

COMPARATIVA RESULTADOS ACADÉMICOS ENTRE DIFERENTES PLANES DE ESTUDIOS EN LAS ASIGNATURA CALOR Y FRÍO INDUSTRIAL Y TRANSFERENCIA DE CALOR

MUÑOZ ANTÓN, Javier; ABÁNADES VELASCO, Alberto; FERNÁNDEZ BENÍTEZ, José Antonio; CORROCHANO SÁNCHEZ, Carlos; GONZÁLEZ GARCÍA, Juan Manuel

javier.munoz.anton@upm.es

Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Departamento de Ingeniería Energética

RESUMEN

La adaptación a los nuevos planes de estudios conducentes a la consecución del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) conlleva importantes cambios que se manifiestan tanto en el aprendizaje como en la evaluación. Es en la evaluación donde se ha perseguido hacer un análisis comparativo entre el plan de estudios previo al EEES y el actual en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UPM, con objeto de detectar en que aspectos se ha mejorado con los cambios realizados y en que otros aspectos se ha perdido eficiencia en el proceso de aprendizaje. Para la realización de esta comparación se previó la realización de un ejercicio de evaluación de una asignatura de contenidos comunes para los dos planes de estudio, el previo al EEES (Ingeniero Superior Industrial) y el actual (Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales). Esta actividad se planificó persiguiendo la evaluación de cuestiones muy concretas y fácilmente identificables en la resolución del ejercicio que atendían a diferentes competencias y aspectos específicos de la asignatura, dando lugar en la comparación de las dos muestras a resultados objetivos sobre las mejoras a realizar para poder mantener las virtudes del plan de estudios anterior al EEES y fomentar los puntos fuertes del plan de estudios actual.

Los resultados muestran tendencias similares, habiéndose detectado como resultado más representativo una mayor capacidad de improvisación y creatividad en la muestra del plan de estudios previo al EEES y una mayor capacidad de trabajo mecánico en la muestra del nuevo plan de estudios (EEES). Este resultado, fruto de una metodología objetiva, resulta extremadamente útil a la hora de buscar aspectos a mejorar en la docencia de cualquier asignatura.

Palabras clave: Calor y Frío, Transmisión de Calor, comparación planes de estudio, análisis resultados.

1. Introducción

Con cada nuevo plan de estudios aparecen cambios muy relevantes en la formación que recibe el alumno. Aunque habitualmente se aboga por que estos cambios sean a mejor, en ocasiones ciertos aspectos del aprendizaje se pueden quedar por el camino. Un ejemplo claro es la reducción de horas de docencia de una asignatura en la que los descriptores de la orden ministerial que la afecte exige que se cumplan los mismos contenidos sino más. Este caso concreto suele conducir a un aprendizaje con una menor profundidad en ciertos conceptos, que en el extremo puede llegar a realizar un aprendizaje puramente superficial, sin llegar a alcanzar el verdadero conocimiento de la temática.

Ante esta preocupación surge habitualmente la necesidad de comparar los resultados de alumnos de diferentes planes de estudios, con objeto de determinar qué aspectos se han potenciado y cuales se han limitado, pero esta labor resulta realmente compleja, aunque no imposible.

Se plantea en este trabajo una metodología para poder comparar distintas muestras de alumnos respecto conocimientos muy concretos. La forma de hacerlo pasa por la realización de un mismo ejercicio que ha sido preparado para evaluar capacidades muy concretas y de forma inequívoca, evitando así los sesgos de una evaluación subjetiva.

La metodología ha sido plantear a dos grupos de estudiantes de ingeniería industrial de la ETSII-UPM, un primer ensayo con la resolución del mismo problema de la asignatura de especialidad, Calor y Frío industrial, y posteriormente atendiendo a muestras mayores en una asignatura común a toda la titulación, Transmisión de Calor. Las muestras seleccionadas han sido, en ambos casos, la tercera promoción de su plan de estudios, considerando exclusivamente a los alumnos que se enfrentaban al examen de esta asignatura por segunda vez (convocatoria extraordinaria) cuando se habían presentado durante el mismo curso en la convocatoria ordinaria

2. Metodología

Atendiendo al objetivo propuesto, analizar dos muestras respecto a los mismos conceptos a través de un mismo problema de examen, se han seguido los siguientes pasos:

- Registro pormenorizado del resultado de un problema de examen de la convocatoria extraordinaria de curso de alumnos del plan de estudios estructurado en 5 años (curso 13/14) que se habían presentado previamente a la convocatoria ordinaria y a ninguna más (sus resultados se ilustran como '#1').
- Registro pormenorizado del resultado del mismo problema de examen de la convocatoria extraordinaria de curso de alumnos del plan de estudios de grado, estructurado en 4 años (curso 13/14) que se habían presentado previamente a la convocatoria ordinaria y a ninguna más (sus resultados se ilustran como '#2').

3. Ejercicio considerado

El enunciado del ejercicio considerado atiende a la temática de intercambiadores de calor y ciclos de refrigeración tal y como se recoge en el siguiente en el punto 3.1, indicándose la solución y los conceptos evaluados en el apartado 3.2.

3.1. Enunciado

Una enfriadora de agua funciona mediante un ciclo de compresión mecánica simple con R134a. En dicho ciclo el agua entra al evaporador a 15°C y se desea que disminuya su temperatura 5°C cuando el caudal es 10m³/h y el R134a abandona el evaporador como vapor saturado.

- a) Dibuje el esquema térmico del intercambiador
- b) Determine área de intercambio requerida

Se aprovecha el calor que evacúa el condensador en un sistema de calefacción. Teniendo en cuenta que el refrigerante sale del condensador como líquido saturado y a 50°C:

- c) Dibuje en el esquema adjunto la evolución del fluido en el ciclo de refrigeración
- d) COP de la instalación completa

NOTA: Indique las hipótesis utilizadas en la resolución del problema

DATOS: Coeficiente de película del agua en el evaporador: 1000 W/(m²K); Coeficiente de película del R134a en el evaporador 700 W/(m²K); Espesor de los tubos 1mm; Conductividad 40 W/(m·K); Temperatura de saturación del evaporador 0°C

3.2. Solución

- a) Dibuje el esquema térmico del intercambiador

Se trata de un intercambiador en el que se busca enfriar el agua mediante un equipo de compresión mecánica simple, por lo que el enunciado se refiere al proceso térmico que aparece en el evaporador del sistema de refrigeración, que será un intercambiador en el que el fluido frío (agua) disminuye su temperatura, y el fluido frío (R134a), por los datos del enunciado hierve hasta alcanzar el título de vapor máximo, 1 (vapor saturado). Eso significa que el esquema térmico atiende a una composición como la de la siguiente figura (asumiendo que las variables del problema no varían con la temperatura):

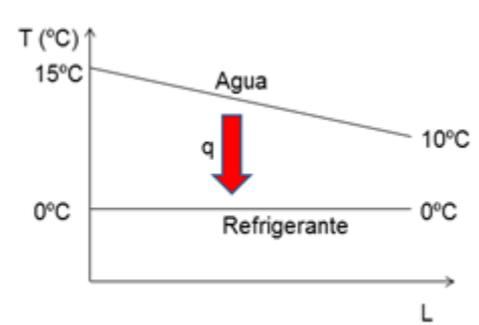


Figura 1: Esquema térmico del intercambiador.

Lógicamente, la evolución del agua se realiza a temperaturas superiores a la del refrigerante, por los datos del enunciado y para que se produzca el fin buscado: enfriar el agua.

- b) Determine área de intercambio requerida

Para el cálculo del área se debe utilizar el balance de termotransferencia: $q = U \cdot A \cdot \Delta T_m$

Donde $\Delta T_m = \Delta T_{lm} \cdot F$, donde F=1 cuando uno de los fluidos sufre cambio de fase, como es el caso. Con los datos indicados en el diagrama del apartado a) se obtiene el valor de $\Delta T_m = \Delta T_{lm} \sim 12,3^\circ C$

El cálculo del coeficiente global de transferencia se obtiene como el inverso de la suma de las resistencias térmicas que existen entre el fluido caliente y el frío (para la resistencia asociada a la pared del tubo se asume la simplificación de pared fina).

Con estos dos valores resta conocer la energía intercambiada para poder despejar el área, para lo que se hace uso del balance de energía aplicado al caudal de agua: $q = \dot{m} \cdot Cp \cdot \Delta T_{agua}$

Donde: $\dot{m} \sim 2,78 \text{ kg/s}$, $Cp \sim 4,18 \text{ kJ/kg}$, $\Delta T_{agua} = 5^\circ C$, por lo que $q \sim 58 \text{ kW}$ y $A \sim 11,6 \text{ m}^2$.

- c) Dibuje en el esquema adjunto la evolución del fluido en el ciclo de refrigeración

Con los datos del enunciado se deduce que:

- La salida del evaporador es vapor saturado a 0°C, temperatura en la que funciona la totalidad de este elemento.

- La salida del condensador es líquido saturado a 50°C. La entrada al condensador se corresponde la intersección de la isóbara cuya temperatura de saturación es 50°C y la isoentrópica de la salida del evaporador, pues se asume que el compresor es ideal.

- Teniendo en cuenta que el ciclo de refrigeración es de compresión simple, el fluido va de la salida del condensador a la entrada al evaporador a través de una válvula de laminación que se asume isoentálpica.

Con estos razonamientos se construye el diagrama P-h del ciclo (figura 2) y se obtienen los valores aproximados que se muestran en la tabla 1.

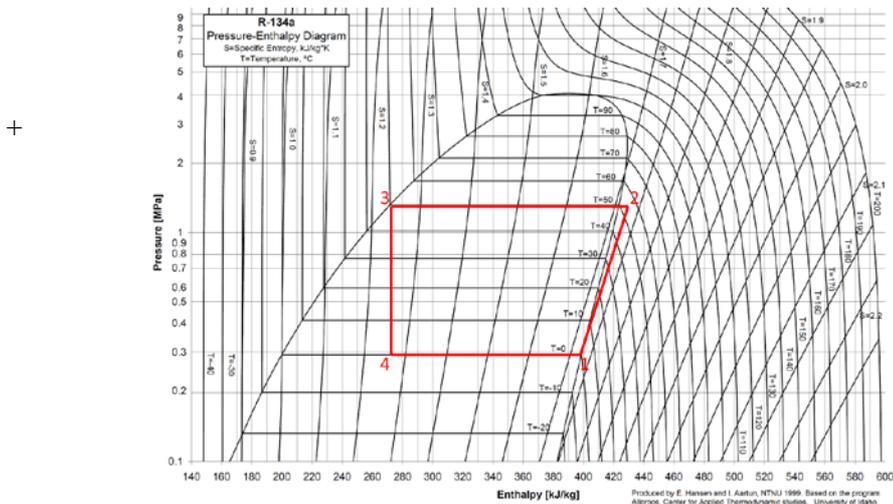


Figura 2: Diagrama P-h del ciclo considerado.

Tabla 1: Valores característicos del ciclo frigorífico considerado.

	P [MPa]	T [C]	s[kJ/kg-C]	h[kJ/kg]
1	0,29	0	1,72	430
2	1,32	55	1,72	395
3	1,32	50		270
4	0,29	0		270

d) Coeficiente de eficiencia energética en calefacción y coeficiente de eficiencia energética en evaporación

A partir de los datos de la tabla de datos construida a la par que el diagrama del ciclo, resulta directa la obtención de los parámetros pedidos: $CEE_C \sim 5$; $CEE_E \sim 4$; $COP_{total} \sim 9$

3.3. Resultados y análisis

En la evaluación de estas pruebas se han perseguido diversos conceptos de gran relevancia, en función de la tabla de correspondencias mostrada en la tabla 2.

Tabla 2: Resumen de los conceptos evaluados con las muestras #1 y #2.

	Apartado del examen	Descripción	Consideración	Notas
a	a	Diagrama térmico intercambiador	Básico de la asignatura	Aspecto básico de los intercambiadores de calor
b	b	Balance de energía a uno de los fluidos del intercambiador igualado al de termotransferencia	Conocimientos previos	Visto por los alumnos en asignaturas de cursos anteriores
c	b	Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor U	Conocimientos previos	Visto por los alumnos en asignaturas de cursos anteriores
d	b	Indicar explícitamente que se utiliza la hipótesis de pared plana	Comprensión de lo que se está haciendo y de lo que pide el enunciado	Todos los alumnos consideraron la hipótesis de pared plana
e	b	Cálculo de la temperatura logarítmica media	Importante	Concepto básico de la teoría de intercambiadores de calor
f	b	Obtención numérica del área del cambiador	Operación aritmética	Operación de cálculo
g	c	Representación en diagrama P-h de la evolución del refrigerante del ciclo	Básico de la asignatura	Muestra conocimientos básicos de la teoría de producción de frío
h	d	Lectura correcta de los valores correspondientes con los puntos característicos del ciclo representado	Básico de la asignatura	Muestra conocimientos básicos de la teoría de producción de frío
i	d	Cálculo de los coeficientes de eficiencia energética del ciclo	Importante	Operación de cálculo
j	d	Indicar explícitamente que se ha considerado compresor isoentrópico	Comprensión de lo que se está haciendo y de lo que pide el enunciado	Todos los alumnos consideraron el compresor isoentrópico

En base a la disquisición que indica la tabla 2, se ha estudiado el resultado del ejercicio para las dos muestras consideradas, encontrándose resultados muy interesantes como muestra la representación de la Fig. 3.

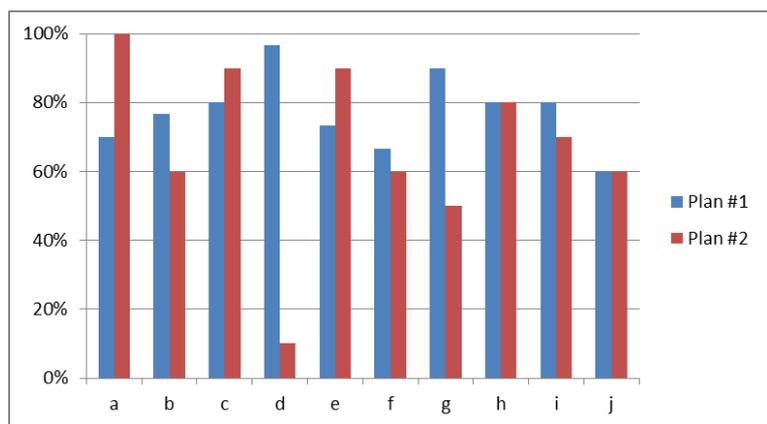


Figura 3: Porcentaje de alumnos que llevan a cabo de forma correcta cada uno de los ítems propuestos para el ejercicio común de las muestras #1 y #2.

El resultado de la Fig.3 muestra discrepancias y similitudes en la asimilación de ciertos conocimientos. El más reseñable es la consecución del objetivo denominado ‘d’, referido a ‘Indicar explícitamente que se utiliza la hipótesis de pared plana’ en el cálculo del coeficiente global de transmisión de calor. La muestra denominada #1 obtiene un resultado mucho más positivo que la denominada #2, lo que se puede interpretar como que el alumnado #2 tiene una mayor tendencia a

prestar menor atención a la profundidad de los conceptos que usa en favor de una mayor facilidad para el trabajo mecánico (por los resultados asociados al concepto ‘a’), mientras que la muestra #1 tiene una mayor profundidad de conocimiento en cuanto a los cimientos de las herramientas que utiliza y menor tendencia al desarrollo mecánico del trabajo en relación con los dos ítems considerados (‘a’ y ‘d’). El concepto denominado ‘g’ presenta también una discrepancia considerable entre las dos muestras ‘Representación en diagrama P-h de la evolución del refrigerante del ciclo’, este concepto se asocia con la aplicación del fundamento de la teoría de frío, el cual se puede relacionar con la aseveración obtenida de los resultados de los ítems ‘a’ y ‘d’ en el sentido de la asimilación de conceptos básicos para reaccionar ante diferentes escenarios: la representación en un diagrama P-h depende de la capacidad de interpretación de la descripción de un ciclo frigorífico, por lo que la profundidad del conocimiento que muestra #1 se manifiesta como lo hacía en el concepto ‘d’, en detrimento de la muestra #2.

4. Otras experiencias

A la vista de los resultados anteriores se llevó a cabo el mismo tipo de estudio con dos muestras no especialistas de una asignatura común en ambos planes de estudio (transferencia de calor) con la misma filosofía: la asociada al plan de 5 años se denomina #3 y la del grado #4. En este caso los resultados se muestran en la Fig. 4, y la descripción de ítems en la tabla 3, haciendo referencia exclusivamente a los que muestran mayor discrepancia.

4.1. Enunciado

Un tubo de acero inoxidable por el que circula agua caliente presurizada para un proceso industrial ha quedado expuesto durante unas obras de mejora al ambiente exterior. Se sabe que en estas condiciones el agua entra a la tubería a 250°C y sale de ella a 210°C, con una velocidad de 2m/s.

- 1) Determine las pérdidas térmicas de la tubería al ambiente exterior
- 2) Determine el coeficiente de película exterior (h_{cv}) de la tubería

Debido a que las obras durarán varios días, se decide aislar la tubería para minimizar las pérdidas térmicas con una coquilla de 40mm de espesor. Por simplicidad, considere los coeficientes de película interior (h_i) y exterior combinado convección-radiación (h_{CR}) del primer apartado:

- 3) Determine la nueva temperatura de salida del agua de la tubería con el aislante instalado
- 4) Determine las pérdidas térmicas de la tubería al ambiente exterior con el aislante instalado

Datos: Ambiente exterior: $T_\infty = -10$ °C; Coeficiente de película interior: $h_i=2500$ W/m²·°C; Tubo de acero inoxidable: $k_a=40$ W/m·°C; $\epsilon_a=0,9$; $L=20$ m; $D_e=40$ mm; $D_i=36$ mm; Coquilla: $e_c=40$ mm; $k_p=0,05$ W/m·°C; Agua: $C_p=4818$ J/kg·°C; $\rho=804$ kg/m³

4.2. Solución

- 1) Mediante un balance de energía se pueden determinar las pérdidas térmicas conocidas temperaturas y caudal a través de la velocidad:

$$\dot{m} = \rho \cdot A_c \cdot v = 804 \cdot \pi \cdot \frac{0,018^2}{4} \cdot 2 = 1,636 \frac{kg}{s}$$

$$q_1 = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_e - T_s) = 315,2 kW$$

- 2) Igualando el anterior balance de energía con el de termotransferencia se puede obtener el coeficiente de película combinado convección – radiación:

$$q_1 = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_e - T_s) = 315,2 kW = \frac{T_{b1} - T_\infty}{R_t}$$

Donde T_{b1} es la temperatura media en masa del fluido en la tubería y R_t es la resistencia térmica total desde el fluido hasta el exterior.

$$R_t = \frac{1}{\pi \cdot L \cdot D_i \cdot h_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_a} + \frac{1}{\pi \cdot L \cdot D_i \cdot h_{CR}}$$

La única incógnita es h_{CR} , que a su vez se puede escribir como $h_{CR}=h_{CV}+h_{RD}$

De esta forma se puede obtener que $h_{CR} = 706 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, pero no es el resultado pedido, no obstante se puede utilizar para obtener T_{ae} temperatura exterior del tubo de acero.

$$q_1 = \pi \cdot D_e \cdot L \cdot h_{CR} \cdot (T_{ae} - T_\infty) = \pi \cdot D_e \cdot L \cdot (h_{CV} + h_{RD}) \cdot (T_{ae} - T_\infty) \Rightarrow T_{ae} \sim 168^\circ \text{C}$$

3) La nueva temperatura de salida con el aislante es paso previo e indispensable para conocer la cuantía de las pérdidas térmicas de esta nueva configuración:

$$q_2 = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_e - T_{s2}) = \frac{T_{b2} - T_\infty}{R_{t2}} \quad (1) \quad R_{t2} = \frac{1}{\pi \cdot L \cdot D_i \cdot h_i} + \frac{\text{Ln}(D_e/D_i)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_a} + \frac{\text{Ln}(D_e + e_c/D_e)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_a} + \frac{1}{\pi \cdot L \cdot D_e \cdot h_{CR}}$$

$$T_{b2} = \frac{T_e + T_{s2}}{2} \quad (2)$$

De las ecuaciones (1) y (2) con el nuevo valor de la resistencia térmica global se obtiene la temperatura buscada, $T_{s2}=249,8^\circ\text{C}$

4) Con la temperatura del apartado anterior resulta sencillo obtener el valor de las pérdidas térmicas de la tubería con coquilla aislante a partir de la expresión (1): $q_2=1,5\text{kW}$

4.3. Resultados y análisis

De forma análoga a lo indicado en el epígrafe 3.3, en la evaluación de estas pruebas se han perseguido diversos conceptos de gran relevancia, en función de la tabla de correspondencias mostrada en la tabla 3.

La mayor discrepancia aparece en los ítems ‘f’ y ‘g’. El ítem ‘f’ se refiere a la aplicación de la mecánica de trabajo básica de la asignatura, obteniendo mejores resultados los alumnos de la muestra #4, mientras que en el ítem ‘g’, que requiere de una visión más general y de algo de ingenio para su resolución, el alumnado de la muestra #3 obtiene un mejor resultado, lo que resulta coherente con las deducciones del epígrafe 3.

Tabla 13: Resumen de los conceptos evaluados con las muestras #3 y #4

	Apartado del examen	Descripción	Consideración	Notas
a	1	Relacionar el caudal con la velocidad del fluido la sección recta de paso	Conocimientos previos	Visto por los alumnos en asignaturas de cursos anteriores
b	1	Determinación del caudal mediante balance de energía a uno de los fluidos	Conocimientos previos	Visto por los alumnos en asignaturas de cursos anteriores
c	2	Balance de energía al fluido igualando al balance de termotransferencia	Conocimiento básico de la asignatura	Procedimiento habitual en la asignatura
d	2	Relación del calor intercambiado con el coeficiente combinado de calor	Conocimiento importante de la asignatura	Aplicación teórica del coeficiente de película combinado
e	2	Obtención de la temperatura exterior el acero	Operación de cálculo	Habilidad con el uso de la calculadora

f	2	Obtención del coeficiente de película convectivo exterior	Determinar la relación entre el balance de energía y las formas de transmisión de calor	Aplicación de la mecánica de trabajo de la asignatura
g	3	Planteamiento del sistema de ecuaciones anterior con el nuevo aislante	Necesidad de relacionar todos los elementos del problema	Necesidad de cierto ingenio por parte del alumno
h	3	Obtención de la nueva temperatura superficial	Aplicación de la teoría básica de la asignatura y cálculo	Muestra conocimientos básicos de aplicación de la teoría de la asignatura
i	4	Obtención de las nuevas pérdidas térmicas	Relacionar los valores obtenidos con el objetivo general del problema	Operación de cálculo

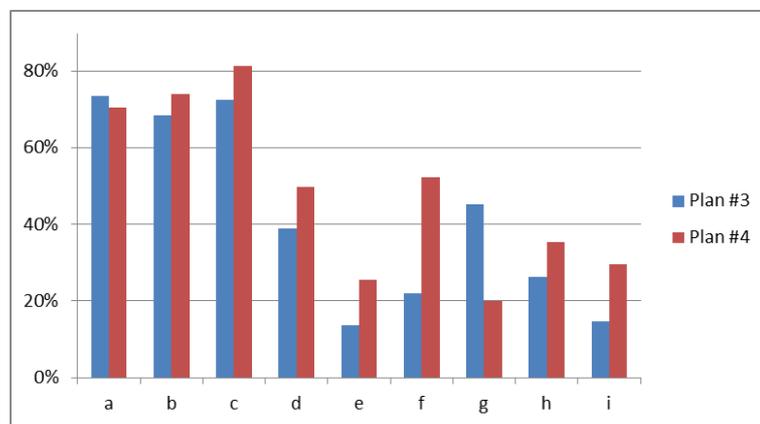


Figura 4: Porcentaje de alumnos que llevan a cabo de forma correcta cada uno de los ítems propuestos para el ejercicio común de las muestras #3 y #4.

5. Conclusiones y consideraciones finales

Los resultados muestran tendencias similares, habiéndose detectado como resultado más representativo una mayor capacidad de improvisación y creatividad en las muestras del plan de estudios previo al EEES y una mayor capacidad de trabajo en la muestra del nuevo plan de estudios (EEES). Este resultado, fruto de una metodología objetiva, resulta extremadamente útil a la hora de buscar aspectos a mejorar en la docencia de cualquier asignatura.

Se considera que la metodología utilizada es suficientemente válida como punto de partida para una mejor evaluación de la evolución de los conocimientos del alumno con el tiempo, no sólo para comparar planes de estudios diferentes, también para comprobar qué mejoras docentes cumplen con objetivos seleccionados de la materia considerada y cuáles no. La realización de esta actividad condujo a interesantes resultados entre los alumnos de especialidad ‘Energía’, motivo por el que posteriormente se exportó a una asignatura común, Transmisión de Calor’, de la cual también se muestran resultados.