



#CIMIE18

LA MARCHA DE LAS CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

Zaragoza, 5 y 6 de julio de 2018

## **Uso De Software Especializado En Docencia Para La Enseñanza De Modelización Y Comportamiento De Los Motores De Combustión Interna**

Albaladejo Hernández, D., & Vera-García, F., & Hernández Grau, J.

Thermal and Fluids Engineering Department

Universidad Politécnica de Cartagena

C/ Dr. Fleming, s/n (Campus Muralla)

30202 Cartagena, Murcia

Spain

daniel.albaladejo@outlook.com

francisco.vera@upct.es

Resumen: La utilización de nuevas técnicas de docencia como como son la resolución de problemas abiertos mediante la utilización de software especializado en el área de conocimiento de “Máquinas y Motores Térmicos”. El empleo de software de modelización de MCIA agiliza la enseñanza en este campo. Inicialmente le permite realizar simulaciones incrementando la complejidad, familiarizarse con los parámetros involucrados y conocer la influencia de los mismos mediante estudios paramétricos. La técnica aquí presentada ha sido utilizada para la elaboración de TFEs de titulaciones de Ingeniería. Como resultado del trabajo se muestran los niveles de conocimiento alcanzado por los alumnos, para la adquisición de competencias finalistas de cada titulación, comparando y evaluando la profundidad en los conocimientos adquiridos.

Palabras clave: Resolución de problemas abiertos, Trabajo Fin de Estudios, simulación de procesos.

### **1. Objetivos o propósitos:**

---

Las competencias profesionales que debe adquirir los estudiantes en la finalización del sus estudios no pueden alcanzarse exclusivamente con las técnicas llamadas tradicionales (clases magistrales, prácticas dedicadas y resolución de problemas). Sobre todo en las áreas de conocimiento eminentemente tecnológicas como el área de “Máquinas y Motores Térmicos”, con las clases teóricas difícilmente se alcanza la fase de aplicación, aún con el empleo de ejemplos de carácter práctico, se hace necesario enfrentar al estudiante a problemas reales y desarrollar competencias transversales de comunicación y de resolución de casos reales con las herramientas que el estudiante disponga. El objetivo de este trabajo es permitir al alumno que aún no tiene conocimientos profundos en la simulación de procesos termodinámicos poder manejar una herramienta que ya tiene preprogramados una serie de algoritmos para llegar a una solución concreta, que no tiene que ser única, a través de un aprendizaje guiado.

Para acelerar el proceso de aprendizaje se emplea el software especializado AVL Boost® para la modelización de los procesos internos de MCIA. Con esta herramienta es posible la realización de estudios paramétricos para que el alumno sea capaz de conocer la influencia de cada parámetro sobre el motor a la vez de ser

Organizado por:



capaz de llegar a una optimización de funcionamiento de este, llegando a una solución final para el problema (o proyecto) planteado.

## 2. Marco teórico:

---

Los TFEs deben tener un carácter cada vez más colaborativos entre expertos de diferentes disciplinas a la vez de ser individuales y que el estudiante demuestre un nivel profundo en el conocimiento de la materia presentada. Los problemas presentados en estos TFE deben de ser abiertos y, por lo tanto con varias respuestas que el estudiante debe ser capaz de contrastar las posibles soluciones y aportar la justificación suficiente a la respuesta o trabajo final presentado. Para desarrollar estos proyectos es necesario seguir tres principios:

1. Debe de existir una necesidad real de conocimiento para la consecución de un hito, proyecto o producto real.
2. La consecución requiere del conocimiento de varias disciplinas y por lo tanto la interacción y colaboración de expertos.
3. El estudiante debe ser capaz de entender y discernir la optimización del producto final desde el punto de vista de cada una de las múltiples disciplinas.

En el marco de las máquinas térmicas es claro que la termodinámica es la principal de las ciencias que el estudiante debe conocer profundamente, pero también otras disciplinas forman parte del funcionamiento de los MCIA, p.e. **química** para la combustión, formación y eliminación de emisiones; **fluidos** para sobrealimentación, refrigeración, y otros sistemas del motor; **electricidad** de los sistemas del motor; **electrónica** y control, cada vez tienen un papel más importante en el comportamiento de los motores; y otras disciplinas. Además, por supuesto, las **matemáticas** y los algoritmos matemáticos es donde debe de asentarse los conocimientos para la realización de los modelos y simuladores del comportamiento de los MCIA.

AVL Boost® dispone de un interfaz de programación gráfica dónde se encuentran una serie de algoritmos matemáticos, físicos y químicos y sistemas de control que componen los MCIA en la actualidad, desde el la unidad de control hasta los catalizadores. Además dispone de una excelente documentación de ayuda que permite la comprensión tanto de los fenómenos físicos y los sistemas que acompañan a los MCIA. Además, y a un nivel más profundo, dispone de una documentación que describe los métodos para la simulación y modelización de estos sistemas y de los fenómenos que los acompañan.

## 3. Metodología:

---

La metodología seguida para la realización de estos TFE se puede resumir en las siguientes fases.

---

Organizado por:



### 3.1 Presentación del problema a resolver por el estudiante.

Se informa al estudiante del objetivo concreto y problema a resolver del mismo modo que lo podría recibir una ingeniería. Se expone el marco completo y el problema específico que se le encarga como ingeniero y que debe presentar la solución más idónea justificada correctamente. En esta fase se presenta al equipo de trabajo que participa en un proyecto global y la información y resultados que se han obtenido hasta el momento, dónde y quién puede proporcionar más detalle de esta información. En esta fase se le incluye dentro de un grupo multidisciplinar donde el profesor, colaboradores de empresa y otros estudiantes están participando y se asigna una función de creación y simulación del motor o una parte del motor para obtener la solución al problema planteado.

### 3.2 Introducción al software de trabajo, AVL Boost.

En este paso, se describe de manera general la filosofía del software de trabajo estudiante y se le proporciona la documentación disponible con una descripción general del contenido de esta información. El software Boost forma parte de un conjunto de programas de AVL destinado a la realización de diferentes tipos de estudios en el campo de la simulación de los MCIAs.

### 3.3 Desarrollo del modelo.

Mediante una serie de tutorías personalizadas del profesor y de otros usuarios del programa, el alumno debe adquirir el suficiente manejo del software para ser capaz de desarrollar un modelo, controlar y evaluar los resultados preliminares del modelo.

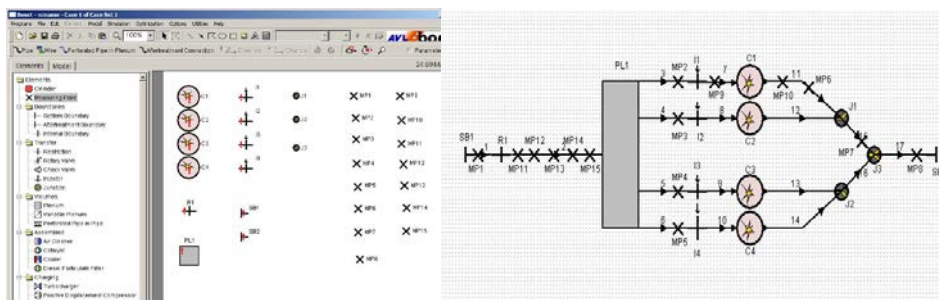


Figura 1: Elementos en panel de trabajo. Modelo de un motor Suzuki.

A partir de uno o varios ejemplos de otros modelos, el alumno se familiariza con el software y construirá su primer modelo introduciendo los parámetros uno a uno de cada elemento. Para cada caso, el estudiante debe incorporar la información que le requiere el software y aprende a las particularidades de cada elemento. Por ejemplo, en el modelado de cilindro, el programa requiere de información como diámetro, carrera, compresión, presión en el cárter, diámetro y coeficientes de descarga de las válvulas, diagrama de distribución, tipo de combustión,...



El software dispone de todos los elementos necesarios para la modelización del motor. Cada elemento dispone de un modelo de cálculo que unido al resto mediante conductos condicionará el comportamiento de estos, disponiendo de una documentación teórica del comportamiento de cada elemento y matemática de como se ha modelado.

### **3.4 Simulación.**

Aquí se inicia todo el proceso de simulación termodinámico y se emplean métodos numéricos de forma indirecta para alcanzar las soluciones.

En este paso se puede encontrar multitud de errores, el programa te guía hasta ellos para corregir la gran mayoría de estos. Aunque puede ser tedioso, ayuda a conocer mejor el algoritmo de cálculo empleado, de los errores se aprende mejor.

Es interesante la supervisión del tutor o de otros usuarios más experimentados, pero siempre de manera parcial, para obligar al estudiante a encontrar sus propios errores.

Una vez adquirida suficiente destreza con el modelado, se pasa a la realización de simulaciones reales, estas se realizan en primer lugar comparando los resultados con valores teóricos o experimentales disponibles para que el estudiante pueda tener suficiente criterio y sea capaz de dar por válidos, o no, los resultados ofrecidos por el programa. La simulación se puede realizar para una condición única o de forma paramétrica obteniendo resultados de distintas configuraciones del modelo. Esta es parte es realmente útil de cara a procesos de optimización de funcionamiento del motor. Mediante la simulación basada en estudios paramétricos se pueden configurar distintas opciones y lanzar su ejecución de forma conjunta. Después se evalúan los resultados obtenidos y se toman las decisiones oportunas en función del objetivo deseado. Aumento de potencia, reducción de gasto másico, limitaciones por normativas, control de temperaturas en escape, sistema de sobrealimentación,...

### **3.5 Tratamiento de datos.**

El tercer paso es la evaluación de resultados. AVL Boost dispone de una herramienta donde podemos estudiar los casos objeto de la simulación de dos formas diferentes.

- a) Se puede estudiar la variación de los distintos parámetros físicos con respecto al ángulo de giro del cigüeñal, situación muy interesante de cara al desarrollo y optimización de procesos. Por ejemplo, la presión en cada instante del interior de la cámara de combustión o la dinámica de ondas que se da en los colectores.
- b) Se puede estudiar el resultado global por ciclo completo, es decir, parámetros calculados como la potencia, el par y la evolución de la simulación hasta alcanzar la convergencia.

---

Organizado por:



Esta herramienta permite conocer la calidad del proceso simulado, requiere de conocimientos expertos y el guiado por el mismo desde el profesor. Para visualizar los resultados se debe hacer uso de la herramienta integrada *Impress Chart*. Es configurable y permite obtener los resultados de forma rápida y realizar análisis comparativos.

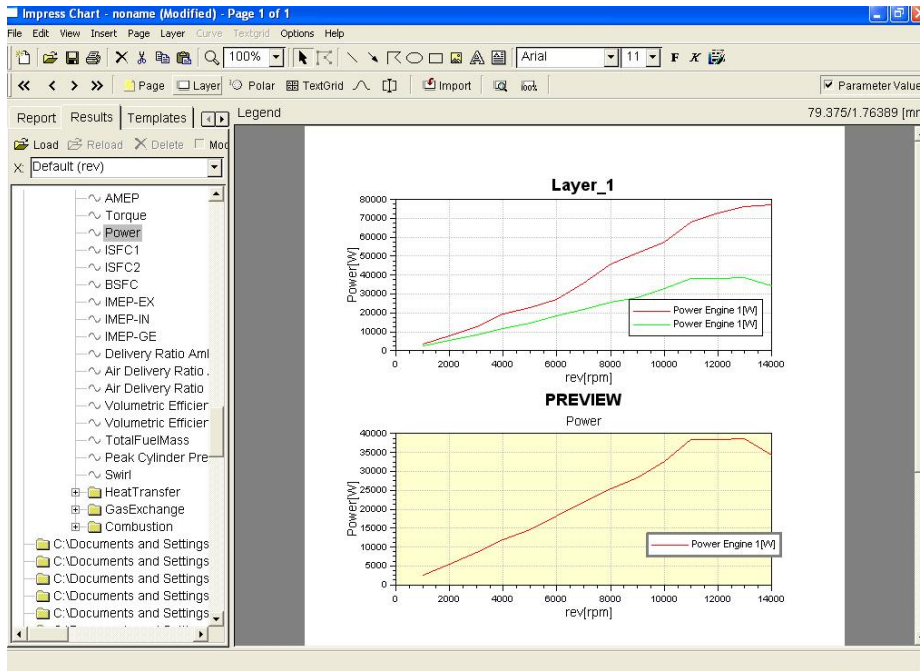


Figura 2: Análisis y resultados.

### 3.6 Justificación y exposición de los resultados.

Finalmente el alumno, con los conocimientos adquiridos, será capaz de hacer un desarrollo de una parte de un motor de combustión interna en base la a simulación y la tecnología disponible, de forma justificada y en base a los conocimientos adquiridos de la teoría del comportamiento y de la herramientas matemáticas en las que se basa la simulación.

Para esto debe de realizar un informe del proceso seguido con los detalles teóricos de cada elemento y las limitaciones en base a la experiencia de los expertos de otras disciplinas, la comparación con resultados experimentales y los resultados de las simulaciones.

## 4. Discusión de los datos, evidencias, objetos o materiales:

El esquema muestra las fases y las dimensiones del proceso descrito.

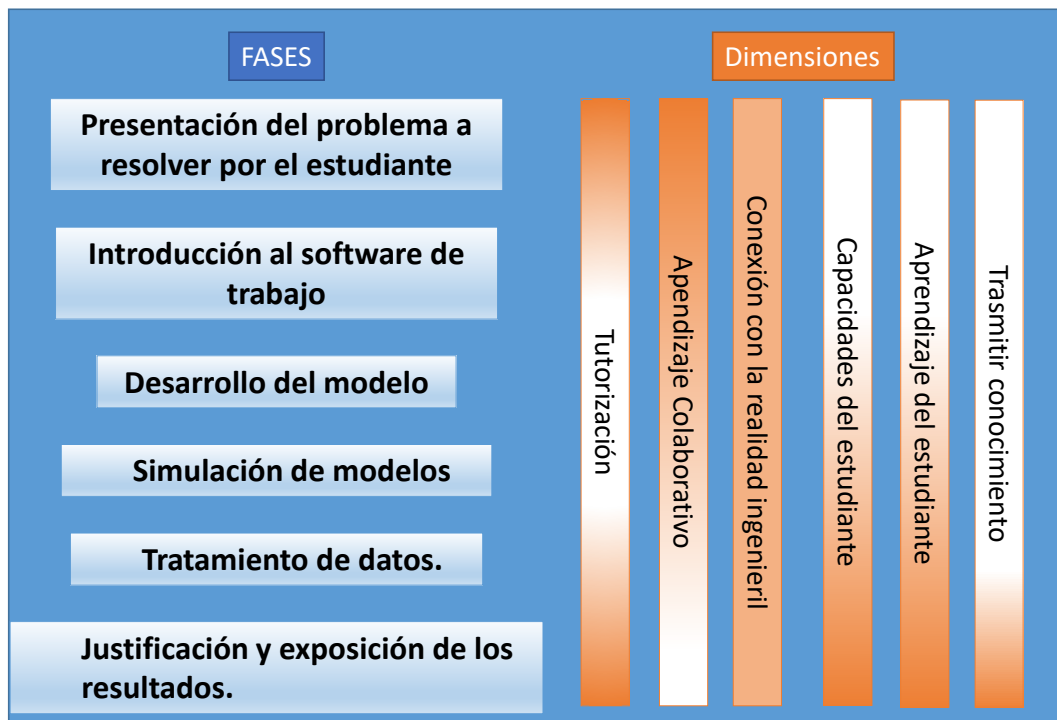


Figura 3: Fases y dimensiones del proceso.

La tutorización del trabajo debe estar muy presente en las primeras y últimas fases. La conexión con la realidad ingenieril está presente en todas las fases y es el tutor el responsable de mantener esta conexión. El aprendizaje colaborativo debe ser una herramienta a utilizar en las primeras fases, conforme el estudiante va adquiriendo capacidades propias y su aprendizaje es mayor, al principio será más pasivo en la colaboración para ser activo al final de las fases y, por último, la capacidad de transmitir el conocimiento se pone de manifiesto en las últimas fases.

## 5. Resultados y/o conclusiones:

Se muestra algunos TFEs siguiendo la metodología expuesta y mediante el uso del software, junto con los objetivos particulares y generales:

- 1) *Modelado global de un M.C.I.A. policilíndrico mediante los códigos Engine-Card y AVL-Boost comparación con resultados experimentales.*
  - Particular: Validación del software de cálculo con respecto a ensayos experimentales en un motor de 4T.
  - General: Validación del código AVL Boost comparado con otros modelos.
- 2) *Modelado mediante el programa AVL BOOST de un motor de combustión interna alternativo de pequeña cilindrada y dos tiempos destinado a propulsar un prototipo de motocicleta de competición.*
  - Particular: Estudio teórico de la simulación del ciclo termodinámico de motor monocilíndrico de 2T con objetivo de optimizar tubo de escape.
  - General: Modelado motor de 2T.

- 3) *Modelado, análisis y optimización del motor Yamaha WR250F'08 con AVL Boost para la competición MotoStudent determinación experimental de los coeficientes de descarga de las escape válvulas de admisión y escape.*
  - Particular: Enriquecer modelo teórico con datos experimentales obtenidos en banco de flujo para obtener soluciones próximas a la realidad y optimizar el colector de escape en función de las necesidades de competición.
  - General: Influencia de los coeficientes de descarga de las válvulas sobre gasto másico simulado.
- 4) *Desarrollo de un modelo termodinámico con AVL-Boost de un motor diesel de gran cilindrada destinado a la propulsión marina.*
  - Particular: Desarrollo y mejora del modelo termodinámico del motor, validación con datos obtenidos en banco de ensayos.
  - Objetivo general: Modelo para desarrollo de diagnóstico de fallos.
- 5) *Estudio de potenciación mediante modelado de un motor de cuatro tiempos Sherco 250-motostudent.*
  - Particular: Desarrollo de colector de escape para maximizar potencia en competición.
  - General: Validación de desarrollos en base a simulación del ciclo termodinámico.
- 6) *Optimización mediante simulación en AVL Boost y validación experimental del sistema de escape con catalizador de un motor gasolina para scooter de 530cc de 4 tiempos y 2 cilindros.*
  - Particular: Desarrollo de modelo para rediseñar el colector de escape con el objetivo de cumplir emisiones.
  - General: Influencia de la pérdida de carga de colectores en la analítica de emisiones contaminantes.
- 7) *Procedimiento de medida de la eficiencia y ajuste de modelo con AVL Boost de catalizador de 3-vías de motocicleta.*
  - Particular: Simulación del efecto del catalizador en la respuesta de emisiones contaminantes.
  - General: Conocimiento de herramienta “simulación de catalizadores” y sus distintas posibilidades.

La metodología descrita anteriormente ha dado como resultado la generación de más de 12 TFEs, en los que se ha conseguido siempre calificación de sobresaliente, demostrando la utilidad de la metodología. Además, ha dado lugar a la publicación de los resultados en varios congresos de carácter investigador.

## 6. Bibliografía:

---

Fernández March, A. (2005). *Nuevas Metodologías Docentes*. Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad Politécnica de Valencia.



Luisa Jover, M. (2002). *La resolución de problemas: un estándar de calidad en la enseñanza de la ingeniería*. XVII Jornadas IRAM – universidades- Calidad para la comunidad. Universidad nacional de la matanza

Fuentes, P. (1997). *Técnicas de trabajo individual y de grupo en aula. De la teoría a la práctica*. Madrid. PIRÁMIDE.

Vera García, F. (2011). *El aprendizaje colaborativo en la docencia universitaria. Modelos en la UPCT*. (pp 55-67). Universidad Politécnica de Cartagena. ISBN: 978-84-694-0743-1

Vera García, F. (2011). *Equipos docentes: una nueva apuesta en el EEES*. (pp 191-210). Universidad Politécnica de Cartagena. ISBN: 978-84-694-7472-3

Zueco-Jordán, J., & Vera-García, F., & García-Cascales, J.R. (2010). *¿Es posible la motivación del estudiante en la enseñanza universitaria? Caso práctico en la UPCT*. (Artículo y Ponencia en Congreso). VI Congreso Internacional Docencia Universitaria en Innovación 2010. Publicación: VI CIDUI Nuevos Espacios de Calidad en la Educación Superior.. ISBN 978-84-8458-324-0. Barcelona, Spain

Vera-García, F., & García-Cascales, J.R., & Zueco-Jordán, J.(2010). *Descripción de la experiencia en la participación de profesores dentro de equipos multidisciplinares de alumnos para la creación de productos*. (Artículo y Ponencia en Congreso). VI Congreso Internacional Docencia Universitaria en Innovación 2010. Publicación: VI CIDUI Nuevos Espacios de Calidad en la Educación Superior.. ISBN 978-84-8458-324-0. Barcelona, Spain

Aznar, M.A., & Briones, A.J., & Garcia, M.E., & Hermosilla, F.J., & Illán, F., & Luna, J.P., & Madrid, A., & Mate, M.L., & Montero, T., & Pastor, M.C., & Vera, F. (2011). *Las técnicas de aprendizaje grupal como parte o fundamento de las asignaturas de grado: propuestas del equipo docente de trabajo colaborativo de la UPCT*. (Artículo y Ponencia en Congreso). Congreso Internacional de Innovación Docente. Cartagena, Spain

AVL (2013). User's Guide. AVL BOOST®. (Technical Report). <https://www.avl.com>

AVL (2013). Theory v2013.1. AVL BOOST® (Technical Report). <https://www.avl.com>

Martínez García, J. (2008). *Modelado global de un M.C.I.A. policilíndrico mediante los códigos Engine-Card y AVL-Boost comparación con resultados experimentales* (PFC - Proyecto Fin de Carrera). Universidad Politécnica de Cartagena, España.

Ortega Valera, J., & Vera-García, F. (2010). *Modelado mediante el programa AVL BOOST de un motor de combustión interna alternativo de pequeña cilindrada y dos*

---

Organizado por:







*tiempos destinado a propulsar un prototipo de motocicleta de competición (PFC - Proyecto Fin de Carrera).*

Universidad Politécnica de Cartagena, España.

Aguayo Zamora, J.L., & Vera-García, F. (2011). *Modelado y análisis de un motor de 600 cm<sup>3</sup> con "AVL Boost" para la adaptación del sistema de admisión en un monoplaça para la competición Formula Student* (PFC - Proyecto Fin de Carrera).

Universidad Politécnica de Cartagena, España

Saura Esteban, F. J., & Vera-García, F. (2012). *Modelado y análisis de un motor de 600 cm<sup>3</sup> con "AVL Boost" y "Open Wam", para la adaptación del sistema de escape en un monoplaça para la competición Fórmula Student* (PFC - Proyecto Fin de Carrera).

Universidad Politécnica de Cartagena, España

Albaladejo Hernández, D., & Vera-García, F. (2012). *Modelado, análisis y optimización del motor Yamaha WR250F'08 con AVL Boost para la competición MotoStudent determinación experimental de los coeficientes de descarga de las válvulas de admisión y escape* (PFC - Proyecto Fin de Carrera).

Universidad Politécnica de Cartagena, España

Melgarejo Otálora, J., & Vera-García, F., & Hernández Grau, J. (2015). *Preparación de un modelo termodinámico de un motor generador diésel rápido obtención de leyes de liberación de calor e implementación del modelo en AVL BOOST* (PFC - Proyecto Fin de Carrera).

Universidad Politécnica de Cartagena, España

Ortega Valera, J., & Albaladejo Hernández, D., & Vera-García, F. (2015). *Estudio de potenciación mediante modelado de un motor de cuatro tiempos Sherco 250-motostudent* (TFM – Trabajo Fin de Máster).

Universidad de Valladolid, España

Albaladejo Hernández, D., & Vera-García, F., & Hernández Grau, J. (2016). *Optimización mediante simulación en AVL Boost y validación experimental del sistema de escape con catalizador de un motor gasolina para scooter de 530cc de 4 tiempos y 2 cilindros* (PFC - Proyecto Fin de Carrera).

Universidad Politécnica de Cartagena, España

Albaladejo Hernández, D. & Hernández Pozo, M.A., & Hernández Grau, J., & Vera-García, F. (2016). *Optimización de un sistema de escape para una motocicleta bajo la normativa de emisiones Euro3*. (Artículo y Ponencia en Congreso). III Encuentro de Ingeniería de la Energía del Campus Mare Nostrum.

Muñoz Cámara, J., & Pagán Rubio, J.A., & Vera-García, F. (2016). *Aplicación del modelado de motores diésel a un sistema de diagnosis en tiempo real*. (Artículo y Ponencia en Congreso). III Encuentro de Ingeniería de la Energía del Campus Mare Nostrum.

---

Organizado por:





#CIMIE18

LA MARCHA DE LAS CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

Zaragoza, 5 y 6 de julio de 2018

Pagán Rubio, J.A., & Muñoz Cámara, J., & Vera-García, F. & Hernández Grau, J. (2016). *Ajuste de un modelo termodinámico unidimensional para simulación de fallos de motor diésel marino*. (Artículo y Ponencia en Congreso). IV Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad.

Pagán Rubio, J.A. & Muñoz Cámara, J., & Vera-García, F., & Hernández Grau, J. (2016). *Desarrollo de un modelo termodinámico cerodimensional para determinación en tiempo real de las prestaciones de motor diésel marino*. (Artículo, Ponencia en Congreso). IV Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad

Maldonado Nicolás, D., & Vera-García, F., & Hernández Grau, J. (2016). *Obtención de los parámetros para desarrollar y validar el modelo con la herramienta AVL BOOST de un motor marino de propulsión rápido*. (TFG – Trabajo Fin de Grado).

Universidad Politécnica de Cartagena, España

Chaves Castro, L., & Vera-García, F., & Hernández Grau, J. (2017). *Desarrollo de un modelo termodinámico con AVL-Boost de un motor diesel de gran cilindrada destinado a la propulsión marina* (TFM – Trabajo Fin de Máster).

Universidad Politécnica de Cartagena, España

Moral Moreno, F.M., & Albaladejo Hernández, D., & Hernández Grau, J. (2017). *Procedimiento de medida de la eficiencia y ajuste de modelo con AVL Boost de catalizador de 3-vías de motocicleta* (TFM – Trabajo Fin de Máster).

Universidad Politécnica de Cartagena, España

---

Organizado por:

