

# LABORATORIOS DE LA COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

---

Esta Coordinación cuenta con el Laboratorio de Mecánica de Suelos, el Laboratorio de Vías Terrestres Fernando Espinosa Gutiérrez y el Laboratorio de Geoinformática, todos ellos equipados con tecnología de punta, lo que permite al personal académico del IIUNAM participar en los proyectos más ambiciosos para el desarrollo de la infraestructura de México.



---

## *Laboratorio de Mecánica de Suelos*

*Oswaldo Flores Castellón y Zaira Hernández Flores*

---

El Laboratorio de Mecánica de Suelos del Instituto de Ingeniería, ubicado en el edificio 4, Raúl J Marsal, cuenta con equipos en condiciones de instrumentación y automatización que garantizan resultados experimentales confiables que lo colocan a la vanguardia a nivel nacional e internacional.

### **Descripción de equipos de laboratorio**

El sistema de control y adquisición de datos está compuesto por sensores para medir variables de interés, los acondicionadores de señal y un programa de control y adquisición de datos, con algunas pequeñas variantes, según el equipo en cuestión. En la mayoría de los equipos que se describen en este documento, el sistema ha sido desarrollado por personal del propio instituto, con un trabajo conjunto entre las coordinaciones de Geotecnia y Electrónica.

Enseguida se hace una descripción general de algunos de los equipos, haciendo énfasis en la instrumentación instalada, el tipo de ensaye que se puede realizar y los parámetros mecánicos que se obtienen.

Equipos triaxiales cíclicos ELE. En estos equipos se pueden ejecutar ensayos estáticos con cargas monotónicas o cíclicas con señal periódica senoidal, a esfuerzo o desplazamiento controlado, bajo consolidación isótropa y condiciones de falla drenada o no drenada. En condiciones dinámicas permite obtener el módulo de rigidez al corte dinámico, el amortiguamiento y su variación con la distorsión angular de valores altos hasta la falla. En condiciones estáticas permite obtener las curvas esfuerzo desviador y la presión de poro vs deformación unitaria axial.

Existen cuatro equipos, con dos sistemas de control y adquisición que permiten operar dos cámaras a la vez y realizar ensayos en condiciones isotropas.

Para la aplicación de la excitación axial opera con una servoválvula neumática; para medir y controlar la carga o el desplazamiento hay una celda de carga hidrostáticamente compensada de 150 kg de capacidad, y un LVDT de 50 mm de carrera; para la aplicación de los esfuerzos y los registrados en las diferentes etapas se miden con tres sensores de presión de 7 kg/cm<sup>2</sup> de capacidad (confinamiento, contrapresión y presión de poro); y para registrar el agua que entra o expulsa la probeta de suelo en las diferentes etapas de la prueba se utiliza un sensor de cambio de volumen de 30 cm<sup>3</sup> de capacidad. Se pueden ensayar probetas de 3.6 cm de diámetro por 9 cm de altura.

Equipo SBEL. Cada equipo cuenta con una celda de carga hidrostáticamente compensada de 150 kg de capacidad y con un LVDT de 50 mm de carrera; para la aplicación de los esfuerzos en las diferentes etapas se tiene tres sensores de presión de 7 kg/cm<sup>2</sup>; para medir el confinamiento, la contrapresión y la presión de poro, y para registrar el agua que entra o expulsa la probeta de suelo en las diferentes etapas de la prueba se ocupa un sensor de cambio de volumen de 100 cm<sup>3</sup> de capacidad. Para la aplicación de la excitación axial (a esfuerzo o desplazamiento controlado) se cuenta con una servoválvula neumática.

Hay tres equipos con un sistema de control y adquisición que permite operarlos a la vez. Tiene la posibilidad de ensayar probetas de 3.6 o 7 cm de diámetro por 9 o 17 cm de altura, respectivamente.

Equipo MTS. La excitación se aplica con una servoválvula hidráulica, con capacidad de hasta 5 t de carga axial. La cámara que aloja la muestra soporta presiones de hasta 25 kg/cm<sup>2</sup> y se pueden montar probetas desde 3.6 cm de diámetro por 9 cm de altura, hasta 15.2 cm de diámetro por 28 cm de altura. Al igual que los otros equipos triaxiales, se pueden ejecutar ensayos monotónicos y cíclicos a esfuerzo o desplazamiento controlado, con consolidación isótropa.

La instrumentación instalada consiste en una celda de carga axial de 1 t, un sensor de desplazamiento de 50 mm, tres sensores de presión (confinamiento, contrapresión y presión de poro) de 7 kg/cm<sup>2</sup> y uno de cambio de volumen de 200 cm<sup>3</sup>. Por sus dimensiones, este equipo tiene la posibilidad de colocar instrumentación al interior de la cámara (Figura 1a).

En este equipo se actualizó recientemente el sistema de control y adquisición de datos, y se colocaron acondicionadores para alojar al menos ocho sensores adicionales a los mencionados en el párrafo anterior.

Equipo triaxial de altas presiones (GCTS). Con este equipo (Figura 1b) se aplica la excitación axial con una servoválvula hidráulica, tiene una instrumentación compuesta por una celda de carga externa de 10 t, tres sensores de presión de 200 kg/cm<sup>2</sup> (confinante, contrapresión y presión de poro), un sensor de desplazamiento lineal (LVDT) de 125 mm de carrera, un sensor de cambio de volumen de 80 cm<sup>3</sup>, con la posibilidad de instarle sensores de desplazamiento axial y radial internos, así como cabezales instrumentados con elementos bender para medir velocidades de onda de corte y compresión. Adicionalmente, se puede variar la temperatura del fluido confinante. Tiene la posibilidad de aplicar carga axial hasta 10 t y presiones que pueden llegar hasta 700 kg/cm<sup>2</sup>.

Columna resonante. Estos equipos someten la muestra a vibración forzada en la parte superior de una probeta de suelo, manteniéndola empotrada en la base. También obtienen el módulo de rigidez al corte dinámico y el amortiguamiento para distorsiones angulares pequeñas.

La excitación se aplica con un sistema de imanes y bobinas que se energizan de tal forma que, por medio de una placa unida a los imanes y al cabezal que hace contacto con la probeta permiten aplicarle una torsión en forma periódica senoidal. La respuesta de la muestra se registra en un acelerómetro unidimensional empotrado en la placa. La excitación y adquisición de datos se hace de forma automática.

Se tienen instalados dos sensores de presión de 7 kg/cm<sup>2</sup> de capacidad (confinamiento y contrapresión/presión de poro) y un sensor de desplazamiento axial de 25 mm de carrera. En la Figura 2 se muestran los dos equipos con los que se cuenta.

Cristales piezoeléctricos. Este laboratorio tiene un sistema de medición de velocidades de onda de cortante y compresión con el uso de cristales piezoeléctricos; integrado por un generador de funciones, un osciloscopio y un sistema de adquisición de datos. Está montado de tal forma que se puede desplazar para utilizarse en varios equipos.

Corte residual. Este equipo determina la resistencia al cortante residual de suelo remoldeado, montado sobre un molde anular y consolidado a un esfuerzo axial. Cuenta con un sistema para aplicar una distorsión angular a baja velocidad. La deformación axial durante la consolidación se mide con un sensor de 10 mm de carrera y la carga durante la etapa de falla con dos celdas de 100 kg de capacidad (Figura 3).

Equipos triaxiales estáticos. En estos equipos se pueden ejecutar ensayos monotónicos bajo consolidación anisótropa, la triaxial neumática, e isotrópica, la de alambres y condiciones de falla drenada o no drenada. Permite obtener las curvas esfuerzo desviador y la presión de poro vs deformación unitaria axial.

Equipo triaxial neumático. El equipo aplica la carga por medio de un pistón neumático controlado con motores de pasos, tiene instalados una celda de carga hidrostáticamente compensada de 150 kg de capacidad, tres sensores de presión de 7 kg/cm<sup>2</sup> (confinamiento, contrapresión y presión de poro), un transductor de desplazamiento axial externo de 50 mm de carrera, cuatro sensores de desplazamiento axial sumergibles de 5 mm de carrera instalados dentro de la cámara, y un sensor de cambio volumétrico de 30 cm<sup>3</sup>. Adicionalmente, se tienen instrumentados el cabezal y pedestal para medir velocidades de onda de cortante y compresión con cristales piezoeléctricos.

Equipo triaxial de alambres. El equipo tiene un sistema de contrapesos que permite aplicar el esfuerzo desviador axial al descargar uno de los portapesas y transferir la carga a la muestra. Esta aplicación de carga se hace a velocidad de desplazamiento controlado haciendo uso de un equipo electromecánico con el cual se descarga el portapesas. La adquisición de datos se hace de forma automática con una interfaz gráfica; además de tres equipos, los cuales dos de ellos tienen instalados una celda de carga externa de 50 y 75 kg de capacidad y la tercera hidrostáticamente compensada de 150 kg; dos transductores de presión (confinamiento y presión de poro/contrapresión) de 7 kg/cm<sup>2</sup> y un sensor de desplazamiento tipo LVDT de 50 mm de carrera total.

Consolidómetros neumáticos. Con estos equipos se determinan los parámetros de compresibilidad de suelos cohesivos. Permiten ejecutar ensayos con carga incremental (celdas Rowe) y carga incremental con velocidad de desplazamiento o carga controlada, en el caso del consolidómetro automático (Figura 4).

Tienen instalados cuatro sensores de presión de 7 kg/cm<sup>2</sup> (axial, contrapresión, poro y presión de línea), un sensor de desplazamiento de 18 mm de carrera total. En el caso del consolidómetro automático cuenta además con dos reguladores eléctricos y dos válvulas de cierre automático. Estos elementos sumados al sistema de condicionamiento de señal, junto con la tarjeta de adquisición de datos permiten la autonomía al equipo.

Permeámetro de carga constante. Para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos de mediana a baja permeabilidad se tienen dos permeámetros de carga constante. El equipo permite determinar el coeficiente de permeabilidad en suelos saturados bajo carga hidráulica constante.

Cuenta con tres sensores de presión (confinamiento, contrapresión inferior y contrapresión superior) y dos de cambio de volumen (inferior y superior).

Mesa vibradora unidireccional. La mesa vibradora opera con un sistema hidráulico, se compone de la estructura, una servoválvula hidráulica, un pistón y un sensor de desplazamiento de 30 cm de carrera. La plataforma tiene la capacidad de alojar modelos de hasta 1 t (Figura 5).

El sistema de control y adquisición de datos permite operar el equipo a desplazamiento controlado y tiene la posibilidad de conectar hasta 32 sensores que pueden ser de carga, presión, desplazamiento o aceleración, según lo requiera el modelo a ensayar.

---

*Laboratorio de Vías Terrestres Fernando Espinosa Gutiérrez  
Alexandra Ossa*

---

El laboratorio de Vías Terrestres *Fernando Espinosa Gutiérrez*, ubicado en el edificio 6 del IIUNAM, inició sus actividades en 1970; desde entonces, las investigaciones ahí realizadas han tenido impacto significativo en la elaboración de los criterios y las técnicas de ingeniería utilizados para el diseño de pavimentos, tanto a nivel nacional como en el ámbito internacional. Este laboratorio cuenta con infraestructura y equipo acordes con las técnicas experimentales vigentes para la evaluación de las propiedades mecánicas de los materiales con los que se construyen las capas de los pavimentos.

Para el estudio de los concretos asfálticos, el Laboratorio de Vías Terrestres cuenta con una prensa electrohidráulica con cámara ambiental (Figura 2), equipo para tensión indirecta con medidores LVDT, dispositivo para determinación del módulo dinámico, dispositivos para pruebas de flexión a cuatro puntos en fatiga, un compactador neumático de rodillo, un aparato de rueda cargada, así como compactadores giratorios y de impacto. También cuenta con un reómetro DSR para el estudio del comportamiento viscoelástico de los cementos asfálticos convencionales y modificados. Este laboratorio tiene una prensa electrohidráulica con una cámara triaxial para el estudio de la resistencia y propiedades resilientes de los materiales térreos (Figura 1). Adicionalmente, tiene dos fosos de prueba y una pista circular que permite evaluar el comportamiento de pavimentos rígidos o flexibles construidos a escala real y sometidos a cargas de tipo cíclico.

---

*Laboratorio de Geoinformática  
Gabriel Auvinet y Edgar Méndez*

---

El Laboratorio de Geoinformática inició sus actividades en 1992. Tiene como principal objetivo desarrollar técnicas que permitan describir con precisión la estratigrafía y la variación espacial de las características geotécnicas del subsuelo de la República Mexicana, particularmente de la Cuenca de México. Asimismo, realiza evaluaciones de los riesgos geotécnicos asociados a fenómenos como el hundimiento regional y el agrietamiento del suelo en el Valle de México. En 2014, el laboratorio fue objeto de una renovación de sus equipos y ampliación de su espacio físico.

El laboratorio recurre al empleo de novedosas herramientas de análisis espacial que se basan en el uso de técnicas matemáticas de la Geoestadística, en las tecnologías de los Sistemas de Información Geográfica, en el aprovechamiento de la información recolectada por potentes sensores montados en aeronaves, y en recientes satélites artificiales en órbita. Sus líneas de investigación comprenden investigación básica en procesamiento de datos, caracterización geotécnica, evaluación y mapeo de riesgos tanto geotécnicos como geoambientales en la cuenca de México y análisis de confiabilidad en ingeniería geotécnica. Actualmente el Laboratorio cuenta con un acervo importante de información geotécnica enriquecido gracias a la colaboración de instituciones públicas y empresas privadas. El laboratorio recibe apoyo de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica (SMIG), GDF, CONACyT, DGAPA y de diversos patrocinadores de proyectos específicos.

En los últimos años, se ha logrado consolidar el acervo del laboratorio y actualmente cuenta con un robusto banco de datos que contiene información puntual y directa sobre el subsuelo (más de 10 000 sondeos geotécnicos); y otro equivalente concerniente a las características físicas, geográficas, históricas y sociales de

la Cuenca de México. A partir de esta información, se pudo definir una zonificación geotécnica actualizada de la Cuenca de México que ya está integrada a las nuevas Normas Técnicas para Diseño y Construcción de Cimentaciones del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal. El laboratorio ha proporcionado soporte a múltiples investigaciones relacionadas con el subsuelo, y a proyectos de gran envergadura en la Cuenca (edificios de gran altura, vías rápidas de dos niveles, aeropuertos, túneles, entre otros). Se ha participado en más de 80 proyectos de investigación ofreciendo servicios de asesoría para la planeación y diseño de obras civiles públicas y privadas en el país.

El laboratorio, que está adscrito a la Coordinación de Geotecnia, se encuentra ubicado en el piso 2, ala Sur, de la Torre de Ingeniería y está a cargo del Dr. Gabriel Auvinet Guichard, con la participación del M.I. Edgar Méndez Sánchez y del Dr. Moisés Juárez Camarena. En 2016 participaron en la edición del volumen tres del libro “El Subsuelo de la Ciudad de México” con motivo del 60 aniversario del IIUNAM, que contiene una revisión de los avances en el conocimiento del subsuelo de la Ciudad de México (1959-2016). Colaboran con ellos numerosos becarios de nivel licenciatura, maestría y doctorado.