

Túneles virtuales: toma de datos en el metaverso

Virtual tunnels: data gathering in the metaverse

Luis Jordá Bordehore¹, Jesús González Galindo¹, Ruben Angel Galindo Aires¹, Ramiro García Luna¹, Jose Gregorio Gutierrez Chacón¹, Rafael Jménez Rodríguez¹, Maria Isabel Reig Ramos¹, Salvador Senent Domínguez¹, Luis Manuel Alvarez Alonso²

l.jorda@upm.es, jesus.gonzalez@upm.es, rubenangel.galindo@upm.es, r.gluna@upm.es, jg.gutierrez@upm.es, rafaeil.jimenez@upm.es, mariaisabel.reig@upm.es, s.senent@upm.es, lmalvarez@fsbarbara.com

¹Departamento de Ingeniería y Morfología del terreno. ETSICCP
Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España

²Fundación Santa Bárbara
Ribera de Folgoso, León, España

Resumen- En los últimos años está siendo cada vez más difícil realizar salidas de campo en el ámbito de la ingeniería del terreno. Si a eso sumamos asignaturas como túneles y mecánica de rocas donde la toma de datos se realiza en muchas ocasiones en obras subterráneas y taludes en construcción, las dificultades de obtener permisos y datos realistas son aún mayores. Desde el año 2019 en el Departamento de Ingeniería y Morfología del terreno de la UPM se están desarrollando prácticas virtuales (laboratorios y salidas de campo) para que el alumnado pueda tomar por sí mismo los datos que luego harán en ejercicio y prácticas. Se trata de generar una serie de modelos como si fueren un simulador de vuelo tomar datos lo más fidedignos en entornos virtuales. Para ello se han visitado y escaneado obras subterráneas reales tomando datos geotécnicos que luego el alumno replicará. Se ha desarrollado dos tipos de productos: imágenes 3D escaneadas y entornos de Realidad Virtual como si estuviésemos visitando la obra. Iniciados los escenarios en 2019, todo se desarrolló muy rápido y se establecieron colaboraciones con numerosas universidades durante los confinamientos de la pandemia de COVID19. En un principio las prácticas virtuales versaron sobre taludes rocosos. En esta ocasión en el curso 2022 – 2023 se están implementando en túneles, tanto en ejecución (clasificaciones geomecánicas y diseño empírico) como en la inspección de túneles existentes. El proyecto incorpora aula invertida, aprendizaje basado en retos y experiencias docentes en el Metaverso – Realidad Virtual

Palabras clave: Aula invertida, Realidad Virtual, Técnicas Remotas

Abstract- In recent years it has been increasingly difficult to carry out field trips in the field of terrain engineering. If we add to this subjects such as tunnelling and rock mechanics where data collection is carried out in underground works and slopes under construction, the difficulties of obtaining permits are even greater. Since 2019, in the Department of Engineering and Morphology of the UPM terrain, virtual practices (laboratories and field trips) are being developed so that students can take the data themselves that they will later do in exercises and practices. It is about generating a series of models as if they were a flight simulator taking the most reliable data in virtual environments. For this, real underground works have been visited and scanned, taking geotechnical data that the student will then replicate. Two types of products have been developed: 3D scanned images and Virtual Reality environments as if we were visiting the work. The scenarios started in 2019, everything developed very quickly and collaborations were established with numerous universities during the confinements of the COVID19 pandemic. At first, the virtual practices were on rocky slopes. On this occasion, in the 2022-2023 academic

year, they are being implemented in tunnels, both in execution (geomechanical classifications and empirical design) and in the inspection of existing tunnels. The project incorporates a flipped classroom, learning based on challenges and teaching experiences in the Metaverse - Virtual reality.

Keywords: Flipped classroom, Virtual Reality, Remote Techniques

1. INTRODUCCIÓN

Los alumnos del Grado en Ingeniería Civil y Territorial y del Master en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos manifiestan su queja por no disponer la posibilidad de realizar prácticas reales en campo donde puedan aplicar, de manera práctica, todos los desarrollos teóricos explicados en clase. En este Proyecto se quiere subsanar esta dificultad que existe de que el alumno pueda ir al campo a tomar datos del terreno que le permitan realizar el diseño técnico estructural de una excavación subterránea y, en caso de que la excavación subterránea ya este realizada y en funcionamiento, describir posibles patologías a reparar.

2. CONTEXTO Y DESCRIPCIÓN

A. Antecedentes

El objeto de este proyecto educativo ha sido realizar una especie de simulador de vuelo. Con este simulador el alumnado de la asignatura de túneles podrá, por un lado, aprender a evaluar la estabilidad del frente de una excavación subterránea durante su ejecución y, por otro lado, detectar posibles patologías en túneles existentes. Esta línea de innovación se lleva implementando desde el año 2019 con varias asignaturas de ingeniería del terreno, y fue potenciada durante el confinamiento de la pandemia de COVID19, continuándose hoy en día enfocada al modo de enseñanza híbrida.

Se cuenta con la ayuda de una aplicación o repositorio visible con gafas en el Metaverso. Para compensar la carencia de salidas de campo, y acercar la realidad al alumno de lo que se va a encontrar en un futuro cuando comience su desarrollo profesional, se han escaneado túneles en ejecución y en funcionamiento y sobre estos escaneos se ha generado un

material docente (tutoriales, escenarios virtuales, videos, fichas) encaminado a:

1) Caracterizar la geología – geotecnia del frente de un túnel en ejecución y aprender a determinar, empírica y numéricamente, el tipo de sostenimiento-revestimiento a disponer con el fin de asegurar su estabilidad estructural y funcional.

2) Aprender a identificar en túneles existentes patologías usando fichas específicas. Será una especie de “simulador de vuelo” simplificado para el diseño de túneles.

En definitiva, en túneles en ejecución se determinará el sostenimiento-revestimiento a realizar y, en túneles existentes, soluciones para las posibles patologías detectadas durante su revisión. En ambos casos es fundamental la toma de datos del campo ya que todas las soluciones a desarrollar vienen determinadas por esos datos que se toman in situ, siendo estos, en el caso de macizos rocosos: resistencia de la roca, grado de fracturación de macizo, orientación y propiedades de las discontinuidades. Los ingenieros y geólogos junior que se incorporan a las empresas constructoras y de ingeniería aprenden la metodología en la propia obra de la mano de un senior. Este tipo de capacitación sobre el levantamiento geomecánico específico de frentes de túnel no se imparte en las Universidades ya que no es fácil acceder a túneles en ejecución y a túneles en funcionamiento (por razones de seguridad). Además, hay que indicar que sobre todo en los túneles en ejecución no se dispone del tiempo suficiente para “aprender” ya que el ritmo de construcción no permite que existan tiempos muertos en los cuales el alumno se pueda familiarizar y aprender en la técnica de toma de datos, la base para cualquier estudio de una excavación subterránea.

Una posibilidad alternativa es la del aprendizaje de las técnicas en el exterior, en taludes rocosos, donde el acceso es más sencillo y seguro. Esta alternativa se desarrolló en el Proyecto de Innovación educativa 2019 – 2020 prorrogado 2021 Practicas de campo - laboratorios virtuales de túneles y mecánica de rocas (AULA-GeoVirtual. Ambos proyectos de innovación educativa fueron realizados con éxito siendo valorados positivamente por los alumnos (García Vela et al 2021). En este sentido, la propuesta está en línea continuista con el trabajo desarrollado hasta este momento por el departamento al que pertenece el Grupo de Innovación Educativa. El proyecto estaba principalmente orientado a las asignaturas de Ingeniería de rocas y de túneles y excavaciones subterráneas, del Grado de ingeniería civil y territorial y del Máster de Estructuras, Cimentaciones y Materiales de la ETSI Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid.

B. Metodología

Hoy en día se puede complementar la toma de datos física en las obras subterráneas (base primordial para el diseño de una excavación subterránea) con escaneos y técnicas remotas: Lidar, laser escáner etc. (Jorda Bordehore et al, 2017; Rodriguez et al 2023). Los escaneos obtenidos se suben a un repositorio virtual de objetos en 3D (Benton 2014, Riquelme et al 2016, 2019). Lo más importante, es que permite a los profesores acercar al alumno a la realidad y prepararle para lo que le va a tocar afrontar cuando se enfrente al mundo ingenieril. Son asignaturas que se imparten en la universidad de manera teórica pero que tienen una base fundamental en los datos que se toman “in situ”.

En el proyecto educativo se han querido potenciar dos áreas diferentes pero complementarias en el escaneo de los túneles:

1) Por un lado, realizar escaneos de frentes de túnel en ejecución orientados a la medición de discontinuidades, y su comparación con técnicas manuales (brújula), y a la determinación de sus propiedades. Por otro lado, realizar escaneos en los sostenimientos-revestimientos de túneles existentes orientados a la detección de posibles patologías.

2) Utilizar los escaneos de frentes de túneles reales, videos y fotografías 360 inmersivas para elaborar un material docente en modo virtual para que el alumno tome datos como si en una obra real se encontrase. Se complementará con guías de aprendizaje, estadillos para alumnos, casos resueltos y material para formador de formadores.

3) Que el alumno sea capaz de proponer un sostenimiento-revestimiento para el túnel en ejecución, y proponer soluciones para reparar las patologías detectadas en los túneles existentes.

En cuanto a los objetivos generales del proyecto educativo, se pretende capacitar al alumno a analizar la información del frente de un túnel y diseñar el sostenimiento correspondiente. Formar al alumno en la toma de decisiones antes situaciones de incertidumbre en la información disponible.

La segunda parte del proyecto abarca la de capacitar al alumno a analizar la información de posibles patologías dentro de un túnel existente (dentro de los planes de conservación y mantenimiento). y diseñar soluciones para su reparación.

En cuanto a los objetivos específicos:

- Elaborar material docente virtual y videos explicativos sobre procedimientos de análisis de túneles.
- Generar escenarios virtuales donde tomar datos de túneles y obras subterráneas.
- Capacitar en las técnicas modernas de inspección de túneles ya ejecutados.
- Que el alumno sea capaz de evaluar las ventajas e inconvenientes de las diferentes alternativas de sostenimiento-revestimiento en túneles en ejecución.
- Que el alumno sea capaz de evaluar soluciones técnicas para la reparación de patologías detectadas en túneles existentes.
- Desarrollar la capacidad de tomar decisiones.

3. DESARROLLO Y FASES DEL PROYECTO

Se han visitado cuatro túneles en los cuales se han tomado datos reales sobre sus propiedades y se ha realizado el “ejercicio” de resolver su grado de estabilidad. Estos resultados son los que el alumno deberá obtener virtualmente a partir de los escenarios y una plantilla. Los datos se subirán al metaverso donde con posterioridad se desarrollará la toma de datos por los alumnos

- Fase 1: Análisis de posibles túneles Estado del arte. Evaluación del software y las herramientas más apropiadas de Realidad Virtual.
- Fase 2: Elección de túneles y toma de datos en campo. Estaciones geomecánicas y escaneos. La visita a campo la realiza un alumno de TFM o beca junto a un profesor con experiencia que pueda guiar al alumno en que la toma de datos sea correcta.

- Fase 3: Elaboración del material docente. Virtualización de escenarios y creación de contenidos.
- Fase 4: Caracterización del frente por parte del alumnado de clase usando una plantilla y el escenario virtualizado
- Fase 5: Diseño del sostenimiento-revestimiento en grupos en clase.
- Fase 6: Comparación con las decisiones de obra y las interpretaciones hechas insitu por el profesor.

4. RESULTADOS

Se han escogido túneles con un grado de dificultad creciente, además dentro de la experiencia virtual se han puesto cada vez menos pistas para resolverlos. Los túneles analizados han sido 4: dos de ellos en proceso de excavación: uno en Noruega y otro el de la Fundación Santa Bárbara en el Bierzo; así como otros dos túneles ya ejecutados el túnel de Medio Celemín y el túnel de la Platera en la Sierra de Guadarrama (Figura 1). A continuación, se muestran los resultados de los túneles escaneados en los que además se han insertado pistas para guiar al alumno en las decisiones según el grado de dificultad del escenario. Además, las características del terreno y túnel que son difíciles de ver en las imágenes (para simular perfectamente la realidad se necesitaría una capacidad de computación inasumible para estos objetivos). Estos escenarios pueden verse con diferente grado de inmersión: con el propio ordenador o móvil se accede a una imagen tridimensional, y con las gafas y modo VR se puede desplazar en el metaverso (Figura 2).

https://sketchfab.com/3d-models/tunel-tramo5-4fe1680f3fdf4a44a3969db85120e741 Tramo 5 del túnel Medio Celemín (Valdemanco, Madrid)	https://sketchfab.com/3d-models/tunel-tramo11-5ab628f8191d4a9c8184c62779006510 Tramo 11 del túnel de Medio Celemín (Valdemanco, Madrid)
https://sketchfab.com/3d-models/tunel-gotera-37213d3b62fa4932833448ef23920d0e Gotera en el túnel de Medio Celemín	https://sketchfab.com/3d-models/tunel--desprendimiento-747913d770384ffe9390de4214701c0a Desprendimiento en el túnel de Medio Celemín
 https://sketchfab.com/3d-models/talud-eg-b0bd918c7a114e21b5d94a57c0e7d247	 https://sketchfab.com/3d-models/tunel-de-la-platera-la-acebeda-af31adc786e34a1082f3c0fd506f1e9c

Talud emboquille Norte Medio Celemín https://sketchfab.com/3d-models/tunel-de-la-platera-cunas-b2ff05e424dd49bbbd22b7166e849ab Cuña en el túnel de La Platera	Entrada al túnel de La Platera (La Acebeda, Madrid) https://sketchfab.com/3d-models/tunel-en-estudio-calculo-de-rqd-mediante-jv-o-b7f14b0bb0c64d6b96950257781f3340 Inspeccion de tunel en Noruega
https://sketchfab.com/3d-models/tunel-mina-en-estudio-857827d18971400d974d78309b83fd64 Inpeccon de frente de tunel en el Bierzo (Fundación Santa Bárbara)	

Figura 1: Enlaces a los “productos” educativos elaborados y sus respectivos códigos QR para visualización rápida, mediante la aplicación específica “generador de QR” de la UPM.

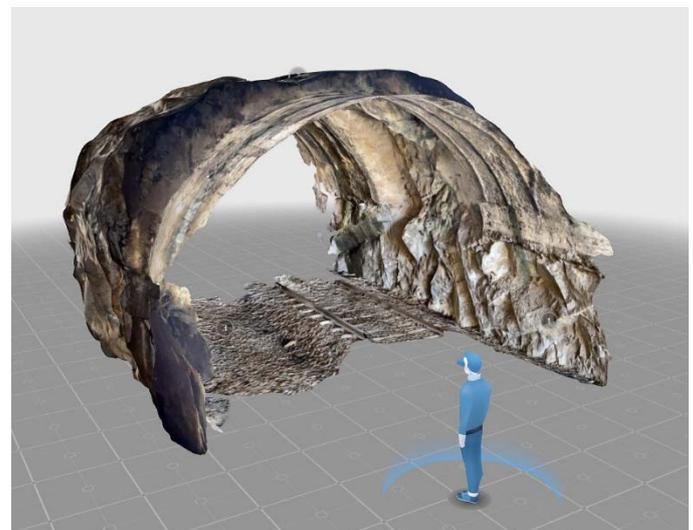


Figura 2: Imagen tridimensional con el avatar en la posición de inicio del recorrido virtual.

En el caso de los frentes de túnel: Noruega y El Bierzo, se trata de obras en ejecución. El alumnado accede al entorno virtual y allí posee algunas pistas o datos sobre las características del túnel y del terreno. No es factible que todos los datos los obtenga navegando en el mundo virtual como si se tratara de la realidad (Figura 3), pues no es posible representarlo al menos en el tipo de escenario: rugosidad y apertura de juntas, datos geométricos, densidad del terreno, etc., se presentan como menús desplegables. El alumno/a utiliza los mismos estadillos de campo que se emplearían en la inspección de un avance de túnel y con ello toma las decisiones de obra: ¿Es estable? ¿Qué refuerzo se le colca al túnel?

En cuanto a la inspección del túnel ya ejecutado, se emplean unos estadillos diferentes en los que simplemente se indican las patologías en un tramo de 30 metros. En este caso las

indicaciones son menos abundantes y el estudiante debe de inspeccionar visualmente el túnel en el metaverso.



Figura 3: visualización de la escena del túnel con gafas de Realidad Virtual.

5. CONCLUSIONES

Se ha buscado un tipo de software y plataformas comerciales fácilmente utilizables por el profesorado que programa los ejercicios. Si se requiere demasiado esfuerzo de programación o una plataforma de visualización muy compleja el profesorado puede que lo utilice en un momento en el que tiene “más tiempo para nuevas creaciones” (por ejemplo, sucedió durante la pandemia) pero a la larga no será sostenible. De igual modo tampoco es beneficioso realizar escenarios muy complejos o que busquen representar muy precisamente la realidad pues serán modelos pesados que tardarán tiempo en cargar. Según se ha desprendido de las entrevistas realizadas con alumnos y usuarios los escenarios es bueno que los escenarios virtuales tengan una apariencia ingenua incluso de videojuego. El “talón de Aquiles” de este tipo de productos educativos es que están contenidos en una aplicación o plataforma en la que somos usuarios y no propietarios, encontrándonos a merced de terceros. La sostenibilidad se garantiza utilizando plataformas y repositorios propios, los cuales por el contrario requieren mayor tiempo y profesionalidad en su programación, menudo fuera del alcance de un profesor de una materia que no sea de informática. Los escenarios tal cual están en estos momentos están siendo visualizados por numerosas universidades de Iberoamérica, especialmente durante los confinamientos de la pandemia de COVID 19. Por desgracia a fecha de realización

de este trabajo aún no se disponía de resultados sobre encuestas ni grado de aceptación de la presente metodología.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Santa Bárbara y mina Escuela de El Bierzo, por las facilidades brindadas para la toma de datos en el túnel.

REFERENCIAS

- M. T. García-Vela, M.T., Borja-Bernal, C.P., Jordá-Bordehore, L., Medinaceli-Torrez, R., Loaiza, S. y Falquez, D.A. (2021). Teaching rock mechanics using Virtual Reality: Laboratory practices and field trips during the confinement of the Coronavirus COVID-19 in Ecuador, Bolivia, and Spain, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 833, no. 1, [https://doi: 10.1088/1755-1315/833/1/012172](https://doi.org/10.1088/1755-1315/833/1/012172).
- Jordá Bordehore, L., Riquelme, A., Cano, M. y Tomás, R. (2017). Comparing manual and remote sensing field discontinuity collection used in kinematic stability assessment of failed rock slopes, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, vol. 97, pp. 24–32, [https://doi: 10.1016/j.ijrmms.2017.06.004](https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.06.004).
- Rodríguez G., Mulas M., Loaiza S., Del Pilar Villalta Echeverría M., Yanez Vinueza A.A., Larreta E. y Jordá Bordehore L. (2023). Stability Analysis of the Volcanic Cave El Mirador (Galápagos Islands, Ecuador) Combining Numerical, Empirical and Remote Techniques. *Remote Sensing*. 15(3):732. <https://doi.org/10.3390/rs15030732>
- Benton, J. (2014) The magic al growth of an online gigapan repository for geoscience education. 2014 GSA annual meeting in Vancouver, BC, Canada
- Riquelme A., Cano M., Tomás R., Jordá L. y Santamarta Cerezal J. (2016) Petrología 3D. XIV Jornadas de Redes de Investigación En Docencia Universitaria. Investigación, Innovación y Enseñanza Universitaria: Enfoques Pluridisciplinarios. Vicerrectorado de Calidad e Innovación Educativa, Universidad de Alicante, Alicante, Spain, pp 799–812.
- Riquelme, A., Cano, M., Tomás, R., Jordá L., Pastor, J. L. y Benavente D. (2019). Digital 3D Rocks: A Collaborative Benchmark for Learning Rocks Recognition. *Rock Mech Eng* 52, 4799–4806. <https://doi.org/10.1007/s00603-019-01843-3>