

## APRENDIZAJE POR INVESTIGACIÓN EN PRÁCTICAS DE PROPIEDADES PVT DE FLUIDOS EN TERMODINÁMICA

MONTERO GARCÍA, Eduardo <sup>(1)</sup>, GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, María Jesús <sup>(1)</sup>

AGUILAR ROMERO, Fernando <sup>(1)</sup>

emontero@ubu.es

<sup>(1)</sup>Universidad de Burgos, Escuela Politécnica Superior. Departamento de Ingeniería Electromecánica

### RESUMEN

El trabajo práctico y, en particular, la actividad de laboratorio, constituye un hecho diferencial propio de las enseñanzas científico-técnicas. Existe un consenso amplio entre profesores, alumnos, y profesionales en considerar el trabajo en los laboratorios como un elemento fundamental para la formación de los ingenieros. Aunque existe un acuerdo general respecto de una valoración positiva de las prácticas de laboratorio en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las enseñanzas científico-tecnológicas universitarias, ha habido poco análisis sistemático de lo que puede ser alcanzado en los laboratorios. A veces los trabajos prácticos de ingeniería habituales no familiarizan a los estudiantes, ni siquiera mínimamente, con la metodología científica, son muy rutinarios y se realizan de una manera bastante desvinculadas de las restantes actividades de la materia (teoría, problemas y laboratorio se plantean de forma independiente). Podemos cuestionar si son consistentes con el rol profesional del ingeniero y con un modelo de aprendizaje significativo coherente.

En este trabajo se aborda el aprendizaje en las prácticas de Termodinámica en titulaciones de ingeniería. Se propone reformular su orientación y realización, de modo que las cuestiones se aborden con tratamientos más acordes con el método científico, se brinde una imagen más correcta de la naturaleza de la metodología y del conocimiento científico-técnico, se favorezca una adecuada comprensión del proceso, y se estimulen las motivaciones y actitudes positivas hacia la disciplina y hacia su aprendizaje. Se presenta un caso de estudio sobre aprendizaje por investigación en prácticas experimentales acerca de las propiedades PVT de los fluidos en materias de Termodinámica en titulaciones de grado en ingeniería. Se ha realizado un estudio comparativo mediante cuestionarios ex-ante y ex-post de conocimiento y comprensión sobre un total de 97 estudiantes en el curso académico 2013-14. Los resultados indican una mejora sustancial en el aprendizaje de nuevos conceptos sobre el comportamiento líquido-vapor de los fluidos, así como la destrucción de preconcepciones erróneas sobre el mismo fenómeno.

**Palabras clave:** aprendizaje por investigación, termodinámica.

## 1. Introducción. El aprendizaje por investigación.

El trabajo práctico y, en particular, la actividad de laboratorio, constituye un hecho diferencial propio de las enseñanzas científico-técnicas. Existe un consenso amplio entre profesores, alumnos, y profesionales en considerar el trabajo en los laboratorios como un elemento fundamental para la formación de los ingenieros. Los planes de estudio de las facultades de ciencias y de ingeniería programan un buen número de horas denominadas “prácticas” en sus planes de estudio y existe un acuerdo general respecto de una valoración positiva de las prácticas de laboratorio en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las enseñanzas científico-tecnológicas universitarias. Sin embargo, el análisis sistemático de lo que puede ser alcanzado en los laboratorios es más bien escaso y se refiere muchas veces a la disciplina científica particular más que al fenómeno de aprendizaje [1]. A veces los trabajos prácticos de ingeniería habituales no familiarizan a los estudiantes, ni siquiera mínimamente, con la metodología científica, son muy rutinarios y se realizan de una manera bastante desvinculadas de las restantes actividades de la materia (teoría, problemas y laboratorio se plantean de forma independiente). Podemos cuestionar si son consistentes con el rol profesional del ingeniero y con un modelo de aprendizaje significativo coherente.

En muchos casos los estudiantes realizan las prácticas sin tener una idea clara de lo que están haciendo [2, 3] y no son capaces de relacionar los conceptos y los fenómenos involucrados en el experimento [4]. Asimismo los profesores universitarios, centrados principalmente en la actividad investigadora (ya que es la que más se valora para la progresión profesional en las universidades), apenas reflexionan sobre las funciones y los objetivos de las prácticas de laboratorio que plantean a sus alumnos. Más bien, aferrados a sus preconcepciones, adjudican los fallos y la poca efectividad de las prácticas a una falta de estudio, de preocupación o de interés de los estudiantes. Cabe, sin embargo, plantearse si no estarán involucrados, también, los planteamientos didácticos (normalmente implícitos) que se utilizan habitualmente en los laboratorios.

El modelo didáctico vigente en las universidades, incluso en aquellas que pretenden orientar su enseñanza hacia un aprendizaje centrado en el estudiante, parece transmitirse como parte de una tradición sobre la que raramente se reflexiona críticamente. En muchos casos, las prácticas de laboratorio se limitan a “recetas” que se plantean en forma descontextualizada y desproblematizada y se realizan de una manera mecánica e irreflexiva. Un estudio realizado sobre el enunciado de 500 prácticas de laboratorio de nivel universitario así lo atestigua, reveló que ninguna permitía a los estudiantes reconocer problemas, diseñar experimentos, ni seleccionar métodos o materiales [5].

El aprendizaje por investigación consiste esencialmente en plantear el aprendizaje del estudiante como si de una actividad de investigación se tratará [1, 2, 6]. Es fundamental que el interés de la investigación/aprendizaje a realizar esté bien contextualizado dentro del contexto de aprendizaje. La situación planteada debe contener un alto grado de novedad respecto de las concepciones previas del estudiante. Y el estudiante debe tratar de resolver el problema planteado partiendo de su conocimiento inicial, buscando e indagando el nuevo conocimiento que debe adquirir. La metodología puede ser totalmente abierta o puede estar moderada y orientada por el profesor. Se presenta un caso de estudio sobre aprendizaje por investigación [2] en prácticas experimentales acerca de las propiedades *PVT* de los fluidos en materias de Termodinámica en titulaciones de grado en ingeniería. Se ha realizado un estudio comparativo mediante cuestionarios ex-ante y ex-post de conocimiento y comprensión sobre un total de 97 estudiantes en el curso académico 2013-14.

## 2. El equipo para el trabajo experimental PVT y los objetivos de aprendizaje

En el laboratorio de Termodinámica de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Burgos se dispone de un banco de ensayo de la empresa Phywe Systeme GbmH [7], que permite la determinación experimental del comportamiento presión – volumen – temperatura de una sustancia pura, en particular la determinación experimental del punto crítico de la sustancia y la medida de curva de presión de vapor. El equipo puede ser llenado con varias sustancias, siempre que tengan su punto crítico a una presión inferior a  $50 \cdot 10^5$  Pa y a una temperatura inferior a  $55^\circ\text{C}$ , que son los límites de

seguridad recomendados por el fabricante. En el caso que se describe a continuación se ha utilizado hexafluoruro de azufre,  $\text{SF}_6$ , que presenta su punto crítico a  $38 \cdot 10^5$  Pa y  $45^\circ\text{C}$  aproximadamente. El recipiente que contiene el fluido objeto de ensayo es translúcido, según se ve en la Figura 1, lo que permite observar visualmente la transición líquido-vapor.

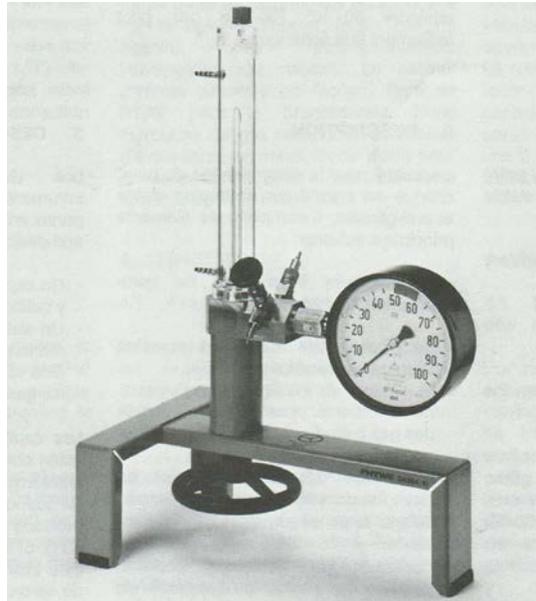


Figura 1: Equipo experimental para el estudio del comportamiento *PVT* de una sustancia .

El equipo de laboratorio está formado por un tubo graduado que contiene el gas con el que vamos a realizar el experimento. El volumen y la presión de este gas se controlan mediante el volante situado en la parte inferior del soporte de metal sobre el que está situado el tubo. El giro de este volante hace subir una columna de mercurio que comprime el gas. La presión se mide mediante el manómetro colocado sobre el soporte. El tubo graduado está rodeado por una camisa de agua conectada a un baño termostático. Una vez alcanzado el equilibrio térmico, se puede tomar la medida de la temperatura del agua como equivalente a la temperatura del gas. Se puede controlar el volumen del gas encerrado girando el volante y medir el volumen del gas en la columna graduada. Es importante para la correcta realización de la práctica que tanto la presión como el volumen y la temperatura del gas estén estabilizados mientras se toman las medidas. Habitualmente se mantiene una de las variables fija (por ejemplo, la temperatura) viendo la relación existente entre las otras dos (volumen y presión).

Los objetivos de aprendizaje que se pueden alcanzar con este equipo son: (i) determinar la dependencia mutua de las variables de estado *PVT* para el fluido contenido en un volumen variable al modificar la presión y la temperatura; (ii) distinguir experimentalmente las propiedades de una sustancia pura en las diferentes zonas de operación, y (iii) obtener de la curva de vaporización (*P-T*) y el diagrama (*P-V*) de una sustancia pura. Este trabajo práctico sirve para asentar en el estudiante el concepto de ecuación de estado térmica y para correlacionar visualmente el significado de la terminología propia del cambio de fase líquido-vapor (vapor saturado, líquido saturado, vapor sobrecalentado, líquido subenfriado, punto crítico, etc.) con la descripción habitualmente contenida en los libros de Termodinámica para ingenieros.

### 3. Planteamientos para el aprendizaje del comportamiento *PVT*

Inicialmente, este equipo se ha utilizado en la enseñanza de la Termodinámica fundamental que se cursa en los años iniciales de las titulaciones de ingeniería industrial, tanto en Ingeniería Mecánica, como en Ingeniería Electrónica Industrial. En una sesión de 2 horas, los estudiantes, en grupo de 3 o 4 personas, realizaban una sesión experimental con el equipo tras recibir una breve explicación de su manejo por parte del profesor. El estudiante tenía a su disposición con antelación el guion de la sesión, con el enunciado de los objetivos a conseguir al final de la misma, la descripción de manejo del

equipo, las prescripciones de seguridad, y un modelo de tabla para rellenar a medida que iban tomando mediciones, según la Tabla 1. Para la evaluación, cada grupo de estudiantes había de entregar un informe escrito, conforme a las directrices del guion. Como el tiempo disponible era muy reducido y, dado que los estudiantes enfrentaban por primera vez el aparato, se les recomendaba mantener una variable constante, la temperatura, y anotar los valores de presión conforme se modificaban los valores de volumen, de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 11: Modelo de tabla para recogida de datos experimentales.

	T=20°C	T=25°C	T=30°C	T=35°C	T=35°C	T=40°C	T=45.5°C
V/ml	P/bar						

Como se ha descrito, en este enfoque, toda la actividad estaba planificada por el profesor, en aras de conseguir la realización experimental en un tiempo de 2 horas con un aparato que era inicialmente desconocido por los estudiantes. Como esta práctica se desarrollaba simultáneamente con otras en el mismo laboratorio, el profesor de prácticas disponía de un tiempo muy limitado para discutir con los alumnos los resultados a medida que se iban produciendo. Las intervenciones del profesor se solían limitar a la descripción inicial, la comprobación puntual de que los alumnos manejaban el equipo dentro de los límites de seguridad y a una supervisión somera de los resultados obtenidos al final de la misma. Esta sesión de comportamiento *PVT* de las sustancias, si bien se correspondía con explicaciones en el aula sobre la ecuación de estado  $F(PVT)=0$  y su aplicación a gases y líquidos, no estaba necesariamente coordinada en el tiempo con las explicaciones del aula.

El resultado observable, en términos de aprendizaje del estudiante, en varios cursos anteriores a 2012 se puede resumir en los siguientes apartados: (i) Los informes de esta práctica se limitaban a la transcripción de la tabla de datos suministrada por el profesor una vez completada, su correspondiente diagrama (*P-V*), y a unos breves párrafos descriptivos del método y de conclusiones, muchos de ellos copiados de libros de texto, en su momento y, más recientemente, de direcciones de Internet; (ii) En las clases de aula, de todos modos, era necesario volver a reproducir gráficamente las gráficas tridimensionales (*P-V-T*) y sus proyecciones planas, (*P-V*) y (*P-T*), con indicación de la nomenclatura específica (vapor húmedo, etc.), dada la no correspondencia temporal con las sesiones de los estudiantes en el laboratorio.

En consecuencia, resultaba dudoso que la realización de la práctica experimental alcanzase los objetivos de aprendizaje pretendidos, en el sentido de: (i) El informe de resultados podía no reflejar el verdadero aprendizaje del estudiante sobre el comportamiento *PVT*, al ser un informe a posteriori con abundancia de procesos de copiar y pegar contenidos; (ii) La pretensión de introducir el método experimental como un modo de aprendizaje útil para el ingeniero quedaba muy limitada al ser el profesor quien determinaba de antemano toda la operativa: los procesos de observación, toma de datos y elaboración de resultados. En los informes se observaba con muy elevada frecuencia ausencia de discusión matemática de los resultados (continuidad, ajustes de curvas, etc.), interpretaciones en términos de comportamiento molecular, relación de los fenómenos térmicos con otros mecánicos u ópticos, extrapolación de las conclusiones del caso práctico a otros más generales, etc.; (iii) No había ninguna medición del grado de crecimiento del conocimiento del estudiante como diferencia entre lo sabido antes y después de la realización práctica y, sobre todo, de si este conocimiento se asentaba en bases sólidas y no en ideas mal asentadas en la formación anterior (por ejemplo, la creencia de que la ebullición de un líquido sucede en todo el intervalo posible de presión y temperatura, como la fusión de un sólido; o que la temperatura de ebullición es una constante del líquido, etc.); (iv) La definición de objetivos de la sesión era puramente académica, sin un contexto industrial de aplicación declarado en el guion. El estudiante entiende generalmente los objetivos científicos y se ve estimulado por la necesidad inmediata de superar la evaluación, pero muchas veces fija débilmente lo nuevo aprendido por falta de un contexto de interés y realista vinculado a su futuro ejercicio como ingeniero.

Con ocasión de la adaptación de las titulaciones universitarias de la Universidad de Burgos al nuevo formato de Grados en Ingeniería de 240 ECTS, la enseñanza de la Termodinámica fundamental se enmarcó en una nueva asignatura de 6 ECTS bajo la denominación “Ingeniería Térmica”, asignatura común en el 2º curso de los Grados en Ingeniería Mecánica [8], Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática [9] e Ingeniería en Organización Industrial [10]. Para el Grado en Ingeniería Mecánica (GIM) esta es una materia que tendrá continuidad en posteriores asignaturas de 3º y 4º curso de contenido de máquinas térmicas, mientras que para los Grados en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática (GIE) e Ingeniería en Organización Industrial (GIOI) es una asignatura inicial y final al mismo tiempo, la única del dominio de la Termodinámica y la Trasmisión de Calor de carácter fundamental. Para estos estudiantes, pues, la asignatura constituye la única oportunidad de asentar con solidez los conocimientos básicos de la conservación de la energía y la transferencia de calor, pues nunca más se volverá sobre ellos en actuaciones de formación, académica o no, posteriores.

Teniendo en cuenta la experiencia acumulada de la enseñanza en las titulaciones anteriores a 2012 y con la nueva perspectiva de los recientes Grados, se adopta un nuevo enfoque de aprendizaje para el equipo experimental descrito en la sección 2. Este nuevo enfoque viene dirigido por las pautas de aprendizaje por investigación señaladas en la sección 1 de este artículo. En este caso particular se concretan en:

- A. El aprendizaje debe ser significativo y situarse en un contexto de interés más allá del mero académico. En este caso, al ser una titulación de ingeniería, el aprendizaje debe situarse en un contexto de interés industrial: ¿Para qué es necesario conocer esta información de las sustancias? ¿Cómo los proveedores industriales de fluidos y las ingenierías que diseñan instalaciones de fluidos hacen uso de esta información?
- B. El aprendizaje debe basarse en el conocimiento previo del estudiante. Es por ello conocer las ideas previas que el estudiante tiene acerca del comportamiento líquido-vapor de las sustancias: ¿en qué rangos de temperatura y presión se produce la transición líquido-vapor? ¿se produce esta transición de modo continuo?
- C. El aprendizaje debe plantear una situación nueva que obligue al estudiante a replantearse sus ideas previas mediante el análisis de datos o evidencias (proponer hipótesis, elaborar conclusiones), más que por la lectura de hechos relatados por otros en los libros o por el dictamen de autoridad del profesor: ¿Cómo analizo el comportamiento de las propiedades físicas a través de su valoración numérica? ¿Qué hipótesis puedo formular a la vista de los datos? ¿Cómo utilizo mis conocimientos científicos para proponer conclusiones?

En virtud de estas consideraciones de partida se plantea una nueva forma de realizar la sesión de aprendizaje, si bien se mantienen los mismos objetivos de aprendizaje (lo que el aparato permite obtener). La sesión se enfoca del siguiente modo:

1. El contexto: Una empresa química de fabricación de fluidos industriales ha sintetizado un nuevo fluido y ha de obtener su comportamiento *PVT* para incluirlo en el catálogo técnico del producto. Esta información es necesaria para que los ingenieros de instalaciones de los posibles compradores industriales dimensionen sus equipos (tuberías, depósitos, bombas o compresores, en su caso, etc.). La sesión se realiza en un tiempo límite de 4 horas, no hay todo el tiempo que se quiera. La sesión se realiza en el laboratorio con todo el grupo de ingenieros simultáneamente. Se prioriza el aprendizaje de nuevos conceptos científicos sobre las habilidades experimentales de los jóvenes ingenieros (estudiantes)
2. El rol del profesor y del estudiante: La sesión se plantea como si los estudiantes fueran ingenieros recién graduados y recién contratados en la empresa. El profesor tiene el rol del ingeniero de producción bajo cuya tutela están los nuevos jóvenes ingenieros. Ha de orientar su aprendizaje y desempeño, pero el trabajo debe ser de ellos.
3. Los conocimientos previos de los estudiantes: El ingeniero responsable (profesor) espera heterogeneidad en la formación previa de sus jóvenes ingenieros, debido a la diversidad de formación previa (bachilleratos, formación profesional, etc.), posible experiencia profesional de algunos de ellos (empresa familiar, trabajos de verano, etc.), distinta predisposición hacia la física

- de fluidos, etc. Con objeto de conocer el punto de partida de la formación, y antes de comenzar el trabajo, propone un test de conocimientos previos.
4. Las evidencias empíricas y la formulación de hipótesis. La definición de nuevos conceptos: El ingeniero responsable (profesor) vigila la seguridad de la sesión experimental. Dirige el aprendizaje mediante preguntas en lugar de afirmaciones o declaraciones. El ingeniero joven (estudiante) debe formular hipótesis y someterlas a discusión crítica de los demás. El ingeniero responsable (profesor) tiene bien preparada esta sesión para dirigir preguntas significativas sobre el aprendizaje necesario para el desempeño de ingeniero joven (estudiante) en la empresa a medida que van tomándose datos experimentales.
  5. La elaboración de conclusiones: Obtención final de la tabla de datos *PVT* y diagramas *PV* y *PT*. Definición de todos los puntos y zonas significativas de los diagramas. Extrapolación de estos conceptos a la generalidad de los fluidos. Refuerzo del contexto de interés industrial mediante declaración de los usos industriales reales del fluido utilizado (hexafluoruro de azufre, por ejemplo)
  6. La comprobación de la evolución en los conocimientos de los estudiantes: Con objeto de conocer el punto final de la formación, y tras la finalización de la sesión, el ingeniero responsable (profesor) propone como test final el mismo test de conocimientos previos. Se evalúan ambos y se entregan al ingeniero joven (estudiante). Éste puede comparar ambos resultados y comprobar sus cambios sobre las ideas iniciales. En tutoría individualizada se pueden comentar los resultados de los test.

#### 4. Resultados del nuevo planteamiento para el aprendizaje del comportamiento PVT

Durante el curso académico 2013/2014 se aplicó esta metodología a 97 estudiantes de Ingeniería Térmica, 45 del 2º curso de GIE y 52 de GIOI. Se indicó con claridad a los estudiantes que los resultados de la evaluación de esta sesión no tenían repercusión sobre la calificación de la asignatura, con objeto de evitar las respuestas al azar. La Tabla 2 presenta el conjunto de 10 preguntas de respuestas alternativas que se ha utilizado tanto en el pre-test como en el post-test. Las 10 preguntas estaban planteadas de modo coherente con los objetivos de aprendizaje: (i) determinar la dependencia mutua de las variables de estado PVT para el fluido contenido en un volumen variable al modificar la presión y la temperatura (preguntas 1-3); (ii) distinguir experimentalmente las propiedades de una sustancia pura en las diferentes zonas de operación (preguntas 4-7); (iii) obtener de la curva de vaporización (P-T) y el diagrama (P-V) de una sustancia pura (preguntas 8-10).

La Tabla 2 presenta para cada pregunta, tanto para el pre-test como para el post-test, el porcentaje de respuestas acertadas, en blanco y desacertadas, así como la variación entre el pre-test y el post-test. En general, se observa que prácticamente todos los resultados del post-test contienen un porcentaje de acierto superior al del pre-test. Las preguntas 1 y 2 sobre el comportamiento de un gas reflejaban el mejor conocimiento inicial del comportamiento de un gas, muy probablemente debido a que es el conocimiento más repetido en la física de la enseñanza secundaria y en la de primer curso universitario. Se produce aquí un hecho singular y es que en la pregunta 2 se produce una disminución de las respuestas acertadas tras la sesión de formación, a favor de un aumento principalmente de las respuestas en blanco. Tras la tutoría individualizada con estudiantes, este cambio se atribuye sobre todo a la frase “en todo el intervalo”, que algunos estudiantes extendieron a todo el comportamiento líquido-vapor del fluido, si bien la pregunta claramente se circunscribe al gas. La pregunta 3 sobre la diferente compresibilidad de líquidos y gases, si bien mejora del 41% al 55% en aciertos, aún deja un 43% de respuestas fallidas, lo que indica la necesidad de profundizar en este tipo de comportamiento, quizá en una sesión de trabajo posterior. Es probable también que esta sea una propiedad más compleja que el resto de las que se introducen en esta sesión, pues ha de ser elaborada numéricamente a partir de los datos experimentales directos *PVT* y no es autoevidente. En lo que se refiere al comportamiento de los fluidos en la zona de vapor húmedo (preguntas 4 a 7), la mejora más sustancial (41%) se produce en la pregunta 4 sobre la correlación presión-temperatura durante el cambio de fase. El resto de preguntas presenta mejoras en respuestas acertadas muy similares (14% a 18%). Es claro que el concepto de la diferencia de densidad entre el líquido y el vapor saturado durante la

coexistencia de las dos fases es el concepto más difícil de aprender (pregunta 5, 32% de acierto) y que requerirá más insistencia en ejercicios posteriores con el resto de propiedades termodinámicas de comportamiento análogo a la densidad, como el volumen, la entalpía o la entropía específicas. Es significativo también que el pre-test refleje sólo un 75% de acierto en que la temperatura de ebullición depende de la presión (pregunta 7) en 2º de ingeniería, si bien el porcentaje de acierto se sitúa en el 93% en el post-test.

Tabla 12: Cuestionario de evaluación sobre comportamiento *PVT* de las sustancias puras.

Nº	Pregunta	Pre-test			Post-test			Variación		
		Acierto	Blanco	Fallo	Acierto	Blanco	Fallo	Acierto	Blanco	Fallo
1	Al comprimir un gas a temperatura constante, el volumen a) aumenta; b) disminuye; c) permanece constante	89%	2%	9%	91%	0%	9%	2%	-2%	0%
2	Al comprimir un gas a temperatura constante, la presión a) aumenta en todo el intervalo; b) disminuye en todo el intervalo; c) permanece constante en todo el intervalo	91%	0%	9%	80%	9%	11%	-11%	9%	2%
3	Al reducir, en la misma cuantía, el volumen de un gas y el de un líquido, a) la presión del gas crece más rápidamente que la del líquido; b) la presión del líquido crece más rápidamente que la del gas; c) la presión crece por igual en el líquido y en el gas	41%	18%	41%	55%	2%	43%	14%	-16%	2%
4	A temperatura constante, la presión de saturación durante el cambio de fase de líquido a vapor de una sustancia pura, a) aumenta; b) disminuye; c) permanece constante	18%	48%	34%	59%	9%	32%	41%	-39%	-2%
5	La diferencia de densidad entre el líquido y el vapor de una sustancia pura durante la vaporización a presión constante, a) aumenta al aumentar la presión; b) disminuye al aumentar la presión; c) es independiente de la presión	18%	41%	41%	32%	11%	57%	14%	-30%	16%
6	Para cualquier sustancia pura, la transición de líquido a gas realizada a presión constante, también lo es a) a volumen constante; b) a densidad constante; c) a temperatura constante	48%	20%	32%	66%	5%	30%	18%	-16%	-2%
7	Para cualquier sustancia pura, la temperatura de ebullición a) es un valor constante; b) es de 100°C; c) depende de la presión	75%	2%	23%	93%	0%	7%	18%	-2%	-16%
8	En una sustancia pura, se puede distinguir entre fase líquida y fase vapor a) en cualquier presión; b) a presiones inferiores a la presión crítica; c) a presiones superiores a la presión crítica	18%	52%	30%	89%	0%	11%	70%	-52%	-18%
9	Al estado de un fluido en el que, en el seno de la fase gas, aparece la primera gota de líquido condensado, se le denomina a) líquido saturado; b) vapor saturado; c) disolución saturada	57%	32%	11%	93%	0%	7%	36%	-32%	-5%
10	A las condiciones de coexistencia de las fases sólida, líquida y vapor en una sustancia pura se le denomina a) punto de fusión; b) punto crítico; c) punto triple	45%	16%	39%	98%	0%	2%	52%	-16%	-36%

Respecto del comportamiento general *PVT* del fluidos a través de su visualización en los diagramas *PV* y *PT*, se puede ver que es donde se producen los cambios más significativos en el aprendizaje del estudiante, por lo que significa los nuevos conceptos de zona limitada en *P* y *T* para las transiciones líquido-vapor (aumento de 70% de aciertos), y definición del punto crítico (aumento de 36% de aciertos) y punto triple (aumento de 52% de aciertos). Se puede afirmar que esta parte de la sesión ha supuesto la ruptura de algunas preconcepciones erróneas (ebullición y condensación en todo el rango

de  $P$  y  $T$ ) y la aparición de nuevos estados singulares de los fluidos. El rango de los resultados de aciertos finales son los mayores de toda la encuesta (89% a 98%).

## 5. Conclusiones

Este trabajo presenta una experiencia de aprendizaje por investigación en una sesión experimental de comportamiento  $PVT$  de los fluidos en la enseñanza de la Termodinámica en 2º curso de ingeniería. Se presenta un caso de estudio con expresión de los resultados de variación en el aprendizaje de los conceptos termodinámicos del equilibrio líquido-vapor de sustancias puras mediante el método de pre-test y post-test. Los resultados indican una mejora generalizada del aprendizaje cuando la sesión experimental se plantea como una situación nueva ante la que los alumnos deben formular hipótesis y conclusiones sobre la observación de los datos. Dado el limitado tiempo que se dispone para la sesión experimental, la situación no es totalmente abierta, sino orientada por el profesor, si bien la formulación de hipótesis y conclusiones es tarea de los estudiantes. También se ha observado que este método permite romper preconcepciones erróneas en los estudiantes y asentar de modo más firme nuevos conceptos. La experiencia puede ser útil para otros profesores de ingeniería y ciencias puesto que sus bases metodológicas son fácilmente trasladables a otras materias.

## 6. Agradecimientos

Los autores agradecen al Vicerrectorado de Profesorado de la Universidad de Burgos, por la financiación de este trabajo a través del Programa de Innovación Educativa 2013-2015.

## 7. Referencias

- [1] HODSON, D. Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school science, *Studies in Science Education* 1993, vol. 22, pp. 85-142.
- [2] MOREIRA, M.A. A non-traditional approach to the evaluation of laboratory instruction in general physics courses, *European Journal in Science Education* 1980, vol. 2, pp. 441-448.
- [3] TOBIN, K. (1990). Research in science laboratory activities in pursuit of better questions and answers to improve learning, *School Science and Mathematics* 1990, vol. 90, pp. 403-421.
- [4] WOOLNOUGH, B.E., ALLSOP, T. (1985). *Practical work in science*. Cambridge: Cambridge 1985. (University Press).
- [5] FRASER, B.J., WILKINSON, W.J. Science laboratory classroom climate in British schools and universities. *Research in Science and Technological Education*, 1993, vol. 11, pp.49-69.
- [6] MOEED, A. Science investigation that best supports student learning: Teachers understanding of science investigation, *International Journal of Environmental and Science Education*, 2013. Vol. 8, pp. 537-559.
- [7] Phywe Systeme GmbH. *Critical Point Device*. Göttingen, Germany: Phywe, 1996.
- [8] Universidad de Burgos, Grado en Ingeniería Mecánica, [http://www.ubu.es/titulaciones/es/grado\\_mecanica/informacion-academica/plan-estudios](http://www.ubu.es/titulaciones/es/grado_mecanica/informacion-academica/plan-estudios)
- [9] Universidad de Burgos, Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática, [http://www.ubu.es/titulaciones/es/grado\\_electronica/informacion-academica/plan-estudios](http://www.ubu.es/titulaciones/es/grado_electronica/informacion-academica/plan-estudios)
- [10] Universidad de Burgos, Grado en Ingeniería en Organización Industrial, [http://www.ubu.es/titulaciones/es/grado\\_organizacion/informacion-academica/plan-estudios](http://www.ubu.es/titulaciones/es/grado_organizacion/informacion-academica/plan-estudios)