

## **José Antonio Jiménez Salas: el Laboratorio de Geotecnia del Cedex en los tiempos recientes**



**Fernando Pardo de Santayana Carrillo**

Dr. ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director del Laboratorio de Geotecnia del Cedex

### **Resumen**

El Profesor D. José Antonio Jiménez Salas fue nombrado director del Laboratorio de Geotecnia del Cedex hace cerca de sesenta años, ocupando este cargo durante dos décadas. Hoy en día el Laboratorio mantiene en gran medida el carácter que le imprimió Jiménez Salas, reflejado, particularmente, en la importante componente investigadora de su actividad. En el artículo se ofrece una panorámica sobre las líneas de actividad desarrolladas en los tiempos recientes, dando especial destaque a la geotecnia ferroviaria, y haciendo mención del máster de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica, en cuyos orígenes se encuentra también la figura del insigne Profesor.

### **Palabras clave**

Jiménez Salas, laboratorio, geotecnia, Cedex, geotecnia ferroviaria

### **Abstract**

*Professor José Antonio Jiménez Salas was appointed as director of the Public Works Testing and Research Centre (Cedex) Geotechnical Laboratory around sixty years ago and held the post for two decades. The Laboratory still retains the mark left by Jiménez Salas, particularly in the strong research component of his activities. This article offers an overview of the activity lines developed in recent years, with particular emphasis on railway geotechnics and the new MSc in Soil Mechanics and Geotechnical engineering which both have their origins in the person of the distinguished Professor.*

### **Keywords**

*Jiménez Salas, laboratory, geotechnics, Cedex, railway geotechnics*

### **Introducción**

La historia del Laboratorio de Geotecnia del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Cedex) está íntimamente ligada a la figura del Profesor D. José Antonio Jiménez Salas, quien fue su director durante cerca de veinte años, desde que en 1965 sucedió a D. José Luis Escario en la dirección del entonces denominado Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, hasta 1984, con un intervalo de un año, desde octubre de 1978 a octubre de 1979, en que fue director general del propio Cedex. En 1984 el Laboratorio se dividió en dos: el Laboratorio de Carreteras y el Laboratorio de Geotecnia. En la Dirección del Laboratorio de Geotecnia le sucedieron D. Alcibiades Serrano, de 1984 hasta 1987, D. Carlos Oteo, de 1987 a 1996, D. Vicente Cuéllar, de 1996 a 2006, y el autor de este artículo, desde 2006.

El Laboratorio de Geotecnia, uno de los siete centros que componen actualmente el Cedex, centra su actividad en los aspectos relacionados con la mecánica de suelos y de rocas, y, en general, con la ingeniería geológica y geotécnica, aplicada, principalmente, a vías de comunicación, obras hidráulicas, portuarias, ambientales y a edificaciones. Esta actividad se desarrolla, por un lado, a través de la investigación y la experimentación, en el ámbito de convenios o encomiendas de gestión, o bien de planes nacionales e internacionales de I+D+i, y, por otro, mediante la asistencia técnica, tanto al sector público como al privado, con atención prioritaria a los departamentos ministeriales de los que depende funcionalmente: Ministerio de Fomento y Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Se complementan estas actividades con acciones de colaboración internacional, a través de



Fig. 1. El Cajón Ferroviario del Cedex

Grupos de Trabajo y Redes Tecnológicas, bien como con actividades de transferencia del conocimiento, formación y desarrollo prenormativo. Para estas actividades se cuenta con un personal técnico altamente especializado y con un conjunto muy completo de instalaciones y de equipos de ensayo de laboratorio y de campo, algunos bastante singulares.

En el Laboratorio de Geotecnia tienen su sede la Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica (SEMSIG) y la Sociedad Española de Mecánica de Rocas (SEMR).

## 2. Líneas de investigación en los tiempos recientes

Resultaría excesivamente prolijo referir aquí con detalle las actividades que ha desarrollado el Laboratorio de Geotecnia en los últimos años. Sí se puede afirmar que la impronta que dejó Jiménez Salas se mantiene presente

en la realización de los trabajos y en la orientación con que se llevan a cabo en este centro. Siendo verdad que la asistencia y el apoyo técnico en cuestiones geotécnicas a los Ministerios de los cuales depende el Cedex podría considerarse el tipo de actividad mejor valorado oficialmente, y, en cierto modo, la razón de ser del organismo, también es cierto que el Laboratorio de Geotecnia destaca en la faceta investigadora, en estrecha colaboración con la comunidad geotécnica nacional. Prueba de ello es el considerable número de tesis doctorales que se han realizado en el Laboratorio, tanto por funcionarios del propio centro, como por personal investigador becado o contratado por el Cedex, sin contar con las estancias en el Laboratorio de doctorandos de diferentes Universidades, en especial para la realización de la parte experimental de sus investigaciones. Se relacionan a continuación, como ejemplo de las líneas de investigación desarrolladas, las tesis de los últimos 12 años, defendidas fundamentalmente en la

---

E. T. S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) o en la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid (UCM):

- Perucho Martínez, Áurea (2004). Estudio de deformabilidad de escolleras. UPM.
- Estaire Gepp, José (2004). Comportamiento de cimentaciones superficiales sobre suelos granulares sometidas a sollicitaciones dinámicas. UPM.
- Cano Linares, Herminia (2004). Técnicas "in situ" para la caracterización del comportamiento elástico no lineal de suelos duros. UPM.
- Melentijevic, Svetlana (2005). Estabilidad de taludes en macizos rocosos con criterios de rotura no lineales y leyes de fluencia no asociada. UPM.
- García Wolfrum, Silvia (2005). Anclajes en roca. UPM.
- Manzanal, Diego (2008). Desarrollo de modelo constitutivo basado en la Teoría Plasticidad Generalizada con incorporación de parámetros de estado para arenas saturadas y no saturadas. UPM.
- Moreno Robles, Javier (2009). Reproducción, mediante ensayos a escala real, del efecto en la vía de la circulación ferroviaria a alta velocidad. UPM.
- Sandoval Ocaña, Guillermo (2009). Estudio de la convergencia por fluencia de túneles circulares en medios viscoelásticos plásticos. UPM.
- Sánchez Morles, Mila (2009). Modelación de flujos de derrubios empleando el método SPH. Aplicación a casos reales. UPM.
- Asanza Izquierdo, Enrique (2009). Determinación de las características de fricción en el contacto suelo-geotextil a diferentes succiones, mediante equipos de laboratorio singulares. UPM.
- Fernández Serrano, Roberto (2012). Geotechnical analysis of contaminated sand by light non-aqueous phase liquids. UPM.

- Pérez Santisteban, Itziar. (2012). Caracterización geotécnica de los suelos de Madrid mediante la técnica REMI (Refraction Microtremor). UCM.

- Conde Palacios, Margarita (2013). Caracterización geotécnica de materiales volcánicos de baja densidad. UCM.

- Álvarez-Cedrón, Cristina (2014). Deformabilidad de escolleras empleadas en banquetas de cimentación de estructuras portuarias de tipología de cajones. UPM.

- Dávila Madrid, Manuel (2014). Análisis del comportamiento estático y dinámico de rellenos hidráulicos. UPM

- Muñiz Menéndez, Mauro (2015). Unidades geotécnicas del futuro enlace fijo a través del Estrecho de Gibraltar: Recopilación de datos históricos, caracterización geotécnica y modelización de ensayos presiométricos en medio anisótropo. UCM.

- Pérez Fortes, Ana Patricia (2016). Calidad y durabilidad de áridos metamórficos empleados en capas de rodadura gallegas bajo el efecto de la sal y una climatología extrema. UCM.

- Gomes Bastos, Edinalva (2016). El comportamiento geomecánico deformacional de los residuos urbanos: aplicación a un caso real. UPM.

Es ilustrativo, también, relacionar las monografías (M), cuadernos de investigación (C) y manuales y recomendaciones (R) del Cedex publicados en los últimos años como fruto de trabajos en el Laboratorio de Geotecnia o en colaboración con el mismo:

- Catálogo de residuos utilizables en la construcción (2002). P. Alaejos, M. Sánchez, F. Sinis, H. Cano. Publicado como monografía inicialmente, se mantiene activo en la red en: <http://www.cedexmateriales.es/>.

- Carga de hundimiento por punta de pilotes en rocas (2002). A. Serrano, C. Olalla. M-71.

- Cargas admisibles de cimentaciones en roca basadas en un criterio de rotura no lineal (2002). A. Serrano, C. Olalla. M-54.

- Técnicas hidrogeológicas en investigación geotécnica (2003). J. L. Salinas, A. Plata. M-78.
- Diccionario guía de reconocimientos geológicos para ingeniería civil (2004). J. L. Salinas. M-79.
- Estabilidad de taludes rocosos infinitos con criterios de rotura no lineales y leyes de fluencia no asociadas (2004). A. Serrano, C. Olalla, J. Manzanas. M-80.
- Recomendaciones para la ejecución e interpretación de ensayos de integridad de pilotes y pantallas “in situ” (2006), (en colaboración con AETESS). F. Sánchez, J. L. García de la Oliva, C. de las Heras, J.M. Echave, J. J. Muñoz, J.L. Ríos. M-87.
- Nuevo modelo para el estudio de la deformabilidad de medios granulares gruesos: Modelo sincrético (2008). A. Perucho. C-54.
- Cálculo de cimentaciones superficiales y profundas basado en ensayos in situ: práctica francesa (2009). R. Frank. M-101.
- Recomendaciones para la ejecución del hormigonado de pilotes y pantallas “in situ” (2011), (en colaboración con AETESS). P. Alaejos, E. Dapena, J.M. Echave, G. Marote, F. Pardo de Santayana, L. Prieto. R-21.

Merece la pena destacar asimismo la colaboración del Laboratorio de Geotecnia en la elaboración del “Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas”, publicado por el SPANCOLD en 2010; la continuación de los estudios geológico-geotécnicos relacionados con el proyecto de la comunicación fija a través del Estrecho de Gibraltar, en colaboración con SECEGSA; los estudios sobre materiales marginales para terraplenes y metodologías para su aplicación, tanto para la Dirección General de Carreteras (DGC) como para la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental; los estudios sobre la estabilidad de taludes rocosos, sistemas de prevención contra desprendimientos y simulación de caída de rocas; los trabajos de investigación y corrección de grandes deslizamientos (Formigal, Benamejí, Parador de Carmona, D-32 de la A-7, túneles de Ramoncillos de la A-7, talud de La Panadella, etc.); el análisis y elaboración de una base de datos de resultados de ensayos de corte en escollera en la caja de corte de 1 metro cúbico del Labo-

ratorio de Geotecnia; el desarrollo de técnicas de ensayo en laboratorio e in situ; el desarrollo de las aplicaciones de las técnicas geofísicas, sísmicas y eléctricas, en superficie y en sondeos; el desarrollo de modelos numéricos para problemas tales como las cimentaciones de estructuras marinas o la respuesta de plataformas ferroviarias a largo plazo sometidas a cargas cíclicas; la realización de un inventario de canteras para capas de rodadura, para la DGC; etc.

Una nueva línea de actividad es la relativa a las aplicaciones de la geotermia somera a las estructuras de cimentación. Fue iniciada en 2007 mediante actividades de formación, difusión y de participación en plataformas y grupos de trabajo internacionales. Entre 2011 y 2013, junto con la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), la empresa Energesis y el Grupo Rodio-Kronsa, se ha desarrollado el proyecto del subprograma INNFACTO denominado PI-TERM (Caracterización termo-mecánica y nuevas técnicas de diseño de pilotes termoactivos), cuyo objetivo ha sido estudiar el comportamiento termomecánico de un pilote prefabricado, debidamente instrumentado e hincado, preparado para funcionar como elemento termoactivo, bajo la acción simultánea de cargas mecánicas y térmicas controladas. Se realizaron sobre el pilote ensayos de carga estática, de caracterización térmica del sistema pilote-terreno y de simulación de cargas térmicas diarias en un edificio de oficinas durante 15 días consecutivos. Fruto de estos trabajos será la próxima presentación de una tesis doctoral en la UPV.

Por lo que se refiere a la intervención del Laboratorio de Geotecnia del Cedex en la elaboración de códigos geotécnicos en los últimos años, pueden destacarse los siguientes: El Documento Básico DB SE-C, Cimientos, del Código Técnico de la Edificación, publicado por Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo; la revisión en 2004, para la Union Internationale de Chemins de Fer, del documento UIC 719R CODE: Earthworks and track bed for railway lines para su modificación e incorporación de nuevas técnicas y métodos geotécnicos en el diseño de nuevas líneas de alta velocidad y la adaptación de líneas convencionales a las nuevas exigencias de tráfico, tanto de mercancías como de pasajeros; y la colaboración con un grupo de expertos nacionales de Geotecnia y Estructuras en la elaboración, para la DGC, de la “Guía de cimentaciones en obras de carretera”. En el ámbito europeo, el Laboratorio de Geotecnia estuvo representando a España en la redacción del



**Fig. 2. Caja de corte de 1 m<sup>3</sup> del Laboratorio de Geotecnia, para materiales de gran tamaño**

Eurocódigo-7 y en su traducción al español; y, más recientemente, en el ámbito de los comités correspondientes de AENOR y CEN, se ha dirigido la redacción del Anejo Nacional Español al Eurocódigo EC-7 y se participa en la revisión y futura edición de este Eurocódigo.

3. La geotecnia ferroviaria y el Cajón Ferroviario del Cedex En la estela de lo que el Profesor Jiménez Salas nos legó en Dinámica de Suelos, en estos diez últimos años hemos aplicado sus enseñanzas a la Ingeniería de Ferrocarriles, construyendo y desarrollando en el Laboratorio de Geotecnia, por iniciativa y bajo la dirección de D. Vicente Cuéllar, un Cajón Ferroviario (CFC), por ahora único en el mundo, en el que pueden estudiarse de forma acelerada los efectos que tiene, en secciones de vía construidas a escala real sobre distintos tipos de suelos, la circulación de trenes de mercancías y pasajeros con velocidades de paso de hasta 400 km/h.

Los resultados obtenidos en esta novedosa instalación han permitido la incorporación de la técnica española a los proyectos europeos sobre transporte ferroviario contemplados en el 6º y 7º Programas Marco y propiciado el desarrollo de nuevos métodos constructivos y aplicaciones en las líneas de alta velocidad que viene desarrollando ADIF en España. Entre las innovaciones técnicas universalmente aceptadas con las que el laboratorio de Geotecnia del Cedex ha hecho posible la obtención de esos resultados cabe mencionar las siguientes:

- Construcción de una estructura metálica de 21 m de longitud, 5 m de anchura y 7 m de altura para albergar: en sus 4 m inferiores, 3 tramos consecutivos de vía simple de 7 m de longitud y 5 m de anchura; y en sus 3 m superiores los sistemas de reacción necesarios para poder simular en cada uno de esos tramos el paso de trenes.





Fig. 3. Alumnos y coordinadores (E. Asanza y J. González-Gallego) del máster de 2012 en la entrada del Laboratorio de Geotecnia del Cedex

- Puesta a punto de un sistema para la generación de trenes de cargas verticales quasi-estáticas basado en un programa informático (software) y en 6 cilindros servo-hidráulicos de 250 kN y 50 Hz cada uno (hardware), que permite simular el paso a velocidades de hasta 400 km/h de cualquier tipo de tren por un punto de vía plena o en curva reproduciendo en cualquier tramo de vía del CFC el comportamiento que cabe esperar en un tramo de 3 m de vía real cuando los ejes del tren se aproximan a su centro, pasan por encima de él y se alejan.
- Puesta a punto de un sistema de tracción horizontal de traviesas para el estudio de la estabilidad geotécnica de la vía frente al pandeo horizontal de los carriles por cambios de temperatura.
- Instrumentación de partículas de balasto con acelerómetros triaxiales.
- Desarrollo de sistemas de fijación de sensores en la superestructura de la vía y de técnicas de interpretación de datos.
- Adaptación a los carriles de la vía del CFC de 2 vibradores piezoeléctricos y desarrollo de un nuevo sistema de control para generar historias de cargas verticales dinámicas en cada carril con amplitudes máximas de  $\pm 20$  kN y frecuencias de hasta 300 Hz representativas de los efectos que las irregularidades del camino de rodadura de los trenes pueden tener en la vía.

Entre los resultados más relevantes propiciados por dichas innovaciones pueden citarse los siguientes:

- Determinación de las curvas de fatiga de las distintas capas de asiento de la vía mediante la simulación en ensayos a escala 1:1 de las condiciones reales de paso de trenes de pasajeros y mercancías a distintas velocidades.
- Obtención de las aceleraciones de partículas de balasto cuando se simula el paso de trenes de alta velocidad en modelos físicos de vía construidos a escala real.
- Limitación del número de bateos anuales a los que se puede someter una vía de balasto sin comprometer su buen comportamiento a largo plazo.
- Validación de distintos tipos de polímeros y productos sintéticos en placas de asiento carril-travesía, suelas bajo travесías y mantas elásticas bajo balasto para controlar la rigidez de vía y amortiguar la transmisión de vibraciones en su entorno.
- Limitación a 8 cm del espesor de subbalasto bituminoso para tramos de balasto en LAV's frente a los espesores de 12 cm y superiores utilizados para este tipo de líneas en los ferrocarriles europeos.
- Cuantificación del efecto de los cambios climáticos en la estabilidad horizontal de vías con balasto.
- Validación para el tráfico mixto de las infraestructuras geotécnicas de LAV's utilizadas en España únicamente para trenes de pasajeros.

Entre los últimos trabajos realizados cabe citar el programa de ensayos ejecutado para el consorcio de empresas españolas que están construyendo la LAV Medina-La Meca con el fin de determinar los efectos que la contaminación gradual con arena del desierto, así como las tormentas de este material, pueden tener en el comportamiento mecánico de los tramos con balasto de dicha línea cuando por ella circulen trenes a 320 km/h.

Actualmente se están ensayando nuevos módulos de vía en placa, de hasta 7 m de longitud, desarrollados por distintas empresas europeas, simulando su puesta en obra y explotación con el fin de asegurar un buen comportamiento cuando se utilicen con las mismas infraestructuras

geotécnicas que las usadas en España para LAV's con balasto.

A muy corto plazo, febrero-abril de 2016, se aislará la estructura del CFC de su cimentación con el fin de poder simular el paso de trenes a más de 300 km/h sin perjuicio para su entorno ambiental. Una vez concluidos dichos trabajos se realizarán los trabajos comprometidos en la última fase del proyecto CAPACITY4RAIL para el 7º Programa Marco Europeo consistentes en determinar el efecto que la no-linealidad de los materiales térreos empleados en la infraestructura de la vía pueden tener en el comportamiento de LAV's sometidas al tráfico diario de trenes a 400 km/h.

Seguidamente, está previsto realizar ensayos en modelos de vía a escala 1:1 con tres carriles en los dos casos siguientes: a) corazón de desvíos y b) vías con dos tipos de anchura: internacional para trenes de pasajeros y nacional para trenes de mercancías. En el primer caso se estudiará la fatiga producida en los distintos componentes de la vía por los impactos de las ruedas del tren al pasar por el corazón del desvío.

A más largo plazo se prevé adaptar los sistemas de reacción de cargas existentes en el CFC para poder aplicar historias de cargas tridimensionales en distintos puntos de los tramos de ensayo. De esta manera se podrá analizar experimentalmente con modelos a escala 1:1 el efecto que curvas muy cerradas, propias de tranvías y ferrocarriles suburbanos, pueden tener en la fatiga de los distintos componentes de las sujeciones de vía.

#### **4. El Máster de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica**

Los antecedentes del máster hay que buscarlos en 1965 en el Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo del Cedex, con el Curso de Especialización en Transportes y Mecánica del Suelo para ingenieros hispanoamericanos, llevado a cabo con la colaboración del Instituto de Cultura Hispánica y de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid. A comienzos de los años 80, el profesor D. José Antonio Jiménez Salas concibió un curso ya exclusivamente de geotecnia para postgraduados iberoamericanos en la Escuela de Caminos de Madrid. En aquella época compaginaba su tarea docente como titular de la cátedra de Geotecnia y Cimentos de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid con la dirección del actual Laborato-

rio de Geotecnia del Cedex. El prestigio internacional de su figura, su extraordinaria claridad expositiva y el muy cualificado grupo de profesores e investigadores del que se asistió, tanto de la Escuela como del Laboratorio de Geotecnia del Cedex, propiciaron la difusión del curso en los países de afinidad lingüística.

Tras su etapa germinal de adscripción a la Escuela, en 1988, el VI Curso Internacional de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Cimentaciones pasó a organizarse desde el Cedex, adhiriéndose la dirección de curso al director del Laboratorio de Geotecnia, que en aquella etapa era D. Carlos Oteo. A partir del año 2000, con motivo de la ampliación de su carga docente bajo la dirección de D. Vicente Cuéllar, con un cuadro docente sin parangón en lengua castellana, el curso adquirió la categoría de máster. En 2009, el Cedex se asocia a la Universidad, y el curso, con la denominación de Máster de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica, se transforma en Máster Universitario de título propio, con una equivalencia de 60 ECTS: de la Universidad Politécnica de Madrid hasta la edición de 2011; y de la UNED desde 2012.

El curso, orientado a ingenieros de caminos, ingenieros civiles, ingenieros geólogos, ingenieros de minas, geólogos y a profesiones afines, ha ido acogiendo anualmente y sin

interrupción entre 25 y 30 alumnos. El alumnado español, residual hasta mediados de los años 90, fue interesándose gradualmente hasta la actualidad, en que se trata de alcanzar una cierta paridad entre titulados españoles y americanos en el proceso de selección. Imparten clases catedráticos y profesores universitarios de Geotecnia, expertos del Cedex y de otros centros nacionales de investigación, del Ministerio de Fomento, y profesionales del sector geotécnico.

En definitiva, para todos los que participan en este curso, es motivo de orgullo saber que con su realización, año tras año, se da continuidad a un proyecto que fue iniciado con mucha ilusión y acierto por el Profesor Jiménez Salas hace ya más de treinta años.

### 5. Conclusiones

Siendo imposible ofrecer una visión completa de la actividad del Laboratorio de Geotecnia del Cedex en los tiempos recientes, se ha pretendido en el artículo solamente dar unas pinceladas de la misma en homenaje a quien fue su director durante dos décadas y gran impulsor de la Geotecnia en España, D. José Antonio Jiménez Salas, como muestra del grandísimo respeto, admiración y estima hacia su figura de los que aquí trabajamos, siguiendo su estela. **ROP**

