

Los túneles en España

Tunnels in Spain

Manuel Romana Ruiz^{1*}

Resumen

Comienzo de la Mecánica de Rocas en España

La Sociedad Española de Mecánica de Rocas aceptó un libro de Talobre en 1957 (*La Mécanique des Roches*) como comienzo de su primera idea básica de Mecánica de Rocas, que luego se aplicó en algunas presas construidas antes de 1964. Varias grandes presas bóveda (La Barca, Canelles, El Atazar) y de gravedad (Mequinenza) requirieron refuerzos importantes de la cimentación.

Las primeras realizaciones se presentaron en el primer Congreso Internacional de Mecánica de Rocas (Lisboa, 1966) y se continuaron en muchas otras presas construidas hasta 1970 y estudiadas en el Centro de Estudios Hidrográficos. Después la Sociedad Española de Mecánica de Rocas se desarrolló con los planteamientos de ingeniería geotécnica de José Antonio Jimenez Salas y de Santiago Uriel.

“Prehistoria” de los túneles en España

La “mina” de Daroca se construyó en el siglo XVI para encauzar una rambla que cruzaba (e inundaba) una parte central de la ciudad. El túnel de ferroviario de Tablada de 2380 m de longitud (el tramo Villalba-Segovia) se construyó en 1884-88.

Hasta las últimas décadas del siglo XX la excavación se realizaba por métodos clásicos (belga, alemán): ataques parciales de 10 a 15 m² de sección con sucesivos ensanches posteriores. Se entibaba con piezas de madera. Predominaban los métodos empíricos.

El primer túnel “moderno” fue el túnel de peaje de Guadarrama (1960-1963) excavado a sección partida, pero sin cálculo estructural ni instrumentación del macizo rocoso. Se construyeron, con excavaciones parciales sucesivas, cavernas de gran sección para alojar centrales hidroeléctricas.

La clasificación de Lauffer (1958) se citaba en la literatura técnica y se explicaba en la docencia de la geotecnia, y en la literatura geotécnica, pero se aplicaba poco en la práctica constructiva.

En el primer gran transvase hidráulico (acueducto Tajo-Segura) se empleó por primera vez una tuneladora integral (“topo”) Pero sufrió un colapso al comienzo de su excavación.

Los túneles en España después de la creación de la Sociedad Española de Mecánica de Rocas (SEMR)

Inicialmente la SEMR se concentró en los aspectos básicos de la Mecánica de Rocas: fracturación, resistencia mecánica, tensiones y deformaciones de las cimentaciones, aspectos hidráulicos del macizo. En su primer Simposio se estudian estos aspectos y su aplicación a presas y aprovechamientos hidráulicos.

La construcción de la primera red de autopistas de peaje significó la introducción práctica en España de los métodos de mecánica de rocas en la construcción de taludes y túneles.

En 1970 se publicó la traducción al francés del libro “*Traité de construction des tunnels*” de K. Szechy. Y en 1973 la traducción inglesa: “*The art of tunnelling*”. Ambos textos se hicieron populares en la práctica española que continuó en la práctica siendo empírica. La Revista de Obras Públicas informó detalladamente sobre los hitos mundiales en la construcción de túneles.

Julián García Rosselló envió al Congreso de Grandes Presas de 1973 un artículo sobre las obras subterráneas del aprovechamiento Camba-Couso. En él analiza ambos enfoques, teóricos y prácticos, de la construcción de túneles. En la época había gran diferencia entre los mundos académico y práctico de diseño y construcción de obras subterráneas. Pero en la década 1970-80 la construcción de autopistas de peaje supuso la incorporación a la práctica española de los métodos modernos de diseño y control de construcción de túneles. En 1974 se fundó la Asociación Española de los Túneles, AETOS, con el apoyo de las Sociedades Españolas de Mecánica del Suelo (SEMSIG) y de Mecánica de Rocas (SEMR). Las tres organizaron conjuntamente ese año el I Simposio Nacional de Túneles.

Palabras clave: túneles, mecánica de rocas, presas, SEMR, España, autopistas.

* Autor de contacto: mromana@STMR.com

¹ Catedrático emérito de Ingeniería del terreno. Universidad Politécnica de Valencia.

Abstract

Beginnings of Rock Mechanics in Spain

The Spanish Society for Rock Mechanics accepted Talobre's book (La Mecanique des Roches, 1957) as the basic beginning of Rock Mechanics, applied in some dams built before 1964. Some big dams (La Barca, Canelles, El Atazar, Mequinenza) required big foundations reinforcements.

The first undertakings were presented at the First Rock Mechanics World Congress (Lisbon, 1966), to be followed by many other dams built before 1970, which had been model tested at CEDEX's Center for Hydrographic Studies. Afterwards, the Spanish Society for Rock Mechanics came to grow, thanks to the geotechnical engineering analysis carried out by José Antonio Jiménez Salas and Santiago Uriel.

Tunnels "prehistory" in Spain

Daroca's "mine" was built in the 16th century in order to channel a river which crossed the city. The Tablada railway tunnel, 2380 m. long (in the Villalba-Segovia railway) was built in 1884-88.

Up to the late decades of the 20th century, many tunnels were built by "classic" methods (Belgian, German) with successive partial excavations (10- 15 m²). Empirical methods were the rule.

The first "modern" tunnel was the Guadarrama toll pay tunnel (1960-63), built at full section, but without neither rock mass structural analysis nor instrumentation. Some big section caverns were built for hydroelectric plants.

Lauffer's classification (1958) was taught, and mentioned in the technical publications, though hardly applied in practice.

A full section excavation machine ("mole") was used to build the first big hydraulic tunnel (at Tajo-Segura hydraulic connection), but it collapsed at the excavation beginning.

Tunnels in Spain after the beginning of the Spanish Society for Rock Mechanics (SEMR)

From its beginnings, SEMR focused on the basic aspects of Rock Mechanics: fracturing, mechanical strength, stresses and deformations of the rock mass. Its first Symposium studied these aspects and their application to dams and hydraulic works.

The first "toll pay" railway network was the practical introduction in Spain of practical rock mechanics methods for slopes and tunnels construction.

The French translation of Szechy's book (Traite de construction des tunnels) was published in 1970, and the English one in 1973. Both books were common in the Spanish tunneling practiced, which was still mainly empirical. Revista de Obras Públicas published detailed information about world hits in tunnel construction.

Julian García Rosselló published at the 1973's Congress on Large Dams a paper on the Cambra-Couso underground hydraulic works. The paper analyses both theoretic and practical approaches in tunneling construction. At the time there were big differences between both, the academic and practical worlds, for underground works design and construction. But the toll highways construction in 1970-1980 introduced in Spain the modern design and construction of underground works. In 1974 AETOS (The Spanish Tunneling Association) was established with the support of both the Spanish societies for Soil Mechanics (SEMSIG) and Rock Mechanics (SEMR). The three of them organized that year the first Spanish National Tunneling Symposium.

Keywords: tunnels, rock mechanics, dams, SEMR, Spain, highways.

1. "PREHISTORIA" DE LA CREACIÓN DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

En 1957 J. Talobre, ingeniero de minas francés que trabajaba en Electricité de France (EdF), con la función de apoyar a los equipos de ingenieros civiles, encargados del proyecto y la construcción de las presas y obras hidráulicas de EdF, en la problemática de la cimentación y tratamiento del terreno, publicó un libro con el título "La Mecanique des Roches et ses applications" relatando sus experiencias profesionales e incluyendo algunos consejos. Eligió el nombre de Mecánica de Rocas para destacar las similitudes entre la problemática de las obras públicas en suelos, en los que la técnica de la Mecánica de Suelos estaba ya establecida desde el bien conocido libro de Terzaghi y Peck titulado "Soil Mechanics in Engineering Practice", publicado en 1948, con la problemática de las obras públicas en rocas.

En el libro de Talobre se citan, entre otros varios, los datos de los 13 últimos emplazamientos franceses estudiados, cuyo reconocimiento por métodos de geofísica eléctrica

había sido realizado por Mariano Fernandez Bollo (que vivía y trabajaba por entonces en Francia, antes de trasladarse a Madrid, para seguir trabajando en el reconocimiento geofísico de los emplazamientos de presas españolas).

El nombre de "Mecánica de Rocas" no era nuevo porque había sido utilizado por ingenieros de minas e ingenieros petroleros para describir los problemas que encontraban en su práctica profesional en macizos rocosos, y el propósito de Talobre era hacer notar que también existía una problemática similar en el campo de las obras públicas. Pero el libro, aparte del valor episódico e ilustrativo de los casos mostrados, pasó sin pena ni gloria, quizás porque ignoraba la definición de los macizos rocosos como sistemas fracturados y anisotrópicos. Así por ejemplo para el cálculo de conducciones circulares excavadas en macizos rocosos omitió la consideración de las juntas (y su posible anisotropía) y propuso considerar el problema con simetría radial a partir del eje del túnel.

En España, donde en aquella época estaban en proyecto y/o construcción muchas presas de hormigón, el libro



Figura 1. Presa de la Barca.

adquirió cierta fama entre los proyectistas hidráulicos, pero no llegó a conseguir una aplicación práctica.

Una excelente panorámica de la construcción de grandes presas en España en aquella época (Aldeadávila, Bao-Puente Bibey, Belesar, Porma, Valdecañas, Villarino) se presentó en 1964 en el Congreso de Grandes Presas de Edimburgo, y fue recogida en el número 2988 de la *Revista de Obras Públicas*, de ese año. Incluía la selección del tipo de presa y su proyecto y construcción, pero no profundizaba mucho en la problemática del terreno y de la cimentación de cada presa ni de los túneles hidráulicos asociados a ellas.

Había muchos (y buenos) ingenieros hidráulicos proyectando presas, pero este no es lugar adecuado para su enumeración y descripción profesional. Citaremos solamente dos, relacionados con algunos grandes problemas geotécnicos surgidos en la construcción de presas.

El español Alfonso Álvarez Martínez, que fue catedrático de presas en la Escuela de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid, proyectó y dirigió la construcción de diversas presas, entre ellas la presa de La Barca (en el río Narcea, en Asturias) bóveda de simple curvatura, de 74 m. de altura construida entre 1959 y 1966. Sufrió inestabilidades en su estribo izquierdo, mitigadas mediante un recrecimiento de su aliviadero, apoyado en una ladera de pizarras silúricas con buzamiento hacia el río, de manera que el macizo tuviera la necesaria seguridad contra el deslizamiento en los sucesivos planos de esquistosidad subparalelos a la ladera.

Años más tarde Alfonso Álvarez proyectó y dirigió, con éxito, el refuerzo de la cimentación de dos grandes presas ya existentes: Canelles y Mequinenza con problemas de resistencia dudosa en su cimentación. En Canelles (presa bóveda de doble curvatura de 151 m de altura, record de España en su tiempo) se construyó un refuerzo subvertical de ladera, aguas abajo de la cimentación, que se solidarizó con el cuerpo de presa. En Mequinenza (presa de gravedad, con aliviadero sobre el cuerpo de presa) se prolongó el plano horizontal de cimentación en la base hacia aguas abajo para incrementar la resistencia a esfuerzo cortante de la cimentación (formada por esquistos pizarrosos terciarios) y aumentar el coeficiente de seguridad. En ambos casos se estudió, y resolvió, el problema de la necesaria solidarización entre el cuerpo de presa y la nueva estructura complementaria de refuerzo.

El mundialmente conocido ingeniero portugués, Joaquim Laginha Serafim, había abandonado en 1962 (¿por motivos políticos?) su trabajo en el “Laboratório Nacional de Engenharia Civil” de Lisboa para establecerse en España, donde fundó en 1962 dos empresas consultoras: Coba (heredera de la homónima portuguesa) y Consulpresa con apoyo y financiación de las empresas hidroeléctricas españolas. Proyectó numerosas presas en España con cuerpo de hormigón (incluidas bóvedas de doble curvatura) y con cimentación en roca: Sela, Belesar, Santa Eulália, Susqueda, Almendra, El Vellon, El Atazar, La Baells; y trabajó, también desde España, en presas en Grecia y Venezuela. Tras el cambio político en Portugal volvió a su país, dejando una excelente obra profesional en España.



Figura 2. Presa del Atazar (se observa el tratamiento del talud en la zona de aguas arriba del estribo izquierdo; nótese que la “piel” de hormigón proyectado cubre el talud solamente en su parte inundable por la subida del embalse).

Pero su formación geológico-geotécnica no estaba a la altura de su muy alto nivel ingenieril en el diseño del cuerpo de las presas, lo que hizo que aparecieran problemas en sus cimentaciones en varios casos. Algunos de esos problemas fueron resueltos durante la construcción, a veces con notables incrementos del volumen, y del presupuesto, de las presas, generalmente a causa de excavaciones en los estribos rocosos, superiores a las previstas en proyecto, con aumento del volumen de hormigón de las presas.

El caso más espectacular fue el de la presa del Atazar, bóveda gruesa de doble curvatura, de 134 m. de altura (en el río Lozoya, en Madrid) cuyo estribo izquierdo requirió una excavación muy superior a la prevista en proyecto y un costoso trabajo de sostenimiento de todo el talud del macizo rocoso del estribo bajo el cuerpo de presa y aguas abajo de ella, con una “piel” de hormigón proyectado en la zona inundable por el embalse, y una estructura ortogonal de costillas verticales y vigas horizontales de hormigón en todo el talud. Se colocaron además sobre esas costillas y vigas numerosos anclajes pretensados profundos que transmitían al terreno una presión media de 7 T/m^2 en toda la superficie del refuerzo. Dicho refuerzo de ladera fue proyectado por José Antonio Jiménez Salas y Santiago Uriel Romero con la presa ya en construcción avanzada y se incorporó al trabajo de obra.

Como ha explicado Muzás en su texto en este volumen, el interés técnico español se focalizó en el Centro de Estudios Hidrográficos, donde se realizaban modelos reducidos hidráulicos de presas y aliviaderos: se organizaban allí coloquios y reuniones técnicas.

El criterio de comportamiento del terreno utilizado era el modelo elástico aunque se suponía, para el cálculo, que el módulo de elasticidad podía no ser constante, aumentando en las zonas sobrecargadas y disminuyendo en las cercanías de las superficies excavadas y descomprimidas. En cualquier caso el módulo de deformación del terreno se suponía siempre inferior al del hormigón del cuerpo de presa. Estos módulos de deformación del terreno se estimaban a partir de ensayos de geofísica eléctrica y/o sísmica in situ y, algunas veces, de ensayos de carga, también in situ, que resultaban muy difíciles de extrapolar, teniendo en cuenta los factores de escala y la superficie del ensayo, muy inferior a la de la cimentación de la presa. En la realidad se utilizaban estimaciones, lo más razonables posible, de los módulos de deformación del terreno.

Cuando se convocó el primer Congreso Internacional de Mecánica de Rocas en Lisboa en 1966 una numerosa delegación española acudió a él, motivada por el gran prestigio que tenía en el mundo hidráulico el Laboratorio de Ingeniería Civil de Lisboa, dirigido por Manuel Rocha, y la gran actividad de la técnica portuguesa en presas de hormigón. La delegación pudo comprobar, con cierta sorpresa, la diferencia entre los contenidos de la “mecánica de rocas” utilizada hasta la fecha en España para los estudios de presas y los contenidos incluidos en el Congreso, que cubrían prácticamente todos los campos de la Ingeniería Civil y prescindían del modelo elástico para asumir los conceptos de fracturación, plasticidad y anisotropía para estimar la resistencia y deformabilidad de los macizos rocosos en los que se insertaban las obras.

Por otra parte la actividad española en la construcción de grandes presas de hormigón decaía, probablemente a causa de la saturación de aprovechamientos hidráulicos y de los cambios en la política de las grandes obras públicas. Finalmente el grupo de ingeniería de presas nucleado en torno al Centro de Estudios Hidrográficos se disolvió y, en la práctica, su magisterio en temas de resistencia y deformabilidad del terreno fue sustituido por el de la recién fundada Sociedad Española de Mecánica de Rocas (SEMR), cuyo primer presidente fue el profesor Jose Antonio Jiménez Salas, director del entonces denominado “Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo” (posteriormente “Laboratorio de Geotecnia”), que, hasta esa fecha, no había participado, como institución, en más estudios de presas que las de materiales sueltos. El cambio fue acertado y tanto José Antonio Jiménez Salas como Santiago Uriel, presidente de la SEMR, pilotaron con destreza la nueva sociedad, que siguió residiendo en el Centro de Estudios Hidrográficos durante varios años antes de pasar al Laboratorio de Geotecnia del CEDEX.

2. LOS TÚNELES EN ESPAÑA ANTES DE LA CREACIÓN DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

En la ciudad de Daroca se construyó un complejo sistema de encauzamiento de una rambla, que atravesaba la ciudad y causaba frecuentes inundaciones en la calle Mayor, su punto más bajo. Para evitar el paso de esta rambla se construyó el túnel conocido como la Mina, realizado por el ingeniero francés Pierres Vedel, que recalzó también la torre mudéjar de la iglesia San Martín y construyó el Acueducto Los Arcos (Teruel).

La llamada “mina” de Daroca puede considerarse una de las obras públicas más importantes realizadas en el siglo XVI en territorio español, hecho por el cual mereció la visita real de Felipe II en 1585. Se trata de un túnel excavado en rocas paleozoicas, que atravesaba el llamado cerro de San Jorge. Las obras, comenzaron en 1555 y concluyeron en 1560. En 1562 se colocaron una serie de refuerzos a base de arcos de piedra sillar en los lugares donde aparecían inestabilidades. El túnel mide 600 metros con pendiente del 1%, anchura de 6 metros y una altura de entre 7 y 8 metros, habiendo sido ampliado en 1578 con respecto a sus dimensiones originales y reparado en épocas recientes.

Los grandes túneles en roca casi no existían en España. Puede citarse el túnel ferroviario de Taldado en el tramo Villalba-Segovia. Tiene una longitud de 2.380 m. y se construyó entre 1884 y 1888. La excavación de obras subterráneas en roca se realizaba por varios ataques parciales sucesivos de área reducida (de 10 a 15 m²) para evitar los riesgos de inestabilidad que se podían producir en cada frente parcial por falta de sostenimiento. Se empezaba por excavar una galería de avance en la clave del túnel a la que se añadían sucesivamente ensanches laterales, y, posteriormente, ampliaciones de la excavación por debajo, si la sección del túnel era de mayor altura. La entibación era por piezas de madera. En definitiva se trasladaban a la excavación de túneles en roca los métodos de excavación de túneles en suelo (método belga, método alemán...) con los que se construían los túneles urbanos de metro en todo el mundo.



Figura 3. Mina de Daroca.

En el periodo 1960-1963 se construyó el primer túnel carretero de peaje de Guadarrama, de 2870 m. de longitud, de gran sección transversal, inaugurado en 1964 (sorprende que los ritmos de construcción sean tan parecidos en dos fechas con 80 años de diferencia entre el túnel de Taldado y el de Guadarrama; no hubo cálculo estructural del macizo rocoso, ni instrumentación, en ninguno de los dos casos). La construcción del túnel carretero de Guadarrama (a sección partida, con dos tramos: avance y destroza) se programó con amplio uso de la mejor maquinaria pesada disponible de carga y transporte del escombro rocoso de las voladuras. Fue el primer túnel español excavado en dos etapas con el ancho completo. La manipulación del escombro se realizó con excavadoras de gran tamaño. En algún tramo se excavó a sección completa. Como dato complementario se produjeron tres accidentes mortales, lo que se ajustaría a la antigua regla empírica de “un muerto por kilómetro de túnel” actualmente muy superada por una gran reducción de la mortalidad.

En las presas, y otras obras hidráulicas, se incluyeron numerosos túneles, generalmente hidráulicos. Como los caudales de los ríos españoles no son excesivos, los túneles no eran de gran tamaño, y su forma tendía a aproximarse a la circular, buscando la mejora de la capacidad de transporte de agua. Los cálculos estructurales eran difíciles y estimativos porque la aplicación del modelo elástico de comportamiento del terreno era inadecuada por la variación y disminución de los módulos de elasticidad en el entorno de los túneles a causa de la excavación, que produce descompresiones importantes en torno a los túneles profundos. Se hacían ensayos geofísicos in situ, pero su utilidad era reducida. Predominaban los métodos empíricos de

construcción, casi siempre a sección completa, y el cálculo estructural de túneles y macizos era una formalidad requerida, pero de dudosa utilidad práctica, porque se limitaba a comprobar la resistencia del revestimiento al peso de una parte del terreno, supuesta suelta, sobre el revestimiento del túnel.

Las centrales subterráneas de los aprovechamientos hidráulicos tenían, por el contrario, áreas muy superiores. Se excavaban por tramos descendentes, de área reducida, y se solía añadir un revestimiento parcial de hormigón tras la excavación de cada tramo, para ser completado por un revestimiento final, construido en la etapa final. Ejemplos significativos fueron las centrales de Puente Bibey, en la cuenca del Sil en Galicia, cuya construcción fue descrita en 1963 por Julián Feijoo Melle, en la *Revista de Obras Públicas*, o la de Torrejón, en la cuenca del Tajo.

La clasificación de Lauffer de 1958 fue uno de los primeros planteamientos de lo que después se denominaría “nuevo método austriaco de construcción de túneles (NATM)”. Aparece ya, como una más, en los artículos publicados en España sobre clasificaciones para la construcción de túneles y en la práctica docente de los túneles. Pero casi no se utilizó en la práctica española.

En ese contexto se planeó el primer gran transvase hidráulico español: el acueducto Tajo-Segura. Su primer túnel de importancia, excavado mecánicamente (el túnel de Talave) sufrió un colapso y tardó casi un año en recuperarse su construcción. La aparición de las máquinas tuneladoras integrales (“topos”) había sido saludada como un método seguro y “automático de excavación y revestimiento” para eludir las “imprecisiones e ignorancias” (sic) que planteaban las excavaciones de macizos rocosos para túneles hidráulicos. El colapso del túnel del Talave, prácticamente al comienzo de su excavación, demostró que cualquiera que sea su método de construcción los túneles plantean riesgos específicos.

3. LOS TÚNELES EN ESPAÑA DESPUÉS DE LA CREACIÓN DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DE ROCAS

Inicialmente la SEMR se concentró en la misión de plantear correctamente los aspectos básicos de mecánica de rocas que eran de mayor interés para la construcción de obras públicas en España. Lo demuestra la lista de temas del primer Simposio Internacional que organizó, en Madrid en 1970, dos años después de su creación.

- Los temas del “1er Simposio Internacional de Mecánica de Rocas” fueron:
- Definición de macizos rocosos
- Resistencia mecánica
- Observaciones de desplazamientos, tensiones y deformaciones en las cimentaciones
- Permeabilidad, subpresión y caudales de filtración

No aparecen los túneles más que implícitamente. Los dos primeros temas buscan una definición correcta de los macizos rocosos, para sustituir el modelo anterior, muy frecuente en la técnica española, modelo que se simplificaba así: “el macizo rocoso se comporta según un modelo

elástico, pero con módulo de elasticidad variable según las circunstancias tensionales”.

Es evidente que el Simposio también está dirigido a las grandes obras hidráulicas, teniendo en cuenta la problemática señalada en los dos últimos temas, aunque se evita (¿deliberadamente?) el uso de las palabras “presa” o “aprovechamiento hidroeléctrico”.

Pero la construcción de la red de autopistas de peaje, que empezaba en aquella época, colocó en primer plano la problemática de los taludes (algunos de gran importancia, como muchos en la Autopista Bilbao-Behobia) y de los pedraplenes (que aparecen por la necesaria compensación de rellenos y desmontes) y muchos miembros de la SEMR estuvieron implicados en su estudio y construcción.

También en 1970 se publica un artículo sobre la galea de presión del canal del Atazar, donde se incluyen los siguientes aspectos:

- Reconocimiento con métodos sísmicos. Ensayo de presión radial
- Cálculo del revestimiento con presión exterior e interior
- Ensayo hidráulico de presión radial

El trabajo de proyecto y construcción de la galería de presión del Atazar se realizó siguiendo todavía las pautas anteriores de las obras de aprovechamiento hidráulico energético: túneles-galerías de presión y cámaras complementarias.

A finales de 1970 la editorial Dunod publicó la traducción al francés de un libro destinado a convertirse en la biblia de muchos ingenieros españoles que se ocupaban en el proyecto y construcción de túneles en España. Su autor era K. Szechy y su título “*Traité de construction des tunnels*”. El contenido era enciclopédico pero su planteamiento era clásico, con una utilización muy reducida de las, entonces recientes, técnicas de mecánica de rocas. El título de edición inglesa (1973) fue “*The art of tunnelling*” lo que venía a significar que construir un túnel tenía más de arte (artesanía) que de ciencia.

La *Revista de Obras Públicas* siempre intentó ampliar el horizonte técnico de la ingeniería de obras públicas española, informando sobre los hitos técnicos mundiales. Así por ejemplo recoge en sus números de 1972, con información técnica detallada, las primeras referencias en español de varios túneles singulares de gran longitud y dificultad, que estaban siendo estudiados o en construcción en su fase inicial, informando de su tipología y método de construcción:

- El túnel del Canal de La Mancha (longitud 53 km) cuyo comienzo estaba previsto para 1978.
- El túnel submarino del Seikan (longitud 53 km) en Japón, ya iniciadas sus obras preliminares.
- El túnel carretero de San Gotardo (longitud 16,3 km) cuya galería de reconocimiento se inició en 1970.
- El túnel ferroviario de Rokko (longitud 16,3 km) en Japón, inaugurado en 1972, como el más largo, en su época, en las líneas japonesas de alta velocidad (Shinkansen).

En 1973 se inicia el estudio del Túnel de San Silvestre para la ampliación del abastecimiento de agua de Huelva y su zona industrial. El túnel, que deriva el agua del Guadiana al río Piedras, cruzando la divisoria entre ambas cuencas, tiene una longitud de 7.594 Km y una sección útil de 4,70 m², con forma de herradura.

En 1973 Julián García Rosselló envía al Congreso de Grandes Presas un artículo, muy detallado, sobre las obras subterráneas del Salto Camba-Couso, en Galicia, con una longitud total de túneles de 14,7 km, 7 pozos verticales y secciones de áreas variables entre 6.25 y 57 m². En el artículo García Rosselló hace varias afirmaciones sobre el método austriaco de construcción de túneles:

- “el terreno granítico está en el límite de aplicación del nuevo método austriaco (de Rabcewicz) de precorte y gunitado del frente (sic)”.
- “se ha intentado (utilizarlo) en varias ocasiones pero lo han dificultado ...varios desprendimientos... y la inercia de constructoras y casas especializadas”.
- “el método nos parece adecuado (sic)”.
- “la mecánica de rocas no ha llegado a manejar modelos matemáticos suficientemente representativos para su aplicación a los problemas de sostenimiento (que) se deben resolver casi siempre por vías de la experiencia, tanteo y corrección”.

Estas son las opiniones de uno de los ingenieros más informados sobre la construcción de aprovechamientos hidráulicos, que en el mismo artículo hace muchas otras observaciones atinadas, como la siguiente, hija de la experiencia:

- “Lo verdaderamente útil es adelantar la ejecución de las galerías de ataque”.
- “Los problemas de sostenimiento se deben resolver casi siempre por vías de la experiencia”.

Y reflejan la opinión más extendida dentro de la comunidad española de proyectistas y constructores de obras públicas. Respecto al diseño, construcción y comportamiento de los túneles y las obras subterráneas existía una clara dicotomía entre el mundo académico, nucleado por las cátedras de geotecnia en las escuelas de Caminos de Madrid y Barcelona y por las Sociedades Españolas de Mecánica del Suelo y Mecánica de las Rocas, y el mundo profesional “clásico” nucleado por las empresas hidroeléctricas que habían sido las promotoras de las grandes obras públicas hidroeléctricas.

Pero en la década de 1970-80 se inició una nueva época en las obras públicas españolas: la construcción de autopistas, generalmente de peaje. Las empresas concesionarias de autopistas eran jóvenes y “modernas” y adoptaron, sin duda

alguna, la mejor tecnología disponible, lo que supuso una revolución en la técnica carretera española.

La primera autopista con desarrollo muy extenso en terrenos rocosos fue la Bilbao-Behobia (AP-8), inaugurada por tramos sucesivos entre 1971 y 1975. En su proyecto y construcción se utilizó la técnica más moderna disponible por lo que constituyó una verdadera “locomotora técnica”. Especialmente los taludes en roca fueron la primera ocasión en que la estabilidad fue calculada sistemáticamente teniendo en cuenta toda su fracturación. Muchos de sus rellenos fueron pedraplenes también tratados con técnicas innovadoras. Tenía algunos túneles que fueron estudiados de forma más convencional; como la gran mayoría eran túneles en roca con relativamente poca cobertura (en macizos rocosos trabajando claramente en régimen elástico) no se emplearon las técnicas de Nuevo Método Austriaco. La inestabilidad de las posibles cuñas de roca en hastiales y bóveda se estudió también por métodos gráficos, teniendo en cuenta los posibles planos de fracturación. La reseña de una obra tan significativa queda fuera del contenido de este artículo.

La autopista, llamada del Mediterráneo (AP-7) se inició después con fechas de puesta en servicio variables según los tramos, pero en general posteriores a 1975. Tiene varios túneles en roca, construidos con la tecnología de obra “austriaca”, pero sin convergencias significativas, porque sus tensiones de contorno eran muy bajas respecto a las resistencias de los macizos rocosos atravesados.

4. FUNDACIÓN DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LOS TÚNELES (AETOS)

En 1974 se fundó la Asociación Española de los Túneles (AETOS) que, a partir de esa fecha, lideró las actividades de descripción y promoción técnica de los túneles en España, con el consentimiento y apoyo explícito de la Sociedad Española de Mecánica de Rocas y de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica, que colaboraron siempre con AETOS.

En ese mismo año 1974 las tres sociedades organizaron, conjuntamente, el I Simposio Nacional sobre Túneles. Tanto este como los sucesivos simposios españoles sobre túneles fueron liderados por AETOS. La Sociedad Española de Mecánica de Rocas prestó siempre su colaboración y apoyo técnico a la nueva asociación.

5. REFERENCIAS

Revista de Obras Públicas (1964). Monográfico sobre el Congreso de Grandes Presas de Edimburgo, nº 2988.

Talobre, J.A. (1957). *La mécanique des roches et ses applications*. Paris: Dunod.

Edificación y Urbanismo

Líneas de actividad

Estructuras y
cimentaciones

Zonificación del territorio

Abastecimiento,
saneamiento y desalación

Medio ambiente

.....

Fields of Activity

*Structures and
Foundations*

Territory Zoning

*Water Supply, Wastewater
Treatment and
Desalination*

Environment

Roque de Bentayga (Gran Canaria)
Concurso fotográfico SEMR
Autor: José Luis Méndez Fernández

Más información en
<http://www.cedex.es>

CEDEX

Centro de Estudios y Experimentación
de Obras Públicas

