

IMPLANTACIÓN DE PRÁCTICAS Y CASOS REALES EN LA ASIGNATURA DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA

R. Galindo ^{1*} y D. Escudero ²

1: Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno
Escuela de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Madrid
e-mail: rubenangel.galindo@upm.es

2: Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno
Escuela de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Madrid
e-mail: diego.escudero@upm.es

Resumen. Se presenta la metodología llevada a cabo para facilitar el aprendizaje utilizando la experiencia por aula invertida de uno de los conceptos fundamentales de la ingeniería geotécnica: la capacidad soporte de cimentaciones superficiales sobre el terreno. El problema planteado involucra la resolución de un sistema de ecuaciones diferenciales que representa el estado tensional del conjunto de puntos del terreno en el momento de la formación del mecanismo de colapso. La forma de la rotura, el reacomodo de partículas y la evolución de la carga con la deformación puede ser asimilado y aprehendido con un adecuado seguimiento del proceso físico producido en un equipo docente desarrollado a escala reducida.

Palabras clave: aprendizaje experiencial, aula invertida, calidad en la enseñanza, elaboración material docente, material multimedia, video educativo.

1. Introducción

En este proyecto de innovación educativa se pretende poner a disposición del alumno las herramientas necesarias para la identificación y comprensión del fenómeno de rotura de un terreno sometido a carga. Se tiene como objetivo primordial la observación y simulación del comportamiento real a escala reducida del terreno ante diferentes tipologías de cimentación, utilizando una metodología de aula invertida.

A este respecto, uno de los principales motivos de estudio del terreno está relacionado con la estimación de la resistencia última del terreno ante una determinada acción y tipología del construcción, de manera que debe abordarse en su estudio los mecanismos resistentes del terreno y el área de influencia que abarca la rotura en el terreno, y por tanto resulta afectada por la carga.

Ante la imposibilidad de ensayar estructuras reales llevándolas a rotura por cimentación, tradicionalmente se ha concebido su enseñanza basándose en los métodos clásicos de aprendizaje donde se formula matemáticamente el problema de estudio. Sin embargo, las ecuaciones matemáticas no reportan la visualización del problema ni el mecanismo de colapso, que sin embargo puede visualizarse con la metodología preparada en este proyecto.

Se ha llevado a cabo en el Laboratorio de Geotecnia de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos de la UPM, una metodología activa y dinámica de aprendizaje basada en el análisis previo al trabajo a realizar en clase, la observación y la praxis; donde el alumno puede recrear escenarios reales a escala reducida y someter el terreno a estados tensionales más exigentes hasta provocar su rotura. En dicho proceso de carga, el alumno visualiza las líneas de rotura del terreno comprobando la validez de las teorías matemáticas empleadas para el análisis. Todo ello, tendrá como resultado el objetivo que buscamos, es decir, el aprendizaje del alumno a través de su propia experiencia, previa formación en distintos espacios mediante facilitados por el docente en este proyecto de innovación. Siempre dentro de un marco conceptual y operativo concreto y bien desarrollado.

2. Problema planteado

En mecánica de suelos el planteamiento matemático que permite obtener la solución de la presión de hundimiento de una cimentación superficial fue formulada y resuelta por Sokolowskii [1] mediante el método de las líneas características.

Combinando las ecuaciones de equilibrio interno y las del criterio en variables p y q de Lambe, que define la rotura del suelo $q=q(p)$, se puede obtener el sistema de ecuaciones diferenciales que se expresa a continuación:

$$\begin{bmatrix} 1 + \sin \rho \cos 2\psi & \sin \rho \sin 2\psi & -2q \sin 2\psi & 2q \cos 2\psi \\ \sin \rho \sin 2\psi & 1 - \sin \rho \cos 2\psi & 2q \cos 2\psi & 2q \sin 2\psi \\ dx & dy & 0 & 0 \\ 0 & 0 & dx & dy \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial p / \partial x \\ \partial p / \partial y \\ \partial \psi / \partial x \\ \partial \psi / \partial y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ dp \\ d\psi \end{bmatrix}$$

donde ρ es el ángulo de rozamiento, ψ es el ángulo que forma la tensión principal mayor con el eje vertical x de coordenadas, siendo el eje horizontal espacial el eje y .

Ante la imposibilidad de mostrar el fenómeno físico de rotura de un suelo, la expresión matemática, supone la fórmula clásica de exponer el problema de presión de hundimiento para el estudio por el alumno.

3. Equipo educativo

Se pretende la puesta a punto del equipo educativo de Taylor- Schneebeli [2] (que supone uno de los equipos educacionales para geotecnia más sofisticados para la simulación de modelos reducidos de rotura) para poder representar las configuraciones de los diferentes problemas geotécnicos que corresponden al temario de la asignatura (así como otros que se desee estudiar). Así, se realizará la generación de videos educativos y material multimedia para el aprendizaje y trabajo previo a la clase y se enfocará la clase al uso experimental de dicho equipo en el laboratorio de geotecnia, donde se aprenderán los fenómenos geotécnicos en simulaciones a escala reducida.

De esta manera, mediante dicho equipo, podrá obtenerse la capacidad soporte de cada una de las configuraciones constructivas y la estimación de las líneas de rotura generadas en el terreno. Este aparato (ver figura 1) tiene unas dimensiones en alzado de aproximadamente 2 x 2 metros y una profundidad reducida de escala decimétrica que permite hacer ensayos reales a pequeña escala en deformación plana de los fenómenos indicados. El equipo está formado por cilindros de aluminio de diferente

diámetro simulando una granulometría deseada del terreno, de manera que durante un ensayo completo el alumno puede:

1) Visualizar la evolución deformacional del terreno y el acomodo de partículas con cada escalón de carga.

2) Leer de los gatos de aplicación de carga la capacidad soporte del terreno para cada configuración ensayada, que se detecta cuando no es posible un incremento de carga y únicamente responde el terreno con deformación.

3) Visualizar la geometría de las líneas de rotura producidas en el terreno para cada problema geotécnico a resolver, que permite diferenciar claramente la deformación de las partículas de suelo, separando claramente la zona que abarca la afección del terreno respecto a la que no se ve afectada ante la carga externa.



Figura 1. Modelo de aprendizaje real del fenómeno físico

4. Metodología desarrollada

Primeramente se prepara unos videos educativos correspondientes al problema planteado, donde se visualiza el fenómeno de estudio en un equipo docente preparado especialmente para dicho objetivo. El alumno debe visualizar el video y observar el fenómeno de carga del terreno a través de la cimentación, de manera que queda de manifiesto el desplazamiento de los diferentes puntos del terreno al ir aumentando progresivamente la carga, hasta rotura (es decir, hasta que el medio no admite más carga, en cuyo caso se vislumbra la aparición de una cuña de rotura manifiesta en el terreno, ver figura 2).

A continuación se expone en clase el fenómeno y se hace una puesta en común donde los alumnos preguntan sobre los conceptos que participan del fenómeno de capacidad soporte. Con este marco conceptual los alumnos ya están preparados para entender el planteamiento matemático del problema pues las ecuaciones son manifestación directa de las acciones y reacciones observadas.

El siguiente paso es repetir el ensayo en escala reducida con la participación de los alumnos, que ayudaran a realizar el ensayo. Es necesaria la colocación de los distintos elementos que conforman el medio (cilindros de aluminio), el posicionamiento

de los gatos horizontales y verticales para la aplicación de la carga (la carga vertical constante y la horizontal aumentando hasta rotura) y el dibujo de una malla reticular para observar la distorsión de la malla al aplicar la carga con los gatos.

Finalmente un test conceptual a los alumnos permite evaluar el aprendizaje.

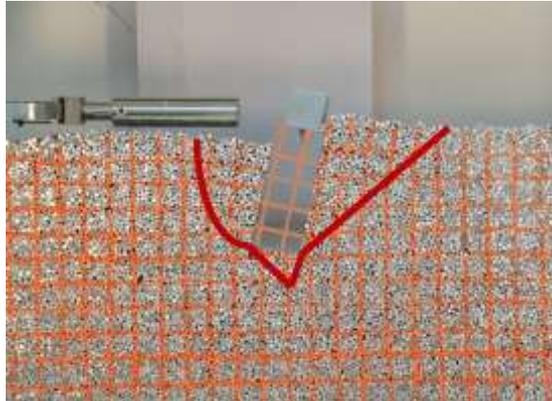


Figura 2. Distorsión de la malla en el modelo de aprendizaje

En particular, se ofreció como actividad voluntaria la asistencia a la práctica de capacidad soporte sobre una cimentación semiprofunda, a la que asistieron 12 alumnos. Los alumnos manifestaron un desempeño muy avanzado en la comprensión de los fenómenos involucrados y se pudo cuantificar dicho avance mediante un test corto de 10 preguntas a elegir entre 3 respuestas excluyentes de manera que se obtuvo un resultado medio de aciertos del 67%, muy por encima de lo obtenido en un grupo de muestra elegido entre los alumnos matriculados que no asistieron a dicha práctica (que apenas obtuvo un 45% de aciertos) para el mismo test con los procedimientos tradicionales (si bien debiera considerarse que los alumnos que voluntariamente asistieron a la práctica mostraron un nivel avanzado de interés respecto al resto de alumnos de la asignatura).

5. Conclusiones

El proyecto de innovación educativa presentado ha permitido la puesta en marcha de un procedimiento metodológico de aula invertida para el mejor aprendizaje en una materia tan técnica como la ingeniería geotécnica, para lo cual ha sido necesario el uso de un equipo educativo sofisticado. Se ha probado su eficacia en un grupo piloto de alumnos que ha permitido poner en valor una mejor asimilación de los conceptos teóricos adquiridos por la generación de videos educativos previos y una posterior puesta en práctica del ensayo por los propios alumnos. Se ha cuantificado la mejora mediante un sencillo test conceptual demostrando mejores resultados en el aprendizaje y comprensión de los fundamentos de los fenómenos de capacidad soporte de cimentaciones en suelos.

REFERENCIAS

- [1] V.V. Sokolovskii. *Statics of Soil Media*, Butterworth. London, (1960).
- [2] A. Fagnoul, A. Bolle, R. Bolette. "Contribution à l'étude des fondations superficielles filantes par un modèle analogique Taylor-Schneebeli", Université de Liège, Centre d'études de recherches et d'essais scientifiques du génie civil, Vol n°38 (Memoire CERES n°45, (1973).