

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2022

INFORME DEL PROYECTO REF. SV-22-GIJON-1-16

1. Datos del proyecto

Título: Desarrollo de modelo digital de motor diésel marino a partir de medidas reales, válido para análisis de eficiencia energética y predicciones de mantenimiento.

Fechas inicial y final del proyecto: Del 01/07/2022 al 31/12/2022

Investigador/a Principal: Noelia Rivera Rellán

Otros investigadores: Rubén González Rodríguez, Luis Alfonso Díaz Secades

Personal contratado: Raquel Martínez Martínez

Fechas inicial y final de contratación: Del 01/07/2022 al 31/12/2022

Empresas o instituciones colaboradoras: AVL Ibérica S.A. y Cementos Tudela Veguín S.A.

Redes sociales de investigadores y empresas (Linkedin, Twitter, Instagram):
<https://www.linkedin.com/company/avl/>, <https://www.linkedin.com/company/escuela-superior-de-la-marina-civil-de-gijon/>, <https://www.instagram.com/marinacivil.uniovi/>

2. Resumen Gráfico

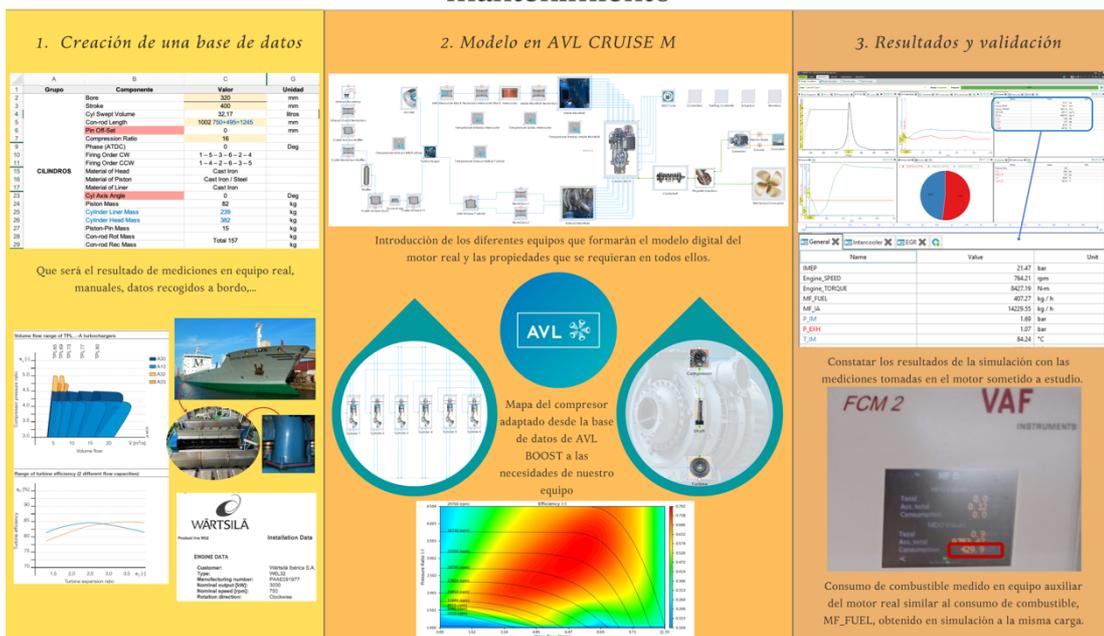
Desarrollo de modelo digital de motor diésel marino a partir de medidas reales, válido para análisis de eficiencia energética y predicciones de mantenimiento

INVESTIGADORES

Martínez-Martínez, Raquel; Díaz-Secades, Luis Alfonso; González, R; Rivera, N

EMPRESAS COLABORADORAS

AVL Ibérica S.A., Cementos Tudela Veguín S.A.



3. Memoria descriptiva del proyecto

3.1 Resumen ejecutivo

El proyecto pretende avanzar en la creación de un gemelo digital descriptivo de un motor diésel marino real [1-3]. Este modelo servirá para obtener un “banco de pruebas digital” en donde se puedan estudiar las diferentes consecuencias que pueden producir diferentes fallos y así ajustar los plazos de mantenimiento y prevenir la necesidad de repuestos para cada actuación [4-6]. La modelización de este gemelo digital comienza con el desarrollo de una base de datos procedente de medidas en el motor caso de estudio (el W6L32 de 3000kW). El modelo creado será la base para diferentes estudios de eficiencia energética y análisis de fallos en el motor, así como optimización de condiciones, viabilidad y costes de mantenimiento. Un análisis de este tipo podría dar soporte a la toma de decisiones sobre la operación y mantenimiento del motor y de los equipos auxiliares del mismo, con el ánimo de maximizar la extracción energética y minimizar las emisiones de gases nocivos. Ya que uno de los objetivos principales de la OMI para reducir los gases de efecto invernadero (GEI), es reducir en al menos un 50% las emisiones de GEI del transporte marítimo internacional en 2050, comparado con los niveles de 2008; y trabajar para eliminar por completo las emisiones de GEI del transporte marítimo lo antes posible en este siglo [7].

La metodología del proyecto se llevará a cabo en tres fases:

- Fase 1: Elaboración de base de datos para la creación y validación de modelo.

En primer lugar, se realizará una búsqueda bibliográfica para conocer el estado del arte en la simulación digital de motores diésel marinos [1-3], el estudio termodinámico de la instalación y los diferentes avances en cuanto a optimización energética y predicción de fallos en base a las condiciones operativas [4-6,8]. Seguidamente, y con los datos ya obtenidos del motor, se confeccionará una base de datos donde se aúnen todos los parámetros necesarios para la creación del modelo [9-14]. Posteriormente, se estudiará la necesidad de datos extra para poder correr la simulación del modelo. En el caso de identificar parámetros de los cuales no se disponga de datos se procederá a realizar un listado de estos y posterior recogida mediante mediciones a bordo del buque, siguiendo los criterios establecidos para las medidas ya disponibles.

- Fase 2: Desarrollo y validación de modelo de motor digital.

En esta segunda fase, una vez la base de datos esté completa, se procederá a modelar el motor en formato digital dotándolo del mayor detalle posible. Posteriormente, se realizarán simulaciones en los niveles de índice de carga y revoluciones donde existan mediciones conocidas extraídas del motor real. Con los resultados obtenidos se procederá a comprobar la coherencia de resultados con las medidas reales y se realizarán las modificaciones pertinentes en caso de resultar necesarias. Finalmente, se realizarán simulaciones en condiciones que el motor real puede alcanzar (revoluciones y carga) pero que, por razones operativas el buque, no puede usar o mantener en períodos estacionarios. Se analizarán los resultados, estudiando las diferentes condiciones y trazando un perfil operacional para establecer las condiciones de funcionamiento más favorables.

- Fase 3: Simulación de fallos en modelo.

En la última parte se establecerá un listado de los fallos más asiduos y destructivos con el objetivo de priorizar los trabajos de investigación sobre estos. Seguidamente se procederá a simular estados donde las condiciones técnicas en las que el motor trabaja serían causa o consecuencia de una avería. Se estudiarán los comportamientos del motor durante un período de tiempo determinado y el grado de afectación de dichas averías en el posterior funcionamiento del motor. Una vez simulados los

efectos de dicha avería durante un período de tiempo determinado se evaluará la posible reparación necesaria para devolver el motor a condición operativa, estimando el coste. Finalmente se procederá a la redacción y difusión de los resultados obtenidos.

3.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El proyecto tiene como objetivo principal la digitalización de un motor diésel marino a partir de medidas en una máquina real, que será válido para el análisis de eficiencia energética y la realización de predicciones de fallo de operación encaminadas a la optimización del mantenimiento mediante la simulación de distintas condiciones operativas. En base a lo anterior, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Creación de un modelo virtual de un motor diésel real.
2. Validación del modelo frente a datos registrados en campo.
3. Pruebas de interés con dicho modelo y difusión de resultados.

Entre los resultados esperados está la obtención de una plataforma fiable para realizar estudios encaminados a incrementar la sostenibilidad. El modelo podrá simular condiciones que en el activo real no es posible obtener (sobrecargas, averías, etc.). A posteriori, dicho modelo digital se puede extender, estudiando el buque desde una perspectiva holística que se orientará a las necesidades operativas del buque, mejorando la gestión del mantenimiento y la optimización de costes y recursos humanos, a la vez que minimiza las pérdidas y dota de capacidad de mejora en la planificación de los mantenimientos (minimiza paradas no programadas que impiden realizar los viajes contratados, o en el mejor de los casos no cumplir con horarios).

3.3 Tareas realizadas

Realizadas las tareas de la fase 1, ya mencionada en el resumen gráfico:

- Primera tarea con la búsqueda bibliográfica sobre el estado del arte en la diagnosis de motores diésel [1-8].
- Segunda tarea con el análisis y organización de datos disponibles, con la elaboración de diferentes tablas según datos tomados y/o calculados [9-14].

1	Grupo	Componente	Valor	Unidad
2		Bore	320	mm
3		Stroke	400	mm
4		Cyl Swept Volume	32,17	litros
5		Con-rod Length	1002 750+495=1245	mm
6		Pin Off-Set	0	mm
7		Compression Ratio	16	
9		Phase (ATDC)	0	Deg
10		Firing Order CW	1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 4	
11		Firing Order CCW	1 - 4 - 2 - 6 - 3 - 5	
15	CILINDROS	Material of Head	Cast Iron	
16		Material of Piston	Cast Iron / Steel	
17		Material of Liner	Cast Iron	
23		Cyl Axis Angle	0	Deg
24		Piston Mass	82	kg
25		Cylinder Liner Mass	239	kg
26		Cylinder Head Mass	382	kg
27		Piston-Pin Mass	15	kg
28		Con-rod Rot Mass		kg
29		Con-rod Rec Mass	Total 157	kg
32				
33		Nro de orificios	10	
34	INYECTOR	diámetro orificio	0,54	mm
35		ángulo	155	deg
36		Mass Flow	0,018833333	kg/s

Figura 1. Extracto de una de las Excel elaboradas con los diferentes datos de los equipos.

- Tercera tarea con la identificación de datos no disponibles y toma de medidas en equipo real, Coordinación con el personal de a bordo y realización de visitas al buque Cristina Masaveu para la recogida de datos de los viajes realizados durante el proyecto y toma de medidas geométricas necesarias para la modelización mediante el software AVL Cruise M.

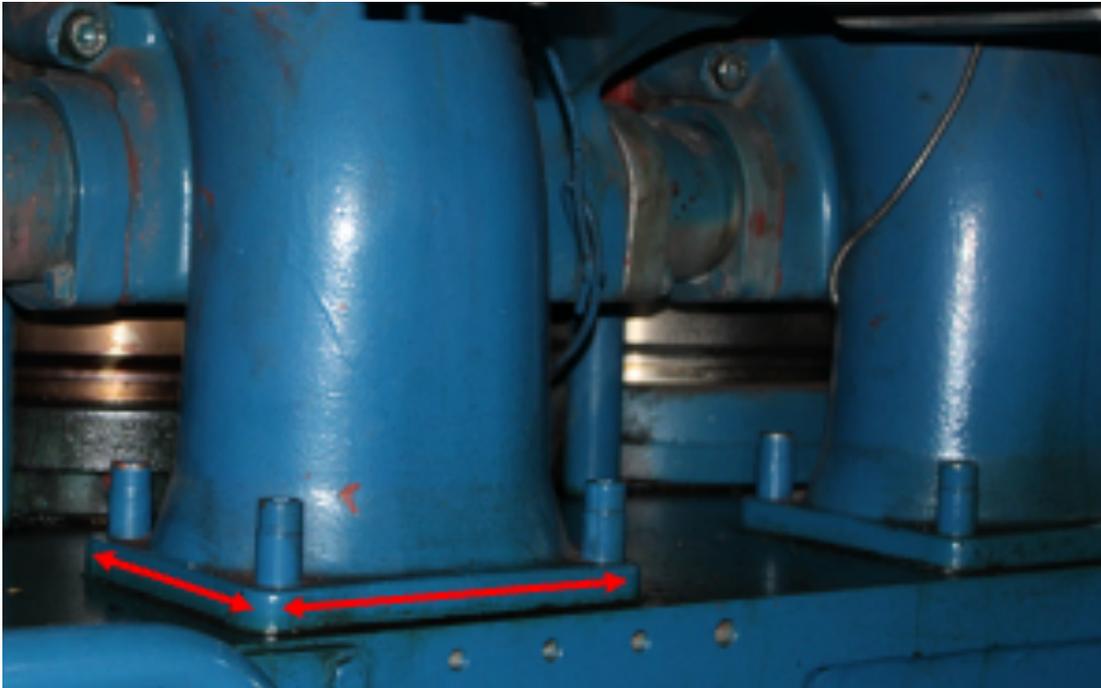


Figura 2. Toma de medidas del tramo de tubería de aire de carga que comunica el colector de dentro del bloque con la culata del cilindro.

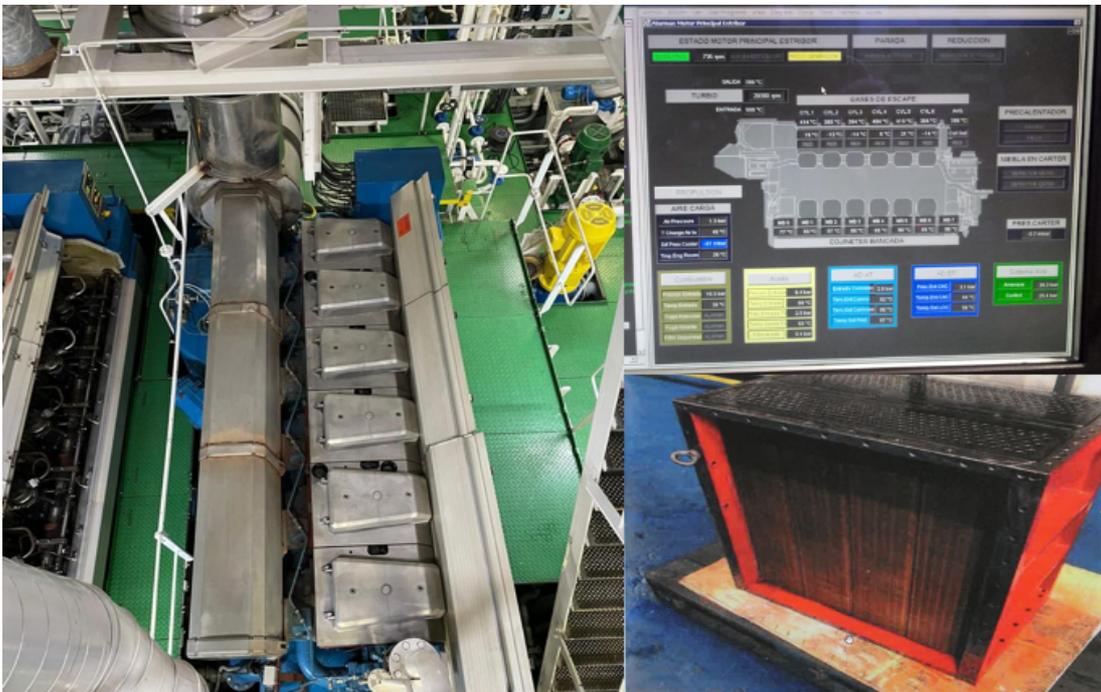


Figura 3. Fotos buque Cristina Masaveu. Izquierda plano superior motor con las tapas de las bombas de combustible a cada cilindro levantadas por mantenimiento, derecha superior pantalla de parámetros del motor en ordenador del control de máquinas, y derecha inferior enfriador aire de carga sustraído para limpieza.

Además, se aprovecha una visita a Wärtsilä, en Bermeo, con el alumnado del Máster Universitario en Tecnologías Marinas y Mantenimiento, verificar parte de esos datos e intercambiar información.



Figura 4. Foto visita a Wärtsilä, en Bermeo.

Así como cálculos orientativos del turbocompresor ABB TPL65-A30, con medidas geométricas similares facilitadas por ABB para cálculo dimensional, momentos de inercia y elaboración del mapa del compresor con el propio programa del AVL CRUISE M. Una vez recopilados todos los datos que inicialmente no estaban disponibles, pero eran necesarios para poder realizar simulaciones del modelo digital se incluyeron en la base de datos elaborada y se implementaron.

Fase 2, desarrollo y validación de modelo de motor digital:

- Primera tarea de esta segunda fase, desarrollo del modelo en base a los datos recopilados de manuales, informes, parámetros medidos a bordo y mediciones geométricas en el equipo real. En la Figura 5 podemos ver el diseño de nuestro modelo, y en la Figura 6 el ejemplo de los elementos dentro de un subsistema, como es el caso del bloque de cilindros, compuesto por 6 cilindros que tiene nuestro motor, que a su vez se trata de 6 subsistemas con 6 elementos cada uno, con el ejemplo de los datos que se solicitan dentro de uno de sus elementos, como es el caso del inyector.

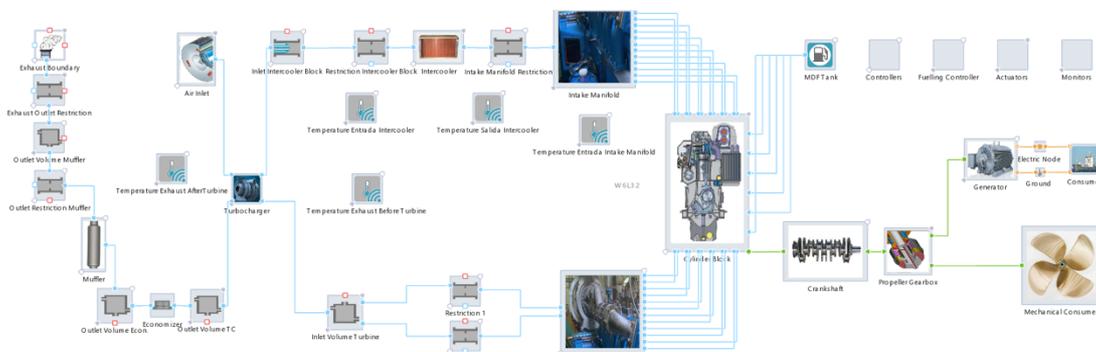


Figura 5. Esquema completo de todos los elementos y subsistemas que componen el modelo digital elaborado en el AVL CRUISE M.

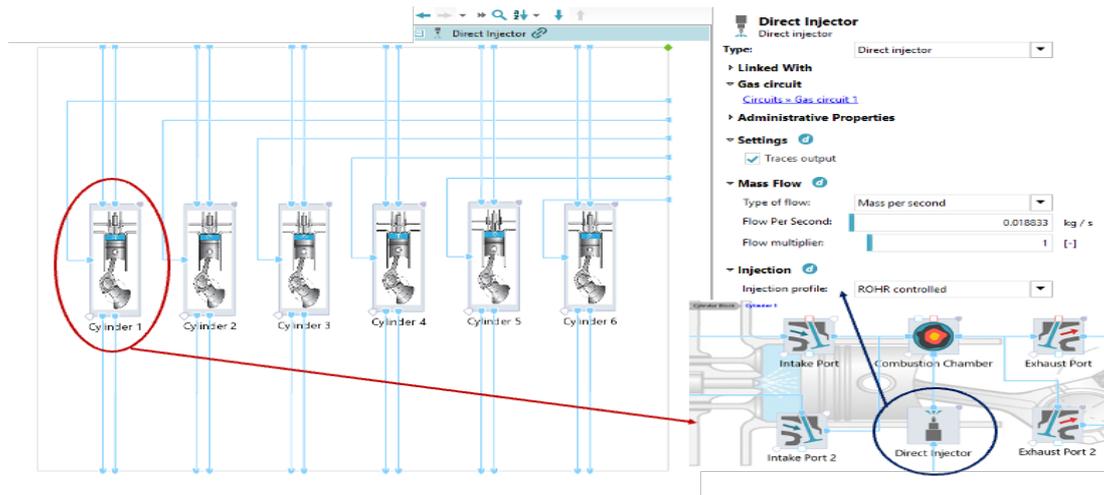
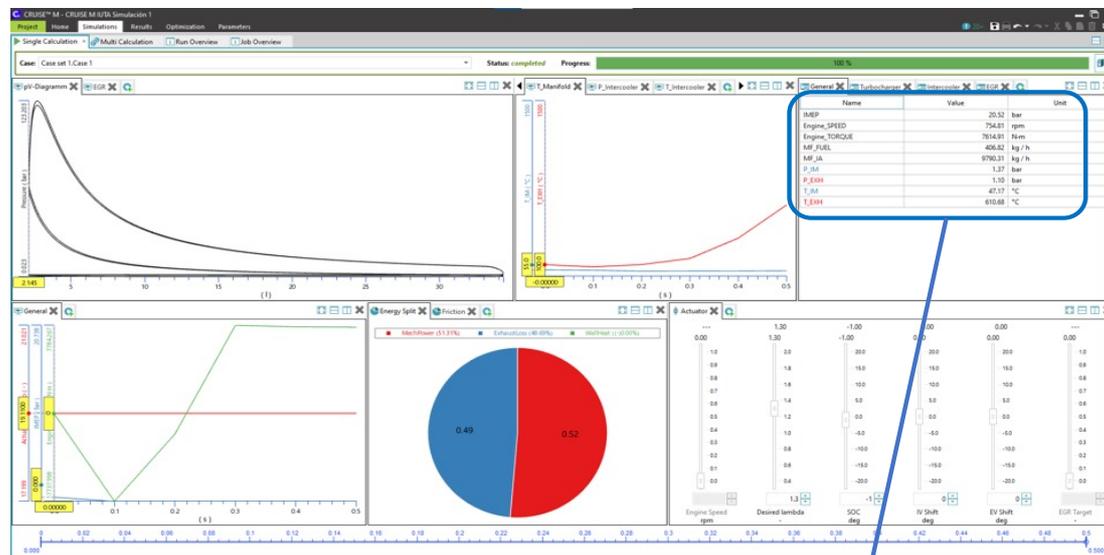


Figura 6. Derecha, esquema subsistema del bloque de cilindros; izquierda inferior, esquema subsistema que compone un cilindro; izquierda superior, datos solicitados en el inyector, en el AVL CRUISE M.

- Segunda tarea, validación del modelo digital frente a medidas reales. Introducidos todos estos datos en el programa se consigue realizar una primera simulación con resultados muy próximos a los del motor a efectos de estudio. Resultados que vemos reflejados en la Figura 7, en cuyo detalle ampliado se encuentran los datos numéricos de los resultados obtenidos en una primera simulación. Donde se puede observar, recuadrado en rojo, el consumo de aire (MF_IA), que se encuentra por debajo, y la temperatura de gases de escape (T_EXH) más alta que en los resultados recogidos a bordo del motor real.



Name	Value	Unit
IMEP	20.52	bar
Engine_SPEED	754.81	rpm
Engine_TORQUE	7614.91	N-m
MF_FUEL	406.82	kg / h
MF_IA	9790.31	kg / h
P_IM	1.37	bar
P_EXH	1.10	bar
T_IM	47.17	°C
T_EXH	610.68	°C

Figura 7. Resultados primera simulación.

Aunque el modelo está validado se continúa con la búsqueda de diferentes datos que nos aproximen aún más a los resultados de todos los parámetros del equipo real, búsqueda que se extiende en el tiempo hasta la actualidad. Al incluir un mapa del compresor, Figura 8, adaptado desde la base de datos de AVL BOOST a las necesidades de nuestro equipo, para el que se ajustó la ratio de presión, los flujos de masa de aire y velocidades de nuestro turbocompresor [15,16], se consigue un mejor resultado, representado en la Figura 9. Donde solo difieren muy poco por encima la temperatura de aire de carga (T_{IN}) y de gases de escape (T_{EXH}).

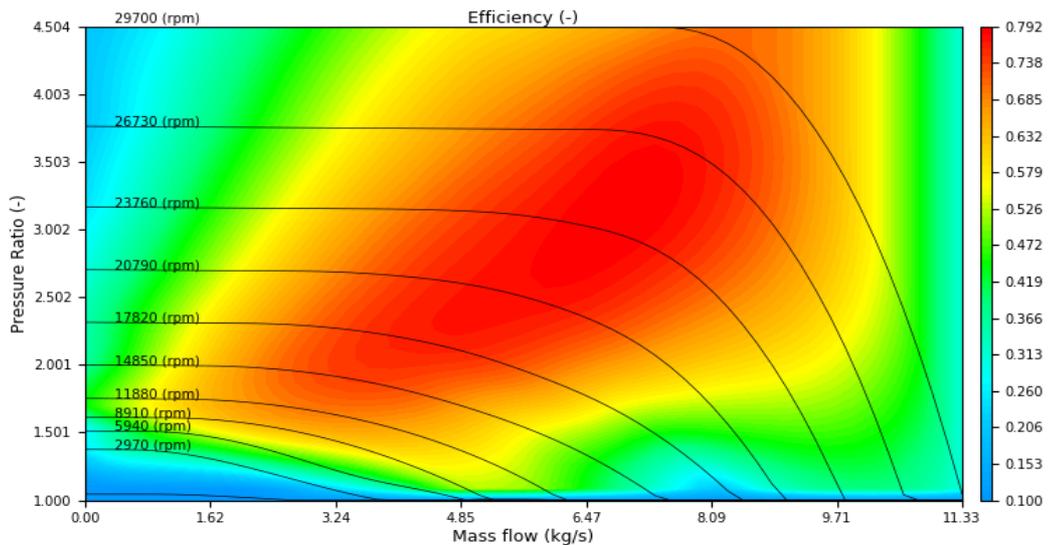


Figura 8. Mapa del compresor adaptado desde la base de datos de AVL BOOST.

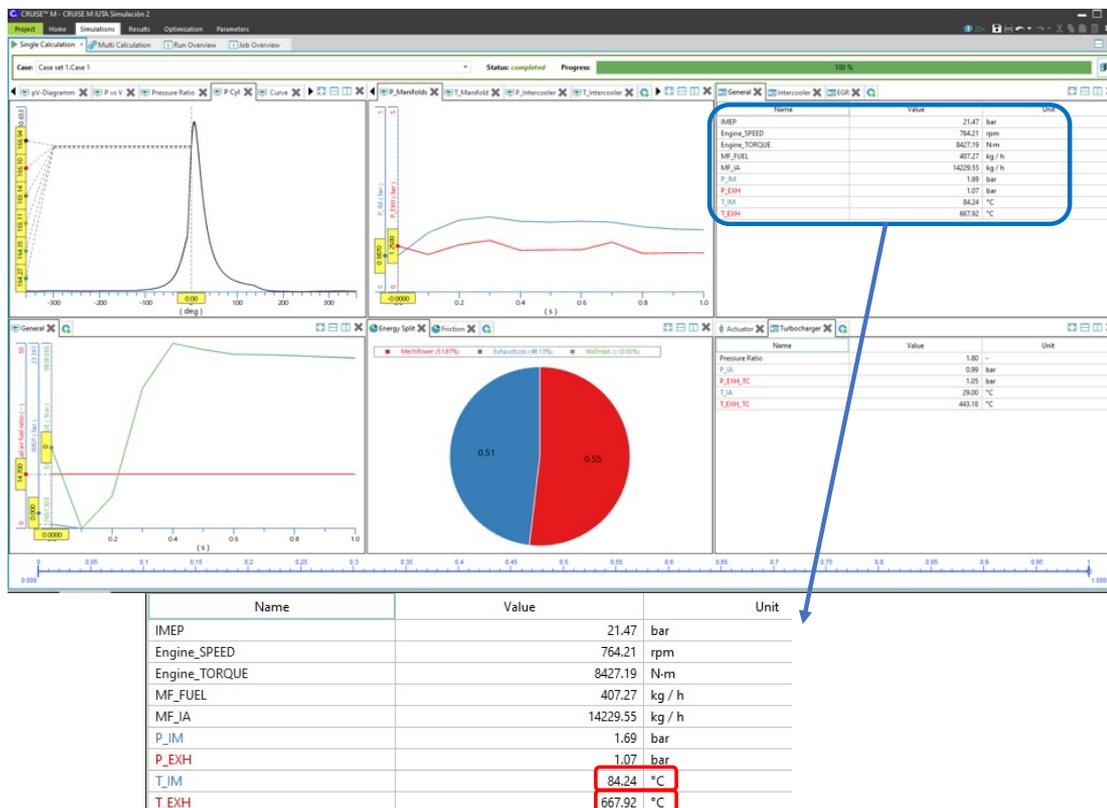


Figura 9. Resultados segunda simulación.

3.4 Resultados obtenidos

1. La base de datos elaborada permite identificar los parámetros necesarios para la creación de un gemelo digital de un motor marino real. Se ha elaborado de manera que permita su utilización en diferentes motores, con el ánimo de crear nuevos modelos a partir de otros equipos.
2. El modelo obtenido sienta la base para la creación de un gemelo digital de un motor marino real, instalado en un buque.
3. Este modelo se ha validado contra medidas reales del equipo caso de estudio (error 15 %). El desarrollo del modelo permitirá obtener y validar valores de prestaciones y realizar diagnóstico a partir de valores medidos en equipos reales, de manera casi inmediata.
4. La lista de fallos creada en base a las averías comunes en motores marinos sirve como base para posteriores estudios sobre la prevención de averías y optimización de los recursos de mantenimiento.

3.5 Trabajos o necesidades futuras

Se trabajará para ampliar la base de datos que permita reducir al mínimo la diferencia entre datos obtenidos por simulación y los recogidos a bordo del equipo real, con el fin de poder simular, aplicando diferentes modificaciones en el modelo digital, el comportamiento del equipo con los fallos más comunes, así como otras modificaciones que permitan dar unos resultados con un balance energético más favorable al actual en el equipo real.

Siendo esta parte una de las tareas pendientes del actual proyecto y que puede dar paso a uno o varios proyectos tanto de prevención y corrección de averías en motores marinos como de reaprovechamiento energético de los mismo y sus equipos auxiliares.

3.6 Divulgación de los resultados

Debido a que el proyecto se prolongó en el tiempo, no ha sido posible hasta el momento la realización de actividades de divulgación, quedando esta parte pendiente de realización.

4. Memoria económica

4.1 Gastos:

Concepto	Gasto
Personal	3604€
Fungibles	
Amortización	
...	
TOTAL GASTOS	3604€

4.2 Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
Ayuda IUTA	Personal	3604€
TOTAL INGRESOS		3604€

5. Bibliografía

1. Lv H, Li J, Ling J, Wang M. Research on Diesel Exhaust Aftertreatment System Modelling for Virtual Test Bed. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol 859. IOP Publishing Ltd; 2021. doi:10.1088/1755-1315/859/1/012082
2. Lv H, Ling J, Li J. Research on Simulation System Model of Diesel Engine Applied to Virtual Calibration Development. In: Journal of Physics: Conference Series. Vol 1982. IOP Publishing Ltd; 2021. doi:10.1088/1742-6596/1982/1/012149
3. Chen L, Ma C, Yang C, Zhang W. The joint simulation of marine dual fuel engine. In: Proceedings - 2019 International Conference on Intelligent Computing, Automation and Systems, ICICAS 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2019:502-506. doi:10.1109/ICICAS48597.2019.00110
4. Pagan, J.A. Sistema de Diagnosis de Motor Diesel Marino Basado en Modelo Termodinámico e Inteligencia Artificial. Ph.D. Thesis, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Spain, 2017. Available online: https://www.researchgate.net/profile/F_Vera_Garcia/publication/318674337_Sistema_de_diagnostico_de_motor_diesel_marino_basado_en_modelo_termodinamico_y_de_inteligencia_artificial/links/59772ed2458515e26d2cde9f/Sistema-de-diagnostico-de-motor-diesel-marino-basado-en-modelo-termodinamico-y-de-inteligencia-artificial.pdf (accessed on 22 July 2022)
5. Pagán Rubio JA, Vera-García F, Hernandez Grau J, Muñoz Cámara J, Albaladejo Hernandez D. Marine diesel engine failure simulator based on thermodynamic model. Appl Therm Eng. 2018;144:982-995. doi:10.1016/j.applthermaleng.2018.08.096
6. Kim JS, Yoon KS, Woo SK. Study on the Modeling of the Intake and Exhaust Systems of an SI Engine Using GT-POWER. Journal of the Korean Society of Marine Engineering. 2011;35(6):779-785. doi:10.5916/jkosme.2011.35.6.779
7. La labor de la OMI para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx> (accessed on 12 December 2022)
8. Matulić N, Radica G, Nižetić S. Engine model for onboard marine engine failure simulation. J Therm Anal Calorim. 2020;141(1):119-130. doi:10.1007/s10973-019-09118-3
9. Comellas S, Grau H, Pagán Rubio J, Antonio J. Máquinas de fluidos - Motores térmicos. - DESARROLLO DE BASE DE DATOS DE PARÁMETROS DE UN MOTOR DIÉSEL RÁPIDO MARINO AUXILIAR A PARTIR DE MEDIDAS EN BANCO DE ENSAYOS VÁLIDO PARA ANÁLISIS DE PRESTACIONES Y DIAGNOSIS. III Encuentro de Ingeniería de la Energía del Campus Mare Nostrum. Published online April 29, 2020. <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/90693> (accessed on 12 September 2022)

10. *Turbocharging A. Operation Manual Made in Switzerland TPL65-A30 Original Operation Manual.*; 2017.
11. *Catálogo de repuestos para Juliana 371, Wärtsilä 32, 16.4.2009*
12. *Manual de instrucciones. W32 Engine Manual spanish2008 | Juan Jose - Academia.edu.*
https://www.academia.edu/37728647/W32_Engine_Manual_spanish2008 (accessed on 13 August, 2022)
13. *Wärtsilä. Wärtsilä 32 Product Guide. Published online 2021. Wärtsilä 32 - diesel engine. Accessed*
<https://www.wartsila.com/marine/products/engines-and-generating-sets/diesel-engines/wartsila-32>
(accessed on 13 August, 2022)
14. *Operating Instructions Synchronous Generator. Siemens Electric Machines s.r.o. Drásov 126 CZ 664 24 Drásov*
15. *Product Information ABB Turbocharging TPL.-A- PDF Catalogs | Technical Documentation | Brochure.*
<https://pdf.directindustry.com/pdf/abb-turbocharging/tpl-a/30289-627886.html> (accessed on 21 August, 2022)
16. *Quirinus Rusman J. Charge Air Conngurations for Propulsion Diesel Engines Aboard Fast Naval Combatants a Simulation Study on Efficiency and Performance.* <http://repository.tudelft.nl/> (accessed on 21 October, 2022)