

Mejora del aprendizaje de la operación y mantenimiento de equipos mediante el desarrollo de simuladores

Bouzón Otero, Rebeca; Costa Rial, Ángel Martín; Orosa García, José Antonio

¹Departamento de Ciencias da Navegación e Enxeñaría Mariña, E.T.S. de Náutica e Máquinas

RESUMEN

La existencia de recursos tipo software permiten reducir el tiempo de aprendizaje. El caso concreto del Engineering Equation Software (EES) supone una herramienta efectiva que mejora el aprendizaje de la termodinámica y la comprensión de los ciclos termodinámicos reales. Aunando los temarios de dos materias de grado, Instalaciones Marítimas y Técnicas Energéticas Aplicadas al Buque, se ha guiado a un alumno en el desarrollo de un simulador para un generador de agua dulce, el cual ha servido para valorar la capacidad del alumno al enfrentarse a problemas derivados de la operación del equipo, adquiriendo los conocimientos necesarios sobre su funcionamiento, y el conocimiento y comprensión de los fenómenos termodinámicos que suceden en él. Con esta pretensión, a modo de prueba, se le ha propuesto a un alumno la realización de un Trabajo Fin de Grado. El resultado final ha sido la puesta en práctica de este trabajo, donde el alumno ha demostrado una mejor aplicación de los conocimientos adquiridos desarrollando el simulador de un generador de agua dulce de un buque. El objetivo final es introducir esta forma de trabajo en las dos materias mencionadas y sacar a la luz las ventajas en el aprendizaje mediante la colaboración entre diferentes materias y docentes.

PALABRAS CLAVE: Aprendizaje cooperativo/colaborativo; Enseñanza colaborativa; Estrategias de enseñanza/aprendizaje; Desarrollo de simuladores.

CITA RECOMENDADA:

Bouzón Otero, R., Costa Rial, A. M., Orosa García, J. A. (2018). Mejora del aprendizaje de la operación y mantenimiento de equipos mediante el desarrollo de simuladores. En E. de la Torre Fernández (ed.) (2018). *Contextos universitarios transformadores: retos e ideas innovadoras. II Xornadas de Innovación Docente*. Cufie. Universidade da Coruña (pág. 31-48).

DOI capítulo: <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497496780.031>

DOI libro: <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497496780>

ABSTRACT

There are some software resources that can reduce the learning time, in particular, Engineering Equation Software improves learning and understanding thermodynamics of real thermodynamic cycles. Combining the subjects of two grade materials, Maritime Services and Energy Techniques Applied to the Ship, a student has been guided to develop an on-board evaporator simulator. Which has served to assess the ability of the student to deal with problems arising from the operation of the equipment, acquiring the necessary knowledge about its operation, and the knowledge and understanding of the thermodynamic phenomena that occur in it. With this claim, as a test, a student has been proposed to perform an End-of-Grade Work. The final result has been the implementation of the End of Grade Work in which the student has demonstrated a better application of the knowledge acquired by developing the simulator of a freshwater generator of a ship. The final objective is the materialization of this form of work in the two mentioned subjects and to bring to light the advantages in the learning of collaboration among different subjects and teachers.

KEY WORDS: Cooperative/collaborative learning; Teaching/learning strategies; simulator development.

1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería marina puede ser considerada como un ejemplo de una enseñanza técnica con necesidades especiales vinculada directamente con sus atribuciones profesionales. En este sentido, cabe destacar como una de las más importantes la de operar y mantener instalaciones térmicas marinas sin límites de potencia. Ya desde sus inicios, la Organización Marítima Internacional (OMI) ha venido celebrando convenciones con objeto de definir un enfoque común de las normas y requisitos mínimos para la seguridad y la formación de los marinos profesionales de diversos países.

Debido a las necesidades en la enseñanza para la formación de marinos recogidas en el Convenio internacional sobre normas de formación, titulación y guardia para la gente de mar (STCW, 2010), resulta de gran interés recordar que hay diferentes aspectos para capacitar a la gente de mar como, por ejemplo, métodos de entrenamiento que se aplicarán en un simulador de la sala de máquinas.

En el pasado, los simuladores de salas de máquinas eran paneles de control que emulaban físicamente a una sala de máquinas real, tal y como se aprecia en la Figura 1. Sin embargo, este tipo de simuladores suponen un elevado coste, además de presentar dificultades a la hora de modificar las condiciones de trabajo. Debido a estas dificultades, resulta de especial interés el empleo de un software como herramienta para desarrollar el simulador que pueda ser utilizado en diferentes ordenadores situados dentro y fuera de la Universidad.



Figura 1. Simulador de sala de máquinas tradicional.

Dada la importancia que ha tomado el aprendizaje por medio de simuladores, desde 1994 hasta la fecha existe un congreso internacional sobre la realización de simuladores de salas de máquinas (ICERS, 1994). La primera versión de un simulador para un motor diésel basado en un software se desarrolló en 1994, lo que permitió poder operar el motor bajo unas condiciones iniciales. Algunas de las principales tareas desarrolladas fueron, por ejemplo, arrancar el motor, aumentar, disminuir la carga del mismo y observar otros parámetros. De entre los resultados obtenidos de los trabajos de investigación presentados en el ICERS cabe destacar una primera clasificación de los simuladores tal y como se muestra en la Tabla 1.

Simulador	Características
B (like Basic)	Esta familia de simuladores es como el software de ordenadores y está diseñada para ser ejecutada en un PC.
P (like Personal)	Estos simuladores modelan un tipo específico de sala de máquinas y el software del simulador se puede ejecutar en un PC o en PCs en red que trabajan en tiempo real.
F (like Full)	Simuladores de Misión Completa. Son altamente realistas y caros.
S (like Special)	Incluya los simuladores especializados que suelen ser programas de computadora para ser ejecutados en un solo PC, pero más complicado que el Clase B.

Tabla 1. Tipos de simuladores de máquinas catalogados según la ICERS.

Empleando la clasificación de la Tabla 1, se concluyó que las clases P y F pueden llenar las competencias exigidas por el STCW y que posee un gran realismo del entorno operativo, el cual no es tan importante en los simuladores de clases B y S. En este sentido, en 1997 (ICERS, 1997), se desarrolló un primer simulador de clase P para emular la sala de máquinas de buques y así reproducir el comportamiento de un motor diésel marino de baja velocidad y sus sistemas auxiliares en una operación en tiempo real.

En la actualidad, la Universidad Marítima de Gdynia (Polonia) es uno de los centros internacionales de formación más importantes para la ingeniería marina. Sus simuladores se

emplean en todo el mundo siendo un centro de investigación líder sobre métodos de enseñanza para ingenieros marinos (Tomczak, 2009), enfocados en nuevos simuladores que se acercan a las condiciones reales a bordo (Cwilewicz et al., 2004).

A pesar de ello, sus resultados no están siendo empleados inmediatamente en la mayoría de los centros de enseñanza internacionales debido a diversos problemas directamente relacionados con el coste económico de este tipo de educación. Por ello surge la necesidad de desarrollar simuladores fácilmente adaptables a las condiciones de trabajo “in situ”. Además, en base a la necesidad de una formación continua a bordo, es evidente concluir que dicho simulador debe ser compatible con ordenadores con características técnicas limitadas en memoria RAM y procesador, tal y como sucede en las instalaciones térmicas tanto marinas como terrestres.

Llegados a este punto, es esencial recordar los dos tipos de pruebas a realizar con un mismo simulador durante la formación del marino. La primera prueba, llamada prueba estática, permite a los profesores saber si un estudiante es capaz de alcanzar una condición dada de la sala de máquinas como, por ejemplo, dejar el motor principal listo para comenzar. El segundo tipo de prueba, llamada prueba dinámica, permite a los profesores obtener un registro y análisis continuos del comportamiento del usuario y comprobar la capacidad del alumno para seguir cambios aleatorios como, por ejemplo, un fallo del sistema.

El Engineering Equation Software (EES) es un software con un gran potencial que permite a los ingenieros marinos mejorar su aprendizaje de la termodinámica y su comprensión de los ciclos termodinámicos reales que se producen en los equipos, instalaciones y máquinas térmicas (Pérez et al., 2016; Costa et al, 2015). En base a esto, se podrá emplear este software para desarrollar unos simuladores de los equipos que se encuentran a bordo de un buque. Para ello se han aunado los temarios de dos materias del Grado de Tecnologías Marinas, como son Instalaciones Marítimas (IM) y Técnicas Energéticas Aplicadas al Buque (TEAB).

Durante la impartición de la materia de TEAB los alumnos profundizan en los conceptos termofísicos aprendidos en otras materias de primeros cursos, materializando todos estos cálculos físicos y termodinámicos en equipos e instalaciones marítimas. Así cuando los alumnos empiezan a desarrollar el simulador desde su etapa inicial, comprenden más fácilmente todos los fenómenos termofísicos que suceden en el equipo. Por otro lado, los alumnos estudian los fundamentos teóricos y prácticos de los equipos e instalaciones en la materia IM. Una vez realizado todo el desarrollo termodinámico en el programa EES, el alumno se enfrenta a los problemas derivados de la operación de ese equipo, plasmando así de forma práctica el conocimiento teórico adquirido en IM. Con lo cual su preparación para enfrentarse a equipos reales es mucho mayor.

Con esta pretensión, a modo de prueba, se le ha propuesto a un alumno la realización de un Trabajo Fin de Grado.

El resultado ha sido la puesta en práctica del Trabajo Fin de Grado en donde el alumno ha demostrado una mejor aplicación de los conocimientos adquiridos desarrollando el simulador de un generador de agua dulce de un buque. El objetivo final es introducir esta forma de trabajo en las dos materias mencionadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como primera parte del aprendizaje, el alumno se encuentra con una asignatura denominada Instalaciones Marítimas (IM), donde, mediante manuales propios del equipo se le introduce en el funcionamiento y mantenimiento de forma teórica. A continuación se enfrenta a la materia de Técnicas Energéticas Aplicadas al Buque (TEAB), en la cual se profundiza en el estudio de los fundamentos termofísicos de instalaciones marítimas, para profundizar en estos fundamentos se utiliza como material el programa EES. En el caso que se describe en este documento, el alumno culminó esta prueba docente con el desarrollo de su trabajo fin de grado. El equipo escogido ha sido un Generador de Agua Dulce (GAD) a bordo de un buque.

Hay que recordar que los métodos y técnicas de capacitación se refieren a las diversas formas que existen para organizar, implementar y ejecutar los procesos de enseñanza de manera que se alcancen los objetivos de aprendizaje previstos en los mismos. Dentro de esto se podría dividir en diez puntos básicos mostrados a continuación.

01. Instrucción directa sobre el puesto.
02. Seminarios, conferencias y talleres.
03. Relación experto-aprendiz.
04. Estudio de caso.
05. Métodos audiovisuales.
06. Capacitación a distancia (vía internet).
07. Juego de negocios.
08. Representación de papeles.
09. Métodos de simulación.
10. Capacitación en laboratorios.

En este trabajo de innovación docente, se tratará sobre todo los métodos de capacitación de relación experto-aprendiz, el estudio de caso y sobre todo se centrará en los métodos de capacitación por simuladores.

a. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE ESTUDIO

El objetivo del GAD en un barco es obtener agua destilada para distintos usos, a partir de agua de mar. Estos generadores trabajan bajo el principio de destilación a vacío, es decir, el agua salada se vaporiza a baja temperatura debido al vacío existente dentro del equipo, con ello se consigue que cualquier tipo de energía calorífica con una temperatura comprendida entre 50-90°C se pueda emplear para calentar el agua de mar dentro del generador, también denominado evaporador. En este caso concreto se empleó el vapor como fluido de calefacción.

La calidad del agua que se produce en el GAD es controlada continuamente mediante una célula salinométrica situada en la descarga de la bomba de destilado. Si la salinidad es superior al punto de alarma, en este caso concreto 4 ppm, el agua producida se envía de nuevo al equipo o se descarta.

FUNCIONAMIENTO DEL GAD:

El evaporador es alimentado con agua de mar, tal y como puede observarse en la Figura 2, esta agua de mar condensa el vapor empleado en el eyector para realizar vacío dentro de la cámara, de esta forma entra caliente a la cámara. En el evaporador el agua salada se calienta por medio de vapor a la temperatura correspondiente al vacío. El vapor generado pasa al condensador de destilado a través de una malla separadora, formada por finas láminas de acero inoxidable, y se condensa con agua procedente del condensador principal y se envía a los tanques de almacén. El medio empleado para condensar en otros equipos es la propia agua de alimentación, agua de mar.

El remanente de agua salada con elevada concentración de salmuera es enviada al exterior mediante la bomba de salmuera.

El flujo de vapor de calefacción es controlado por medio de una válvula reguladora. Este vapor es un vapor sobrecalentado al que se ha bajado su temperatura de 595°C a una temperatura entre 295°C y 320°C. Posee una saturadora para bajar su temperatura hasta la de saturación y de esta forma introducirlo en la cámara de calefacción. El vapor se introduce en el evaporador por medio de unos tubos, el calentador calienta el agua y el condensado es enviado al condensador principal a través de un regulador de drenajes (purgador de tipo flotador).

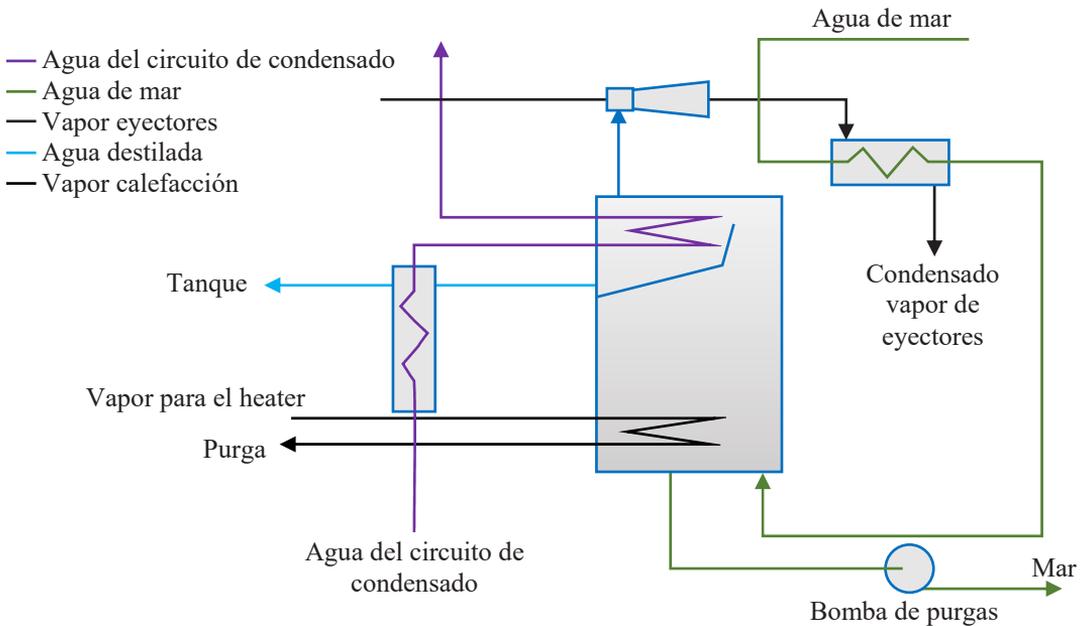


Figura 2. Diagrama de flujo del GAD.

b. PROGRAMA ENGINEERING EQUATION SOLVER (EES)

El Dr. William Beckman y el Dr. Sanford Klein desarrollaron en la Universidad de Wisconsin, el software de Engineering Equation Solver (EES) para permitir al usuario concentrarse más en el diseño, liberándolo de las búsquedas de las propiedades de los fluidos utilizados, la resolución de las ecuaciones (Orosa & Oliveira, 2011). Las principales diferencias entre el EES y otros programas similares son las siguientes:

- El EES puede utilizarse para resolver problemas de diseño en los que los efectos de uno o más parámetros deben determinarse de antemano.
- El EES reordena automáticamente las ecuaciones para una solución eficiente, permitiendo la introducción de ecuaciones en orden aleatorio con variables desconocidas colocadas en cualquier lugar.

- Proporciona una extensa función matemática y termofísica de funciones incorporadas, que son útiles para cálculos de ingeniería. Además de esto, proporciona las propiedades de transporte para todas las sustancias consideradas.
- Permite el enlace dinámico y compila funciones y procedimientos escritos en lenguajes como C, Pascal o FORTRAN.

c. SIMULADORES MODELOS DE LA OMI

La metodología desarrollada en este trabajo de innovación docente comienza con una revisión de las indicaciones de la Organización Marítima Internacional (OMI) sobre los principales resultados que se obtendrán de un simulador para ser la base de la próxima generación de simuladores.

La OMI ha diseñado un modelo estándar de cursos para ayudar a implementar el programa modelo de cursos de formación tras la adopción de la convención STCW 1978, con el fin de facilitar el acceso a los conocimientos y habilidades exigidas por la tecnología marítima cada vez más sofisticada (IMO, 1978; IMO, 2015).

Estos cursos modelo relacionados en el Convenio de Formación se revisaron y actualizaron después de la importante revisión de la Convención en 1995 y después de la adopción de las enmiendas de Manila en 2010 al Convenio STCW, en estos cursos se agruparon las 63 capacidades de referencia especificadas en las normas de competencia, y siete funciones básicas.

1. Navegación.
2. Manipulación y estiba de la carga.
3. Control del funcionamiento del buque y cuidado de las personas a bordo.
4. Ingeniería marina.
5. Ingeniería eléctrica, electrónica y de control.
6. Mantenimiento y reparación.
7. Radiocomunicaciones.

La OMI también estableció tres niveles de competencia normalizados que deben alcanzarse para el correcto desempeño de las funciones a bordo del buque:

1. Nivel de gestión.
2. Nivel operativo.
3. Nivel de apoyo.

Más en concreto, las competencias propias de la profesión de Ingeniería Marina son las de Gestión a nivel de Máster, y las de Operación que se encuentra integrada fundamentalmente dentro del Grado.

Para adquirir estas competencias la OMI establece dos tipos de aprendizaje, el aprendizaje teórico y la demostración de las habilidades prácticas de estos contenidos. Como medio de demostración de estas competencias adquiridas la OMI exige la evaluación con simuladores.

Como se ha visto, los métodos de simulación es uno de los métodos para adquisición de competencias, por esto se ha elaborado una propuesta para desarrollar simuladores durante el aprendizaje. Para realizar estos simuladores se propone la utilización del programa EES y este trabajo realizado por el alumno se encontraría dentro de las competencias que tiene que adquirir dentro de las materias de IM y TEAB.

3. RESULTADOS

La planificación que se ha realizado entre los profesores involucrados en este proyecto de innovación docente y el alumno da un total de 310 horas correspondientes a los 12 créditos de un TFG. La distribución de estas horas de trabajo puede observarse en la Tabla 2, la cual está distribuida en 9 apartados.

DESGLOSE DE ACTIVIDADES		TFG	IM-TEAB
		Horas	
1.	Estudio previo del equipo e instalación	55	3
2.	Planteamiento termofísico	40	3
3.	Comprobación de resultados con los datos medidos	20	2
4.	Planteamiento de averías	25	3
5.	Planificación y ejecución de gráficos de averías	40	3
6.	Realización pantalla del simulador	20	2
7.	Redacción TFG	75	0
8.	Planos	15	0
9.	Correcciones	20	0
TOTAL		310	16

Tabla 2. Horas de realización de TFG y planteamiento de horas para materias.

Analizando la Tabla 2 a grandes rasgos, destacan los apartados “1. Estudio previo del equipo e instalación”, “2. Planteamiento termofísico”, “5. Planificación y ejecución de gráficos de averías” y “7. Redacción TFG”.

En primer lugar, en el apartado 1, ha utilizado un total de 55 horas para documentarse sobre el equipo y la instalación de la cual va a realizar el simulador, así como, la búsqueda de referencias bibliográficas sobre simuladores y equipos de GAD. Lo que le ha servido a posteriori para elaborar el estado del arte en el trabajo.

En el apartado 2 ha utilizado un total de 40 horas para plantear las ecuaciones, e introducir las variables termofísicas que entran en funcionamiento del equipo. En la Figura 3, se puede observar un ejemplo de los cálculos de las variables y los balances de masa y energía en algunos de los puntos en los que se ha realizado para la elaboración de este trabajo.

Por otro lado, el apartado 5 ha empleado las mismas horas que el 2, puesto que ha tenido que plantear que resultados son los más relevantes y la mejor forma de mostrar el funcionamiento del GAD a través de las gráficas que se han obtenido. La pantalla de la Figura 4 está generada con el “Diagram Window” y en ella se ven las variables en cada zona del equipo. Destaca el punto 13 que es el objetivo del equipo de estudio, la producción de agua dulce del generador bajo las condiciones que se muestran en el “Diagram Window”. Los cuadrados que se observan en esta Figura son los datos de entrada y por lo tanto se pueden modificar, al variarlos se comprueba como varían las propiedades del resto de puntos.

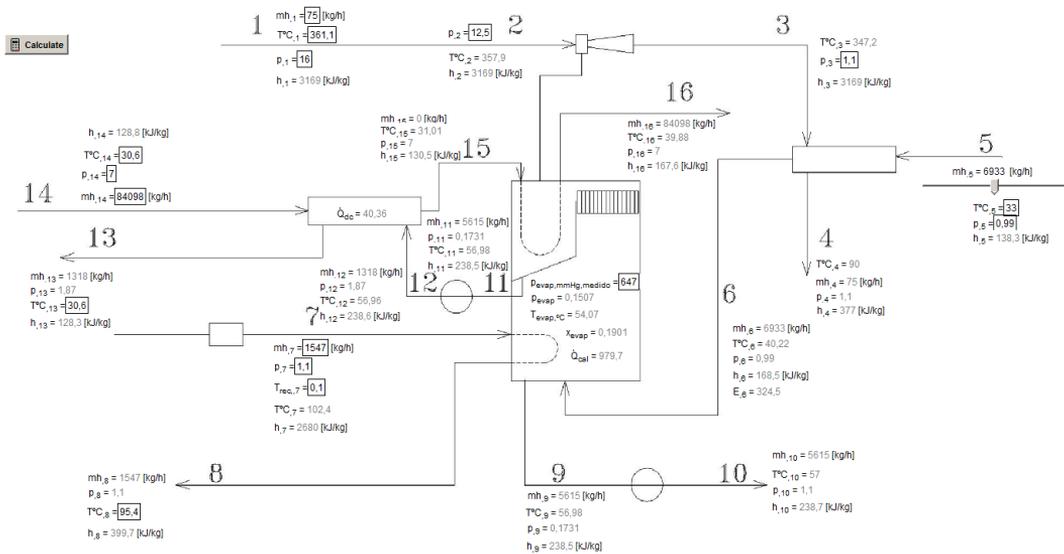


Figura 4. Pantalla del simulador.

A modo de ejemplo, si se pincha dentro de la zona del “condensar” del propio G.A.D., se abre la gráfica presión-entalpía que se muestra en la Figura 5, lo que facilita la comprensión del funcionamiento de esta zona a un alumno o a cualquiera que esté trabajando con este simulador.

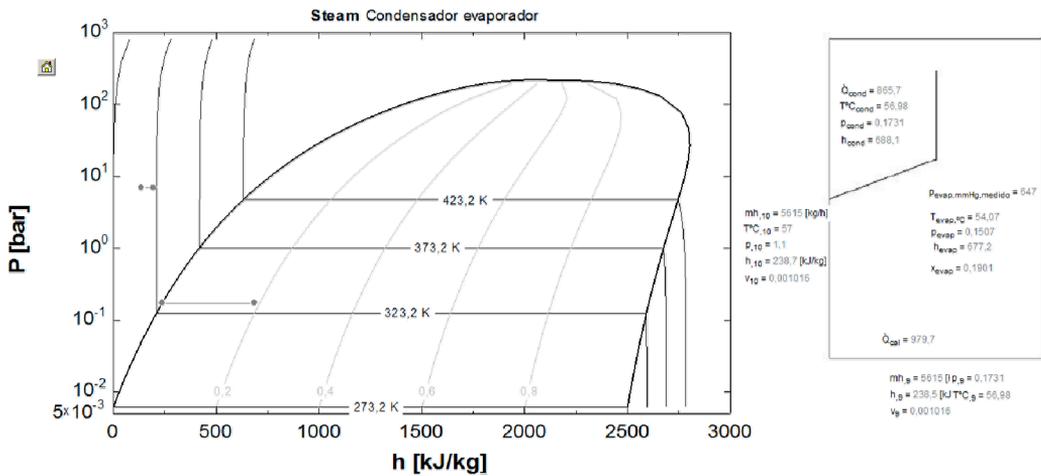


Figura 5. Pantalla diagrama p-h del condensador del G.A.D.

Por último, el apartado 7 es la unificación final de todos los apartados, dando el formato adecuado según la normativa de los TFG.

Este método de aprendizaje ha resultado exitoso en la elaboración del TFG propuesto al alumno, por lo tanto, dados estos buenos resultados, mediante la colaboración entre los profesores de IM y TEAB, se pretende implantar este método de enseñanza colaborativa, como forma de evaluación de la parte práctica de sus materias, unificando parte de sus horas de grupos reducidos de manera que el alumno pueda desarrollar estos simuladores en un tiempo inferior al realizado para el TFG, en la última columna de la Tabla 2 puede observarse la planificación pensada para este nuevo método. Se espera que cada asignatura aporte un total de 8 horas de sus grupos reducidos, dando un total de 16 horas en total, para que cada grupo reducido realice un simulador de un equipo escogido por el profesorado. Es posible realizar el simulador aún con esta reducción de horas con respecto a las planificadas y ejecutadas para el TFG, puesto que alumno se encontrará con unos planteamientos más detallados para la elaboración de los simuladores. Esto supone un gran trabajo previo por parte de los profesores, pero en gran medida ya está realizado dentro las propias materias en la actualidad, por lo que prácticamente solo queda la coordinación del trabajo ya hecho.

Si el método resulta fiable como evaluación, el siguiente paso que se espera realizar en este tipo de enseñanza colaborativa, es seguir agrupando horas de las dos asignaturas, con el fin de que los alumnos dispongan de tiempo suficiente para explicar su simulador y puedan interactuar con el simulador de los demás, quedando establecido de esta forma un aprendizaje cooperativo/colaborativo.

4. CONCLUSIONES

Como ya se ha mencionado, a pesar de que existen simuladores caros y detallados, faltan simuladores relacionados con varios aspectos de los equipos y sistemas de un buque que pertenecen a las competencias de los ingenieros marinos de acuerdo con la Código STCW.

En este sentido, en el presente trabajo de innovación se ha desarrollado una nueva metodología para la capacitación de los alumnos con el diseño de simuladores rápidos ajustados a instalaciones reales, que claramente pueden ayudar a enseñar nuevos conceptos, mostrando claras ventajas con respecto a los métodos tradicionales de enseñanza por materia:

1. Los simuladores se desarrollaron con el software EES, que permite generar un archivo ejecutable y puede ser desarrollado y mejorado por los profesores y los alumnos en un tiempo adecuado.
2. Este TFG ha demostrado una mejor comprensión del equipo por parte del alumno.
3. Este procedimiento establece una nueva metodología para la capacitación de los alumnos con el diseño de simuladores rápidos y ajustados a instalaciones reales.
4. Cuando se implemente este método se espera que sea igual de válido para la evaluación práctica de las dos materias.

5. REFERENCIAS

- (Cwilewicz et al., 2004) Cwilewicz, R., Tomczak, L., Pudlowski, Z.J., 2004. New Simulation Techniques Developed for Maritime Engineering Education. *Global J. of Engng. Educ.*, Vol.8, No.2.
- (Costa et al., 2015) Costa, A.M., Bouzón, R., Orosa, J.A., Pérez, J.A., 2015. A New Methodology to Design Thermodynamic Power Station Simulators for Marine Engineering Studies. *Proceedings of the International Conference on Education and Educational Technologies (EET 2015)*
- (ICERS, 1994) International Conference on Engine Room Simulators 1994 – 2017.
- (ICERS, 1997) 3th International Conference on Engine Room Simulators in Svendborg, 1997, Computer Aided Assessment for Engine Room Simulator.
- (IMO, 1978) IMO 1978 STCW International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers:
- <http://www.imo.org/OurWork/HumanElement/TrainingCertification/Pages/STCW-Convention.aspx>. (Accedido en Febrero de 2015)
- (IMO, 2015) IMO Human Element webpage:
- <http://www.imo.org/OurWork/HumanElement/Pages/Default.aspx>. (Accedido en Febrero de 2015)
- (Orosa&Oliveira, 2011) Orosa, J.A., Oliveira, A.C., 2011. Engineering thermodynamics with EES. *Lap Lambert Academic Publishing Ag & Co*, Germany. ISBN 978-3844303179.
- (Pérez et al., 2016) Pérez, J.A., Orosa, J.A. & Bouzón, R. 2016, "A new approach to develop marine power system simulators for marine engineers teaching and professional training", *International Journal of Engineering Education*, vol. 32, no. 1, pp. 294-302.
- (STCW, 2010) Convenio Internacional sobre Normas de Formación, Titulación y Guardia para la Gente de Mar. Organización Marítima Internacional. Fecha de

aprobación: 7 de julio de 1978; entrada en vigor: 28 de abril de 1984; Revisiones sustanciales en 1995 y 2010.

- (Tomczak, 2009) Tomczak, L., 2009. Application of marine engine room simulators with 3d visualization for emergency operating procedures training. *Journal of Polish CIMAC*. <http://www.polishcimac.pl/Papers2/2009/036.pdf>