilamar-Barreiros de la Autovía del Cantábrico, en Lugo	30.243.113,20	Comsa S.A
Obras del tramo Motril (El Puntalón)-Carchuna de la A-7 en Granada	46.010.364,33	Acciona Infraestructuras S.A
Obras del segundo tramo del acceso terrestre a la ampliación del puerto de Ferrol	34.926.207	FCC Construcción, S.A
Obras de mejora de vía del tramo Chinchilla-Agramón en la provincia de Albacete	35.740.114,24	Comsa S.A.
Obras del tramo Maçanet-Sils de la Autovía del Nordeste, en Girona	23.339.145,08	Copcisa S.A.
Reordenación de accesos del tramo La Seu d' Urgell	1.775.853,07	Pasquina S.A.
Adecuación del tramo Avenida das Américas, perteneciente a la travesía de la N-640	574.081,31	Mantenimiento y Construcciones Alcuba S.A.
Obras de seguridad vial en la A-31 en Albacete	207.060,00	Cemat S.A.
Insatulación de barreras de seguridad en el tramo Límite Provincial de Salamanca Variante de Plasencia de la N-630 en Cáceres	959.486,85	Comsa S.A.
Obras del tramo Encinas Reales-Benamejí de la A-45 en las provincias de Córdoba y Málaga	37.742.400,68	Ute constructora San José S.A y Detea S.A.

## La Comisión Europea ratifica la subvención de 257 millones de euros al Puerto de la Coruña

La comisión europea ha ratificado la concesión de una ayuda de 257 millones de euros para financiar la construcción del puerto exterior de La Coruña. España había solicitado 280 millones con cargo a los Fondos de Cohesión. La obra portuaria costará 429 millones, el coste integral del proyecto es de 630 millones de euros.

La autoridad portuaria recibirá en breve un anticipo del 20 %, es decir 51,4 millones de euros, el 80 % restante se librára por la Unión Europea a medida que avancen las obras, una vez se compruebe el cumplimiento de los requisitos de la subvención mediante el seguimiento de las obras por los funcionarios de la Comisión Europea. El Puerto está obligado a gastar la subvención de la Unión Europea antes de que termine el 2010, ya que el plazo concedido para su otorgamiento finaliza dicho año. Este requisito ha obligado a variar el plan de obras de la nueva dársena y la Actividad Portuaria confía en que no habrá ningún problema para cumplir esa condición. Según el proyecto del consorcio de constructoras que ejecutan los trabajos, la infraestructura estará terminada en 2011.

La construcción del puerto exterior de La Coruña permitirá alejar de la ría los buques con mercancías peligrosas y eliminará el impacto ambiental que producen las descargas de carbón y soja a pocos metros del casco urbano. El primero es, quizás, el motivo más apremiante. La Coruña es la única ciudad del mundo que ha sufrido en el último medio siglo tres desastres marítimos: los del "Urkiola" el "Erkowitz" y el "Mar Egeo".

Además el nuevo puerto evitará la crisis de los actuales muelles, que se han quedado sin espacio para atender la demanda de los empresas instaladas en ellas, creará 15000 empleos a medio plazo y permitirá el desarrollo industrial de las comarcas de la zona. ♦

## Decisión del Tribunal de Justicia Europeo sobre equiparación de títulos profesionales de otros países al de Ingeniero de Caminos

El Tribunal Supremo español planteó en julio de 2003 una petición prejudicial al tribunal de Justicia de la Unión Europea en el marco de un litigio entre el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y la Administración General del Estado, por la solicitud presentada por un ingeniero civil italiano, en la especialidad de hidráulica, para que se le autorizara a acceder a la profesión en España.

El ciudadano italiano en cuestión solicitó en 1996 el reconocimiento de su titulación, lo que fue aceptado por el Ministerio de Fomento.

Ésta decisión fue recurrida por el Colegio de Ingenieros de Caminos, que argumentó que existía una "diferencia fundamental" en el contenido de la formación y en las actividades que abarcan la titulación italiana y la española.

La Audiencia Nacional española rechazó ese recurso al considerar que la formación italiana incluía las materias fundamentales exigidas en España, decisión que fue igualmente recurrida por el Colegio ante el Tribunal Supremo. Este decidió entonces plantear una cuestión prejudicial al Tribunal de Justicia europeo sobre la posibilidad de que el Estado de acogida realice un reconocimiento limitado de la titulación.

En su pronunciamiento, el Tribunal Europeo considera que un Estado miembro no puede denegar el reconocimiento, aunque sea limitado, de un título de enseñanza superior conseguido en otro país de la Unión.

El Tribunal señala que la directiva de reconocimiento de títulos, permite dar un acceso parcial que limite la integración para ejercer la profesión "exclusivamente a aquellas actividades en las que el título en cuestión de acceso en el Estado miembro en el que haya sido

obtenido". Pero desde el punto de vista de la legislación comunitaria que establece la libre circulación de trabajadores, la concesión de una autorización parcial dependería del contenido de la formación.

Según explica la sentencia, son las autoridades del Estado miembro de acogida y concretamente sus órganos jurisdiccionales competentes los que deben determinar en cada caso "hasta que punto el contenido de la formación obtenida por el interesado es diferente de la que se exige en dicho Estado".

En función de la enseñanza el Estado de acogida debe decidir si el solicitante puede, a través de una formación complementaria o de un período de prácticas, conseguir los mismos conocimientos que los titulados en su territorio.

Si considera que se puede conseguir, entonces puede rechazar ese reconocimiento parcial puesto que tras seguir el período de practica o de formación el solicitante podría obtener el acceso total a la profesión.

Pero si se estima que las diferencias de formación son demasiado grandes y no se pueden eliminar con una formación extra entonces hay que conceder una autorización parcial.

En ese sentido, la sentencia señala que el Tribunal Supremo español ya ha podido comprobar que el contenido de la formación que corresponde a la profesión de ingeniero civil hidráulico en Italia -cuatro años de estudios- y la de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos en España presentan diferencias "fundamentales".

No obstante el Tribunal Europeo precisa que siempre se puede denegar el reconocimiento parcial de una titulación si ese rechazo "se justifica por razones imperiosas de interés general". ♦

## La U.E., su dependencia energética y la energía nuclear

Europa comenzó el año con el sobresalto de la drástica disminución del suministro de gas, que en algunos países de la UE llegó hasta el 50 %.

La era de la abundancia energética está dando paso a la de la inseguridad, con la energía como bien limitado y en creciente demanda.

Actualmente la UE importa la mitad de la energía que consume y con tendencia a disminuir.

En las últimas dos décadas, la UE se ha centrado en la liberalización de los mercados de gas y electricidad, proceso prácticamente concluido. Ahora llega el momento de la diversificación.

Desde la crisis del petróleo del año 1973, Europa no ha sentido peligrar sus suministros energéticos de forma colectiva, salvo excepciones puntuales, mientras que ahora hay múltiples circunstancias que amenazan el suministro. La economía europea se ha desarrollado en las últimas décadas a partir de bajos precios, circunstancia que está cambiando de forma acelerada.

La irrupción económica de China, India y otros países en vertiginoso crecimiento económico, hacen prever que en 25 años la demanda energética global será un 60 % superior a la actual.

Europa debe prepararse para el futuro y buscar nuevas alter-

nativas. A corto plazo la alternativa más realista, a pesar de los rechazos que ocasiona es la fusión nuclear. A largo plazo, los grandes retos son la fusión nuclear y el hidrógeno.

La diversificación incluye desde buscar suministradores alternativos para el gas (Noruega, Argelia, Nigeria) y abrir nuevas conducciones (Alemania, y Rusia tienen previsto poner en marcha en 2010 un nuevo gasoducto por el Báltico, mientras se reactiva el plan de abrir un cuarto corredor par allegar gas y petróleo desde Oriente Próximo y el Caspio, a través de Turquía y el sureste de Europa) hasta explorar el papel a atribuir a la energía nuclear en el futuro, pasando por cómo potenciar las fuentes de energía renovables y alternativas y cómo aumentar la llegada de gas licuado, que al ser transportado en buques goza de una flexibilidad imposible de conseguir con los gasoductos fijos.

Uno de los países que ha comenzado el debate nuclear es el Reino Unido, cuando al flaquear sus reservas del Mar del Norte, acudió al mercado europeo del gas y la electricidad. Y comprobó que dicho mercado energético no funcionaba correctamente y que urgía la interconexión de las redes de gas y electricidad europeas.

IMPORTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE GAS Y PETRÓLEO EN LA UE-15 (2003)		
PETRÓLEO		
(Miles de mill. de toneladas)		%
Rusia CEI	140,1	26,0
Noruega	104,5	21,5
Arabia Saudí	61,2	11,2
Libia	44,9	8,2
Irán	34,9	5,5
Oriente Próximo	11,9	4,1
Otros	94,5	23,4
<b>Total</b>	<b>492,0</b>	<b>100,0</b>
GAS		
(Miles de mill. de m <sup>3</sup> )		%
Rusia	74.169	32,7
Noruega	64.746	29,1
Argelia	54.431	25,2
Nigeria	9.013	3,0
Qatar	1.893	1,0
Otros	4.837	4,4
<b>Total</b>	<b>249.089</b>	<b>100,0</b>

La ineficiencia del mercado energético se vió agravada por la falta de seguridad en el suministro de gas, tal como se puso de manifiesto a principios de este año cuando Rusia cortó el abastecimiento a Ucrania, lo que causó una fuerte alarma en los mercados europeos.

El abastecimiento y los precios del petróleo han registrado nuevas tensiones por la inestabilidad en países como Nigeria, octavo exportador mundial, que ha reducido su producción un 9 %, o Irán, cuarto productor del mun-

do, bajo la amenaza de sanciones. Las nacionalizaciones de gas en Bolivia añaden inseguridad sobre las fuentes de suministro. Esta situación se agrava por la creciente dependencia exterior de los suministros. Actualmente, las importaciones representan el 50 % del consumo total de energía en la UE y pasarán al 65 % en 2030. En el caso del petróleo y de gas, la dependencia exterior crecerá hasta el 94 % y el 84 %, respectivamente.

Ante las incertidumbres sobre el suministro, la escalada de los precios y la preocupación por el efecto invernadero de las emisiones de CO<sub>2</sub>, la energía nuclear, de la mano de Francia y bajo la atenta mirada del Reino Unido, ha vuelto a la palestra como una de las posibles soluciones al desafío energético.

La energía nuclear que contribuye con un 34% al mercado europeo de la electricidad, aporta elementos positivos como la continuidad del servicio a precios competitivos y la lucha contra el cambio climático.

Si no se construyen nuevas centrales, la contribución de esta energía a la producción de electricidad descenderá hasta el 17,4% en 2030; según las previsiones de la Comisión.

Francia, que produce el 66% de su electricidad con energía nuclear, reconoce que en cual-

CONSUMO FINAL. Año 2002 (en millones de toneladas equivalentes de petróleo)					
	Carbón (52)	Petróleo (475)	Gas (258)	Electricidad (218)	E. Renovables (30*45)
Alemania	9,8	96,2	56,6	42,9	5,1
<b>España</b>	<b>1,8</b>	<b>48,2</b>	<b>14,1</b>	<b>17,5</b>	<b>3,6</b>
Francia	6,4	73,9	29,2	33,8	8,9
Italia	3,2	57,2	37,9	24,3	1,9
R. Unido	4,6	61,8	51,2	28,6	0,6

\*Derivada del calor

DEPENDENCIA EN LA IMPORTACIÓN Año 2002 (en %)				
	Total	Carbón	Petróleo	Gas
<b>UE-25</b>	<b>46,0</b>	<b>33,2</b>	<b>76,8</b>	<b>51,3</b>
Alemania	60,5	29,6	96,0	79,5
<b>España</b>	<b>78,3</b>	<b>66,3</b>	<b>101,2</b>	<b>101,0</b>
Francia	50,3	92,7	99,2	98,3
Italia	86,7	95,8	94,7	64,1
R. Unido	-12,8	48,9	-50,9	-8,1

DEPENDENCIA EXTERIOR EN 2003 En porcentaje				
	Total	Sólidos	Petróleo	Gas
Alemania	61,1	29,1	98,0	78,8
Austria	69,8	83,8	93,5	78,7
Bélgica	78,8	86,2	100,9	98,9
Chipre	99,1	94,7	100,6	—
Dinamarca	-31,7	98,3	-98,0	55,7
Eslovaquia	64,6	79,9	90,6	96,8
Eslovenia	53,4	20,4	101,4	99,4
<b>España</b>	<b>76,4</b>	<b>63,4</b>	<b>99,6</b>	<b>99,1</b>
Estonia	27,4	6,8	73,7	100,0
Finlandia	59,2	80,6	102,1	100,0
Francia	50,5	86,0	99,4	95,5
Grecia	67,4	4,7	96,1	98,8
Holanda	37,6	104,6	91,7	-45,0
Hungría	61,1	26,8	71,0	83,5
Irlanda	87,1	65,8	96,3	85,2
Italia	84,0	97,7	82,9	80,3
Letonia	58,7	93,7	101,5	104,4
Lituania	45,3	98,9	89,5	100,0
Luxemburgo	98,7	100,0	100,2	100,0
Malta	100,0	—	100,0	—
Polonia	14,3	-23,0	96,5	66,6
Portugal	85,3	99,7	103,1	100,3
Reino Unido	-5,9	52,2	-33,2	-8,2
Rep. Checa	24,9	-17,4	95,8	98,2
Suecia	42,9	92,7	106,3	100,0
UE 25	49,5	35,4	76,6	53,0
UE 15	51,8	55,1	79,2	49,2

CONSUMO FINAL DE ENERGÍA EN 2003 Millones de toneladas equivalentes de Petróleo							
	Total	Sólidos	Petróleo	Gas	Electricidad	Cogeneración	Renovables
Alemania	230,4	9,8	92,6	61,2	43,8	17,6	5,4
Austria	25,5	0,8	11,0	4,4	5,2	1,6	2,5
Bélgica	38,1	2,4	17,5	10,3	6,9	0,6	0,5
Chipre	1,8	0,0	1,4	0,0	0,3	0,0	0,0
Dinamarca	15,0	0,2	6,9	1,8	2,8	2,6	0,7
Eslovaquia	11,0	1,4	2,3	3,9	2,1	1,0	0,3
Eslovenia	4,7	0,1	2,3	0,6	1,1	0,2	0,4
<b>España</b>	<b>89,7</b>	<b>1,8</b>	<b>49,5</b>	<b>15,7</b>	<b>18,9</b>	<b>0,1</b>	<b>3,7</b>
Estonia	2,7	0,1	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4
Finlandia	25,7	0,8	8,0	1,2	7,0	3,9	4,7
Francia	158,0	4,8	73,0	34,0	35,0	1,2	10,0
Grecia	20,5	0,6	14,1	0,4	4,2	0,2	1,0
Holanda	51,6	1,3	16,4	21,6	8,5	3,4	0,4
Hungría	17,6	0,7	4,3	7,6	2,7	1,5	0,8
Irlanda	11,3	0,5	7,4	1,3	2,0	0,0	0,2
Italia	130,2	3,8	58,2	40,7	25,0	0,7	1,8
Letonia	3,7	0,1	1,1	0,5	0,4	0,7	1,0
Lituania	4,0	0,2	1,3	0,4	0,6	0,8	0,6
Luxemburgo	3,9	0,1	2,6	0,6	0,5	0,1	0,0
Malta	0,5	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0
Polonia	56,6	11,5	15,6	7,9	8,5	8,4	4,8
Portugal	18,3	0,1	10,5	1,2	3,7	0,3	2,5
Reino Unido	150,1	4,1	61,2	51,6	29,0	3,6	0,6
Rep. Checa	25,5	4,5	6,2	6,8	4,5	2,7	0,8
Suecia	33,8	1,2	11,3	0,7	11,2	4,3	5,2
UE 25	1.129,0	51,0	475,0	274,0	225,0	56,0	48,0
UE 15	1.002,0	33,0	440,0	245,0	204,0	40,0	39,0

quier caso respeta el principio de subsidiariedad sobre la producción energética, lo que significa que la elección de las fuentes de energía corresponde a los Estados.

Actualmente, en Europa la situación es muy diversa. Austria e Italia no tienen instalaciones nucleares. Alemania, Bélgica y España, han decidido paralizar nuevas construcciones. Francia y Finlandia apuestan por esta

fuente energética y el Reino Unido podría replantearse su postura en los próximos años.

En el futuro hay que pensar en Centrales nucleares más pequeñas, más compactas, más seguras y más baratas.

Es un hecho, que hay que tratar de modificar, que " la concentración en los mercados de gas y electricidad en numerosos Estados que permiten a los operadores influir en

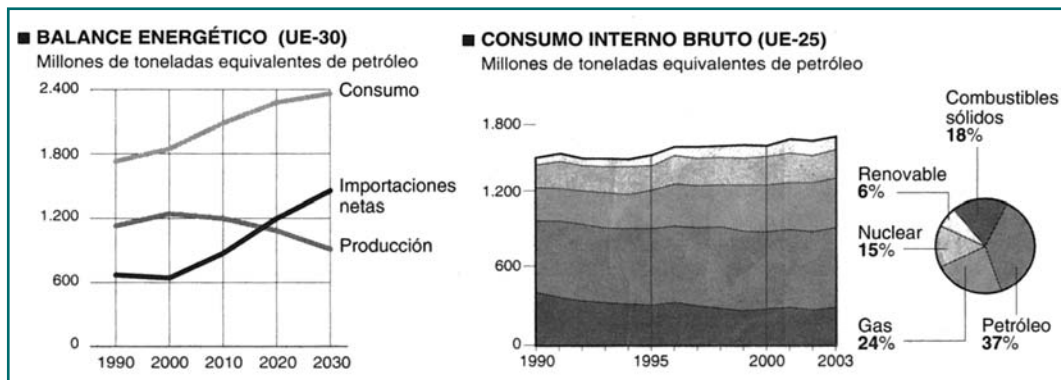
los precios" y en "los obstáculos en el aprovisionamiento transfronterizos que impiden el desarrollo de mercados energéticos europeos integrados".

El accidente de la central nuclear en Chernobil, en 1986, dio un gran golpe a la energía nuclear en Europa, donde en tres lustros no se ha abierto ningún reactor. La crisis del gas ruso y el encarecimiento del petróleo han acabado con el viejo tabú,

aunque ya el año pasado Finlandia, un país nada sospechoso de vandalismo medioambiental, comenzó a construir un nuevo reactor nuclear. La renuclearización de la energía europea, donde casi el 20% de la electricidad procede del átomo, está en marcha, con no menos de diez países dispuestos a potenciar esa fuente de aprovisionamiento.

**Actualmente en Europa, hay vientos de cambio**

Finlandia, tiene en construcción un nuevo reactor que entrará en funcionamiento en 2009. Francia, que ya aporta a su electricidad el 60% por vía nuclear, planea añadir una central más. El Reino Unido está estudiando su propia moratoria, que contemplaba cierres escalonados entre 2015 y 2020



para las 14 centrales. Con 31 reactores, que tienen en la actualidad.

Alemania, Italia, Suiza, Suecia; Bélgica, Bulgaria, Rumania, la República Checa y Lituania tienen planes de construir centrales ó de suspender sus moratorias.

La energía nuclear siempre ha estado sometida a debate y siendo protagonista de importantes controversias.

En España, los nueve reactores nucleares están produciendo un 25% de la electricidad que consumimos.

La aportación nuclear en el sistema eléctrico nacional asegura una electricidad de base que no se ve afectada por factores climatológicos y tampoco por los elevados precios de los combustibles como el petróleo o gas. Las centrales nucleares producen una electricidad lim-

pia, que no emite gases de efecto invernadero y con un coste estable y absolutamente competitivo respecto a otras fuentes de energía.

No se trata de apoyar una única fuente de energía, la garantía de suministro a precios ambientales y económicos razonables precisa contar con todas las fuentes de energía disponibles tecnológicamente y la energía nuclear es una de ellas.

El debate necesario tiene que girar sobre dos factores: una adecuada diversificación de fuentes en nuestro sistema y una mejora en la capacidad de interconexión con otros países.

Es necesario que la sociedad se conciencie de la necesidad de ahorrar energía, igual que ya ha comenzado a entender la necesidad de ahorrar agua. ◆

Fuente: Comisión Europea

## Marcha atrás en la liberalización de los servicios portuarios europeos

El Parlamento Europeo rechazó por mayoría la directiva sobre el acceso al mercado de los servicios portuarios que ya había sido rechazada, en una versión anterior, hace dieciocho meses. Con ello se aborta la iniciativa de liberalización de los servicios portuarios.

Las manifestaciones y huelgas de los estibadores portuarios de los países de la UE han influido decisivamente en el rechazo del Parlamento europeo.

Uno de los puntos mas polémicos de la Directiva es la llamada "autoasistencia", por la cual las empresas navieras podrían utilizar a sus tripulaciones para la carga y descarga de los barcos, con el consiguiente perjuicio para los trabajadores portuarios.

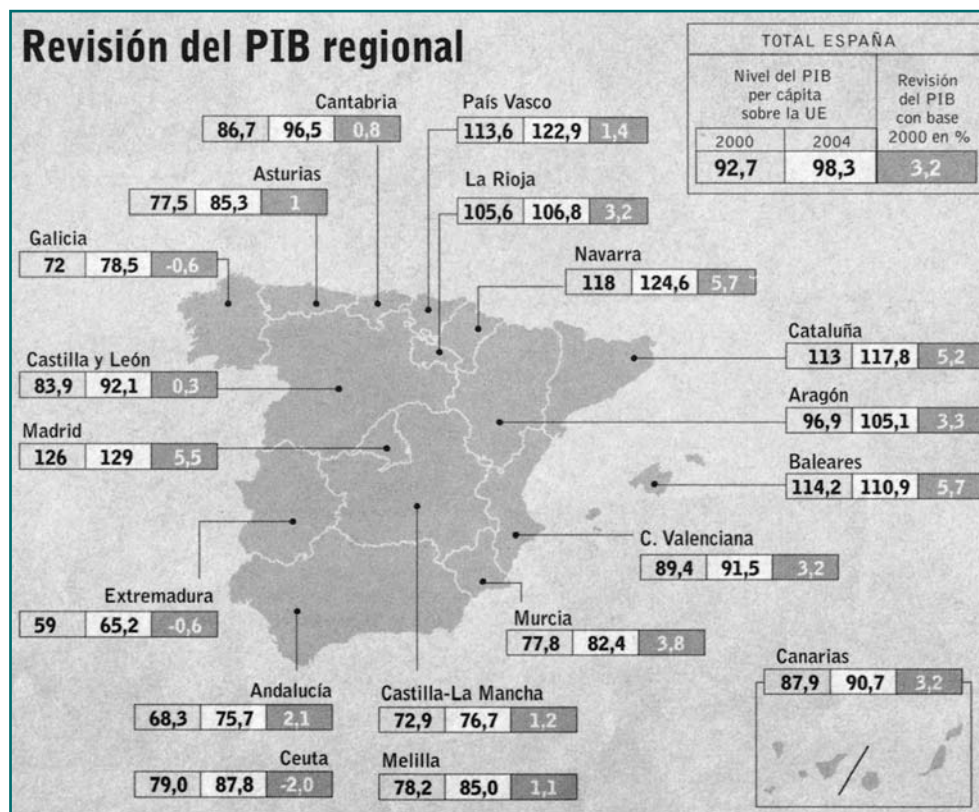
En definitiva, el objetivo fundamental de la norma, que era intensificar la competencia entre los puertos, habrá de intentarse por otros medios. ◆

## Crecimiento económico de las regiones españolas en comparación con la U.E.

El crecimiento económico experimentado en los últimos años por España y en consecuencia por sus regiones, ha hecho que una parte importante de las mismas, cambie su status respecto a la UE en lo que se refiere a los derechos de percepción de ayudas comunitarias.

De hecho, a finales de 2004, siete regiones tienen ya mayor PIB per cápita que la UE y solamente Extremadura se encuentra por debajo (65%) del 75% de la media de la UE.

De las once comunidades que eran Objetivo 1 para determinar las ayudas comunitarias en 2000-2006, se ha pasado a cuatro (Extremadura, Andalucía, Castilla la Mancha y Galicia) y con los últimos datos solo Extremadura tendrá derecho todas a las ayudas. ◆



## Premios Bridge para pasarelas peatonales

La revista *Bridge, Design and Engineering*, ha otorgado sus premios. Footbridge Awards 2005, para pasarelas peatonales. Se presentaron 30 proyectos de 11 países.

### A. Estética Vano Corto

**1er. Premio.** Ex aequo: Restauración del Pont Trancat, San Celoni. España y Bridge of Aspiration, Londres. U.K.

**Mención:** Pasarela Canal del Esla, Valencia de Don Juan. España

### B. Estética Vano Medio

**1er. Premio.** Liberty Bridge. Greenville South Carolina. USA.

**Mención.** Ex aequo: Pasarela sobre el Río Po. Turín Italia y Swansea Sail Bridge: Swansea. U.K.

### C. Estética Vano Largo

**1er. Premio.** Ex aequo: Diamondback Bridge. Tucson. Arizona. USA y Pasarela Sant Pere de Terrasa. Barcelona. España.



Arriba, Swansea Sail Bridge. Reino Unido. Abajo, Pasarela GFRP en Lérida.



**Mención:** Pasarela Helix Bridge. Seattle. Washington. USA.

### D. Técnica Vano Corto

**1er. Premio.** Rolling Bridge. London UK.

**Mención.** Ex aequo: Passarella Burlamacca. Viareggio. Italia y BP Pasarela en Millenium Park. Chicago. Illinois. USA.

### E. Técnica Vano Medio

**1er. Premio.** Pasarela de GFRP en Lérida. Lérida. España

**Mención.** Ex aequo: Pasarela sobre el Río Hessenring. Bad Homburg. Alemania y Pasarela Sakata-Mirai. Sakata. Japón

### F. Técnica Vano Largo

**1er. Premio.** Panorama Bridge. Langkawi Island. Malasia.

**Mención.** Ex aequo: Pasarela sobre Gahlensche Strasse. Bochum. Alemania y Pasarela sobre el Río Esla. Valencia de Don Juan. España. ◆

## Funicular en Nueva York diseñado por Calatrava

En diciembre de 2005, la Ciudad de Nueva York pidió ayuda a Santiago Calatrava para un importante proyecto: el diseño de un funicular para conectar Manhattan y Brookling con Governors Island. Se daba así un gran paso para superar y desbloquear el desarrollo de esta isla de casi 83 hectáreas en el Puerto de Nueva York.

La Governors Isla Preservation and Education Corporation (GIPEC), fundada en 2003 por el Estado y la Ciudad de Nueva York, propietarios de la isla, lleva casi dos años estudiando propuestas de transporte. Descartado el ferry, por costoso, y la cons-

trucción de un puente, por inviable, se optó por un funicular parecido al que conecta Manhattan con Roosevelt Island.

El Grupo STV, que colabora con Santiago Calatrava en el diseño de la nueva terminal de transportes de World Trade Center, se encargó de elaborar los estudios correspondientes. Tras revisarlos, la Ciudad de Nueva York pidió a Santiago Calatrava que se uniera al proyecto.

La clave del elemento del diseño del arquitecto es un sistema continuo entre Brookling y Manhattan con un solo punto de trasbordo en el cabo norte de Governors Island.

Este sistema tendrá tres estaciones: una en Manhattan, en Battery Park; una en Brookling, donde termina Atlantic Avenue; y una en Governors Island. Cada segmento tendrá casi un kilómetro de longitud.

El funicular diseñado por Calatrava será mucho más ligero que uno convencional, como el de Rossevelt Island, y se podrá construir con sólo tres soportes, ninguno en el agua, evitando así el riesgo de colisión con barcos.

El diseño prevé cabinas como las de las pistas de esquí, cuyo punto de anclaje estará en el techo, y que se elevarán hasta una altura de 60

metros para no interferir con los canales de navegación. Tendrán forma redondeada, similar a la de una manzana, con espacio para ocho pasajeros y una silla de ruedas, fabricadas con un material transparente para ofrecer espectaculares vistas.

En cada estación los cables estarán anclados a un mástil de 160 metros, que se inclinará sobre el agua de forma similar a una grúa. Cada estación estará construida en tres niveles: la base, destinada a llegadas y salidas; el nivel intermedio acogerá diversas instalaciones, como un restaurante, y en el superior habrá una terraza. ◆

## ACS fue el grupo constructor con mayor volumen de obras adjudicadas por el Ministerio de Fomento en 2005

ACS fue la empresa constructora que consiguió el mayor volumen de adjudicaciones de obras públicas del Ministerio de Fomento en año pasado, un 15,07 % del total, cifra ligeramente inferior a la del año anterior (16,22 %).

Las siguientes empresas consiguieron cuotas bastante menores, pues la segunda adjudicataria fue OHL, con un 8,92 % del total y un gran incremento respecto al ejercicio anterior (2,76 %). Los restantes fueron Acciona, con un 8,4 % (5,4 % en 2004), FCC con el 7,37 % (7,33 en 2004), Sacyr-Vallehermoso con el 6,96 % (5,55 % en 2004) y Ferrovial con el 5,43 % (7,53 % en 2004); el resto fue adjudicado a un conjunto de otras empresas, siendo de destacar que si en 2004 las empresas medianas y pequeñas consiguieron más del 51 % de las adjudicaciones, en el 2005 han perdido cuota de mercado de obra pública de Fomento frente a las grandes constructoras.

Por sectores, en obras de carreteras, el mayor volumen adjudicado recayó en ACS (10,62 %) seguida por FCC (9,29 %). En ferrocarriles, la primera fue Sacyr-Vallehermoso, con el 12,35 %, seguida por FCC con el 9,31 %.

En puertos el grupo vencedor fue ACS con el 35,03 %, seguido de OHL con el 18,19 %. Finalmente en aeropuertos, el mayor volumen se adjudicó a Acciona, con el 22,69 % seguida de ACS con el 8,98 %.

En el cuadro siguiente puede observarse la distribución de las adjudicaciones del Ministerio

de Fomento a las principales empresas constructoras, en porcentaje. ♦

% Total en 2005	
ACS	15,07
OHL	8,92
Acciona	8,40
FCC	7,37
Sacyr-Vallehermoso	6,96
Ferrovial	5,43
Resto	47,85
Por sectores	
Carreteras	2005
ACS	10,62
FCC	9,29
Ferrovial	7,54
OHL	6,37
Acciona	6,30
Sacyr-Vallehermoso	4,19
Resto	55,69
Ferrocarriles	2005
Sacyr-Vallehermoso	12,35
FCC	9,3
Ferrovial	7,39
ACS	7,18
Acciona	7,08
OHL	6,10
Resto	50,59
Puertos	2005
ACS	35,03
OHL	17,87
Acciona	7,31
Sacyr-Vallehermoso	4,47
FCC	2,00
Ferrovial	1,89
Resto	31,43
Aeropuertos	2005
Acciona	22,69
ACS	8,98
FCC	7,49
Sacyr-Vallehermoso	6,03
OHL	5,94
Ferrovial	0
Resto	48,87

## Ploder construirá los 37 kilómetros del Canal del Mar Menor

El Ministerio de Medio Ambiente ha adjudicado a la constructora PLODER, S.A. la ejecución de las obras del Canal del Mar Menor, de 37 kilómetros de longitud, por un importe de 19.343.658,11 euros. El plazo previsto para la finalización de la obra es de 18 meses.

Los trabajos, que llevará acabo PLODER, supondrán la ejecución de una conducción metálica a presión de 37 km. de longitud, así como diversos ramales secundarios con una longitud total de 5 km.; y permitirá la incorporación a los sistemas de abastecimiento del Campo de Cartagena y Zona Norte y Sur del Mar Menor, de los caudales aportados al Canal de Cartagena desde la desalinizadora de Valdelentisco (20hm<sup>3</sup> anuales), actualmente en ejecución.

Las obras del Canal del Mar Menor, que fueron considera-

das como prioritarias y urgentes en la Ley 11/05 promulgada por el Ministerio el pasado 22 de junio, permitirán aumentar el suministro de agua a los municipios de Cartagena, Fuente Álamo, La Unión, Torre Pacheco, Los Alcazares, San Javier y San Pedro del Pinatar. Estas poblaciones alcanzan una población estable de unos 300.000 habitantes, cifra que supera los 500.000 en época estival.

Estas obras y el resto de actuaciones de desalinización y conexión relativas a la Mancomunidad de los canales de Taibilla, se engloban dentro del Programa A.G.U.A del Ministerio de Medio Ambiente, que prevé garantizar el suministro de agua potable a una población estable superior a los 2.300.000 habitantes que en época estival supera los tres millones. ♦

## Sorigué realizará el primer tramo del canal Segarra-Garrigues

El consejo de administración de la empresa estatal CSEGA (Canal Segarra-Garrigues, S.A.) ha adjudicado a la Unión temporal de Empresas (UTE) formada por SORIGUÉ y Dragados las obras del primer tramo de 5,2 kilómetros de longitud del canal principal del Segarra-Garrigues por unos 27 millones de euros. Se trata de los primeros kilómetros de un total de 85 que tendrá el Canal Segarra-Garrigues cuando está finalizado.

El presupuesto inicial de la obra era de 34.319.193 euros y el plazo de ejecución de treinta meses, pero la UTE adjudicataria ha rebajado el presupuesto en casi un 20 % y el plazo de ejecución se ha fijado en 24 meses.

Este primer tramo del canal principal del Segarra-Garrigues incluye la construcción de dos túneles, tres acueductos, un sifón y un puente. Esta parte del canal permitirá el riego a 2.900 hectáreas de los términos municipales de Ponts, Loyola, Vilanova de L'Aguda, Artesa de Segre, Foradada, Cubells y Sanauja. ♦

## Las constructoras tramitarán en internet la obra pública de la Comunidad de Madrid

Cada vez que una constructora quiere consultar las condiciones de una obra pública de la Comunidad de Madrid –a la que quizá finalmente ni se presente– gasta 2.300 euros. Es el coste de las toneladas de papel que suponen los pliegos de condiciones, además de los gastos notariales, de certificación de documentos, de mensajería de gestión del contrato. Al dinero se une, además, el tiempo gastado en las burocráticas gestiones



que, por ejemplo, obligan a recoger las bases del concurso in situ en el organismo que lo licita.

Si tenemos en cuenta que sólo el año pasado el Gobierno regional convocó 5.002 concursos en los que hubo necesidad de consultar los pliegos de condiciones y cada uno supone un gasto máximo de 2.300 euros, las empresas podrán ahorrar un mínimo de 11,5 millones anuales con los trámites en la red. Eso, sin contar que cada convocatoria interesa no a una, sino a decenas de empresas. Además el Gobierno regional ha modernizado la informatización del registro de licitadores lo que permitirá a las empresas librarse de presentar los certificados de inscripción en papel. Las mesas de contratación podrán consultarlo a través de internet. A esto se une que gran parte de los procedimientos de contratación se realizan a través de un sistema de información de la contratación administrativa (SICA), el pilar de la nueva gestión telemática y que no hará falta cambiar la normativa autonómica porque ya incluye nuevos usos. ♦

Gasto de los trámites para contratación de obra pública

En euros	Mínimo	Máximo	Media
<b>Publicación</b>	6	20	13
Gastos de mensajería (obtención de los pliegos)	6	20	13
<b>Presentación de las Ofertas</b>	721	1.966	1.344
Gastos notariales de compulsión de documentos	200	400	300
Bastanteo de poderes y gastos de mensajería	15	46	31
Impresión de la documentación	500	1.500	1.000
Gastos de mensajería para la presentación de la oferta	6	20	13
<b>Apertura de pliegos (Ofertas presentadas)</b>	56	244	150
Tiempo dedicado de una persona y gastos de desplazamiento	56	244	150
<b>Adjudicación</b>	6	20	13
Gastos de mensajería para la entrega de documentación	6	20	13
<b>Formalización del contrato</b>	6	20	13
Gastos de mensajería (envío contrato)	6	20	13
<b>Cierre</b>	6	20	13
Gastos de mensajería para recoger la documentación	6	20	13
<b>Total</b>	<b>801</b>	<b>2.290</b>	<b>1.546</b>

## Gea 21 construirá un tramo de la vía de alta velocidad ferroviaria en el Eje Atlántico

Gea 21 ejecutará las obras de construcción de un tramo de vía de alta velocidad ferroviaria en el Eje Atlántico, entre las localidades de Meirama y Bregua, en La Coruña. Las obras, licitadas por el Ministerio de Fomento, con un presupuesto de adjudicación de 75,65 millones de euros, y un plazo de realización de 36

meses, permitirán modernizar un tramo actualmente de vía única no electrificada en uno de doble vía adaptada a alta velocidad. El proyecto será realizado por GEA 21 en UTE con Sacyr y Cavosa.

El proyecto transcurre entre los términos municipales de Cerceda, Laracha y Culleredo y tiene 5,34 kilómetros de lon-

gitud. Debido a la complicada orografía del terreno, el 88 por ciento del nuevo trazado corresponderá a un túnel y a un viaducto.

El túnel de Meirama bajo los Montes de Xalo tendrá 3,47 kilómetros de longitud y dispondrá de dos salidas de emergencia mediante tres galerías, sistemas avanzados de seguri-

dad y vía en placa para facilitar la circulación de vehículos de emergencia. Tras el túnel se construirá el viaducto sobre el río Valiñas, de 1,22 kilómetros de longitud y con 34 vanos. Esta estructura permitirá eliminar el terraplén ferroviario del núcleo de Boedo y conectar la nueva vía con la variante de Bregua. ♦

## ACTIVIDAD EXTERIOR

## OHL construirá dos túneles urbanos en Guayaquil por 47,56 millones de euros

El Grupo OHL ha sido adjudicatario de la construcción de dos túneles urbanos en la ciudad de Guayaquil, en Ecuador. Estos túneles descongestionarán el tráfico de vehículos en sentido norte-sur en la ciudad y forman parte del plan vial del municipio de Guayaquil. El presupuesto total de adjudicación es de 47,56 millones de euros (55,93 millones de dólares) y la obra se construirá en un plazo de 24 meses.

Estos túneles se unen a los ya construidos por OHL en 2003, en un ambicioso plan de recuperación urbana para unir el norte y el sur de la ciudad. Esta nueva adjudicación consiste en la construcción de dos túneles paralelos de una longitud de 1,3 kilómetros, de sección semicircular de 102 m<sup>2</sup>, con tres carriles cada uno y un único sentido de circulación, que descongestionarán el saturado tráfico norte-sur de Guayaquil. La obra se completará con la construcción de los accesos en las bocas de los túneles que contarán además con aceras y bordillos.

OHL lidera el consorcio adjudicatario de esta obra, con el 75% de participación, integrado además por la empresa local Semaica, con un 25%, lo que significa que la empresa española controlará en su totalidad el proceso de construcción y administración de la obra. El consorcio liderado por OHL compitió con otros tres grupos formados por empresas italianas, argentinas y brasileñas, a los que superó por haber presentado la mejor oferta económica y haber cumplido todos los requerimientos establecidos por el organismo que contrata la obra, en este caso el municipio de Guayaquil.

Para OHL, esta nueva adjudicación forma parte de su política de expansión y crecimiento de los últimos años en América Latina, con importantes operaciones en México, Chile, Brasil y Argentina. ♦

## Una filial de Sacyr construirá el sistema de tranvías de Palermo (Italia)

El consorcio integrado por la empresa española Sacyr Vallehermoso, Bombarder y Amec que ha resultado adjudicatario del contrato de implantación del sistema de tranvías de la ciudad de Palermo (Italia) por 192 millones de euros.

El contrato incluye la realización del proyecto, la ejecución de las obras y el suministro de las instalaciones mecánicas y eléctricas, así como de los trenes. También contempla el mantenimiento de la red de tranvías durante un plazo de cuatro años.

El sistema de tranvías de Palermo constará de tres líneas independientes con una longitud total superior a

los 15 kilómetros. Unirá las zonas residenciales periféricas con el centro de la ciudad y enlazará con la red de ferrocarriles del Estado.

El proyecto incluye también la construcción de zonas de depósito y talleres para cada una de las líneas y la instalación de 40 apeaderos a lo largo de las tres líneas para facilitar el acceso de los usuarios.

Sacyr Vallehermoso participará en el proyecto a través de su filial italiana SIS, empresa a la que se adjudicó en 2004 un contrato de 665 millones de euros para desdoblarse la red ferroviaria en Palermo y construir nuevas estaciones. ♦

## FCC firma un acuerdo para la gestión de agua en China

El grupo FCC, a través de su filial Aqualia, ha firmado un acuerdo con el grupo BCCA para gestionar la planta de depuración de aguas residuales de Bengbu en la provincia de Anhui situada en el sureste de la República Popular China, durante 25 años. La inversión prevista asciende a 49 millones de euros y la facturación global será de unos 500 millones de euros.

El acuerdo incluye la constitución de una empresa mixta FCC-BCCA, al 50 por ciento, que tendrá como finalidad gestionar durante 25 años la citada planta con capacidad para depurar 100.000 m<sup>3</sup> diarios construir y gestionar 25 años la ampliación de la misma, con lo que se duplicará el trata-

miento, y diseñar, construir y gestionar durante 25 años las dos fases previstas de la planta de Yantaizi, la segunda de Bengbu, con una capacidad final de tratamiento de 200.000 m<sup>3</sup>/día.

Las obras se iniciarán a principios del próximo año. La población servida será de 2.000.000 de habitantes.

La provincia de Anhui, tiene una población aproximada de 63 millones de habitantes.

Hasta ahora la filial de FCC ha firmado, desde 1999, cinco contratos para la ejecución de seis plantas, entre las que se incluyen plantas de tratamiento de aguas residuales, domésticas, aguas potables y aguas residuales industriales. ♦

## ACTIVIDAD EXTERIOR

## La concesión de una autopista en Indiana adjudicada a Cintra Ferrovial

Cintra, filial de Ferrovial para concesiones de autopistas y aparcamientos, ha resultado vencedora en el concurso para la concesión del contrato de gestión y explotación durante 75 años de una autopista de Indiana (Estados Unidos) por un importe de 3.850 millones de dólares (3.173 millones de euros).

La empresa española, que concursó formando parte de un consorcio al 50 por ciento con la grupo australiano Macquarie, consigue así su segunda autopista en Estados Unidos, las dos privatizadas hasta el momento en este país, dado que hace ahora justo un año resultó adjudicataria, también con Macquarie, de la concesión por 99 años de la Chicago Skyway pro 1.830 millones de dólares.

Esta nueva concesión consolida la presencia de la compañía en Estados Unidos, país donde también ejecuta el Trans-Texas Corridor y en 2005

compró la constructora tejana Webber.

La Indiana Toll Road, en servicio desde 1956 y de 253 kilómetros de longitud, es la continuación de la Chicago Skyway puesto que conecta la ciudad de Chicago con la costa Este de Estados Unidos a través del Estado de Indiana. Tiene un tráfico medio de 46.320 vehículos diarios en su sección Oeste y 25.335 en la Este.

En virtud del contrato concesional, la filial de Ferrovial deberá ejecutar inversiones en la vía por un total de 700 millones de dólares (573,77 millones de euros) en los próximos nueve años para, entre otros objetivos, implantar el peaje electrónico y construir un carril adicional por sentido.

En 1999, Cintra se hizo con la primera Autopista en la región, el corredor canadiense 407 ETR, por el que pagó 2.400 millones de euros. La Chicago Skyway fue adjudicada en 1.830 millones de dólares. ♦

## Gamesa registra en la ONU el mayor proyecto eólico en el marco de Kioto

Gamesa ha logrado registrar ante la ONU la construcción de un parque eólico de 200 megavatios (MW) de potencia en Oaxaca (México) como mecanismo de desarrollo limpio (MDL), con lo que se convierte en el mayor proyecto eólico aprobado por el organismo internacional en el marco de los mecanismos de flexibilidad que contempla el Protocolo de Kioto. La empresa espera empezar a construir el parque este mismo año, en varias fases. Según sus cálculos, la potencia eólica prevista en el proyecto supondrá una reducción anual estimada de unas 300.000 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). ♦

## FCC adjudicataria de un macrocontrato de gestión de agua en Portugal

FCC a través de su filial Aqualia, logra su segundo gran contrato en Europa en menos de un mes, al resultar adjudicatario del concurso para gestionar el agua en la comunidad urbana de Lezíria del Tajo, en Portugal. Los ingresos superarán los 1.500 millones durante la concesión, que dura 40 años.

Hace unas semanas, Aqualia logró otro gran contrato similar por el mismo montante en la provincia de Caltanissetta. Así, acumula en un mes una cartera de negocio de 3.000 millones. Esta filial ya aporta en torno al 40 % de la cartera total del grupo FCC. Aqualia competía en el concurso de Portugal con una filial de Sacyr Vallehermoso,

AGS, dentro de su filial portuguesa Somague, y con otras dos empresas lusas, Aguaport (la principal del país, aún en manos del Estado) e Indagua.

Este contrato supone el desembarco de la filial de FCC en Portugal, un mercado con grandes perspectivas de crecimiento y con la eventual privatización de Aguaport en la agenda de las principales compañías europeas del sector.

Con esta concesión, Aqualia dará servicio a más de 200.000 habitantes y tendrá que hacer una inversión previa para mejorar las instalaciones de 200 millones de euros, de los cuales 53 corresponden a fondos públicos. ♦

## Iberdrola hará en Letonia una planta de ciclo combinado

Iberdrola ha resultado adjudicataria de la construcción, de la supervisión, de la operación y mantenimiento, de una central de ciclo combinado de 420 Mw de potencia en Riga (Letonia) por 300 millones. Se trata del contrato más importante de estas características logrado por una empresa española en Europa del Este.

La empresa, que presentó a esta licitación internacional un consorcio formado por Iberdrola Generación, ha sido seleccionada por la compañía nacional de electricidad letona, Latvenergo, frente a otras dos ofertas: las de Alstom Power Sweden (consorcio con Alstom

Latvia) y también presentada por Siemens.

La empresa de ingeniería de Iberdrola Iberinco se hará cargo de la construcción de este ciclo combinado, que se ubicará en los terrenos de una planta térmica ya existente, puesta en marcha entre 1973 y 1979, con lo que se aprovechará parte de las infraestructuras. El plazo de diseño, compra de equipos, construcción y montaje será de 28 meses.

La eficiencia eléctrica de la central será superior al 57 % de la eficiencia total. Una vez construido, este ciclo combinado suministrará una quinta parte de las necesidades de energía de Letonia. ♦

## Talleres de Energía Renovables

El desarrollo del Plan de Energías Renovables, aprobado recientemente por el Gobierno, es objeto de la máxima atención e interés entre los profesionales de la energía.

La necesidad de la puesta en marcha de nuevos proyectos que permitan alcanzar los objetivos que establece dicho Plan, abre una nueva etapa para las empresas y profesionales del sector de las renovables, con nuevas expectativas de futuro, en las que es imprescindible el desarrollo y mejora de la formación y la divulgación.

El futuro de las energías renovables demanda una preparación continua, una atención permanente, así como el mejor conocimiento de los aspectos económicos, técnicos, legales, operativos y financieros que hayan posibilitado el desarrollo de las energías limpias.

El Club Español de la Energía y el Instituto Español de la Energía, tras el éxito de los Talleres del CO<sub>2</sub>, que se llevaron a cabo como consecuencia del Plan Nacional de Asignación y el Comercio de Derechos de Emisión, abre una nueva convocatoria: los Talleres de Energías Renovables.

Con la participación de relevantes personalidades de todo el sector, esos Talleres son una fórmula original en el campo formativo, ya que permite elegir las tareas en las que desea la formación, bien de un modo global, asistiendo a todas las convocatorias o parcialmen-

te, seleccionando aquellas sesiones de mayor interés.

Los talleres son mini-cursos, de no más de 5 horas –con una exposición de los expertos y un debate a fondo –, para profundizar con rigor en el conocimiento de las grandes cuestiones energéticas.

El Índice programado es el siguiente:

2 de febrero. Presentación de los Talleres Plan de Fomento de las Energías Renovables

9 de febrero. Mecanismos de apoyo a las Energías Renovables

16 de febrero. Mercado y Tarifa

23 de febrero. Eólica I

2 de marzo. Eólica II

9 de marzo. Biomasa I

16 marzo. Biomasa II

23 marzo. Biocarburantes

6 abril. Minihidráulica

20 de abril. Solar Fotovoltaica I

27 de abril. Solar Termoelectrica

4 de mayo. Solar Térmica de Baja Temperatura

11 de mayo. Investigación y Desarrollos Tecnológicos de la Energías Renovables

18 de mayo. Nuevas Renovables

1 de junio. El Business Plan de un Parque Eólico

8 de junio. El Business plan de una Minihidráulica

16 de junio. El Business plan de una Planta de Biomasa

22 de junio. El Business plan de una Instalación Fotovoltaica

28 de junio. Aceptación Social de las Energías Renovables. ♦

## Aulas de conocimiento de la energía

La energía ejerce una influencia considerable sobre todos los aspectos de la vida moderna, condicionando el desarrollo económico general, el bienestar de los ciudadanos y, que además, influye sobre la calidad del medio ambiente. Los parámetros socio-económicos del Siglo XXI se caracterizarán por un incremento demográfico y económico importantes, una mejora en la calidad de vida y una mayor preocupación por la salud y el medio ambiente. En este contexto, la demanda de energía primaria en el año 2050 será 2 o 3 veces superior a la del año 2000.

El sector energético tendrá que hacer frente, entre otros, a tres retos fundamentales: una creciente dependencia exterior, con implicaciones en la seguridad del suministro (la UE importará, en el año 2030, el 90% de sus necesidades de petróleo y gas); el mantenimiento y la mejora de la competitividad de nuestras industrias y de la economía en general; y, el reto de la protección del medio ambiente, y en particular del cambio climático, si queremos alcanzar un desarrollo sostenible.

El desarrollo, la innovación tecnológica y el uso racional de la energía (la mejora de la eficiencia energética) jugaran un papel central para superar los retos antes citados y poder ofrecer a los ciudadanos energía en cantidad, calidad y precios razonables.

Además, la energía no es ni debe ser un tema reservado a profesionales del sector o medios allegados en el ámbito industrial o financiero. El sector de la energía debe estar abierto a toda la sociedad y a todos los profesionales de la empresa, y en este sentido la gestión y difusión del

conocimiento en el sector es prioritaria.

El éxito obtenido en los anteriores programas organizados por el Club Español de la Energía, así como la evolución de diferentes temas de interés, nos hacen abrir de nuevo este espacio de formación y divulgación, a todos los estamentos socioeconómicos: las Aulas de Conocimiento.

Nuestra experiencia, académica, la colaboración de un destacado claustro de profesores y la gestión de programas eficaces, permiten dar a conocer, mediante sesiones monográficas, la visión mas precisa posible sobre los grandes temas de actualidad, a través de los mejores profesionales y expertos.

Las Aulas de Conocimiento Enerclub se anunciarán con suficiente antelación en la

web - [www.enerclub.es](http://www.enerclub.es) -, con la confianza de, una vez más, aportar a la sociedad española una información y formación veraz sobre las grandes cuestiones energéticas.

### BECAS ENERCLUB PARA UNIVERSITARIOS

Las Aulas de Conocimiento Enerclub, como novedoso espacio de formación, tienen como meta principal el acceso de las materias energéticas al mundo de la Universidad y la formación Postgrado. Mediante un sistema de becas, nuestras Aulas estarán abiertas a los estudiantes interesados en profundizar en estos temas, en muchos casos, de gran actualidad y complementarias de sus estudios. Las becas estarán abiertas para alumnos en sus dos últimos años de carrera y estudiantes de postgrado hasta cubrir las plazas disponibles. ♦

## Becas energía solar

Como cada año, el Consejo de Dirección del Centro de Estudios de la Energía Solar [www.censolar.org](http://www.censolar.org), continuando en su cometido de difusión del conocimiento y uso de la Energía Solar en España, ha tenido a bien conceder VEINTE BECAS para que, de forma totalmente gratuita, otras tantas personas puedan cursar los estudios de "Proyectista - Instalador de Energía Solar".

La lista de los seleccionados será hecha pública a través de los habituales medios de comunicación, en particular mediante la publicación "Comunidad Escolar", editada por el Ministerio de Educación y Ciencia, en el próximo mes de junio.

Convocatoria de Beca: Para cursar, durante el año 2006-2007, y en régimen de enseñanza a distancia, los estudios conducentes a la obtención del Diploma de Proyectista-Instalador de energía Solar.

Requisitos: Residir en la Unión Europea y poseer unos conocimientos técnicos previos de grado medio, valorándose otros niveles.

Los aspirantes, para obtener los impresos de solicitud, deben dirigirse por escrito a Censolar, Departamento de Formación, Parque Industrial PISA, edificio Censolar, c/ Comercio 12, 41927 Mairena del Aljarafe (Sevilla), fax: 954 186 111, o vía Internet, a la dirección electrónica [central@censolar.edu](mailto:central@censolar.edu), indicando nombre y dirección postal completos, sus circunstancias personales, situación económica y motivo por el que se interesan por el tema de la Energía Solar, antes del día 30 de abril del presente año. ♦



## Cadenas integradas de transporte

Alberto Camarero Orive  
M<sup>a</sup> Nicoletta González Cancelas  
(Fundación Agustín de Betancourt)

En las sociedades modernas, la necesidad de transporte ha ido creciendo a medida que ha ido aumentando su grado de desarrollo, siendo necesario un aumento del transporte de bienes para satisfacer las necesidades de las personas. El sector del transporte es un componente importante de la economía que repercute en el desarrollo y el bienestar de la población. Dentro de la evolución del mercado de transporte, en el que cada vez es mayor la competencia, y donde la búsqueda de servicios eficaces y de alta calidad para el usuario parece la forma más adecuada de lograr una mayor cuota de participación, destaca el desarrollo mundial que ha tenido el transporte intermodal. La obra está destinada a servir de referencia respecto de las cadenas integradas de transporte, comprende el conjunto de todas las operaciones que se realizan para el transporte de una mercancía desde su origen a su destino sin que la mercancía sufra ninguna transformación, teniendo especial interés los elementos de carga, los equipos de manipulación, las infraestructuras y los sistemas que se utilizan en dicha cadena, y que es necesario analizar, estudiar y conocer en profundidad. ♦



■ **José María Izard Galindo**, Ingeniero de C.C.yP. ha sido nombrado gerente de Aerco (Asociación Nacional de Empresas Constructoras de Obra Pública) cargo en el que sustituye a Enrique Pra Martínez, que ha causado baja por jubilación.



■ **Susan Roel Cabal**, Ingeniera de C.C.yP. ha sido designada directora del puerto coruñés de El Ferrol, que en que ya había trabajado en una etapa anterior.



■ **Miguel Fernández Arias**, Ingeniero de C.C.yP. ha sido nombrado gerente de Nortunel. Era el director de construcción y montajes de la Red ferroviaria Vasca-Euskal Trenbideak Jarea y anteriormente fue jefe de construcción de Imebisa empresa de ingeniería del metro de Bilbao.



■ **Jaime Nistal Reguela**, Ingeniero de C.C.y P. y MBA por el IESE ha sido nombrado director de marketing, software y periféricos de Dell para España y Portugal. Ha sido consultor en Arthur P. Little y A.T. Kearney y ha ocupado varios cargos de responsabilidad en Jazztel.



■ **Javier Bepin Oliver**, Ingeniero de C C. y P. ha sido nombrado subdirector del área de proyectos de GPO Ingeniería, consultora de Ingeniería y arquitectura, actuando como responsable del área de Infraestructuras urbanas y arquitectura.



■ **Rafael Izquierdo de Bartolomé**, Ingeniero de C C. y P. y catedrático de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la UPM, junto con **José Manuel Vassallo Magro** también ICCP y profesor de dicha Universidad, son los autores de la obra galardonada con el Premio al mejor libro de texto concedido por la Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid por la obra "Nuevos sistemas de gestión y financiación de infraestructuras de transporte".



■ **José María Vegazo**, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos es el nuevo director de construcción de la compañía constructora de Plo-der