



VNIVERSIDAD  
D SALAMANCA

**DESARROLLO Y TESTEO DE MEZCLAS DE  
RELLENOS GEOTÉRMICOS COMO NUEVA  
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL EN LA  
FORMACIÓN EN  
SISTEMAS GEOTÉRMICOS DE BAJA ENTALPÍA**

PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE (PID) 2024/2025

PROYECTO: ID2024/056

IP: Cristina Sáez Blázquez

Escuela Politécnica Superior de Ávila

---

## Índice

1. Introducción .....	3
2. Miembros del proyecto.....	4
3. Asignaturas y titulaciones que se han beneficiado del proyecto de innovación .....	5
4. Objetivos.....	6
5. Actividades realizadas .....	7
6. Evaluación de los resultados .....	19
7. Grado de innovación alcanzado .....	21
8. Conclusiones y mejoras futuras.....	23
Anexo I. Encuesta Inicial .....	25
Anexo II. Encuesta final.....	28

# 1. Introducción

El presente documento incluye y describe los resultados del proyecto de innovación docente "***Desarrollo y testeo de mezclas de rellenos geotérmicos como nueva metodología experimental en la formación en sistemas geotérmicos de baja entalpía***" llevado a cabo en la Escuela Politécnica Superior de Ávila dentro del Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno.

## 2. Miembros del proyecto

A continuación, la Tabla 1 muestra la lista de los profesores que han participado en el proyecto.

**Tabla 1.** Profesores participantes en el proyecto.

<b>COORDINADORA DEL PROYECTO:</b>		
<b>NIF</b>	<b>Nombre y apellidos</b>	<b>E-mail</b>
	Cristina Sáez Blázquez	u107596@usal.es

<b>MIEMBROS</b>		
<b>NIF</b>	<b>Nombre y apellidos</b>	<b>E-mail</b>
	Ignacio Martín Nieto	nachomartin@usal.es
	Irene Gozalo Sanz	irenegs@usal.es
	Enrique González González	egonzalezgonzalez@usal.es
	Susana Lagüela López	sulaguela@usal.es
	Néstor Velaz Acera	nestor.velaz@usal.es
	Víctor Pérez Fernández	vperez@usal.es
	Luis Santiago Sánchez Pérez	lssanchez@usal.es

Los docentes anteriormente mencionados pertenecen a la Escuela Politécnica Superior de Ávila, Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno, impartiendo docencia en las siguientes titulaciones:

- MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA (MUGTE)
- GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA Y RECURSOS MINERALES (GIERM)
- MÁSTER EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA (MUGCIA)

### 3. Asignaturas y titulaciones que se han beneficiado del proyecto de innovación

En la Tabla 2 se detallan las asignaturas que se han beneficiado directamente de las propuestas del presente proyecto. En ella se detalla también la titulación a la que pertenece la asignatura en cuestión.

**Tabla 2.** Asignaturas y titulaciones que se han beneficiado del proyecto.

<b>ASIGNATURAS Y TITULACIONES QUE SE BENEFICIARÁN DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN</b>
Sondeos → Grado en Ingeniería de la Energía y Recursos Minerales
Energía Geotérmica → Grado en Ingeniería de la Energía y Recursos Minerales
Aprovechamiento eficiente de la energía → Máster en Gestión de la Transición Energética
Refino de Petróleo, Petroquímica y Carboquímica → Grado en Ingeniería de la Energía y Recursos Minerales
Laboreo y Obras Subterráneas I y II → Grado en Ingeniería de la Energía y Recursos Minerales

---

## 4. Objetivos

Tal y como se plasmó en la memoria inicial presentada en esta convocatoria, la presente propuesta tiene como **objetivo principal** acercar al alumnado universitario a **prácticas metodológicas experimentales** que refuercen los conceptos teóricos adquiridos y favorezcan una comprensión más profunda de aspectos clave en su formación, particularmente en la enseñanza aplicada de la energía geotérmica.

A partir de este objetivo general, se plantean los siguientes **objetivos específicos**:

- Fomentar el manejo de materiales y aditivos innovadores para el desarrollo de mezclas aptas como material de relleno geotérmico.
- Introducir al alumnado en el uso de técnicas de impresión 3D como herramienta de apoyo en el diseño y ejecución de ensayos experimentales.
- Implicar al estudiantado en el diseño y fabricación de nuevos patrones de muestras con propiedades térmicas optimizadas.
- Promover el uso de equipos de medición de propiedades térmicas para el testeo y validación de las soluciones desarrolladas.
- Impulsar la innovación docente mediante metodologías de enseñanza-aprendizaje de carácter práctico, que además sirvan como vía de orientación profesional hacia su futura inserción laboral.
- Favorecer la coordinación docente a través de acciones que estimulen la colaboración entre profesores, así como el desarrollo de proyectos interdisciplinarios e intercurriculares.

---

## 5. Actividades realizadas

Siguiendo la planificación de la memoria inicial, el plan de trabajo ha sido dividido en los siguientes bloques que se detallan a continuación: Planificación inicial, Desarrollo experimental, Evaluación de la actividad, Difusión de los resultados y divulgación. Cada uno de estos bloques se describe en los siguientes puntos, detallándose las acciones realizadas y la responsabilidad asumida por cada miembro del proyecto.

### 5.1. Planificación Inicial

Durante la primera fase de desarrollo del proyecto, se llevó a cabo una planificación detallada para integrar de manera efectiva las actividades experimentales previstas en las distintas asignaturas implicadas. Esta etapa resultó fundamental para garantizar la coherencia pedagógica y la alineación con los resultados de aprendizaje previstos en cada materia.

En primer lugar, se realizó una revisión exhaustiva de las metodologías docentes existentes en las asignaturas participantes. Esta revisión permitió identificar los puntos de mejora y adaptar la estructura docente para incorporar los nuevos contenidos prácticos propuestos. Como resultado de este análisis, se introdujeron modificaciones puntuales en la planificación docente, con el objetivo de reforzar el enfoque práctico y experimental del proceso de enseñanza-aprendizaje.

En paralelo, se procedió a la actualización del material docente, incluyendo el desarrollo de nuevos contenidos, guías de prácticas y documentación de apoyo adaptada a las actividades experimentales del proyecto. Todo este material fue convenientemente integrado y subido a la plataforma virtual Studium, con el fin de facilitar el acceso al alumnado y promover un entorno de aprendizaje autónomo y colaborativo.

Otro aspecto clave abordado en esta fase fue la planificación y coordinación entre asignaturas y profesorado. Se mantuvieron reuniones periódicas entre los docentes implicados para establecer una hoja de ruta común, definir tiempos y asegurar una adecuada distribución de las actividades dentro del calendario académico. Esta coordinación permitió también detectar posibles sinergias entre asignaturas, fomentando un enfoque transversal e interdisciplinar.

Por último, se diseñó y consensuó una rúbrica de evaluación específica para las actividades del proyecto, en la que se detallaron las competencias a desarrollar, así como los criterios e indicadores de evaluación que se aplicarían. Esta rúbrica sirvió de guía tanto para el profesorado como para el alumnado, asegurando una evaluación transparente, coherente y orientada al desarrollo de competencias técnicas y transversales.

---

- **Diseño de la actividad**

Una de las tareas esenciales en este bloque fue la identificación de las necesidades prácticas concretas a cubrir en relación con el desarrollo de soluciones geotérmicas. Se definieron los contenidos prácticos a introducir, incluyendo el diseño y caracterización de mezclas para relleno geotérmico, así como el análisis de sus propiedades térmicas y mecánicas. Esta identificación permitió dimensionar adecuadamente los recursos requeridos y orientar el diseño experimental.

Se seleccionaron los laboratorios específicos a utilizar para la realización de los ensayos experimentales, teniendo en cuenta la disponibilidad de equipamiento y las competencias técnicas que se pretendían trabajar con el alumnado.

Además, se elaboró un inventario detallado de los materiales necesarios, incluyendo aditivos, áridos, fluidos de intercambio térmico y componentes de ensayo. También se definieron los protocolos de ensayo, la duración estimada de cada prueba en laboratorio y las condiciones operativas asociadas.

- **Planificación y coordinación entre asignaturas:**

Con el objetivo de garantizar una implementación coherente y eficaz de la práctica, se llevaron a cabo diversas acciones de planificación y coordinación entre el profesorado de las asignaturas implicadas en el proyecto. Estas acciones permitieron alinear los objetivos didácticos, facilitar la integración de entornos virtuales y asegurar la complementariedad de las actividades programadas.

- **Reuniones de planificación**

- *Reuniones iniciales*: al inicio del proyecto se organizaron sesiones de trabajo con todos los docentes participantes, en las que se definieron los objetivos generales, se establecieron los principios comunes de actuación y se discutieron las estrategias a seguir. Estas reuniones permitieron construir una base compartida de comprensión metodológica y organizar la planificación docente desde un enfoque colaborativo.
- *Reuniones periódicas*: a lo largo del desarrollo del proyecto, se mantuvo un calendario de reuniones periódicas destinadas a **coordinar el desarrollo de las actividades**, hacer seguimiento del grado de implementación y realizar los ajustes necesarios en función de la evolución del curso y de la retroalimentación del alumnado. Estas reuniones favorecieron una comunicación continua y fluida entre el equipo docente, contribuyendo a una gestión más eficiente de los recursos y tiempos.

- **Diseño conjunto de planes de clase**

Se elaboraron planes de clase integrados, en los que los profesores trabajaron de forma colaborativa para diseñar actividades y tareas específicas adaptadas a la metodología propuesta.

Este proceso de planificación conjunta no solo permitió armonizar la carga de trabajo entre asignaturas, sino que también fomentó un enfoque interdisciplinar, potenciando la conexión entre contenidos y promoviendo una experiencia de aprendizaje más cohesionada y significativa para los estudiantes.

- **Capacitación y apoyo mutuo:**

Para garantizar una implementación eficaz de la metodología de incorporación de ensayos con materiales geotérmicos como forma de complementar los conocimientos teóricos adquiridos en la materia, se llevaron a cabo diversas acciones de capacitación y apoyo dirigidas al equipo docente.

- **Sesiones de capacitación técnica:** se organizaron sesiones formativas específicas para el profesorado, enfocadas en el desarrollo de los ensayos sobre las muestras de material de relleno geotérmico a desarrollar en el proceso experimental. Estas capacitaciones permitieron que todos los miembros del equipo adquirieran un conocimiento sólido y consensuado acerca de la metodología a seguir, asegurando su uso adecuado y efectivo durante el desarrollo de las actividades en el laboratorio.
- **Elaboración de material de apoyo:** con el fin de facilitar la integración de la metodología y el correcto desarrollo de la fase experimental, se diseñó y puso a disposición del profesorado y alumnado material didáctico de apoyo. Este incluía explicaciones detalladas sobre las principales limitaciones de las instalaciones geotérmicas someras y del papel que juegan los materiales de relleno sobre el rendimiento y operación global del sistema. Todo este material fue alojado en un espacio virtual habilitado en la plataforma Studium, garantizando así su accesibilidad y consulta permanente.

- **Entorno colaborativo del proyecto:**

Se creó un entorno colaborativo para profesores y estudiantes a través de una asignatura específica en la plataforma Studium, orientada al desarrollo y análisis de rellenos geotérmicos y ensayos en laboratorio.

Asimismo, se incluyó documentación explicativa para cada uno de los casos prácticos relacionados con la preparación de mezclas, caracterización térmica y mecánica, y duración de ensayos, proporcionando al alumnado una guía clara

y detallada para la realización y comprensión de las actividades experimentales.

Este entorno colaborativo facilitó el acceso continuo a los recursos, promovió la interacción entre estudiantes y profesores, y favoreció un aprendizaje práctico y estructurado en torno a los retos técnicos del desarrollo de rellenos geotérmicos.

▪ **Establecimiento de rúbrica de evaluación:**

A su vez, se estableció una rúbrica de evaluación con el fin de proporcionar un marco claro, objetivo y coherente para valorar las competencias desarrolladas por los estudiantes a lo largo del curso, especialmente en relación con las actividades prácticas sobre rellenos geotérmicos y ensayos en laboratorio.

- **Definición de competencias y criterios**

- *Identificación de competencias clave:* se determinaron las competencias fundamentales que los estudiantes debían adquirir, abarcando tanto habilidades técnicas específicas (como la preparación y caracterización de materiales geotérmicos, manejo de equipos de laboratorio y análisis de resultados), como competencias transversales, tales como el trabajo en equipo, la resolución de problemas y la comunicación efectiva.
- *Establecimiento de criterios de evaluación:* para cada competencia se definieron criterios claros y específicos que detallan las expectativas y resultados esperados en distintos niveles de desempeño. Estos criterios se fundamentaron en estándares académicos y profesionales del sector, garantizando una evaluación rigurosa y alineada con la realidad laboral.

- **Desarrollo de niveles de logro**

- *Niveles de desempeño:* se elaboraron descriptores precisos para cada nivel de logro (básico, intermedio, avanzado y excelente), los cuales orientan tanto a los estudiantes sobre las metas a alcanzar como a los evaluadores para aplicar la rúbrica de manera homogénea y objetiva.
- *Indicadores de desempeño:* para cada nivel se definieron indicadores concretos y medibles que ilustran ejemplos específicos de comportamientos y resultados esperados, facilitando la evaluación y retroalimentación efectiva.

Este sistema de evaluación estructurado contribuye a mejorar la transparencia del proceso evaluativo, a orientar el aprendizaje y a fomentar el desarrollo integral de las competencias necesarias para el ámbito geotérmico y experimental.

---

**En relación con las responsabilidades asociadas a las tareas mencionadas, todos los miembros del proyecto participaron activamente y colaboraron de manera conjunta en cada una de ellas.**

## **5.2. Desarrollo experimental**

Una vez planificado el alcance del proyecto, se procedió a su inclusión en las asignaturas involucradas, siguiendo una serie de fases estructuradas para asegurar una adecuada integración teórica y práctica.

### **5.2.1. Presentación y descripción de la propuesta teórico-práctica**

En primer lugar, se impartió por parte del equipo docente, una explicación exhaustiva de los conceptos teóricos en el aula, centrada especialmente en el proceso térmico que interviene en el funcionamiento de un sondeo geotérmico.

Durante esta fase, se analizaron los principios fundamentales de transferencia de calor en el subsuelo, la dinámica del flujo térmico y el comportamiento térmico de los materiales involucrados. Esta introducción teórica fue clave para que el alumnado adquiriera un conocimiento sólido sobre los mecanismos físicos y las variables que afectan la eficiencia de los sistemas geotérmicos.

Gracias a esta base científica y técnica, los estudiantes pudieron comprender en profundidad el contexto y la relevancia de las actividades prácticas que seguirían, facilitando así una participación activa y fundamentada en los ensayos y experimentos posteriores.

A continuación, se realizó una presentación detallada de la actividad práctica que se llevaría a cabo en los laboratorios de la Escuela Politécnica Superior de Arquitectura (EPSA). Durante esta etapa, se explicó a los estudiantes el objetivo de las pruebas experimentales, los procedimientos a seguir y la importancia de cada ensayo para la caracterización de los rellenos geotérmicos. Además, se proporcionaron instrucciones claras sobre el manejo del equipo y la seguridad en el laboratorio, garantizando que los participantes comprendieran plenamente el alcance y la relevancia del trabajo a realizar.

Esta fase fue fundamental para contextualizar el trabajo experimental dentro del marco teórico previamente impartido, así como para preparar al alumnado, tanto en términos técnicos como prácticos, facilitando su posterior implicación activa y rigurosa en el desarrollo de las pruebas.

### **5.2.2. Encuesta inicial**

En esta etapa inicial, se llevó a cabo una encuesta (Anexo I) dirigida a los estudiantes con el objetivo de conocer su nivel de conocimientos previos,

expectativas y motivación en relación con la actividad propuesta sobre rellenos geotérmicos.

La encuesta exploró aspectos como el grado de familiaridad de los participantes con la geotermia de baja entalpía, su experiencia con tecnologías de impresión 3D y su comprensión acerca de la función y el impacto que tienen los materiales de relleno en el rendimiento de las instalaciones geotérmicas.

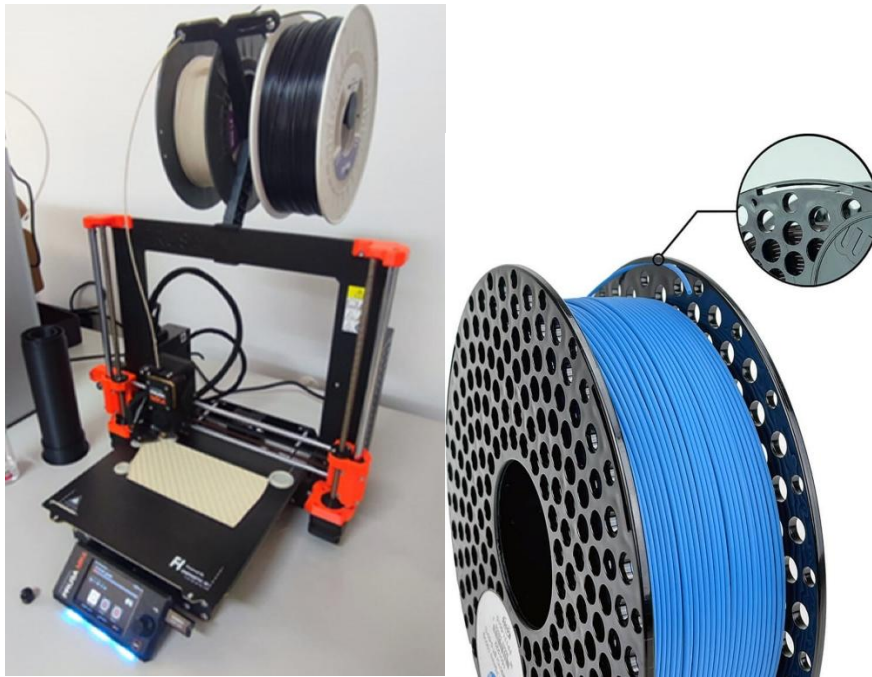
Los datos obtenidos permitieron adaptar las actividades prácticas para responder mejor a las necesidades del alumnado, optimizando así el proceso de aprendizaje y fomentando una mayor implicación en el proyecto.

### **5.2.3. Desarrollo de la actividad**

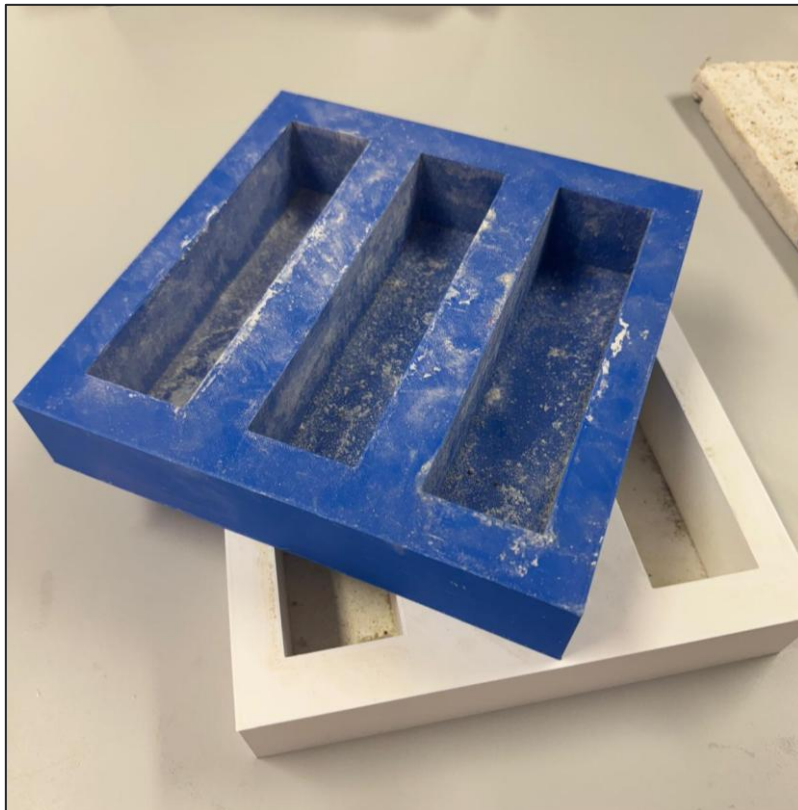
#### **- Generación de material 3D**

Una vez detallados en el aula, los objetivos y alcance del proyecto, la actividad comenzó con la preparación de los moldes mediante tecnología de impresión 3D, utilizando las impresoras disponibles en el FabLab de la EPSA. Este proceso implicó una participación activa y directa del alumnado, quienes tuvieron la oportunidad de familiarizarse con las técnicas de fabricación aditiva y con herramientas de diseño digital, fomentando así competencias tecnológicas esenciales para su formación. Los moldes fueron diseñados para ajustarse a los requisitos establecidos por la normativa vigente aplicable a los ensayos de materiales pétreos y hormigón. De este modo, se aseguró que las muestras resultantes cumplieran con los estándares técnicos necesarios, lo que garantiza la validez, fiabilidad y reproducibilidad de los resultados obtenidos durante los ensayos posteriores. Esta etapa no solo permitió que los estudiantes adquirieran habilidades prácticas en diseño e impresión 3D, sino que también enfatizó la importancia de la normativa y el control de calidad en el ámbito experimental.

En el caso de la presente práctica se utilizó impresora 3D con filamento ASA para la creación de los moldes mencionados (Figura 1-2).



**Figura 1.** Impresora 3D y filamento ASA empleados para la fabricación de los moldes empleados en el proyecto.



**Figura 2.** Moldes 3D desarrollados para la fabricación de los rellenos geotérmicos.

- Desarrollo de las muestras de relleno geotérmico

Una vez generados e impresos los moldes 3D, se procedió al desarrollo de las distintas mezclas geotérmicas. Para ello, se dispuso de una variedad de materiales base (áridos, cementos, materiales reciclados, etc.) y aditivos con propiedades térmicas y mecánicas específicas, lo que permitió explorar múltiples combinaciones.

Durante esta etapa, los estudiantes participaron activamente, teniendo la posibilidad de seleccionar y combinar los componentes en distintas proporciones y formas de integración, en función de criterios como la mejora de la conductividad térmica, la sostenibilidad de los materiales, la viabilidad técnica y la compatibilidad con normativas. Esta aproximación fomentó un enfoque personalizado y crítico, donde cada equipo de trabajo diseñó y ejecutó su propia propuesta de mezcla geotérmica. Además, se promovió la toma de decisiones fundamentadas en datos previos y literatura científica, lo que reforzó las competencias en investigación aplicada y pensamiento analítico.

Tal y como se muestra en la Figura 3, las muestras fueron manualmente desarrolladas en laboratorio, cuantificando las distintas proporciones de los materiales incluidos en cada una de ellas.

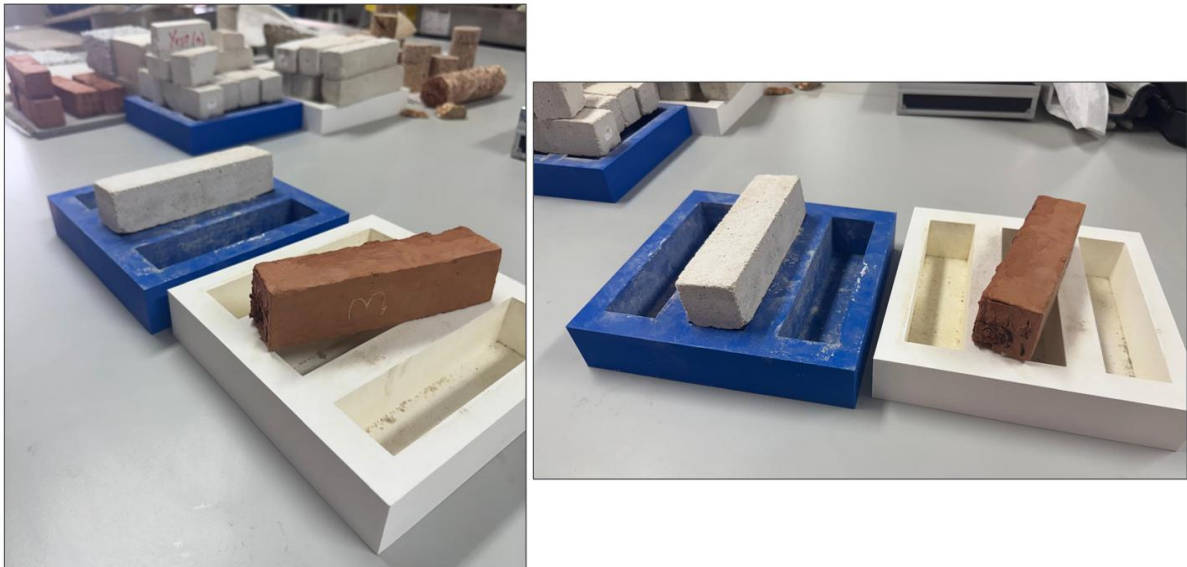


**Figura 3.** Mezcla de los materiales que conforman las muestras desarrolladas en laboratorio.

Una vez transcurrido el tiempo necesario para el fraguado y curado de los rellenos, se obtuvieron las muestras consolidadas directamente en los moldes tridimensionales impresos en 3D. Estos moldes, diseñados específicamente

para cumplir con los requisitos normativos de geometría y dimensiones aplicables a los ensayos térmicos y mecánicos de materiales cementosos, permitieron la extracción controlada de probetas con características reproducibles.

En esta fase, se formó convenientemente al alumnado para llevar a cabo un proceso de desmoldeo con especial cuidado para evitar daños estructurales en las muestras, garantizando así su integridad para las siguientes fases de caracterización. El resultado final de las muestras se presenta en la Figura 4.



**Figura 4.** Muestras finales desmoldadas.

- Ensayos de caracterización mecánica y térmica

Sobre las muestras previamente fraguadas y desmoldeadas, el alumnado realizó ensayos de caracterización tanto mecánica como térmica, lo que constituyó una valiosa oportunidad para aplicar conocimientos teóricos en un entorno experimental real, utilizando equipamiento de laboratorio y siguiendo procedimientos técnicos estandarizados.

Para la caracterización mecánica, se emplearon, con la supervisión del equipo docente, prensas de compresión y equipos de ensayo puntual para determinar parámetros como la resistencia a compresión y la cohesión de las mezclas (Figura 5).

Esta actividad les permitió familiarizarse con protocolos de laboratorio asociados a la ingeniería civil y de materiales, comprender el comportamiento estructural de los compuestos áridos y cementosos y reforzar su capacidad para interpretar resultados experimentales de forma crítica.



**Figura 5.** Ensayos de caracterización mecánica de las muestras desarrolladas.

En cuanto a la caracterización térmica, se utilizó el equipo TEMPOS (Thermal Properties Analyzer), mediante el cual el alumnado pudo medir la conductividad térmica, la difusividad y la capacidad calorífica volumétrica de las muestras (Figura 6). Este proceso supuso una introducción práctica al análisis de propiedades térmicas, con especial relevancia en aplicaciones relacionadas con la eficiencia energética y la energía geotérmica. Además, permitió al estudiantado adquirir destrezas en el manejo de instrumentación avanzada y en la comprensión de los fundamentos físicos que rigen los procesos de intercambio de calor

En conjunto, esta fase proporcionó una experiencia formativa completa, integrando competencias experimentales, analíticas y tecnológicas. El contacto directo con los equipos, la necesidad de seguir protocolos técnicos y la interpretación de datos reales promovieron el desarrollo del pensamiento crítico, el trabajo colaborativo y la toma de decisiones fundamentadas en evidencias, alineándose con los objetivos de aprendizaje activo y basado en proyectos.



**Figura 6.** Medición de la conductividad térmica con equipo TEMPOS.

- Análisis de los resultados

Tras la realización de los análisis y ensayos de laboratorio, se llevó a cabo una fase final de discusión y reflexión conjunta entre el profesorado y el alumnado, en la que se analizaron en profundidad los resultados obtenidos y su implicación en el rendimiento de los sistemas geotérmicos someros.

Esta actividad permitió al estudiantado interpretar los datos experimentales desde una perspectiva aplicada, evaluando cómo las distintas combinaciones de materiales y configuraciones influían en parámetros clave como la conductividad térmica o la resistencia mecánica, y cómo estos, a su vez, impactaban en la eficiencia y viabilidad técnica de un sistema de intercambio geotérmico. A través del debate, se fomentó el pensamiento crítico y la capacidad de argumentación, así como la comprensión de las complejidades que implica el diseño de soluciones reales en el ámbito de la energía geotérmica.

El diálogo abierto entre los distintos equipos favoreció la comparación de enfoques y resultados, y permitió valorar tanto los aciertos como las limitaciones de las propuestas desarrolladas. Esta interacción promovió un aprendizaje colaborativo y transversal, en el que los estudiantes no solo reforzaron sus conocimientos técnicos, sino que también ejercitaron habilidades comunicativas, analíticas y de síntesis.

---

### 5.3. Evaluación de la actividad

La valoración de las actividades realizadas por los estudiantes se basó en una rúbrica diseñada específicamente durante la fase inicial del proyecto, que definía con detalle los criterios y niveles de logro esperados para cada competencia. Esto permitió que la evaluación fuera justa, transparente y orientada al desarrollo de habilidades concretas.

Para organizar y seguir todo el proceso, se utilizó la plataforma digital Studium, que facilitó la recogida y el almacenamiento de los resultados, además de permitir una comunicación constante entre el profesorado y el alumnado.

Gracias a esta combinación de criterios claros y herramientas digitales, se pudo llevar a cabo un seguimiento cercano y personalizado del aprendizaje, promoviendo la mejora continua y el compromiso del alumnado con el proyecto.

#### 5.3.1. Encuesta final

Al concluir la realización de las anteriores, se facilitó una encuesta final a los estudiantes con el objetivo de recopilar sus opiniones y percepciones sobre la experiencia práctica. La encuesta abordó aspectos como la claridad de los objetivos de aprendizaje vinculados a los procesos de fabricación, caracterización mecánica y térmica de los materiales, la facilidad de uso de las herramientas y equipos empleados en el laboratorio, y el impacto que tuvo la metodología práctica sobre su motivación y comprensión de los sistemas de intercambio geotérmico.

Además, se recogieron sugerencias y recomendaciones para mejorar futuras ediciones de esta actividad experimental, especialmente en cuanto a la integración de tecnologías como la impresión 3D de moldes y el análisis térmico avanzado. Los resultados obtenidos proporcionaron una visión integral de la efectividad del proyecto desde la perspectiva del alumnado, contribuyendo de manera fundamental al análisis crítico y a la evaluación global de los objetivos formativos planteados en relación con los rellenos geotérmicos.

### 5.4. Difusión de los resultados y divulgación

La etapa final de esta propuesta contempla la difusión y divulgación de los resultados obtenidos tanto a la comunidad académica como al entorno científico y social. No obstante, la falta de financiación específica para el proyecto ha limitado parcialmente el alcance de las acciones previstas. A pesar de ello, se están realizando esfuerzos para compartir los resultados a través de medios de bajo coste o sin coste, priorizando la participación en congresos gratuitos y publicaciones en revistas que aceptan contribuciones mediante invitación o sin tasa de procesamiento.

**En relación con las responsabilidades de las tareas anteriores, todos los miembros del proyecto participaron en cada una de ellas.**

---

## 6. Evaluación de los resultados

### 6.1. Análisis global

Los resultados obtenidos a través del desarrollo de la práctica han evidenciado una mejora significativa en diversos aspectos del rendimiento académico del alumnado. En comparación con cursos anteriores, se ha observado un incremento en la calidad de los trabajos entregados, especialmente en lo relativo al diseño experimental, la justificación técnica de las decisiones tomadas y la interpretación de los resultados obtenidos. Esta mejora ha estado claramente vinculada a la integración de metodologías activas, como el enfoque experimental centrado en el diseño y análisis de materiales, y al uso de tecnologías como la impresión 3D de moldes o el empleo de equipos de caracterización térmica y mecánica.

Asimismo, durante las sesiones prácticas y teóricas asociadas al proyecto, el alumnado mostró un mayor grado de implicación, participando de forma activa en las distintas fases del proceso: desde la selección de materiales hasta la ejecución de los ensayos y el análisis crítico de los resultados. Esta implicación se ha traducido también en una mejora notable en la media de las calificaciones de las asignaturas implicadas, en comparación con ediciones anteriores en las que no se había implementado esta práctica innovadora.

En conjunto, el impacto positivo observado sugiere que la incorporación de actividades prácticas basadas en retos reales, apoyadas por herramientas tecnológicas y orientadas al aprendizaje activo.

### 6.2. Resultados de las encuestas

Tal y como se ha mencionado a lo largo de esta memoria, durante la fase de ejecución del proyecto, se administraron encuestas iniciales y finales con el fin de evaluar el impacto de la metodología práctica y experimental en el aprendizaje del alumnado. En particular, se buscó analizar cómo influía la combinación de trabajo de laboratorio, tecnologías como la impresión 3D y los ensayos técnicos especializados en la comprensión de conceptos relacionados con los sistemas geotérmicos someros.

Los resultados obtenidos reflejaron un impacto positivo significativo en el proceso de enseñanza-aprendizaje. A nivel cualitativo, los estudiantes manifestaron una mejor comprensión de los fundamentos de transmisión térmica en el subsuelo, de la importancia de la selección adecuada de materiales en los rellenos de los sondeos, y de la influencia de las propiedades térmicas y mecánicas en el rendimiento global de un sistema geotérmico. Además, destacaron el valor de participar activamente en todas las fases del proyecto, desde la preparación de moldes hasta el análisis final de resultados.

Según las encuestas finales, un 85% del alumnado consideró que los objetivos de aprendizaje estaban claramente definidos y bien integrados en las actividades. Un 90% valoró positivamente la facilidad de uso de las herramientas tecnológicas empleadas (como la impresión 3D o el equipo TEMPOS), y un 80% afirmó que dichas herramientas fueron útiles o muy útiles para su comprensión de los contenidos. Además, un 90% señaló que el enfoque práctico aumentó significativamente su motivación por la asignatura y su interés por las aplicaciones reales de los conocimientos adquiridos. Finalmente, un 95% del estudiantado recomendaría este tipo de experiencias en otras materias técnicas.

## 7. Grado de innovación alcanzado

La actividad propuesta ha alcanzado un notable grado de innovación, evidenciado en varios aspectos clave que han contribuido de forma significativa a la mejora del proceso educativo a través de una experiencia práctica centrada en la experimentación con mezclas geotérmicas.

La Escuela Politécnica Superior de Ávila cuenta con una sólida trayectoria en la implementación de proyectos de innovación docente, lo que ha creado un entorno favorable para adoptar enfoques activos y experimentales. La infraestructura existente (incluyendo laboratorios especializados, impresoras 3D y equipos de medición de propiedad mecánicas y térmicas) ha facilitado la ejecución del proyecto con una base tecnológica y pedagógica sólida.

### 7.1. Inclusión de tecnologías digitales y equipos de laboratorio

Uno de los elementos más innovadores del proyecto ha sido la integración de herramientas de fabricación digital, como la impresión 3D, aplicada al diseño de moldes específicos para ensayos de materiales geotérmicos. Esta tecnología ha permitido al alumnado involucrarse directamente en procesos de diseño y producción avanzada, promoviendo el aprendizaje basado en proyectos y mejorando la conexión entre teoría y práctica.

Además, el uso de equipos avanzados como el TEMPOS para la caracterización térmica y prensas para ensayos mecánicos ha proporcionado al alumnado la oportunidad de trabajar con herramientas utilizadas en contextos profesionales reales.

### 7.2. Enfoque práctico-experimental basado en retos reales

La actividad se estructuró siguiendo una metodología activa donde los estudiantes asumieron un rol protagonista en el proceso de aprendizaje. En lugar de limitarse a recibir contenidos teóricos, el alumnado diseñó, preparó, ensayó y evaluó distintas mezclas geotérmicas, aplicando conceptos técnicos en un contexto práctico y significativo. Este enfoque ha promovido la autonomía, el razonamiento crítico y el aprendizaje por descubrimiento.

### 7.3. Desarrollo de nuevas competencias

El proyecto ha contribuido al desarrollo de competencias técnicas clave (como la selección y dosificación de materiales, el diseño de procesos experimentales y el análisis de resultados prácticos) así como de competencias digitales relacionadas con el diseño asistido por ordenador y la fabricación digital. Este

---

conjunto de habilidades es especialmente valioso en el contexto de la ingeniería actual, donde la integración de tecnologías avanzadas es fundamental.

#### **7.4. Incremento de la motivación y la participación**

El carácter experimental de la práctica, unido a la posibilidad de manipular materiales, controlar variables y observar resultados reales, ha tenido un impacto muy positivo en la motivación del alumnado. Los estudiantes han mostrado un alto grado de implicación, participación activa en las fases del proyecto, y entusiasmo por enfrentarse a retos técnicos reales. Esta actitud se ha reflejado en un aprendizaje más profundo y significativo, y en un mayor compromiso con la materia.

#### **7.5. Evaluación positiva y retroalimentación constructiva**

La evaluación continua del proceso, apoyada en rúbricas detalladas y en el análisis de productos generados por el alumnado, ha sido complementada con encuestas finales de valoración. Los resultados muestran una alta satisfacción por parte de los estudiantes, quienes destacaron la utilidad de la práctica para comprender los efectos de las propiedades térmicas y mecánicas en el rendimiento de sistemas geotérmicos. El profesorado, por su parte, ha identificado mejoras notables tanto en la comprensión técnica como en la actitud del alumnado frente a los contenidos.

---

## 8. Conclusiones y mejoras futuras

Los resultados que se derivan del presente proyecto experimental reflejaron un impacto altamente positivo en el proceso de enseñanza-aprendizaje en el ámbito de la ingeniería y en concreto de la energía geotérmica. El alumnado demostró una comprensión más profunda de los principios que rigen el funcionamiento de los sistemas geotérmicos someros y una mayor capacidad para aplicar estos conocimientos en un contexto práctico y técnico real.

La integración de una metodología activa, centrada en el diseño y ensayo de mezclas, combinada con el uso de tecnologías como la impresión 3D, el análisis térmico con equipo especializado y los ensayos mecánicos, resultó en un incremento significativo del compromiso y la motivación del alumnado. Los estudiantes valoraron de forma muy positiva la posibilidad de participar en todas las fases del proceso, desde la preparación de moldes hasta el análisis de resultados, y destacaron cómo esta experiencia les permitió consolidar aprendizajes de forma práctica y significativa.

Los datos recogidos a través de las encuestas finales y las rúbricas de evaluación muestran una percepción generalizada de que la experiencia fue enriquecedora, útil y aplicable, y evidencian la efectividad de este enfoque para el desarrollo de competencias técnicas, analíticas y colaborativas. La práctica ha aportado una visión más aplicada de los contenidos teóricos, y ha fomentado la curiosidad, la autonomía y la capacidad crítica del estudiantado.

### 8.1. Mejoras propuestas para futuras ediciones

De cara a la mejora continua de esta práctica en próximas ediciones, se proponen las siguientes acciones:

- **Creación de un foro de debate en línea:** la apertura de un espacio virtual de discusión permitirá al alumnado compartir dudas, reflexiones y propuestas sobre la metodología, los ensayos realizados y las implicaciones prácticas de los resultados. Esta iniciativa fomentará una comunidad de aprendizaje más activa, colaborativa y crítica.
- **Ampliación de materiales de apoyo:** se sugiere desarrollar materiales complementarios como vídeos cortos explicativos de las fases experimentales, infografías técnicas o simulaciones virtuales que faciliten la comprensión previa de las tareas y optimicen el tiempo presencial.
- **Incorporación de variables adicionales en el diseño experimental:** incluir nuevos materiales o aditivos innovadores en futuras prácticas permitiría enriquecer el análisis comparativo de mezclas, así como explorar nuevas líneas de investigación en el ámbito de la eficiencia térmica de los sistemas geotérmicos.

Finalmente, es conveniente destacar, que el hecho de no haber recibido financiación ha dificultado la realización del proyecto, limitando en gran medida el tipo de materiales y calidad de los mismos a incluir en la práctica. De igual forma, las tareas de difusión, como publicaciones de acceso abierto no han podido realizarse al no disponer de presupuesto alguno.

---

## Anexo I. Encuesta Inicial

**Objetivo:** evaluar el conocimiento previo, la motivación y las posibles dificultades del alumnado respecto al diseño, fabricación y caracterización de mezclas para rellenos geotérmicos, así como su comprensión del papel que estos materiales juegan en el rendimiento de una instalación geotérmica.

---

**1. ¿Conoces qué es un sistema geotérmico de baja entalpía y cómo funciona un sondeo vertical?**

- Sí, lo conozco en detalle
- Tengo nociones generales
- No lo conozco

---

**2. ¿Sabes cuál es el papel que desempeñan los materiales de relleno en el rendimiento de un sistema geotérmico?**

- Sí, sé que afectan directamente la eficiencia térmica del sistema
- He oído hablar del tema, pero no lo tengo claro
- No, desconozco su función

---

**3. ¿Has tenido experiencia previa trabajando con mezclas o morteros en laboratorio (cemento, áridos, aditivos, etc.)?**

- Sí
- No

---

**4. ¿Tienes experiencia en el uso de impresión 3D aplicada a proyectos técnicos o educativos?**

- Sí
- No

*Si respondiste "Sí", por favor describe brevemente tu experiencia:*

---

**5. ¿Has trabajado antes con moldes personalizados para la fabricación de probetas o muestras de ensayo?**

- Sí
  - No
-

---

**6. ¿Conoces los ensayos básicos que se pueden realizar sobre materiales cementosos en laboratorio?**

*(Por ejemplo: conductividad térmica, resistencia mecánica a compresión o flexión)*

- Sí, los conozco y he trabajado con ellos
  - Sé cuáles son, pero nunca los he realizado
  - No los conozco
- 

**7. ¿Qué grado de dificultad anticipas para esta práctica de diseño y caracterización de rellenos geotérmicos?**

- Muy baja
  - Baja
  - Moderada
  - Alta
  - Muy alta
- 

**8. ¿Qué aspectos crees que pueden ser más desafiantes para ti en esta práctica?**

*(Selecciona todos los que apliquen)*

- Selección adecuada de materiales y aditivos
  - Uso de moldes impresos en 3D
  - Preparación de las mezclas
  - Realización de ensayos térmicos o mecánicos
  - Interpretación de resultados
  - Trabajo en equipo
  - Otros (por favor, especifica)
- 

**9. ¿Qué tipo de apoyo consideras que necesitarás durante el desarrollo de la práctica?**

*(Selecciona todos los que apliquen)*

- Asistencia técnica en el laboratorio
  - Material teórico complementario sobre geotermia y rellenos
  - Demostraciones prácticas o vídeos previos
  - Acompañamiento durante la ejecución de ensayos
  - Otros (por favor, especifica)
- 

**10. ¿Qué nivel de motivación tienes para participar activamente en la práctica?**

- Muy baja
- Baja
- Moderada
- Alta
- Muy alta

---

## Anexo II. Encuesta final

---

**1. ¿Consideras claros los objetivos de aprendizaje de las tareas que conformaron la actividad teórico-práctica?**

- Muy poco claros
  - Poco claros
  - Neutros
  - Claros
  - Muy claros
- 

**2. ¿Cómo describirías la alineación entre los objetivos de aprendizaje y las actividades prácticas realizadas?**

- Muy mal alineados
  - Mal alineados
  - Neutros
  - Bien alineados
  - Muy bien alineados
- 

**3. ¿Cómo calificarías la facilidad para utilizar los equipos y materiales para la fabricación y ensayo de las mezclas geotérmicas (incluyendo los moldes 3D)?**

- Muy difícil
  - Difícil
  - Neutro
  - Fácil
  - Muy fácil
- 

**4. ¿Tuviste algún problema técnico o dificultad durante la fabricación o los ensayos? Si es así, por favor descríbelos brevemente.**

---

**5. ¿Cómo valorarías la utilidad de las prácticas con rellenos geotérmicos para tu aprendizaje sobre instalaciones geotérmicas someras?**

- Nada útiles
- Poco útiles

- Neutro
  - Útiles
  - Muy útiles
- 

**6. ¿Cómo influyó esta práctica en tu motivación para aprender sobre sistemas geotérmicos?**

- La disminuyó significativamente
  - La disminuyó ligeramente
  - No hizo diferencia
  - La aumentó ligeramente
  - La aumentó significativamente
- 

**7. ¿Cómo afectó la práctica a tu comprensión de la importancia y función de los rellenos geotérmicos en la eficiencia y durabilidad de las instalaciones?**

- La empeoró significativamente
  - La empeoró ligeramente
  - No hizo diferencia
  - La mejoró ligeramente
  - La mejoró significativamente
- 

**8. ¿Cuáles aspectos de la práctica consideraste más beneficiosos? (Selecciona todos los que apliquen)**

- Comprender la composición y función de los rellenos
  - Uso de tecnología de impresión 3D para fabricación de moldes
  - Realización de ensayos mecánicos y térmicos
  - Aplicación práctica de conceptos teóricos
  - Trabajo colaborativo y resolución de problemas
  - Otros (por favor, especifica)
- 

**9. ¿Qué aspectos de la práctica crees que podrían mejorarse?**

---

**10. ¿Qué recursos o apoyos adicionales consideras útiles para facilitar el aprendizaje en futuras prácticas relacionadas con rellenos geotérmicos?**

---

**11. ¿Cómo describirías tu experiencia general con la práctica de fabricación y ensayo de rellenos geotérmicos?**

- Muy insatisfactoria
- Insatisfactoria
- Neutra
- Satisfactoria
- Muy satisfactoria

---

**12. En una escala del 1 al 5, ¿cómo valorarías la efectividad del proyecto para mejorar tu comprensión y habilidades en relación con los rellenos geotérmicos? (donde 1 es nada efectivo y 5 es muy efectivo)**

---

**13. ¿Recomendarías la realización de esta práctica a futuros estudiantes que cursen asignaturas relacionadas con energía geotérmica o instalaciones térmicas?**

- Definitivamente no
- Probablemente no
- No estoy seguro/a
- Probablemente sí
- Definitivamente sí

---

**14. ¿Te gustaría añadir más sobre tu experiencia con esta práctica?**