



Laboratorio de Geotecnia

La ingeniería civil vinculada al terreno centra la actividad del Laboratorio de Geotecnia, uno de los organismos del Cedex que desarrolla su labor a través de la investigación, la experimentación y la asistencia técnica con el fin de conocer el terreno, analizar su comportamiento y construir con seguridad.

■ **Pepa Martín Mora**

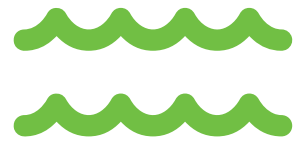
El Laboratorio de Geotecnia

es el centro del CEDEX especializado en las actividades de la ingeniería civil vinculadas al terreno, materia para la que desarrolla funciones de investigación y asistencia técnica. La mecánica de suelos y de rocas aplicada a la ingeniería geológica y geotécnica en la construcción de edificaciones, vías de comunicación, obras hidráulicas, portuarias y ambientales, al margen de la actividad en I+D, formación y normalización, están en el día a día del equipo de más de cuarenta personas que conforman su plantilla. Liderados por Fernando Pardo de Santayana, su director, el personal tiene formación técnica diversificada, desde ingenieros de caminos, a geólogos, físicos, químicos, o ingenieros electrónicos, a los que hay que sumar los funcionarios de servicios generales.

El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma) -a través de la Dirección General de Carreteras-, Puertos del Estado, Adif e INECO, El Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico -a través de la Dirección General del Agua, las Confederaciones Hidrográficas, Costas y Calidad Ambiental-, además de las comunidades autónomas, figuran entre los principales clientes que mantiene en el sector público, a los que se suman las empresas del ámbito privado. Realizan para todos ellos proyectos de investigación enmarcados en convenios o encargos, o bien en los planes nacionales e internacionales de investigación, desarrollo tecnológico e innovación en temas geotécnicos, proporcionan asistencia técnica, además de acciones internacionales a través de grupos de trabajo de la Unión Europea y redes tecnológicas, así como actividades de transfe-



Estudio de inestabilidad de talúdes en la N-420, Fuencaliente, Ciudad Real





**Puerto de Cádiz
Terminal del cotenedores**

Asesoramiento geotécnico al Puerto de Cádiz durante la construcción de la nueva terminal de contenedores. Tratamiento de precarga.

rencia del conocimiento, formación y cooperación al desarrollo.

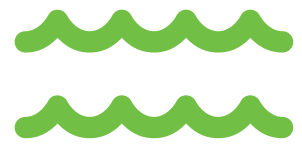
Así, la estructura del Laboratorio se divide en función de cuatro áreas de actividad: la de Auscultación y Ensayos de Campo, que se dedica fundamentalmente a la geotecnia de carreteras y obras lineales, ensayos in situ e instrumentación; la de Infraestructura Tecnológica, que trabaja la geotécnica ferroviaria y la geofísica; la de Geotecnia Aplicada, dedicada a puertos y costas, obras hidráulicas y ambientales; y la de Geotecnia Básica y Experimental, que realiza ensayos de laboratorio, ofrece el servicio técnico permanente y se dedica a temas de mecánica de rocas y geotecnia ambiental.

Objetivos y técnicas de trabajo

Conocer el terreno, analizar su comportamiento y construir con seguridad, las tres fases de cualquier actuación geotécnica, son, en definitiva, los objetivos con los que trabaja el Laboratorio. Para cumplir con el primero de ellos, la fase de reconocimiento del terreno o del problema geotécnico, su tarea comienza analizando documentación técnica, y continúa con la obtención de nuevos datos e información a partir de ensayos de campo, geotécnicos y geofísicos, y de ensayos de laboratorio sobre muestras de aguas, suelos y rocas, así como a partir de las lecturas y resultados obtenidos mediante las técnicas de aus-

cultación geotécnica, tanto del terreno en sí como de las obras construidas sobre el mismo.

Esta recopilación de información es fundamental para conocer con suficiente detalle tanto el perfil geotécnico del terreno como las principales propiedades geotécnicas de las diferentes capas o niveles que lo constituyen, en particular, la resistencia al corte, la deformabilidad, el comportamiento volumétrico y la permeabilidad. A partir de este conocimiento se procede a la caracterización del terreno y se realizan estudios de estabilidad de obras geotécnicas, de mejora del terreno, de análisis de interacción suelo-estructura o de geotecnia medioambiental.



Al mismo tiempo, en el Laboratorio de Geotecnia se desarrollan nuevas técnicas, tecnologías y procedimientos de evaluación aplicados a la geotecnia, al margen de las acciones formativas, entre las que destaca el Máster en Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotecnia que imparte en colaboración con la Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Cuando se trata de analizar el comportamiento de los terrenos y de las obras geotécnicas las tareas del Laboratorio pasan por determinar las propiedades de los materiales, establecer los modelos de comportamiento y, a partir de ahí, realizar cálculos, tanto analíticos como numéricos, o bien llevar a cabo pruebas sobre modelos físicos u observaciones mediante técnicas de retroanálisis. Y para construir con seguridad, la labor del Laboratorio se centra, por un lado, en la elaboración de informes geotécnicos para obras concretas, con recomendaciones sobre soluciones de proyecto, corrección de patologías o consideraciones sobre métodos constructivos, y por otro, en la elaboración de guías y especificaciones generales.

Ensayos geotécnicos

Los ensayos geotécnicos de laboratorio están en el origen de este centro y se utilizan tanto para el estudio del comportamiento de materiales térreos naturales, esto es, suelos y rocas, como para otros materiales equivalentes, reciclados o sintéticos. Dispone además de una sección de ensayos dedicada a la caracterización química, físico-química y mineralógica de materiales térreos, reciclados y residuos, que permite realizar una completa caracterización química y mineralógica de estos

materiales, así como de aguas y de lixiviados.

Se realizan ensayos tanto en el marco de diferentes estudios geotécnicos, como a través del Servicio Técnico Permanente, que da respuestas a solicitudes concretas de realización exclusivamente de ensayos de laboratorio. En 2019, por ejemplo, en este Servicio se emitieron más de 25 informes de trabajos finalizados, destacando los relativos a ensayos de corte directo de 1x1 metro, ensayos especiales sobre áridos impregnados de sales fundidas para un estudio de la contaminación de una cimentación singular con arlita de un tanque que almacena sales viscosas a 500°C, ensayos de caracterización de áridos ligeros y diferentes colaboraciones con diferentes empresas privadas y universidades. En la sección química se realizaron, por otra parte, estudios sobre aguas y materiales de presas, sobre lixiviados de polvo de caucho, o sobre el procedimiento de determinación de la pérdida por ignición a 500°C y la estimación del contenido de materia orgánica en suelos.

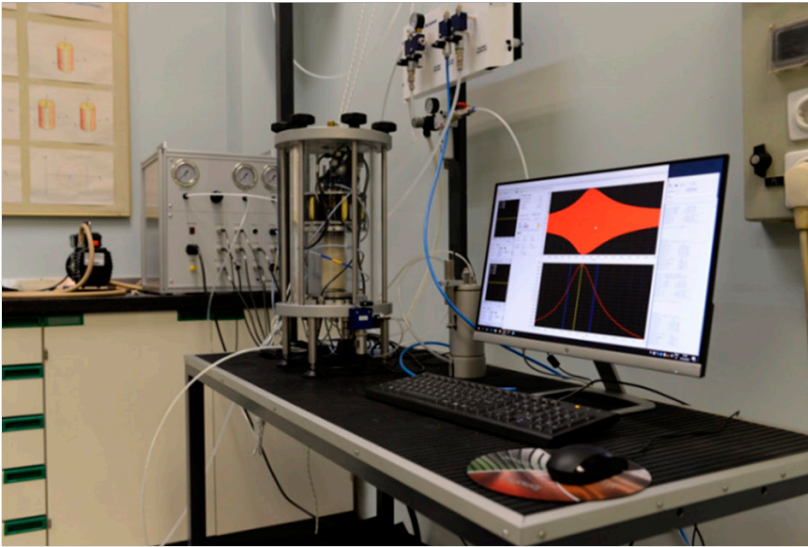
El Laboratorio dispone de un amplio y completo conjunto de equipos de ensayo geotécnicos para la determinación de las propiedades de suelos y rocas. Sobre muestras de suelo, entre otras, se realizan ensayos de identificación geotécnica, caracterización fisicoquímica, compactibilidad, permeabilidad y filtración, deformabilidad y cambio volumétrico (ensayos edométricos, expansividad), ensayos sobre suelos no saturados (succión), resistencia al corte (ensayos de corte, triaxiales), ensayos dinámicos (triaxial

dinámico, corte simple dinámico, columna resonante, corte torsional, velocidad de propagación ondas).

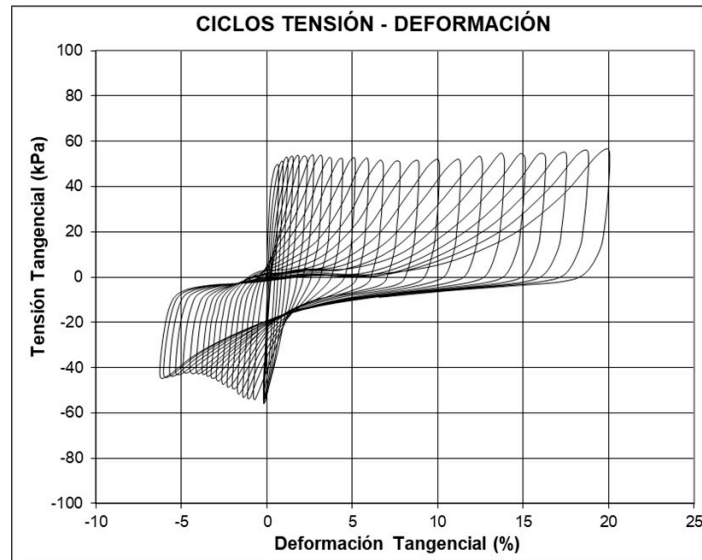
Sobre muestras de roca se realizan igualmente ensayos de identificación, velocidad de propagación de ondas S y P, resistencia (carga puntual, tracción indirecta, compresión simple, compresión triaxial, corte directo), alterabilidad. Cabe destacar, por ejemplo, la reciente adquisición de un nuevo equipo de columna resonante, el establecimiento de procedimientos de ensayo con este equipo, y el desarrollo de las aplicaciones de los "bender elements" para la determinación de la velocidad de propagación de ondas y módulo de corte máximo en probetas de diferentes materiales.

Una de las labores tradicionales del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX ha sido el desarrollo o introducción en la práctica ingenieril nacional de técnicas novedosas de reconocimiento del terreno y de instrumentación, algunas de las cuales se han acabado difundiendo y generalizando, mientras que otras han permanecido más restringidas al ámbito de la investigación o del estudio de casos especiales.

En el ámbito específico de pruebas y ensayos geotécnicos in situ e instrumentación, puede mencionarse el desarrollo de ensayos de resistencia al corte in situ, ensayos en sondeos, presiómetros, dilatómetros, ensayos de permeabilidad, ensayos de penetración, piezoconos, piezocono sísmico y medioambiental, penetrometros especiales, pruebas de carga en pilotes y micropilotes, control de compactación, placas de carga estáticas y diná-



Equipo de columna resonante



micas, realización de terraplenes experimentales; instrumentación para el control de movimientos, deformaciones, tensiones, lecturas piezométricas, auscultación e instrumentación de estructuras de tierra, túneles, taludes.

Técnicas geofísicas

En cuanto a las técnicas geofísicas, el Laboratorio de Geotecnia ha sido pionero en su desarrollo y aplicación en las obras públicas en nuestro país, así como en la correcta interpretación de sus mediciones, y las correlaciones con otras técnicas de reconocimiento. Se utilizan tanto métodos sísmicos (sísmica de refracción, espectrometría de ondas superficiales, sísmica en sondeos: *cross-hole*, *down-hole*, *P-S logging*, como eléctricos y electromagnéticos (potencial espontáneo, georrádar). Los estudios sobre las aplicaciones de las técnicas geofísicas llevados a cabo en el Laboratorio de Geotecnia han dado lugar a diferentes tesis doctorales.

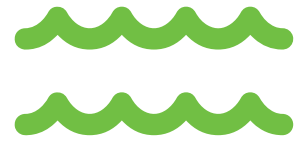
Una vez concluida la fase de caracterización del terreno mediante las diferentes técni-

cas referidas, una gran parte de la actividad del Laboratorio de Geotecnia se dedica a los cálculos y al análisis en gabinete de los diferentes problemas geotécnicos. Se utilizan métodos analíticos de cálculo, y, cada vez más, se recurre a los métodos numéricos, para lo cual el Laboratorio, sin excluir el desarrollo de programas propios, normalmente recurre a diferentes programas comerciales de cálculo, de elementos finitos, diferencias finitas, elementos discretos y otros, prestando atención de forma permanente a sus potencialidades y nuevas capacidades, analizando la utilidad de unos y otros métodos y desarrollando su aplicabilidad para solucionar problemas geotécnicos complejos.

El Laboratorio ha contado asimismo con un grupo de ingeniería computacional con una larga trayectoria de modelización numérica en el ámbito de la ingeniería civil, sector que ha desarrollado su actividad mediante convenios con distintos ministerios y organismos públicos, y mediante proyectos del

Plan Nacional de I+D+i a través de la Secretaría de Estado de Investigación, o proyectos para la Unión Europea. La cooperación también se ha extendido al Departamento de Matemática Aplicada a la Ingeniería Civil de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, que se mantiene actualmente a través de un grupo mixto.

Esta colaboración ha permitido desarrollar herramientas de cálculo para su aplicación en los distintos proyectos acometidos, entre las que se encuentra GeHoMadrid, en sus versiones iniciales creado en cooperación con la Universidad de Hohei, en Nanjing, China. Se trata de un programa de elementos Finitos para problemas geotécnicos en 2D y 3D, estáticos y dinámicos en condiciones drenadas y no drenadas, con formulaciones en desplazamientos y formulaciones acopladas en desplazamientos y presiones intersticiales. Destacar también entre estas herramientas distintos programas de Elementos Finitos y de SPH (Smoothed Particle Hydrodyna-



Caja de corte de metro cúbico del laboratorio de Geotecnia.

mics) para la modelización de problemas de flujos de geomateriales.

Equipos e instalaciones singulares

La capacidad tecnológica del Laboratorio de Geotecnia se basa, por un lado, en una dotación muy completa, conforme referido, de equipos de ensayo geotécnico, de laboratorio y de campo, y por otro, en la disponibilidad de equipos e instalaciones singulares únicos o muy escasos en nuestro país, entre los cuales se puede mencionar el cajón ferroviario del CEDEX, la caja de corte directo de 1m³ para el ensayo de escolleras, equipos de ensayo para materiales de grandes dimensiones, equipos de dinámica de suelos, entre ellos el de columna resonante y corte torsional; y en lo que se refiere a equipos de campo, dispone de presiómetro autopercutor, equipo de ensayo de corte in situ, piezocono sísmico, y un conjunto de equipos geofísicos sísmicos y electromagnéticos de primera línea, incluyendo el "PS-logging". Todo ello al margen de la capacidad de desarrollo que

tiene para la puesta a punto de nuevos equipos y técnicas de ensayo.

El cajón ferroviario, único en el mundo, fue diseñado y construido como parte de los proyectos SUPERTRACK Sustained Performance of Railway Tracks (SUPERTRACK, 2001-2005) e Innovative Track Systems (INNOTRACK 2005-2009) financiados por la Unión Europea. Es una instalación que alberga una caja de 21 metros de longitud por 5 metros de anchura y 4 de profundidad, con la que es posible ensayar a escala real el comportamiento mecánico de secciones de vías férreas, tanto convencionales como de alta velocidad.

Entre sus principales ventajas, permite realizar ensayos acelerados, de tal manera que en tan sólo una semana de trabajo en el laboratorio se pueden ejecutar ensayos de fatiga de forma rápida y ver el efecto que tiene el tráfico anual de trenes en una sección de vía real, simulando el transporte de pasajeros o mercancías, con velocidades de

hasta 420 km/hora. La reproducción del efecto del acercamiento, paso y alejamiento de un tren en la sección de ensayo, como ocurre en una vía real, se realiza mediante la aplicación de cargas verticales, desfasadas adecuadamente en función de la velocidad del tren que se está simulando, por medio de tres pares de actuadores servohidráulicos.

La caja de corte directo para materiales de grandes tamaños, de las que hay un número de equipos muy reducido en el mundo, es otra de las instalaciones singulares de las que dispone el Laboratorio. Con unas dimensiones de 1x1 metro en el plano de corte y una altura de hasta 1,2 metros permite ensayar materiales granulares gruesos de hasta 20 centímetros de diámetro. Esto hace posible estudiar la resistencia al corte y la deformabilidad de los rellenos tipo pedraplén para su uso en puertos y presas, así como balasto ferroviario y otros materiales granulares gruesos, naturales o artificiales, además de la resistencia al corte en el contacto entre suelos y estructuras de hormigón o entre suelos y geosintéticos.

El Laboratorio de Geotecnia dispone también de un camión de tracción 4x4 de MMA 10,5 toneladas, adecuado para circular por terrenos especiales y de difícil accesibilidad. La caja de 4,5 m x 2,5 m se ha acondicionado para disponer de un recinto cerrado que constituye un laboratorio de campo apto para el trabajo con equipos electrónicos en condiciones controladas, así como para el transporte de los equipos de campo y como complemento en la ejecución de los mismos.



Cajón ferroviario

Cuenta, además, con un equipo de piezocono sísmico con una unidad de empuje montada sobre orugas, que constituye un equipo autónomo en desplazamiento y trabajo, acondicionado con un sistema de anclaje y preperforación que proporciona la reacción necesaria para la ejecución de los ensayos, además de la movilidad y versatilidad para acceder a terrenos difíciles. La sonda sísmica permite realizar simultáneamente ensayos de piezocono con medida de presión intersticial y ensayos sísmicos tipo "down hole", que permiten la determinación directa del módulo máximo de rigidez transversal del suelo que los equipos de piezocono convencionales no pueden realizar.

Dispone también de sondas medioambientales y de un sistema de toma de muestras de agua de nueva generación que se adapta a las sondas de piezocono convencionales disponibles, muy adecuado para el reconocimiento geotécnico de suelos contaminados y detección de contaminantes.

Proyectos

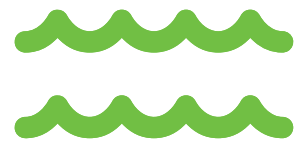
Atendiendo a las áreas de actividad, los estudios de asistencia técnica y los trabajos de instrumentación para el seguimiento de patologías en distintos puntos de la red de carreteras del Estado realizados para la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes, centran buena parte de los proyectos del Laboratorio de Geotecnia. Asesoramiento geotécnico en las fases de proyecto y construcción, verificación de hipótesis de proyecto, soluciones y cálculos geotécnicos, análisis de propuestas de modificación presentadas por los contratistas, seguimiento y análisis del comportamiento de las obras y elaboración de pareceres independientes son, entre otras, sus tareas.

Los estudios de patologías y de problemas geotécnicos relativos a carreteras, incluyen la caracterización geológico-geotécnica del terreno, el análisis de estabilidad de taludes y desmontes en suelos y rocas, las patologías de terraplenes, túneles y cimentaciones de puentes y viaductos,

los sistemas de prevención de deslizamientos de suelos y caídas de rocas. Se utilizan al efecto técnicas de instrumentación, ensayos in situ, ensayos en laboratorio, análisis geotécnicos de gabinete, que van desde cálculos de estabilidad, verificaciones del dimensionamiento geotécnico, aplicabilidad de técnicas de contención de taludes, drenaje y refuerzo del terreno, recalces, anclajes, inyecciones, hasta barreras para caída de rocas, y emisión de pareceres sobre las causas y sobre recomendaciones de corrección y refuerzo.

Un ejemplo en carreteras ha sido el estudio y el diseño de medidas de estabilización para corregir patologías relacionadas con infraestructuras lineales, como el deslizamiento de Carchuna, que afecta a la autovía A7 cerca de esta localidad granadina y que amenaza causar graves daños en la vía. La excavación de un desmonte en la ladera natural dio lugar a la aparición de importantes grietas delimitando el perímetro de la inestabilidad, implicando un volumen de material movilizado superior a los 1,5 millones de m³, una magnitud que hizo que se propusiera una estabilización por fases.

Para ello fue necesario realizar una extensa campaña de investigación y auscultación con sondeos, piezómetros, inclinómetros, así como el análisis del problema mediante modelos numéricos con cálculos en 2D, que son más comunes, y en 3D, que reproducen las complejidades de forma más precisa. La primera fase de estabilización se acometió con el objetivo de lograr una mejoría general y evitar que provocara más daños a la carretera, así como ganar tiempo



Un referente en el sector

El CEDEX a través del Laboratorio de Geotecnia se mantiene como principal punto de encuentro del sector geotécnico en nuestro país con la celebración de las jornadas técnicas anuales de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica (SEMSIG), la Sociedad Española de Mecánica de Rocas (SEMR), y la Asociación de empresas de Técnicas del Suelo y del Subsuelo (AETESS), bien como con la organización de diferentes jornadas técnicas de temática geotécnica, tal como la Jornada Técnica de Presentación del Anejo Nacional Español del Eurocódigo 7 y Guía para el proyecto de Cimentaciones, realizada en 2019.

Además, el Laboratorio de Geotecnia mantiene la sede de las dos principales sociedades científicas geotécnicas SEMSIG y SEMR, y ha apoyado las actividades desarrolladas por estas dos sociedades, además de participar en diferentes plataformas técnicas nacionales y europeas (ELGIP, GEOPLAT), y se ha mantenido el servicio de la biblioteca geotécnica del Laboratorio, la más completa en esta temática en España. A esta dinámica para mantenerse como un referente del sector se suma también la realización todos los años de las ediciones del Máster de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica CEDEX-UNED, en modalidad presencial hasta este año.

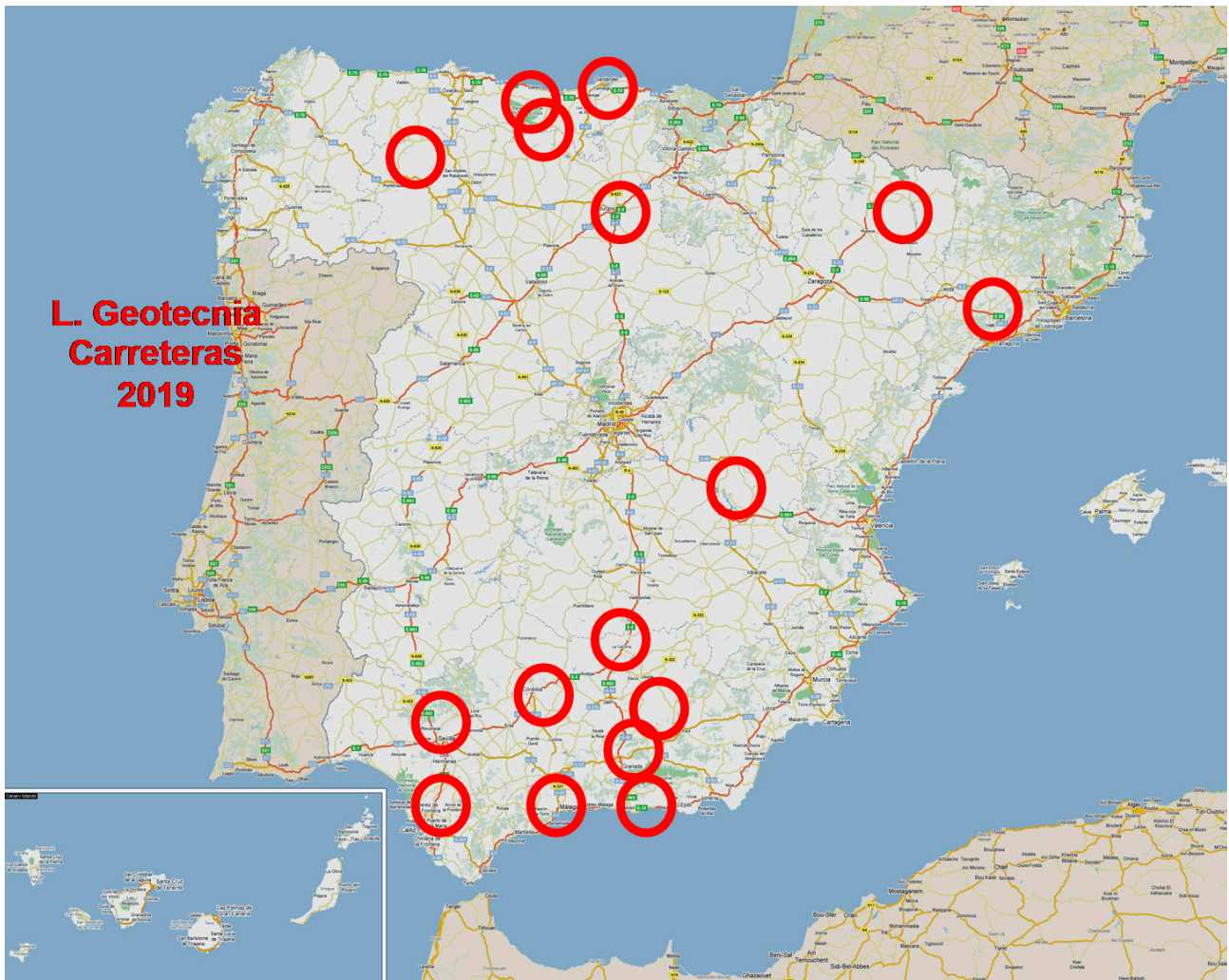
Este Máster fue gestado en los años 80 por D. José Antonio Jiménez Salas, pionero de la Mecánica de Suelos en España, Catedrático en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid y Director del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX. Fruto de la colaboración entre estas dos instituciones, se planteó originalmente como un curso de geotecnia destinado a ingenieros civiles iberoamericanos. Desde entonces, el CEDEX lo ha venido organizando de manera ininterrumpida, fortaleciéndose con la participación de otros organismos, tales como la Agencia Española de Cooperación Internacional (actual

AECID), la Fundación Agustín de Betancourt, la Universidad Politécnica de Madrid y, recientemente, la UNED.

También ha sido muy relevante el respaldo de las empresas más importantes del sector geotécnico. Aquel curso internacional, tras serle concedida la categoría de Máster en el año 2000 al ampliar su carga docente, comenzó a ser demandado también por titulados españoles. Desde 2009 es Máster Universitario de título propio (de la UPM hasta 2011 y de la UNED desde 2012), y ha logrado ser una referencia absoluta en España y en Iberoamérica como excelente formación de profesionales de la geotecnia.

Este Máster está destinado a ingenieros de caminos, ingenieros civiles, ingenieros geólogos, ingenieros de minas, geólogos o titulaciones afines, de cualquier parte del mundo con suficiente dominio del español e interesados en afianzar sus conocimientos en Geotecnia, tanto en sus vertientes teóricas como prácticas. Destacar que también realizan este curso funcionarios de diferentes departamentos, tanto del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agencia Urbana, como del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, con lo que se contribuye de forma notable a la formación técnica especializada dentro del propio personal de la Administración.

En 2020 se ha conseguido realizar exitosamente con 15 alumnos inscritos de diferentes países. Con la irrupción de la pandemia de coronavirus ha tenido que suspenderse el formato presencial, pasándolo a telemático mediante videoconferencias, una fórmula que ha tenido gran éxito y aceptación por parte de los alumnos gracias a los esfuerzos de los coordinadores sin menoscabo de la calidad docente. Está previsto para el próximo año, con un notable aumento de la demanda de participantes hispanoamericanos, organizarlo también necesariamente mediante videoconferencia.



L. Geotecnia Carreteras 2019

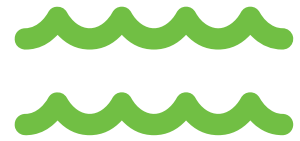
Localización de tramos de carretera con patologías geotécnicas analizadas por el Laboratorio de Geotecnia en 2019

para controlar la estabilidad en las fases posteriores, La velocidad de movimiento se mantuvo alta, pero se consiguió minimizar el impacto sobre la autovía. La segunda fase de estabilización propuesta contempló la excavación de la parte superior de la masa inestable, y la ejecución de una red de pozos de drenaje. También se han proyectado elementos estructurales para evitar que el deslizamiento afecte a la autovía.

Otros estudios recientes han sido la resolución de patologías en diferentes carreteras en la Comunidad de Cantabria; los

túneles de Ramoncillos y diversos desmontes en la Autovía del Mediterráneo A7, en el tramo Polopos-Albuñol (Granada); la estabilización de bloques de roca por riesgo de desprendimiento en la carretera N630 en Pola de Gordón, en León; patologías en el entorno de un falso túnel en Tarragona; patologías en un desmonte y un terraplén en la zona de Fuencaliente (Ciudad Real); diversas patologías en carreteras en la provincia de Huesca, en la Circunvalación de Burgos BU30, en diferentes tramos en la provincia de Córdoba; deformaciones e inestabilidades en varios terraplenes en la Va-

riante de Alcoy de la autovía A7 (Alicante); patologías en terraplén de la Variante de la Escucha de la N420 (Teruel); deformaciones en estribo de estructura de la autovía A33 sobre ferrocarril en Fuente la Higuera (Valencia); patologías en las calzadas de la autovía A44 en Jabalquinto y del Enlace de Canena de la A32 (Jaén); además del apoyo en fase de obra prestado durante la ejecución de tratamiento del terreno por mezcla en profundidad en la SE30 en Sevilla, y la asistencia técnica durante el tratamiento mediante inyecciones de fracturación en el enlace de Virreinas, en Málaga.



Formando parte de los programas de I+D+i desarrollados actualmente por el Laboratorio de Geotecnia, de aplicación en carreteras y obras lineales, cabe destacar que se están implementando, en colaboración con otros centros del CEDEX, nuevas metodologías para el seguimiento de la evolución de patologías geotécnicas como las descritas, basadas en las nuevas tecnologías disponibles tipo láser-escáner, fotogrametría, con o sin el apoyo de drones, etc.

En el ámbito de la geotecnia de las infraestructuras ferroviarias, el Laboratorio ha realizado estudios sobre el comportamiento mecánico de las vías férreas en cuatro campos de actuación, que son los ensayos a escala 1:1 en el cajón ferroviario del Cedex, la instrumentación y los ensayos in situ en secciones ferroviarias, la modelización de secciones ferroviarias y los ensayos de laboratorio sobre materiales usados en las vías férreas. Se ha trabajado en un proyecto de I+D interno sobre la caracterización geotécnica del contacto traviesa-balasto.

Otras actuaciones en materia de geotécnica ferroviaria han sido la definición y modelación de soluciones estructurales de vía para líneas de alta velocidad y convencionales, y para tráfico de pasajeros y de mercancías, el estudio de soluciones alternativas, el estudio del comportamiento mecánico a corto y largo plazo de las diferentes capas que constituyen la vía, el desarrollo de técnicas de auscultación e instrumentación en vía y seguimiento in situ de secciones de alta velocidad y convencionales, el estudio de soluciones para zonas de transición y seccio-

nes singulares y análisis de su comportamiento, el estudio del comportamiento mecánico de componentes y elementos de vía, almohadillas elásticas carril-travesía, suelas elásticas bajo traviesas, mantas elásticas bajo el balasto, traviesas polivalentes, el estudio de patologías en tramos de obra reales, en construcción o en servicio, y definición de soluciones, el desarrollo de técnicas de control de construcción de las capas minerales, y los tratamientos de mejora de terraplenes y capas minerales.

Destacan entre los últimos trabajos realizados, los destinados a la preparación de la propuesta de la participación del CEDEX en el proyecto europeo GEO-LAB (que ha sido seleccionado por la UE y empieza a trabajar en 2021) y en la realización del estudio sobre ensayos de fatiga en vías de balasto al paso de trenes a 400 km/h; en el estudio sobre métodos de determinación de la velocidad crítica de secciones ferroviarias, incluyendo la determinación de velocidad crítica mediante el método basado en las curvas de dispersión del sistema formado por capas ferroviarias, terraplén y terreno natural, (que ha dado lugar a un artículo conjunto con E. Kausel MIT 2020, publicado en The Royal Society Proceedings); y las ponencias relativas al comité de redacción de normativa UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles) sobre la UIC-IRS 70722 (Maintenance and improvement of earthworks and track bed of existing railway lines).

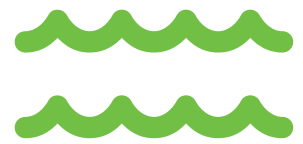
En lo que se refiere a las obras portuarias y costeras, el Laboratorio de Geotecnia ha realizado distintos trabajos de asesoramiento a Puertos del Estado,

realiza labores de asesoramiento geotécnico en las fases de proyecto y construcción de estas obras, de seguimiento y análisis del comportamiento geotécnico, y de análisis de patologías, como han sido la prolongación del nuevo muelle comercial del puente de Marín, la adecuación del muelle de Raíces para nuevos tráfico en el puerto de Avilés, el asesoramiento en fases constructivas de la ampliación norte del muelle Sur del Puerto de Huelva, con el récord en España de 33 metros, en el puerto de Cádiz el proyecto de reparación de la vía de agua y el falso túnel a la nueva terminal, valorando las alternativas de sellado, realizando pruebas in situ y apoyando en las fases de ejecución, donde además se ha hecho el planteamiento y seguimiento de la campaña para el dragado y ampliación de la bocana.

En materia de análisis de patologías, se ha trabajado en el puerto de Huelva en la auscultación mediante geofísica y ensayos de penetración de las chimeneas surgidas y de los defectos del paramento de hormigón, se han analizado las pantallas en T del muelle Sur de este puerto, se ha hecho el seguimiento de los asientos secundarios del paseo marítimo del puerto de Huelva. En materia legal se ha intervenido en apoyo de las autoridades Portuarias en la resolución de conflictos y litigios, como ha sido en el puerto de Cádiz, sobre las pantallas de hormigón del falso túnel de acceso a la nueva terminal, en el puerto de Huelva sobre los ensayos de la escollera de la mota desde la que se hincarán las tablestacas, y en el puerto de Cádiz sobre los ensayos de caracterización



Vista de la deformación
observada en el Túnel de
Ramoncillos



de materiales del entorno de las pantallas.

En lo tocante al I+D+i en geotecnia portuaria, se ha finalizado recientemente un "estudio del tiempo de fraguado de columnas de jet-grouting bajo cajones portuarios, mediante técnicas geofísicas", con datos experimentales en el Puerto de Valencia. Además, se han iniciado diferentes trabajos de I+D+i comprometidos con Puertos del Estado: propuesta de revisión de la R.O.M. 0.5-05 en línea con el EC 7, en colaboración con el área de Infraestructuras Ferroviarias; nuevas tecnologías en el procesado de datos: aprendizaje automático, racionalización en la obtención de perfiles geotécnicos; automatización de toma de datos: aplicación a los "avisadores de arena" de Huelva, mediante códigos QR e implementación de una aplicación; técnicas fotogramétricas aplicadas a infraestructuras portuarias, caso del pavimento del muelle de Molinao; desarrollo e implementación de ensayos de permeabilidad in situ a gran escala para determinar la permeabilidad de materiales gruesos para obras portuarias.

En el ámbito de la geotecnia ambiental, se llevan a cabo actuaciones de asesoramiento geotécnico en las fases de proyecto, construcción y servicio, así como de estudio de patologías, en relación con vertederos de residuos, escombreras, zonas degradadas y obras de protección ambiental. Una parte importante de los trabajos se refieren a estudios de caracterización de materiales para barreras de impermeabilización y contención de contaminantes, así como sobre las aplicaciones



Carroceta del equipo de piezocono sísmico

de los geosintéticos en obras de protección ambiental, utilizando para ello los equipamientos de ensayos geotécnicos sobre suelos y geosintéticos, así como los equipos de análisis químicos y mineralógicos.

En este sentido, se colabora con el centro del CEDEX dedicado a cuestiones ambientales, el CETA, en dos estudios relativos, uno de ellos, a la restauración ambiental del río Vinalopó, y el otro a la prevención de lixiviación del lindano procedente de un vertedero en el río Gállego. También se ha presentado recientemente una ponencia en Portugal en el ámbito del aprovechamiento de residuos en obras geotécnicas

sobre los trabajos históricos y presentes del Laboratorio en esta materia, y se ha realizado un estudio sobre el uso en rellenos de residuos de construcción y demolición (RCD) con presencia de yesos, en el ámbito de la Estrategia de Gestión y Recuperación de Residuos de Construcción y Demolición para Madrid Nuevo Norte. Se ha llevado a cabo este año igualmente un estudio de estabilidad de un vertedero de residuos no peligrosos, el de Igorre, en Vizcaya.

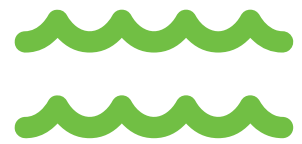
En el ámbito de las obras hidráulicas se ha reactivado la actividad de asistencia técnica a la Dirección General del Agua para realizar el estudio y seguimiento

del comportamiento geotécnico de presas con patologías o problemas geotécnicos para determinar el alcance y gravedad de los mismos y proponer medidas de reparación, así como para determinar la efectividad de estas medidas a lo largo del tiempo.

También se realizan estudios geotécnicos, en las fases de proyecto, construcción o servicio, relativos a presas de materiales sueltos, cimentaciones de presas de fábrica, canales y otros tipos de obras, análisis de estabilidad y de filtraciones en presas y balsas, caracterización y zonificación geológico-geotécnica de cerradas y embalses, y análisis de estabilidad de laderas de embalses.

Se utilizan y desarrollan técnicas de auscultación y ensayo para el reconocimiento del terreno y la caracterización de su deformabilidad y capacidad portante, así como para el estudio de filtraciones, tanto en presas de materiales sueltos como de gravedad, incluyendo ensayos presiométricos y técnicas geofísicas tales como tomografía eléctrica, potencial espontáneo, georrádar o perfiles electromagnéticos.

Actualmente se están llevando a cabo estudios de patologías en las siguientes presas en servicio: Alcorlo (CH Tajo), permeabilidad del espaldón de aguas arriba y estabilidad frente al desembalse rápido; El Atance (CH Tajo), patología en su la cimentación; Arenós (CH Júcar), estudio de las laderas del embalse; Mairaga (CH Ebro), filtraciones y presiones intersticiales en el espaldón de aguas abajo; Nogalte y Béjar (CH Segura), proyecto de presas con cerradas muy deformables;



La Tajera (CH Tajo), valoración de los ensayos de geofísica en el cimientado, con arreglo a sus condiciones geológicas.

También en el ámbito de las obras hidráulicas, el Laboratorio de Geotecnia ha participado en la revisión del Proyecto del Desdoblamiento de Túnel hidráulico de San Silvestre (Huelva). Igualmente, asiste técnicamente al proyecto del túnel subfluvial entre Santoña y Laredo, que forma parte del Colector Interceptor General Santoña-Laredo-Colindres de saneamiento general de las marismas de Santoña (Cantabria).

Otro de los proyectos más relevantes emprendidos de forma reciente por el Laboratorio ha sido el de la caracterización geotécnica de áridos ligeros impregnados en sal fundida, un trabajo en el que se han analizado las características geotécnicas de un árido ligero afectado por una filtración de sales fundidas a temperaturas elevadas, que había sido empleado como relleno de cimentación en una planta termosolar. El estudio se centró tanto en analizar la influencia de las temperaturas elevadas como la impregnación de sales en el comportamiento mecánico del material relleno.

En materia de I+D+I se ha continuado con el desarrollo de las técnicas geofísicas disponibles en el laboratorio. Por otro lado merece destacarse que se han llevado a cabo proyectos de investigación relativos a las aplicaciones de la energía geotérmica somera utilizando elementos de cimentación. Así, en el ámbito del Subprograma INNPACTO del Plan Nacional de I+D, convocatoria



Instrumentación para el estudio del comportamiento de la transición vía en placa- vía sobre balasto

2011, el consorcio formado por CEDEX, la Universidad Politécnica de Valencia y las empresas Rodio-Kronsa y Energesis, llevó a cabo el proyecto PITERM, cuyo objetivo principal consistía en el estudio del comportamiento termo-mecánico de un pilote prefabricado, debidamente instrumentado e hincado, preparado para funcionar como elemento termoactivo, bajo la acción simultánea de cargas mecánicas y térmicas.

Se han iniciado diferentes líneas de investigación asociadas a contratos de I+D de ocho nuevos investigadores, entre ellas la modelización numérica avanzada para el estudio de patologías geotécnicas de obras públicas y monumentos históricos e interpretación de ensayos in situ e instrumentación, la modelización numérica del comportamiento dinámico de líneas férreas, el desarrollo de la realización de ensayos dinámicos en suelos y en balasto, el desarrollo de técnicas de auscultación geotécnica de estructuras costero-portuarias y de técnicas de tratamiento del terreno y su control, el desarrollo de ensayos geotécnicos en rocas y en materiales granulares gruesos, y el estudio de los aspectos

teóricos y experimentales de los suelos no saturados relacionados con la geotécnica.

En relación con las labores de normalización, debe destacarse, a nivel europeo, la participación del Laboratorio de Geotecnia en los comités de redacción del Eurocódigo EC-7 "Proyecto Geotécnico", tanto de la versión actualmente vigente como de la futura prevista para los próximos años. Se trata de la norma europea publicada por el Comité Europeo de Normalización para el proyecto geotécnico de estructuras en edificación y obra civil. Los eurocódigos tienen el objetivo de unificar criterios y normativas en materia de diseño, cálculo, y dimensionado de estructuras de edificación y obra civil en la Unión Europea para facilitar la entrada de las empresas en los mercados internacionales.

También se trabaja en los comités de normalización nacionales de UNE, como el CTN 103-Geotecnia, y en el Subcomité EC-7 del Comité CTN 140-Eurocódigos estructurales, de los cuales ocupa la presidencia, así como en los diferentes subcomités y grupos de trabajo de los mismos. ■