



## Realización de prácticas de laboratorio on-line para la asignatura Termotecnia (Grados Ingeniería Mecánica e Ingeniería en Tecnologías Industriales - ETSII - UNED)

María José Montes Pita<sup>a</sup>, Antonio José Rovira de Antonio<sup>a</sup> y Rubén Barbero Fresno<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Ingeniería Energética. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales – Universidad Nacional de Educación a Distancia. Dirección e-mail: [mjmontes@ind.uned.es](mailto:mjmontes@ind.uned.es)

---

### Abstract

*Elementary Heat Transfer (ETSII-UNED) is a semester course in Mechanical Engineering and Industrial Technology Engineering, with 116 registered students (academic year 2014/2015) and high student involvement (a total of 700 messages in the forums of the virtual course during the academic year 2014/2015).*

*The Heat Transfer has a practical approach, and that is why it is required a practical work in the laboratory. Until recently, these works were accomplished by the students in the University campus. Thanks to advances in technology and the large number of resources that are currently available in the UNED, the teachers of this subject made a simulation work that students could perform on-line, to prevent unnecessary journeys, while maintaining its quality, so that students could dimensioning real industrial facilities.*

*It was selected a current and novelty industrial facility, interesting for the students and that could also be modeled using skills that students had acquired in the Heat Transfer course. Specifically, a solar parabolic trough collector was chosen because it satisfied the above requirements and the students could analyze in a practical application the three modes of heat transfer: conduction, convection and radiation.*

**Keywords:** *on-line lab work, heat transfer, parabolic trough collector*

---

### Resumen

*La asignatura Termotecnia (ETSII-UNED) es una asignatura semestral del grado en Ingeniería Mecánica y en Ingeniería en Tecnologías Industriales, con 116 alumnos matriculados (curso 2014/2015) y una muy alta*

*participación (un total de 700 mensajes en los foros del curso virtual durante el curso académico 2014/2015).*

*La asignatura tiene un enfoque práctico, y es por ello que es preciso realizar una práctica obligatoria. Hasta hace relativamente poco, las prácticas se hacían en la sede central. Gracias al avance de la tecnología y al gran número de recursos que actualmente están disponibles en la UNED, los profesores de dicha asignatura se plantearon la posibilidad de que las prácticas pudieran ser on-line, para evitar desplazamientos, pero manteniendo su calidad, de tal forma que el alumno pudiera dimensionar y conocer instalaciones industriales reales.*

*Se eligió una instalación industrial que despertara interés en los alumnos por su actualidad y novedad, y que, además se pudiera modelar aplicando los conocimientos que el alumno había adquirido en la asignatura. En concreto, se eligió un colector solar cilindro parabólico, pues reunía los requisitos anteriormente citados y el alumno podía estudiar en una aplicación práctica los tres modos de transmisión de calor: conducción, convección y radiación.*

***Palabras clave:*** *Prácticas on-line, termotecnia, colector solar cilindro parabólico.*

## **Introducción**

La enseñanza a distancia de la Ingeniería Industrial es un reto que cada vez tiene mejores resultados, gracias a las nuevas tecnologías que permiten acercar el profesorado a los alumnos. En este contexto, cabe destacar todos los recursos que la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) pone al servicio de los estudiantes, mediante cursos virtuales, webconferencias, pruebas de evaluación continua, etc. Haciendo uso de dichas herramientas informáticas y de programas propios, profesores del Departamento de Ingeniería Energética de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) de la UNED han llevado a cabo la virtualización de las prácticas de laboratorio de Termotecnia.

Dicha virtualización ha consistido, básicamente, en desarrollar un programa de modelización y simulación de una instalación industrial real, en este caso, un colector solar cilindro parabólico. Se han diseñado y realizado, asimismo, los guiones de las prácticas, la webconferencia y una sección dentro del curso virtual de la asignatura dedicada a las prácticas virtuales. Como se verá en los resultados, tanto el nivel de participación como el aprendizaje de los alumnos fue elevado.

## 1. Objetivos

El objetivo principal de la propuesta es la realización de las prácticas de laboratorio on-line para la asignatura Termotecnia: *Modelo termofluidodinámico de un colector cilindro parabólico que emplea aceite como fluido de transferencia de calor.*

Para ello se plantearon los siguientes objetivos parciales:

- Realización del material necesario para una webconferencia, con explicaciones detalladas de los sistemas térmicos a estudiar.
- Realización de los programas de modelización necesarios y de los ejecutables que emplearán los alumnos a través del curso virtual.
- Realización del guión de prácticas

## 2. Desarrollo de la innovación

El proyecto consiste en la realización de prácticas de laboratorio on-line para la asignatura Termotecnia (68033034), perteneciente al Grado en Ingeniería Mecánica y al Grado en Tecnologías Industriales de la ETSII – UNED. Para este proyecto de emplearon las siguientes herramientas:

- La plataforma AVIP de la UNED.  
En la plataforma AVIP se realizaron varias webconferencias para explicar los objetivos de la práctica, el funcionamiento de un colector cilindro parabólico y el manejo del programa de simulación que los alumnos se tienen que descargar.  
La plataforma AVIP es una herramienta docente síncrona que permite dar soporte tecnológico a las tutorías y seminarios presenciales e interconectar Centros y Aulas para su funcionamiento en Red. Se trata de una plataforma tecnológica orientada a servicios audiovisuales que permite aprovechar el enorme potencial de la estructura multisede de la UNED. AVIP proporciona la denominada "presencialidad virtual" que consiste en que desde cualquier Centro o Aula se puede acceder a las actividades presenciales de cualquier otro Centro o Aula como si estuviéramos allí.
- El curso virtual de la asignatura Termotecnia.  
El curso virtual de la asignatura es la principal forma de contacto entre el profesor y los alumnos. A través del curso virtual se cuelgan apuntes, problemas, se accede a las clases on-line y se realizan pruebas de evaluación continua. En este caso, se creó una sección dentro del curso virtual dedicada a las prácticas, en la que los alumnos podían bajarse todo el material necesario para realizarlas, así como acceder a las webconferencias grabadas. A través también del curso virtual los alumnos podían mandar el trabajo realizado para su posterior evaluación.

- Programa de simulación Engineering Equation Solver (EES)  
El programa de simulación EES fue adquirido recientemente por el Departamento de Ingeniería Energética de la ETSII-UNED. Este programa reunía las características necesarias para realizar el modelo que se pretendía simular. La programación de dicho modelo fue lo que llevó más trabajo. A continuación se realizó un ejecutable que permitiera a los alumnos su utilización sin necesidad de tener instalado el programa.

A continuación se hace un breve resumen de cada uno de los trabajos que se hicieron hasta tener completa la práctica:

- Realización de un programa ejecutable que modela el colector solar cilindro parabólico.
- Realización de los guiones de prácticas y habilitación de una sección dentro del curso virtual dedicada a las prácticas.
- Realización de la webconferencia, desarrollo y corrección de la práctica.

## **2.1. Realización de un programa ejecutable que modela el colector solar cilindro parabólico.**

Aunque no es el objetivo principal, la creación del modelo de simulación fue lo que llevó más tiempo. Se describe a continuación, de forma muy resumida, en qué consiste dicho modelo, así como la interfaz gráfica del programa.

### *2.1.1. Descripción y modelo del colector solar cilindro parabólico*

Un colector solar es un tipo especial de intercambiador de calor que transforma la energía radiante procedente del Sol en energía térmica. Los colectores se diferencian en varios aspectos de los intercambiadores de calor convencionales. En estos últimos se lleva a cabo normalmente un intercambio de calor fluido a fluido, con altos valores de transferencia de calor, siendo la radiación un fenómeno poco importante. Los colectores solares presentan problemas muy particulares de flujos de energía bajos y variables y gran importancia del fenómeno de radiación.

En cuanto a los colectores de concentración, de menor a mayor razón de concentración, se tiene:

- Sistemas fresnel
- Sistemas cilindro parabólicos.

- Sistemas de torre central.
- Discos parabólicos.



**GEOMETRÍA ÓPTIMA DEL CONCENTRADOR:**  
Paraboloide de revolución que se mueve  
de forma que siempre esté orientado al Sol

Fig. 1 Tipos de colectores solares de concentración

De las cuatro tecnologías de colectores de concentración, esta práctica se centra en el estudio de los colectores cilindro parabólicos y más concretamente aquéllos que utilizan aceite como fluido calorífero en los tubos receptores.

Aunque el programa tiene en cuenta la parte óptica, se centra fundamentalmente en el estudio térmico del receptor de un colector cilindro parabólico, figura 2. El receptor consiste en un tubo absorbedor que a su vez está compuesto por dos tubos concéntricos: uno interior metálico, por el que circula el fluido calorífero, y otro exterior, de cristal. El tubo metálico lleva un recubrimiento selectivo que le proporciona una elevada absorptividad (~94%) en el rango de la radiación solar y una baja emisividad en el espectro infrarrojo (~15%), lo que le proporciona un elevado rendimiento térmico. El tubo de cristal que rodea al tubo interior metálico tiene una doble misión: por un lado, proteger el recubrimiento selectivo de las incidencias meteorológicas, y reducir las pérdidas térmicas por convección en el tubo absorbedor. Este tubo suele llevar un tratamiento antirreflexivo en sus dos caras, para aumentar su transmisividad y, consecuentemente, el rendimiento óptico del colector.

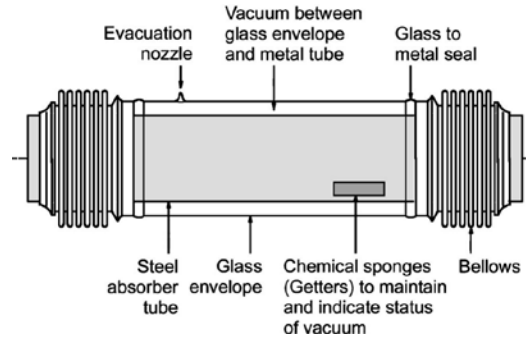


Fig. 2 Esquema del tubo absorbente del colector LS-3  
(Fuente: Flabeg Solar Internacional, <http://www.flabeg.com/index.html>)

Se va a exponer en primer lugar, el balance energético, en condiciones estacionarias, para una sección transversal del colector. En la figura 3 se muestra los flujos de calor que intervienen en dicho balance. La radiación solar concentrada, procedente del concentrador, incide sobre el receptor, y una parte muy pequeña es absorbida en la cubierta ( $\dot{q}'_{5SolAbs}$ ); pero la mayor parte de la radiación pasa a través de la cubierta y, afectada ya por el coeficiente de transmisividad de la misma, es absorbida en el tubo receptor ( $\dot{q}'_{3SolAbs}$ ). Dicha radiación se transmite por conducción a través del espesor del tubo ( $\dot{q}'_{23cond}$ ), para transmitirse luego, íntegramente, por convección al fluido de trabajo ( $\dot{q}'_{12conv}$ ). Lo visto hasta ahora es el camino de la ganancia térmica. Se explica a continuación la parte correspondiente a las pérdidas. Debido a que la pared exterior del tubo absorbente está más caliente que la pared interior de la cubierta y que el fluido gaseoso contenido en el espacio interanular (en el que prácticamente hay vacío), se produce un intercambio radiativo con la cubierta transparente ( $\dot{q}'_{34rad}$ ) y una transmisión de calor por convección con el fluido en el espacio interanular ( $\dot{q}'_{34conv}$ ). Estos dos intercambios de calor van a provocar que la pared interior de la cubierta transparente esté más caliente que la pared exterior. Va a producirse por tanto una transmisión de calor por conducción a través del espesor de la cubierta ( $\dot{q}'_{45cond}$ ) que, junto con la pequeña cantidad de calor absorbida en la cubierta ( $\dot{q}'_{5SolAbs}$ ), se pierde por convección al ambiente  $\dot{q}'_{56conv}$  y por radiación al cielo equivalente  $\dot{q}'_{57rad}$ . Además de estas pérdidas, va a haber una pérdida de calor a través de los soportes que sujetan el tubo a la estructura del colector ( $\dot{q}'_{cond,support}$ ), pero esta va a ser muy pequeña. Como ya se ha dicho al inicio del apartado, el modelo asume que todos los flujos de calor, temperaturas y propiedades térmicas u ópticas son uniformes a lo largo de la misma línea circunferencial en una sección transversal.

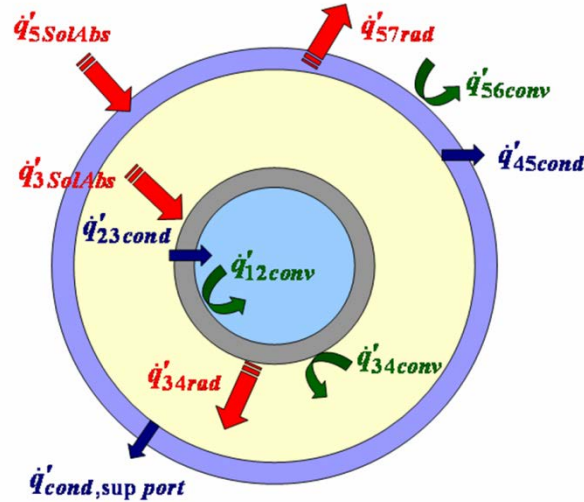


Fig. 3 Balance energético en una sección transversal del receptor de un colector cilindro parabólico

Los balances de energía se determinan aplicando las ecuaciones de conservación de la energía a cada una de las superficies de la sección transversal mostrada en la figura 3. Las ecuaciones correspondientes, ecuación (1.a) a (1.d) se muestran a continuación:

$$\dot{q}'_{12conv} = \dot{q}'_{23cond} \quad (1.a)$$

$$\dot{q}'_{3SolAbs} = \dot{q}'_{34conv} + \dot{q}'_{34rad} + \dot{q}'_{23cond} + \dot{q}'_{cond,support} \quad (1.b)$$

$$\dot{q}'_{34conv} + \dot{q}'_{34rad} = \dot{q}'_{45cond} \quad (1.c)$$

$$\dot{q}'_{5SolAbs} + \dot{q}'_{45cond} = \dot{q}'_{56conv} + \dot{q}'_{57rad} \quad (1.d)$$

Cada uno de los términos de las ecuaciones anteriores se determina mediante correlaciones, más o menos complicadas, que parten de una hipótesis inicial y que precisan por tanto una iteración. El método de convergencia utilizado por el programa es un Runge Kutta de cuarto orden.

### 2.1.2. Descripción de la interfaz gráfica del programa de simulación

El programa hace un cálculo termofluidodinámico del colector cilindro parabólico, usando aceite como fluido de transferencia de calor. En la página principal se sitúan 4 ventanas que permiten introducir datos (figura 4, en azul) y una ventana de resultados (figura 4, rojo).

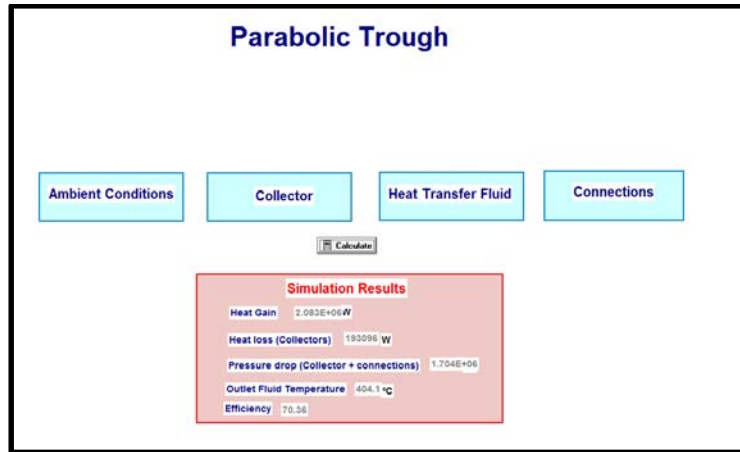


Fig. 4 Ventana principal del programa de cálculo

Cada una de las ventanas azules se puede abrir para introducir o cambiar los datos correspondientes a condiciones ambiente, colector, fluido térmico y conexiones entre colectores:

- Condiciones ambiente (Ambient conditions)

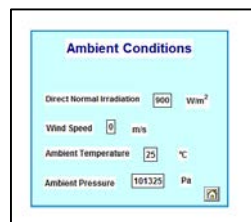


Fig. 5 Ventana de condiciones ambiente

- Colector (Collector)



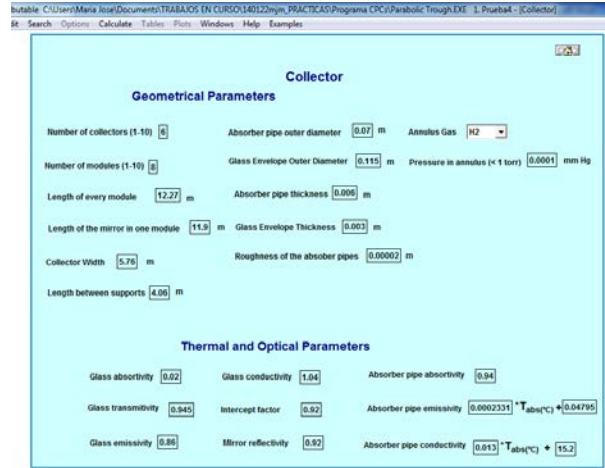


Fig. 6 Ventana de parámetros ópticos y geométricos del colector

- Fluido térmico (Heat Transfer Fluid):

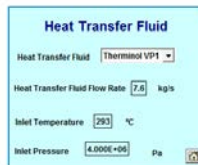


Fig. 7 Ventana de parámetros de trabajo del fluido

- Conexiones entre colectores (Connections between collectors):

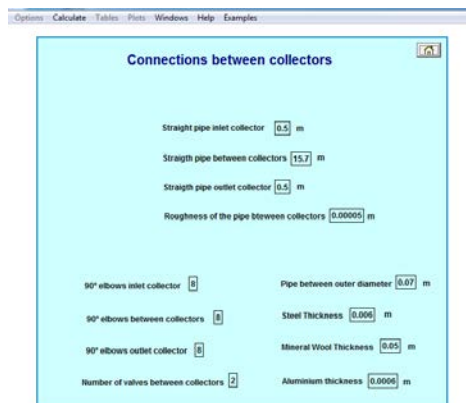


Fig. 8 Ventana para fijar el diseño de las conexiones entre colectores

Las unidades en las que se dan los resultados son las unidades fundamentales del Sistema Internacional (SI). Además de los resultados generales que aparecen la ventana roja, se pueden ver los resultados módulo a módulo y las temperaturas en las secciones transversales del colector. A esos resultados se accede por el menú *Windows* dentro de la barra de menús principal, y dentro de ese menú desplegable, la opción *Arrays*.

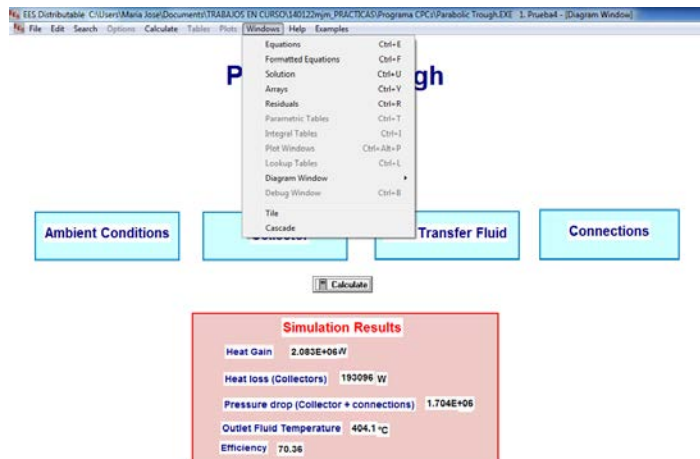


Fig. 9 Resultados (en ventana roja) y acceso a la ventana de arrays

La presentación de los resultados en la ventana de arrays para el caso de que, por ejemplo, se hayan simulados 6 colectores de 8 módulos cada uno sería del siguiente tipo: los 6 colectores se ponen uno a continuación de otro (es decir, son filas), mientras que los módulos de cada colector se ponen en columnas. Las variables aparecen una a continuación de otra, de tal forma que después del módulo 8 viene de nuevo el módulo 1, con otra propiedad (ver la figura 10: están recuadrados en rojo los ocho módulos del colector).

The screenshot shows the 'Arrays Table' window in EES. The table displays the specific heat capacity (CP) for each of the 8 modules of 6 different collectors. The columns are labeled CP1ave,i,1 through CP1ave,i,8, and the rows are labeled [1] through [6]. The values are as follows:

	1	2	3	4	5	6	7	8	CP1n,i,1 [J/kg-K]
[1]	2304	2311	2317	2324	2331	2337	2344	2350	2300
[2]	2356	2362	2369	2375	2382	2389	2395	2402	2353
[3]	2408	2415	2421	2428	2434	2441	2447	2453	2405
[4]	2459	2465	2471	2478	2486	2494	2502	2511	2456
[5]	2519	2527	2535	2543	2551	2559	2567	2575	2514
[6]	2583	2591	2598	2604	2611	2619	2631	2644	2579

Fig. 10 Resultados en la ventana de arrays. En este caso: calor específico medio del fluido para cada uno de los 8 módulos de cada uno de los 6 colectores

## 2.2. Realización de los guiones de prácticas y habilitación de una sección dentro del curso virtual dedicada a las prácticas.

Para la interacción con el alumno se hizo uso del curso virtual de la asignatura. El aspecto del plan de trabajo del curso virtual de Termotecnia es como se muestra a continuación en la figura 11:



Fig. 11 Plan de trabajo de la asignatura Termotecnia

Es decir, al alumno se le facilita el acceso a través del plan de trabajo a las guías de las asignaturas, el foro de consultas generales, el tablón de noticias, etc, y luego se ha dividido dicho plan de trabajo en capítulos, en cada uno de los cuales se han puesto los mismos recursos: texto base, problemas, foro de consulta y webconferencia. Es importante destacar que el diseño concreto de cada curso virtual depende del equipo docente. En este caso se optó por una división por capítulos, con un total de 10 capítulos. Al final del capítulo 10 es donde se habilitó una sección para las prácticas, tal y como se muestra en la figura 12:

---

**PRÁCTICAS ON LINE ( OBLIGATORIAS PARA APROBAR LA ASIGNATURA !!! )**

**MODELO TERMOFLUIDODINÁMICO DE UN COLECTOR CILINDRO PARABÓLICO QUE EMPLEA ACEITE COMO FLUIDO DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

- o **Realización:** Desde el jueves 18 de diciembre a las 10:00 horas
- o **Webconferencia:** **WEBCONFERENCIA PRÁCTICAS**
- o **Guión de la práctica:** **GUIÓN PRÁCTICA: PARTE 1**
- o **Programa de cálculo:** **PROGRAMA DE CÁLCULO**
- o **Cuestionario:** **CUESTIONARIO PRÁCTICA**
- o **Hoja de respuestas:** **RESPUESTAS PRÁCTICAS** (word)
- o **Entrega:** en un pdf, en la siguiente página: **PRACTICAS VIRTUALES** (Desde el 18/12/2014 hasta el 22/02/2015)
- o **Preguntas:** **FORO PRÁCTICAS TERMOTECNIA**

---

Fig. 12 Espacio habilitado en el plan de trabajo para las prácticas virtuales

Como puede verse en la figura 12, a través del plan de trabajo se podía acceder a la webconferencia de las prácticas, al guión de la práctica, al cuestionario que se tenía que responder una vez se hubieran obtenido los resultados de la simulación, y a la plataforma para entregar dicho cuestionario.

### 2.3. Realización de la webconferencia, desarrollo y corrección de la práctica.

Como ya se ha dicho al inicio de este apartado, la webconferencia se realizó a través de la plataforma AVIP de la UNED. Esta plataforma consiste en una pizarra digital, en la que previamente se pueden introducir imágenes, que constituyen el fondo de la pizarra. Sobre dichas imágenes se puede luego escribir (flechas en negro en la figura 13) en tiempo real, según se va explicando a los alumnos. Los alumnos se pueden conectar en el momento o pueden escuchar la webconferencia en diferido. También se pueden hacer preguntas en directo a través de un chat.

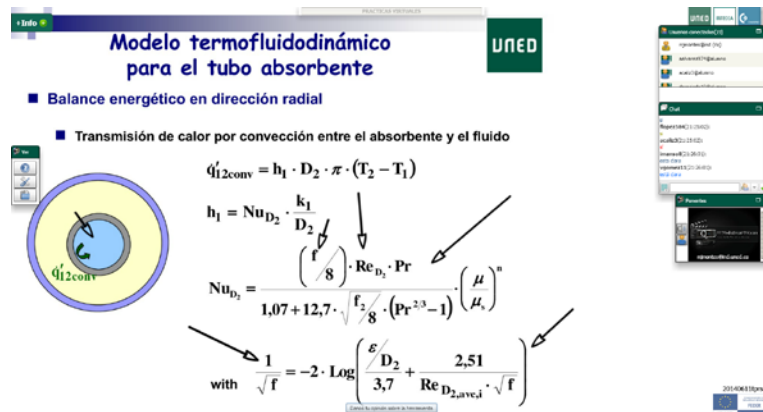


Fig. 13 Ejemplo de un momento de la webconferencia para explicar las prácticas virtuales

La entrega de resultados y las calificaciones de la práctica se hacían también a través del curso virtual, en la entrega de trabajos.

### 3. Resultados

Las prácticas on-line se llevan realizando desde el curso 2013/2014. El resultado ha sido muy satisfactorio, con un alto nivel de participación y entregando los alumnos unos trabajos muy buenos. Durante el curso 2014/2015 había 116 alumnos matriculados, de los cuales entregaron la práctica en febrero un total de 50, que coincide, aproximadamente, con los matriculados que se presentaron al examen. En el curso 2013/2014 había 132 alumnos matriculados, de los cuales presentaron la práctica en la convocatoria de febrero un total de 82.

Dentro de los guiones de las prácticas se decía que en un último apartado el alumno valorase la práctica. Las prácticas están entregadas a través de la plataforma de trabajo, con lo cual se pueden consultar los comentarios de los alumnos. Todos ellos coinciden en que la práctica les ha resultado interesante y novedosa: aunque algunos de ellos habían visto plantas de colectores cilindro parabólicos, nunca habían profundizado en su estudio.

#### 4. Conclusiones

Las principales conclusiones que se extraen de este trabajo son las siguientes:

- Se ha podido realizar una simulación de una instalación industrial real (una planta de colectores cilindro parabólicos), su estudio desde el punto de vista de la transmisión de calor (aplicando los contenidos vistos en la asignatura de termotecnia), todo ello evitando que el alumno se desplace a la sede central y facilitando que el alumno pueda compaginar la realización y entrega de la práctica con su agenda laboral.
- La respuesta del alumno, según queda reflejado en las encuestas y en el trabajo entregado, es muy positiva: los trabajos entregados son de muy buena calidad.

En trabajos posteriores se estudiará la posibilidad de que el alumno pueda simular otro tipo de instalaciones industriales.

#### 5. Referencias

Plataforma AVIP (UNED): <https://www.intecca.uned.es/portavip/index.php>

Engineering Equation Solver (EES) : <http://www.fchart.com/ees/>

FORRISTALL, R., (2003). "Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver", *Report No. NREL/TP-550-34169*, NREL, Colorado.

MONTES, M.J., ABÁNADES, A. y MARTÍNEZ-VAL, J.M. (2010). "Thermofluidynamic model and comparative analysis of parabolic trough collectors using oil, water/steam or molten salt as heat transfer fluids" en *Journal of Solar Energy Engineering*. ASME, Vol 132, Núm 2 (May 2010).

MONTES PITA, M.J., MUÑOZ DOMÍNGUEZ, M. y ROVIRA DE ANTONIO, A. (2014). *Ingeniería Térmica*. Madrid. Editorial UNED.