

El Master de Túneles y obras subterráneas

Master in Tunnels and underground works

Revista de Obras Públicas
nº 3.498. Año 156
Abril 2009
ISSN: 0034-8619

José M° Rodríguez Ortiz. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director del Master. master@aetos.es

Resumen: Se hace un pequeño historial de los antecedentes que han llevado a la creación del Master de Túneles, con detalle de sus patrocinadores y promotores. Se describen los aspectos académicos más relevantes de este Master, integrado en los Títulos Propios de la Universidad Politécnica de Madrid. Se detallan los órganos rectores y docentes del Master así como el temario simplificado del mismo. La evolución, titulación y nacionalidad del alumnado a lo largo de las cuatro ediciones celebradas se recoge en cuadros comparativos.

Palabras Clave: Túnel; Master; UPM; AETOS

Abstract: The article provides a brief background to the newly created Master's Degree in Tunnels, with reference to its sponsors and promoters and detailing the most relevant academic aspects of this Master, incorporated within the Degree Titles at the Polytechnic University of Madrid. Reference is made to the governing and teaching bodies for this Master's Degree together with a brief indication of course studies. The evolution, qualification and nationality of graduates taking this degree over the four courses held to date are listed in comparative tables.

Keywords: Tunnel; Master; UPM; AETOS

1. Introducción

No cabe duda de que estamos viviendo en España un "boom" de construcción de túneles desde mediados de los años 90. A ello han contribuido principalmente las grandes líneas de Alta Velocidad, los ferrocarriles metropolitanos, los soterramientos urbanos y la mejora de la Red de Carreteras.

Pueden considerarse hitos importantes en este proceso los túneles de gran longitud como Guadarrama o Pajares, el amplio empleo de tuneladoras, como las record de la M-30 en Madrid, las grandes cavernas subterráneas, como la de la estación de Sol, etc.

Aunque no existen estadísticas fiables podrían tomarse como referencia los datos del Cuadro nº 1.

Este importante desarrollo no ha sido menor en el resto del mundo en ramas muy diversas ya que, apar-

te de los túneles viarios, están surgiendo usos muy diversos del espacio subterráneo como los aceleradores de partículas, los túneles para deportes de invierno,

Cuadro 1. Los túneles en España
(datos aproximados a finales de 2008)

Tipo	Nº de Túneles	Longitud
A) Túneles de carretera		
Red nacional	420	230 km
Otros	160	60 km
B) Túneles de ferrocarril		
En servicio	1.920	940 km
Abandonados, recreativos, etc.	550	150 km



Túneles de Abdañajís-LAV Córdoba-Málaga. A la derecha, Ampliación de la Línea 3 del Metro de Barcelona.

conservación de semillas, evacuación de riadas, auditorios, refugios, etc. Una mención especial merece el cruce de los grandes estrechos, iniciado con el Túnel del Canal de la Mancha y continuado con el cruce del Bósforo mediante cajones fondeados. Actualmente se está estudiando el cruce del estrecho de Gibraltar, existiendo otros proyectos muy ambiciosos como el del estrecho de Behring, la unión Corea-Japón, etc.

En este contexto, la Asociación Española de Túneles y Obras Subterráneas (AETOS) decidió poner en marcha un Master destinado a formar especialistas en túneles para atender la creciente demanda de este tipo de técnicos, tanto por las empresas consultoras y proyectistas como por las constructoras.

Realmente las carreras clásicas de Ingenieros de Caminos o Minas y diversos seminarios impartían conocimientos sobre este tipo de obras pero faltaba un cuerpo de doctrina suficientemente amplio en el



que se aunaran los conocimientos teóricos con la experiencia real de los constructores de túneles.

En este sentido AETOS realizó un gran esfuerzo para poner en marcha un Curso de Master suficientemente amplio para garantizar la información necesaria, lo cual requería la movilización de un amplio elenco de profesores ya que los túneles suponen numerosas facetas no dominables por unos pocos especialistas.

En los años 2000 a 2004 ya existía en el Colegio de Ingenieros de Caminos una Comisión de Túneles que impartía periódicamente seminarios cortos sobre la especialidad, bajo la dirección del Profesor D. Manuel Romana. Se consideró muy importante aprovechar este esquema inicial junto con el patrocinio del Colegio y de la Fundación Agustín de Betancourt, para montar el primer curso de Master, alojado en el propio Colegio, por la generosa cesión de los locales necesarios.



Estación en pozo de 32 m de diámetro en la Línea 9 del Metro de Barcelona. A la derecha, Túnel a cielo abierto para el acceso de trenes de cercanías a la Terminal T-4 (Madrid).





Túnel de Bimenes en la conexión del Corredor del Nalón con la Autovía del Cantábrico (Asturias). A la derecha, Túneles de Pajares- Boca Sur.

El concepto de un Master de iniciativa privada no se acomodaba a la tendencia generalizada de integrar este tipo de enseñanzas en un contexto universitario, como parte del currículo de futuros ingenieros o postgraduados. Por ello se consideró muy interesante que el Master consiguiera el respaldo de la Universidad Politécnica de Madrid, lógicamente a través de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y concretamente la Fundación Agustín de Betancourt.

Es de justicia reconocer el esforzado trabajo de las personas que hicieron posible esta integración en la UPM, como Edelmiro Rúa, Juan Santamera y Manuel Arnáiz, apoyados por José M^a Sanz Saracho y José Polimón. Por supuesto hay que elogiar la buena disposición del Rectorado de la UPM en 2005, la cual ha tenido una excelente continuidad con el nuevo Rector D. Javier Uceda.

También es muy importante dejar constancia del entusiasta apoyo de las grandes constructoras que, desde el primer momento se constituyeron en patrocinadores del Master con importantes aportaciones económicas y, lo que no ha sido menos importante, adscripción al Master de uno o dos técnicos por empresa, con el consiguiente sacrificio al tener que prescindir durante seis o más meses de un personal que siempre hace falta.

La colaboración de las empresas también ha sido fundamental para facilitar las visitas a obras y permitir la elaboración de tesinas.

Los citados patrocinios permiten a AETOS dotar anualmente 3 becas para matrícula gratuita. El Colegio de Ingenieros de Caminos también contribuye con 2 becas a asignar a colegiados.

2. Aspectos académicos

El Master de Túneles pertenece a los denominados Títulos Propios de la UPM. Ello supone que ha superado los controles normativos y de calidad de la Universidad.

Pretende ofertar una formación más flexible y diversificada que las enseñanzas regladas y con ello proporcionar una especialización profesional y de actualización de conocimientos en el área de los túneles acorde a las demandas de la sociedad. Se trataría del "Aprendizaje a la carta" o "Formación Continua" (*Life Long Learning*) que propugna el Espacio Europeo de Educación Superior.

El Master cumple la Normativa de Estudios de Postgrado de la UPM, aprobada por la Junta de Gobierno de la misma el 19 de diciembre de 1997. Según el Art. 14 de dicha Normativa al menos 1/3 de los profesores deben tener el título de Doctor y de los 2/3 restantes al menos el 90% deben ser titulados de 2º ciclo. Con carácter excep-

Logotipos de los organismos y empresas patrocinadoras.



Cuadro 2. Distribución del profesorado		
Origen	Nº de profesores	Nº de horas
U. Politécnica de Madrid	29	216
U. Complutense	8	38
U. Politécnica de Valencia	3	28
U. Politécnica de Cataluña	2	30
U. da Coruña	2	44
U. Cantabria	1	20
Especialistas no docentes	39	174
Total	84	552

cional el 10% de la docencia queda abierto a especialistas no titulados de reconocido prestigio.

En las últimas ediciones la composición del profesorado junto con las horas lectivas impartidas es la que figura en el Cuadro 2.

El acceso a los Estudios de Master queda regulado por el Art. 20 de dicha Normativa que establece la necesidad de estar en posesión de un título universitario. En las últimas ediciones del Master la selección del alumnado ha llevado a una mayoría con titulación de Ingeniero o Geólogo.

Los Cursos de Master suponen la realización de pruebas de evaluación y la realización de un trabajo o proyecto final. La superación de estos requisitos, junto con las condiciones de asistencia o aprovechamiento fijadas por el Consejo Docente, supone la ob-

Tuneladora de 15,40 m de diámetro utilizada en el soterramiento de la M-30 (Madrid).



tención del Título de Master, otorgado por el Rector de la UPM.

Actualmente está en fase de revisión por la Comisión de Doctorado de la UPM la convalidación de estos estudios por créditos de Programas de Doctorado, según el sistema europeo ECTS. Por el momento se ha fijado la equivalencia de 0,6 créditos ECTS por cada 10 horas lectivas de Master, hasta un máximo de 30 créditos.

Internamente el Master está regido por un Comité de Dirección formado por:

El Presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

D. Edelmiro Rúa

El Director de la Escuela de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Madrid

D. Juan Santamera

El Presidente de la Asociación Española de Túneles y Obras subterráneas (AETOS)

D. Manuel Arnáiz

Existe además una Comisión Docente constituida por

Los Directores del Master

D. José M^a Rodríguez Ortiz

D. Alcibíades A. Serrano González

Los Directores y Codirectores de las cuatro Áreas Docentes

Área A: D. Antonio Soriano Peña

D. Carlos López Jimeno

Área B: D. César Sagaseta

D. Ángel Fernández-Aller

Área C: D. Carlos Oteo

D. Davor Simic

Área D: D. Avelino Acero

D. José Polimón

El Secretario del Colegio de Ingenieros de Caminos

D. Pedro Rodríguez Herranz

El Secretario de AETOS

D. Pedro Sola Casado

El Secretario Técnico del Curso

D. Miguel Martín Stickle

3. Los contenidos

Antes de poner en marcha el Master se investigó la existencia de Masters similares en otros países, los cuales pudieran servir de referencia. Únicamente podemos citar:

- Universidad de Turín: “*Master on Tunnelling and Tunnel Boring Machines*”. Dirigido por S. Pellizza. Patrocinado por la ITA y la Soc. It. De Túneles. 450 horas de clase (un año, 6/8 horas/día y 5 días/semana), 2 meses en obra o en un consulting y una tesina. 60 créditos ETCS.
- Universidad Técnica de Graz (Austria): Titulación de “*Academic NATM Engineer*”. 4 módulos de 3 semanas de duración. 47 créditos ETCS.

En las universidades alemanas (Munich, Stuttgart, etc.) no existen Masters dedicados a túneles sino un módulo integrado en Masters de Geotecnia y Túneles.

Por supuesto existen multitud de Seminarios, Cursos, etc. de corta duración. Tal es el caso del “*Course on Tunnel Design and Construction*” de la British Tunnelling Society, con 30 horas lectivas, mesas redondas y discusiones, el curso “on line” de la Society for Mining, Metallurgy and Exploration de los EE.UU., de 3 meses de duración, el de 9 días de duración impartido en Lovaina por el Board of European Students of Technology, etc.

La conclusión fue que únicamente el Master de Turín encajaba en lo que se pretendía hacer en España,



Caverna de Sol. Cercanías Atocha-Chamartín.

existiendo algunos aspectos, como los de instalaciones o medioambientales, muy poco tratados en los cursos enfocados desde un punto de vista geomecánico o constructivo.

Aparte del amplio temario que se quería incorporar, la titulación de Master Universitario exigía un volumen importante de horas lectivas, prácticas y trabajos por parte de los alumnos, por lo que fue necesario habilitar un amplio periodo de docencia, de Enero a Junio, con 4 clases diarias, aparte de los trabajos o tesinas finales que se desarrollan a lo largo del verano y se presentan a finales de Octubre.

En el Cuadro 3 adjunto se muestra la distribución de horas del Master.

Cuadro 3. Distribución de horas por actividades	
Actividades	Horas
Clases teóricas presenciales	323
Clases prácticas con presencia de profesor (Laboratorio, taller, resolución de problemas o de casos)	63
Visitas organizadas con acompañamiento de profesores	82
Seminarios, exposiciones y correcciones públicas	46
Tutorías presenciales personales o en grupos	26
Realización de exámenes	12
SUBTOTAL de horas con presencia de profesores	552
Estudio personal. Preparación de exámenes	872
Trabajos individuales o en equipo. Sin presencia de profesores	240
Consultas bibliográficas y documentación	55
SUBTOTAL de horas sin presencia de profesores	1.167
TOTAL en horas	1719
TOTAL en créditos ECTS	57-69



Túnel del CERN.

A lo largo de los 4 años de impartición del Master se han efectuado algunos cambios sobre el profesorado inicial, bien por problemas de dedicación como por considerar que podía mejorarse la calidad de la docencia o por modificaciones de temario.

Lógicamente se han buscado los profesores que mejor podían impartir cada tema, existiendo muchos temas no habituales en los cursos de túneles al uso que han exigido una intensa labor de preparación, tanto de las clases en sí como de la documentación a entregar a los alumnos.

No disponemos de espacio suficiente para detallar el extenso temario de clases, el cual se ha ido



Túnel de esquí de Fortum, L = 1,3 km., en Suecia.

Cuadro 4. Temario por módulos docentes

AREA A: INTRODUCCIÓN Y MATERIAS BÁSICAS

Ampliación de Geología (aplicada a túneles)
 Estados tensionales
 Ampliación de Mecánica del Suelo
 Ampliación de Mecánica de Rocas
 Técnicas de Prospección y Ensayos de campo y laboratorio

AREA B: DISEÑO Y PROYECTO DE TÚNELES

Diseño funcional de Túneles (carreteros, ferrocarriles, metro, hidráulicos, otros).
 Normativas de Aplicación, nacionales e internacionales.
 Condicionantes ambientales del Diseño.
 Técnicas de Cálculo Numérico.
 Métodos Constructivos. El NATM.
 Proyecto y Cálculo de Excavación y Sostenimientos.
 Proyecto y Cálculo de Revestimientos. Proyecto de Acabados.
 Proyecto de túneles a cielo abierto
 Túneles en terrenos especiales.
 Proyecto de instalaciones

AREA C: CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES

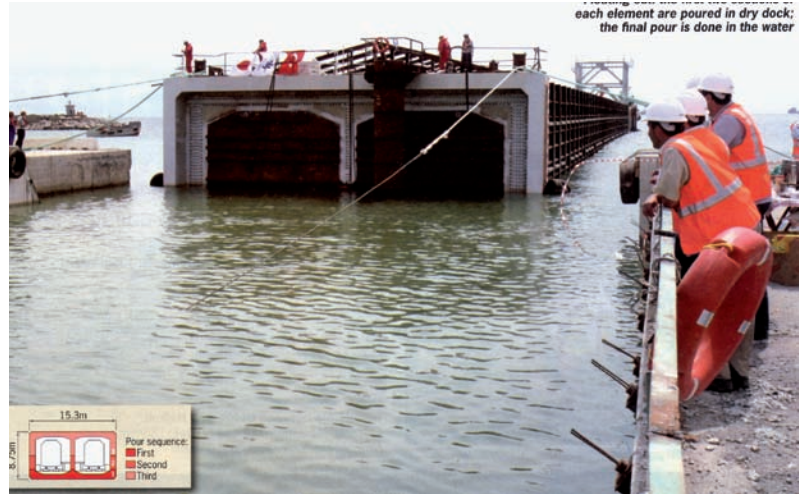
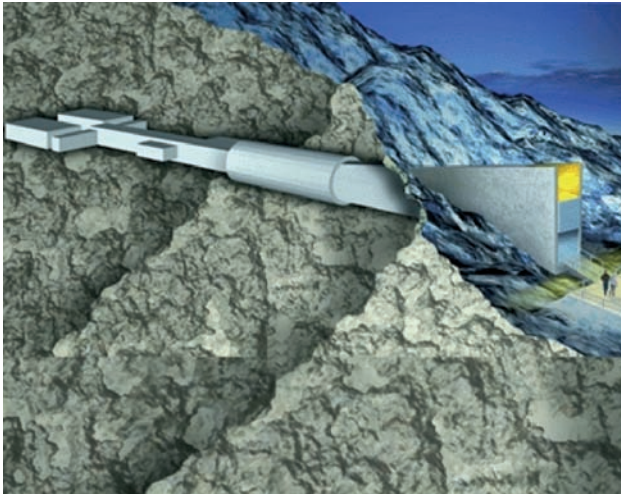
Construcción de Túneles a cielo abierto.
 Construcción de Túneles Subterráneos. Tuneladoras
 Emboquilles y Pozos de acceso.
 Sistemas de Auscultación y Control.
 Tratamientos del Terreno.
 Túneles en Terrenos difíciles (Expansivos, Cársticos, etc.).
 Sistemas de Arranque (Mecánico y Voladuras) y Extracción.
 Impacto Ambiental de las obras.
 Seguridad y Salud
 Organización de Obra.
 Casos prácticos

AREA D: TESINA DE MASTER

optimizando en ediciones sucesivas. En la última versión, que se imparte en 2009, se ha optado por una modulación de tipo semanal, agrupando las clases por temas principales. El detalle aparece en el Cuadro nº 4.

Lógicamente se realizan encuestas diarias a los alumnos respecto al interés de las clases, calificación del profesor, etc., lo cual permite corregir fallos o mejorar los contenidos en ediciones sucesivas.

En la opinión de los alumnos hay que reconocer la muy favorable valoración que se ha asignado a las visitas de obra, en las que tienen la oportunidad de contrastar las enseñanzas teóricas y conocer en



directo y departir con los proyectistas y constructores de las obras más importantes del momento.

No menos acogida tiene el Viaje Fin de Master, de una semana de extensión, en la que se visitan obras de interés situadas lejos de Madrid, no integrables en las visitas de obra rutinarias.

El curso se inicia y clausura en jornadas especiales, habitualmente presididas por el Rector de la UPM y a las que se invita a especialistas de nivel internacional quienes imparten conferencias sobre el tema. En la jornada de clausura se entregan los Diplomas de Master a los alumnos que han superado los estudios.

Túnel para guardar semillas en Svalbard (Noruega). A la derecha, Cajón para el túnel sumergido del Bósforo.

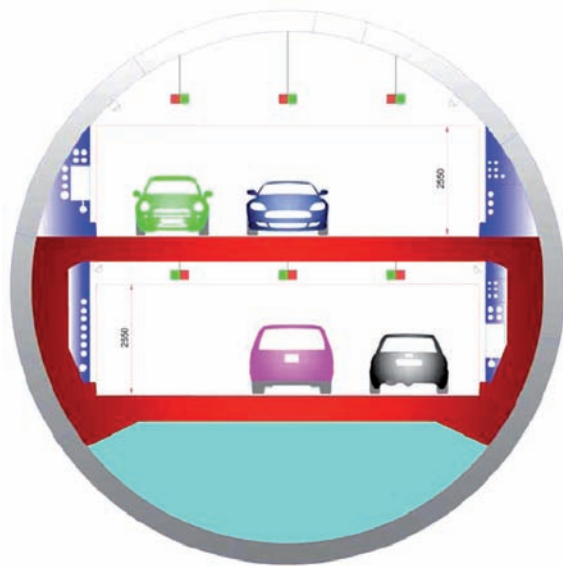
4. El alumnado

Desde el primer momento se planteó que, para un buen aprovechamiento de los alumnos, el Master no podía estar masificado, limitándose la matrícula a unos 25 alumnos. Por otra parte esta era la capacidad aproximada del aula disponible. Actualmente, con el traslado de las clases a la sede de AETOS (también cedida por el Colegio), en la calle Montalbán, se ha ampliado la capacidad a unos 32 alumnos.

En un cierto momento se ha contemplado la posibilidad de abrir la matrícula a otros colegiados en determinados módulos semanales, pero la oferta de plazas sería tan escasa que, por ahora, no se ha materializado esta opción.

Al ir por la cuarta edición del Master ya se tienen datos estadísticos significativos de la acogida que está teniendo y de la composición del alumnado.

En el cuadro nº 5 se muestra la titulación de los alumnos. Aunque han existido algunas excepciones

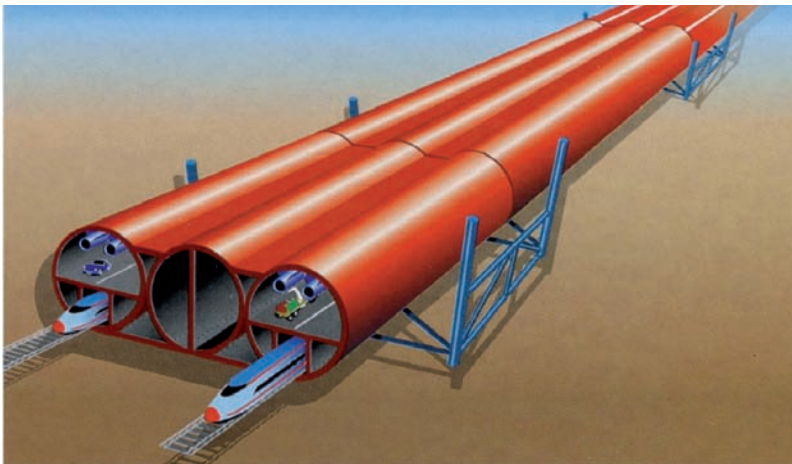


Túnel SMART en Kuala-Lumpur, combinando tráfico viario y evacuación de riadas.

Cuadro 5. Titulación de los alumnos				
TITULACIÓN	2006	2007	2008	2009
INGENIEROS DE CAMINOS	15	12	13	16
INGENIEROS DE MINAS	5	6	5	1
INGENIEROS CIVILES (SUDAMÉRICA)	2		2	7
INGENIEROS GEÓLOGOS		2		
GEÓLOGOS	1	1	2	
ING. TÉCNICOS OBRAS PÚBLICAS		1	1	
ING. TÉCNICOS INDUSTRIALES		1		
TOTAL	23	23	23	31

Cuadro 6. Distribución de los alumnos por nacionalidades

Nacionalidad	2006	2007	2008	2009
ESPAÑOLA	21	23	21	23
COLOMBIANA	2			2
BOLIVIANA				1
VENEZOLANA/ESP.			1	2
DOMINICANA			1	
MEJICANA				1
POLACA				2
Total	23	23	23	31



Proyecto de túnel metálico sumergido entre Corea y Japón.

se tiende a admitir únicamente a Titulados Superiores.

En el Cuadro nº 6 se muestra la distribución por nacionalidades.

5. Conclusiones

Puede decirse que el Master de Túneles y Obras Subterráneas, ya en su 4ª edición, está constituyendo un logro importante de la ingeniería española y está dotando a la profesión de un número importante de técnicos (ya próximo al centenar) en un campo en el que existía un déficit permanente y era difícil la especialización.

Cada vez es mas frecuente encontrarse en las consultoras y en los propios túneles ingenieros o geólogos que han sido alumnos del Master y desempeñan su trabajo teniendo muy presentes las enseñanzas del mismo.

Este efecto ya ha trascendido nuestras fronteras y son frecuentes las solicitudes de asistencia desde otros países de habla hispana e incluso de otros países europeos.

Por supuesto todo anima a seguir en la línea emprendida, sin cesar de revisar y mejorar los contenidos. ♦