

# 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

SERRA COMELLAS, Jordi; HERNÁNDEZ GRAU, José

PAGÁN RUBIO, José Antonio

jordi.serra.comellas@gmail.com

Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica,  
Departamento de Térmica y Fluidos

## RESUMEN

El presente trabajo de fin de grado se encuadra en el ámbito de la medida y del cálculo de prestaciones de motores de combustión interna alternativos (MCIA) de aplicación marina, y más concretamente destinados a la propulsión de buques y/o generación de energía eléctrica a bordo.

Dentro de este ámbito, el objetivo principal de este proyecto es estudiar los distintos procedimientos existentes para el cálculo de las prestaciones, así como los parámetros principales que caracterizan a un MCIA (emisiones contaminantes, consumo de combustible, rendimientos energéticos, etc.) y, como consecuencia de este estudio previo, desarrollar un programa de lógica computacional mediante Microsoft Excel y Visual Basics for Applications, que sea capaz de forma totalmente automatizada, calcular dichas prestaciones definitorias de un MCIA, sin que las propias características del mismo (ya sean geométricas, del número y tipología de equipos acoplados, tipo de combustible utilizado, etc., de las cuáles existen múltiples posibilidades y combinaciones entre ellas), obstaculicen el proceso.

El fin del desarrollo de este programa de cálculo automatizado es utilizarlo para caracterizar un MCIA, a partir de una base de datos suficiente de valores de parámetros medidos. Asimismo, como el programa contará con distintos métodos de cálculo, la base de datos final que se obtendrá será más que suficiente para el estudio final y conclusiones que se quieren alcanzar.

Las principales conclusiones de este trabajo son que, después del haber desarrollado el programa de cálculo, es posible obtener y validar valores de prestaciones y diagnosis a partir de valores medidos en banco de ensayos MCIA, de manera casi inmediata.

Asimismo, después de un análisis comparativo de variabilidad sobre los valores obtenidos a partir de datos medidos sobre el mismo motor ensayado a distintas condiciones, o bien directamente sobre datos medidos en distintos motores, obtener relaciones entre ellos que ofrecen información muy interesante desde el punto de vista de conocer como al variar ciertas condiciones (ya sean operativas, intrínsecas a la fabricación, o del propio ensayo) inciden en mayor o menor medida en las prestaciones y características del motor, y poder cuantificar esta variabilidad.

Como último punto, indicar que con una base de datos suficientemente extensa, además de otra base de datos de campo (motor funcionando a bordo de un buque real), pueden obtenerse los KPI's (indicadores clave de prestaciones y diagnosis) para un MCIA, pero hay que tener siempre presente que mayoritariamente se obtienen por relaciones estadísticas (no físicas) y que, por tanto, contienen intrínseco a ellos un factor de aleatoriedad que puede provocar que algunas veces las relaciones no se cumplan o carezcan de total sentido.

Indica con una X el tipo de comunicación que deseas:

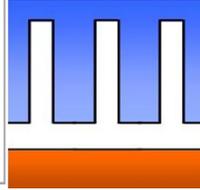
ORAL  PÓSTER

Indica con una X en qué Área Temática quieres que sea incluido tu resumen:

Eficiencia energética  Gestión y control de la energía  Impacto ambiental y social de la energía  Ingeniería de sistemas y equipos energéticos  Innovación docente en Ingeniería de la Energía  Máquinas de fluidos  Transferencia de calor y masa

#### REFERENCIAS.

- [1] ISO 3046-1:2002 Reciprocating internal combustion engines -Performance- part1: Declarations of power, fuel and lubricating oil consumptions, and test methods- Additional requirements for engines for general use.
- [2] ISO 8178: 2006 Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 3: Definitions and methods of measurement of exhaust gas smoke under steady – state conditions.
- [3] CIMAC. Emission Calculation Check Guide – IMO NO<sub>x</sub> Technical Code 2008. Set of Sample Measurement Data for evaluation of correct calculation according to the algorithms provided by the Code. Disponible en: <http://www.cimac.com/working-groups/wg5-exhaust-emissions-control/index.html> [Consulta: 25 septiembre 2016]
- [4] HERNÁNDEZ GRAU, J.: “Cálculo de Parámetros Motor”. Cartagena, UPCT, Dpto. de Ingeniería Térmica y de Fluidos.
- [5] HERNÁNDEZ GRAU, J.: Banco de ensayos de motor diésel marino de embarcación de recreo. Infraestructuras y procedimiento de ensayo. Cartagena, UPCT, Dpto. de Ingeniería Térmica y de Fluidos.
- [6] J.J. DE FELIPE: “Tema 5: Potencia – Rendimientos – Balance Térmico”. Laboratori de Mecànica de Fluids i Motors Tèrmics. Departament de Màquines i Motors Tèrmics. UPC.
- [7] MTU FRIEDRICHSHAFEN: Manual motor MTU 12v 396 TE 54
- [8] FONSECA GONZÁLEZ, N; “Aspectos de la medición dinámica instantánea de emisiones motores. Aplicación al desarrollo de un equipo portátil y metodología para estudios de contaminación de vehículos en tráfico real.”
- [9] GARCÍA PAMPLONA, J; ÁLVAREZ FLOREZ, J: “Diseño de una sala de pruebas para motores alternativos de combustión interna”.
- [10] BRIDGE ANALYSERS, INC: White paper N°9: Lambda Calculation – The Brettschneider Equation, general principles and methods, and its use with alternate fuels.



# **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**

1

**SERRA COMELLAS, JORDI;  
HERNÁNDEZ GRAU, JOSÉ;  
PAGÁN RUBIO, JOSÉ ANTONIO;**

**[jordi.serra.comellas@gmail.com](mailto:jordi.serra.comellas@gmail.com)**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA, ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA, DEPARTAMENTO DE  
TÉRMICA Y FLUIDOS**

## BANCOS DE ENSAYO DE MCIA

¿Cuándo aparecieron?

¿Por qué aparecieron?

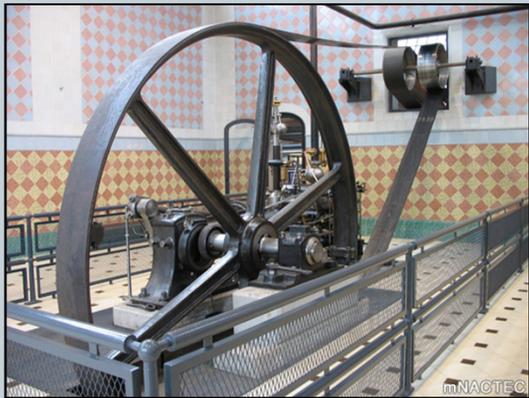
¿Qué utilidad tienen?



## Encuadre del proyecto

# ¿POR QUÉ APARECIERON?

3



Comunidad  
técnica y  
científica

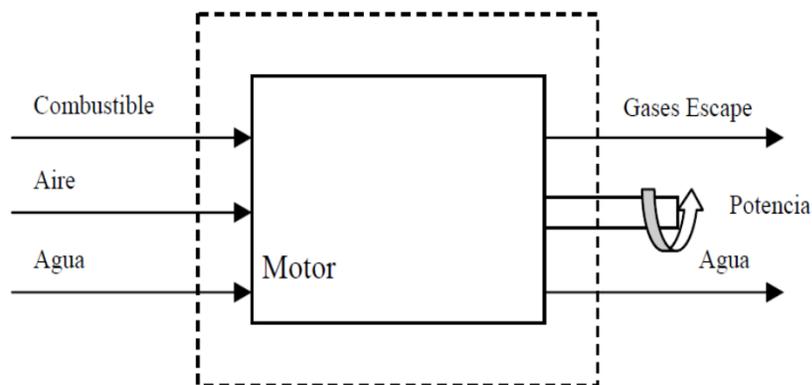


1915. Vandal, el "Fritz" (petrolero fluvial)



# ¿QUÉ UTILIDAD TIENEN?

4



- PRODUCCIÓN
- INVESTIGACIÓN del motor y/o sus componentes
- Ensayos de ACEPTACIÓN y HOMOLOGACIÓN
- Ensayos de EMISIONES y CONSUMOS
- FINES DOCENTES

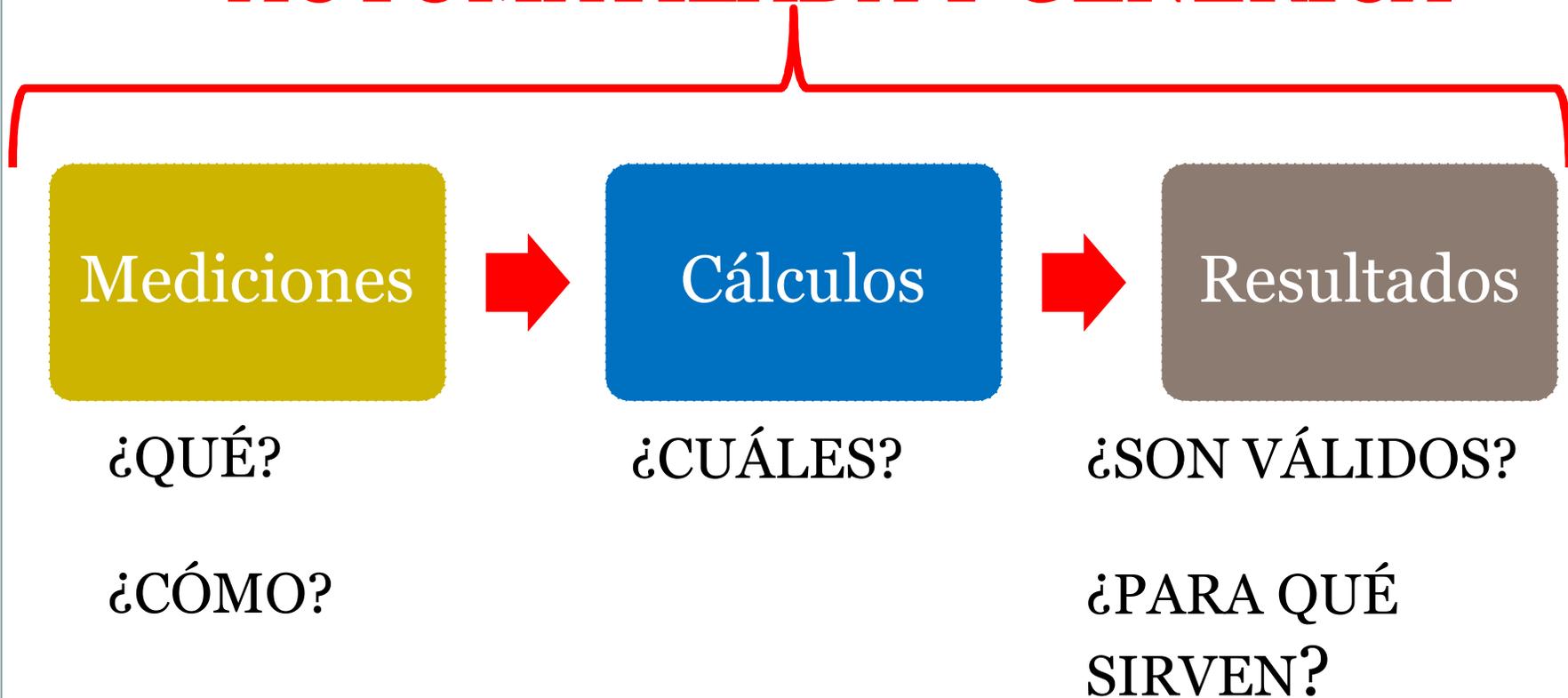
- Razones OBVIAS: comprobar que el motor funciona según especificaciones de prestaciones
- Razones DERIVADAS: cumplimiento de normativa internacional IMO, proyectos de I+D+i

**Alcance de este proyecto**

# OBJETIVOS DEL TRABAJO

5

# INTEGRARLO TODO DE FORMA AUTOMATIZADA Y GENÉRICA



## ADEMÁS...

- Demostración de competencias adquiridas en la realización del TFG.
- Dar un repaso y documentar sobre el procedimiento a seguir durante un ensayo, así como la instrumentación utilizada, y otros elementos importantes asociados.
- Repaso y documentación de los cálculos realizados.
- Estudio de la variabilidad de distintos parámetros de funcionamiento del motor al variar sus condiciones operativas.

# CÁLCULOS POSTERIORES AL ENSAYO

8

- ✓ Por cálculo directo
- ✓ Por norma ISO

# RESUMEN DE CÁLCULOS

- Parámetros fundamentales del motor
  - Grado de carga
  - Potencia
  - Presión media
  - Consumo específico de combustible

---
- Corrección de potencia
- Consumo de combustible corregido
- Rendimiento volumétrico
- Cálculo del gasto másico de aire de admisión
  - Dosado (AFR)
- Cálculo del gasto másico de los gases de escape húmedos
  - Cálculo del coeficiente de conversión de seco a húmedo
  - Factor de corrección de humedad y temperatura ambiental para NOx
  - Determinación del caudal de gases de escape
- Cálculo de los gastos másicos de las emisiones
- Cálculo de las emisiones específicas
- Balance energético de un motor de combustión interna alternativo

# CAPTURAS DEL PROGRAMA

10

## CALCULATING MARINE ENGINE PARAMETERS FROM ENGINE TEST DATA (marENGINE DATA Calc v 1.1)

Microsoft® Excel Spreadsheet for the calculation engine parameters from engine test data

© Copyright 2016 Jordi Serra Comellas, José Hernández Grau  
All rights reserved

Laboratory of Emissions Measurement in Combustion Engines (LEMCE)  
Laboratorio de Medida de Emisiones en Motores de Combustión  
Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos - Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)  
C/ Dr. Fleming, s/n – 30202 Cartagena  
Spain  
e-mail: JH.Grau@upct.es      Tel: +34 968 32 59 88



START

VIEW FINAL REPORT

LEGEND:

Black cells: value to be entered

Known value: introduce it

Unknown value: introduce "-"

Grey cells: automatic value calculation

## ENGINE INFORMATION

### Engine:

Manufacturer	NAVANTIA/MTU Friedrichshafen
Engine type	12V 396 TE54
Family or Group identification	NAVANTIA-MTU 12V 396 TE54 1800rpm IMO II
Serial number	12V-0L-2605

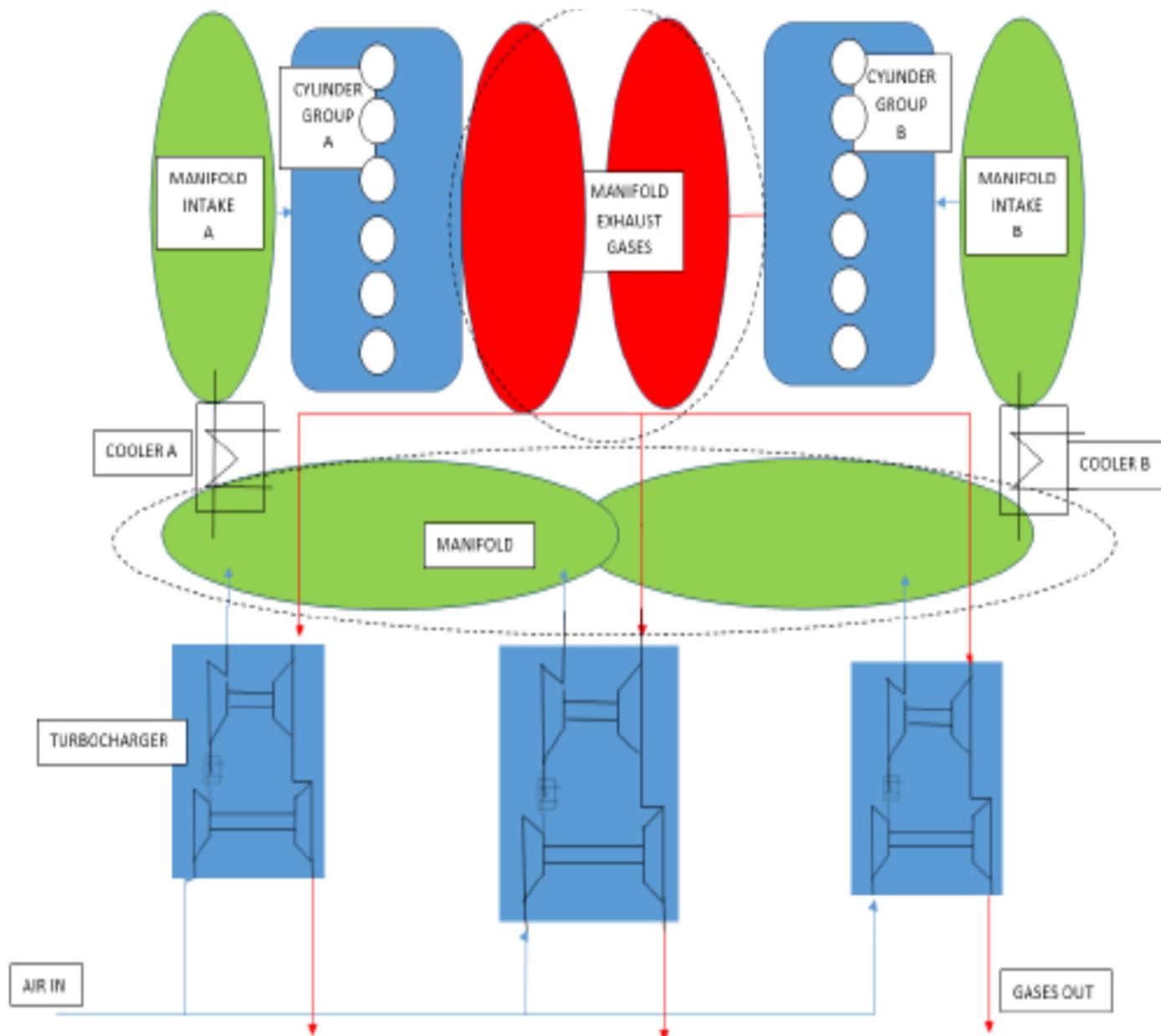
### Engine Family Information (ISO 3046)

Engine type	Diesel engine and dual fuel compression-ignition engine operating on liquid fuel	▼
Fuel type to be used on board	Diesel fuel oil	▼
Turbocharging conditions	Turbocharged with charge air cooling	▼
Power conditions	Low and medium speed four-stroke engine	▼
Combustion cycle	<input type="radio"/> 2T <input checked="" type="radio"/> 4T	2
Cooling medium	<input checked="" type="radio"/> Water <input type="radio"/> Air	1
Turbocharging method	<input checked="" type="radio"/> Constant pressure charged <input type="radio"/> Pulse pressure charged	1

Other Engine Information			
Nominal compression ratio	-	15,5:1	
Electronic injection control	-	<input checked="" type="radio"/> Yes	<input type="radio"/> No
Variable injection timing	-	<input type="radio"/> Yes	<input checked="" type="radio"/> No
Variable turbocharger geometry	-	<input type="radio"/> Yes	<input checked="" type="radio"/> No
Common Intake air manifold before air cooler	-	<input type="radio"/> Yes	<input checked="" type="radio"/> No 2
Common exhaust gases manifold	-	<input checked="" type="radio"/> Yes	<input type="radio"/> No 1
Exhaust gas recirculation	-	<input type="radio"/> Yes	<input checked="" type="radio"/> No
Water injection/emulsion	-	<input type="radio"/> Yes	<input checked="" type="radio"/> No
Start air injection	-	<input type="radio"/> Yes	<input checked="" type="radio"/> No
Intermediate Charge cooling system	-	<input checked="" type="radio"/> Yes	<input type="radio"/> No 1
Exhaust after-treatment	-	<input type="radio"/> Yes	<input checked="" type="radio"/> No 2
Dual fuel	-	<input type="radio"/> Yes	<input checked="" type="radio"/> No

Turbocharging system			
Turbochargers type	-	2R 170144	
Number of turbocharging systems	-	2	▼
Turbocharger n° 1 serial number (TC.A)	-	185/12/A	
Turbocharger n° 2 serial number (TC.B)	-	164/12/A	
Type of turbocharger system, line A (number of stages)	-	<input checked="" type="radio"/> Single	<input type="radio"/> Double 1
Type of turbocharger system, line B (number of stages)	-	<input checked="" type="radio"/> Single	<input type="radio"/> Double 1

Application/Intended for:	
Customer	
Test bed mode	<input checked="" type="radio"/> Brake 1 <input type="radio"/> Generator



## TEST INFORMATION

### Basic Test Information

Static injection timing (bTDC); crank angle degree	deg	21
Test mode code	-	D2 (constant rpm) ▼
Rated power (Rating)	kW	1200
Rated speed	rpm	1800
Tests cell	-	Portable ▼
Rotation	-	<input checked="" type="radio"/> CCW <input type="radio"/> TCW
Fuel state	-	<input checked="" type="radio"/> Liquid 1 <input type="radio"/> Gaseous
Air flow determination method	-	<input checked="" type="radio"/> From exhaust gases analysis <sup>1</sup> <input type="radio"/> Directly measured in test

## INSTRUMENTATION DATA

### Exhaust sample probe localization

Diameter	690 mm nominal	
Length	>> 3 times of pipe diameter	
Insulation	<input checked="" type="radio"/> Yes	<input type="radio"/> No
Probe location	Distance from engine exhaust outlet: 4.5 m aprox.	
Remark	Common exhaust pipe measure point	

## INSTRUMENTATION CALIBRATION

### Gaseous emission correction from Testo 360

Corrected Volumetric relation, dry base		Line correction			
O <sub>2</sub>	%	1,01175	*O2_testo +	-0,32005	
CO <sub>2</sub>	%	1,0111	*CO2_testo +	0,0029	
CO	ppm	0,9946	*CO_testo +	0,7008	
NO	ppm	0,95	*NO_testo +	-22,5	(0 to 1450 ppm)
NO <sub>2</sub>	ppm	1	*NO2_testo +	0	
NO <sub>x</sub>	ppm	1	*NOx_testo +	0	
HC	ppm	1	*HC_testo +	0	

## FUEL DATA

Show Results Only

Show All Calculations

Air's molecular weight		
% Volume of each element in air		
N <sub>2</sub>	kmol(i)/kmol(air)	0,7809
O <sub>2</sub>	kmol(i)/kmol(air)	0,2094
Ar	kmol(i)/kmol(air)	0,0093
CO <sub>2</sub>	kmol(i)/kmol(air)	0,0004
Result		
Air's molecular weight	kg/kmol	28,966

## LIQUID FUEL

Fuel composition (laboratory)		
% Weight		
Carbon (C)	kg/kg(f)	0,8570
Hydrogen (H <sub>2</sub> )	kg/kg(f)	0,1390
Sulphur (S)	kg/kg(f)	0,0008
Oxygen (O <sub>2</sub> )	kg/kg(f)	0,0000
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	kg/kg(f)	0,0000
Water (H <sub>2</sub> O)	kg/kg(f)	0,0000
Total	kg(f)/kg(f)	0,9968

**MEASURED TEST PARAMETERS**

**MEASURED TURBOCHARGING SYSTEM PARAMETERS**

**CALCULATED PARAMETERS**

Air and exhaust mass calculation method

Lambda Brettschneider method

Lambda C-H-O-N balance method

ISO 8178 method, Carbon balance, less fuel N-O

ISO 8178 method, Carbon balance

ISO 8178 method, Oxygen balance

Show all methods calculation

Show results only

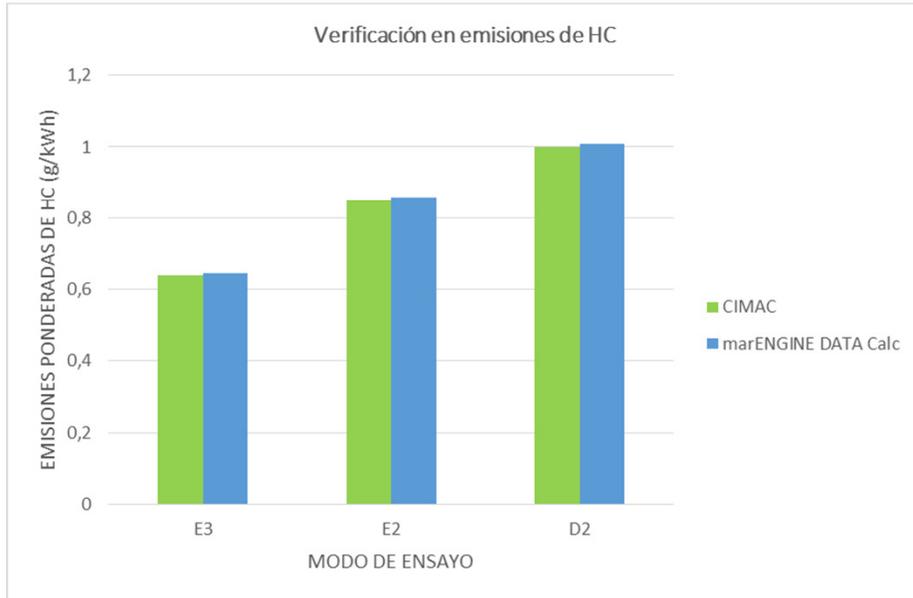
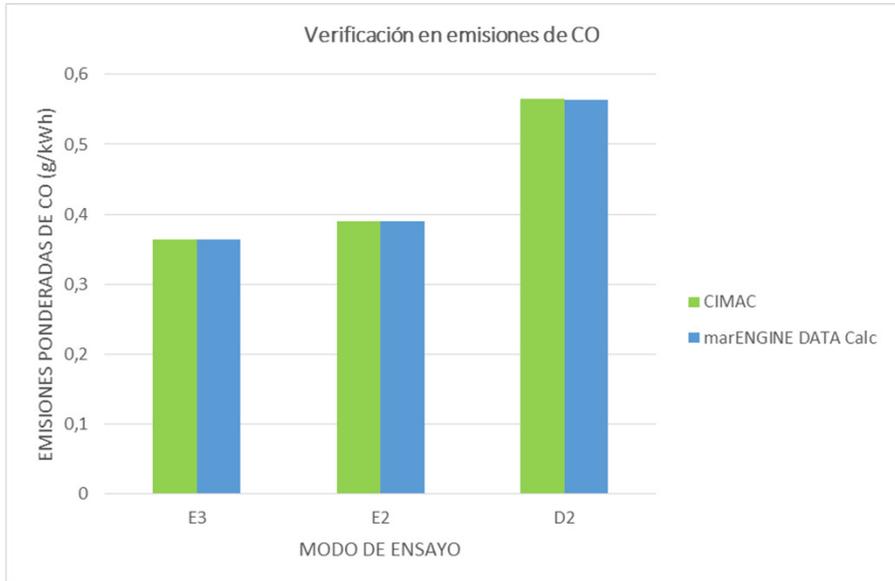
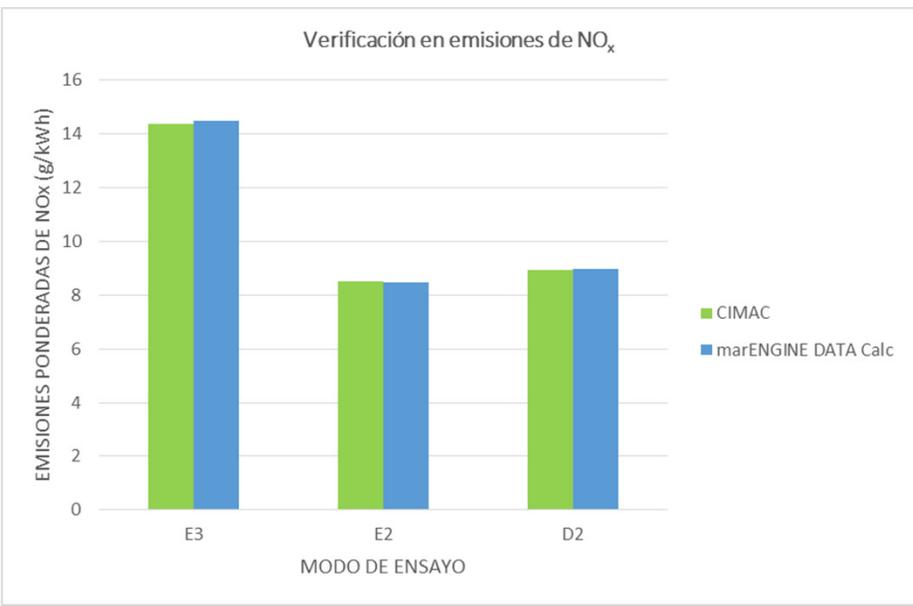
Show all calculations

**ENGINE ENERGY BALANCE**

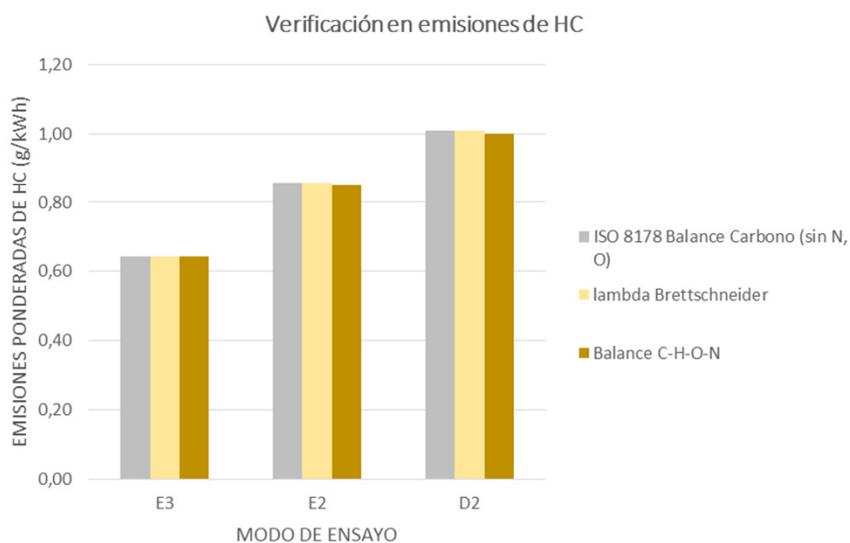
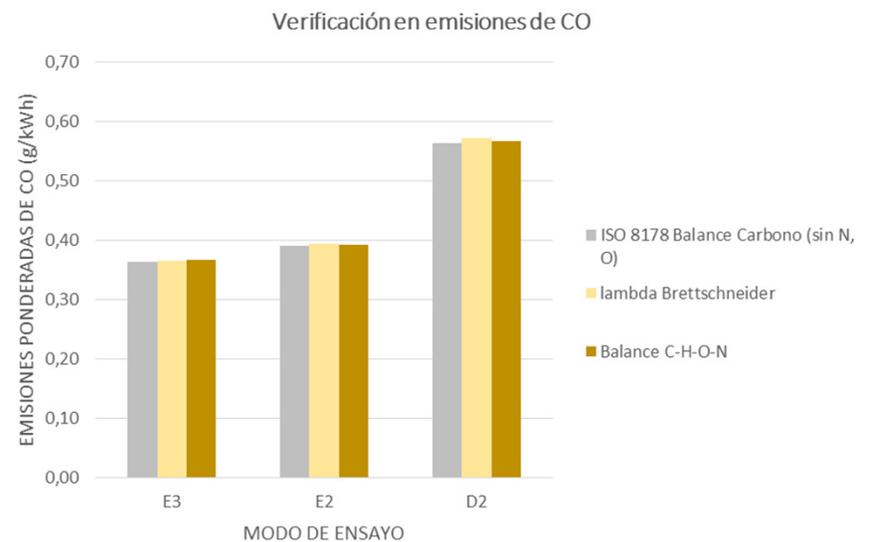
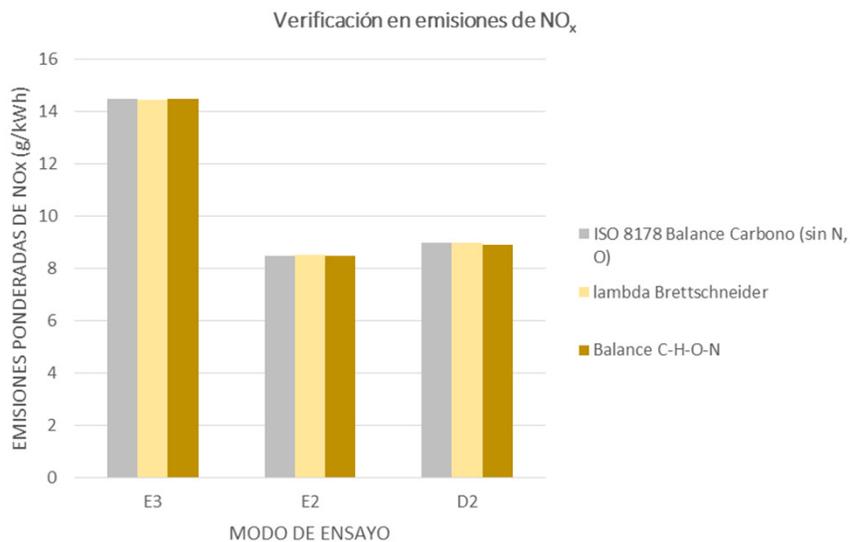
**FINAL REPORT**

**VALIDACIÓN** DEL LIBRO  
AUTOMATIZADO  
DESARROLLADO EN MICROSOFT  
EXCEL Y VBA





Error E3		
NO <sub>x</sub>	CO	HC
<b>0,80%</b>	<b>0,02%</b>	<b>0,74%</b>
Error E2		
NO <sub>x</sub>	CO	HC
<b>0,32%</b>	<b>0,11%</b>	<b>0,89%</b>
Error D2		
NO <sub>x</sub>	CO	HC
<b>0,69%</b>	<b>0,29%</b>	<b>0,65%</b>



Diferencia E3 Brettschneider			Diferencia E3 Balance C-H-O-N		
NOx	CO	HC	NOx	CO	HC
0,44%	0,31%	0,36%	0,11%	0,61%	0,05%
Diferencia E2 Brettschneider			Diferencia E2 Balance C-H-O-N		
NOx	CO	HC	NOx	CO	HC
0,75%	0,89%	0,05%	0,18%	0,29%	0,64%
Diferencia D2 Brettschneider			Diferencia D2 Balance C-H-O-N		
NOx	CO	HC	NOx	CO	HC
0,08%	1,49%	0,16%	0,76%	0,52%	0,75%

**¡Validación OK!**

# ESTUDIO DE DISPERSIÓN ENTRE MEDICIONES Y RESULTADOS DE VARIOS ENSAYOS DE MOTOR MTU 396 12V

✓ Sobre distintos motores

✓ Sobre el mismo motor

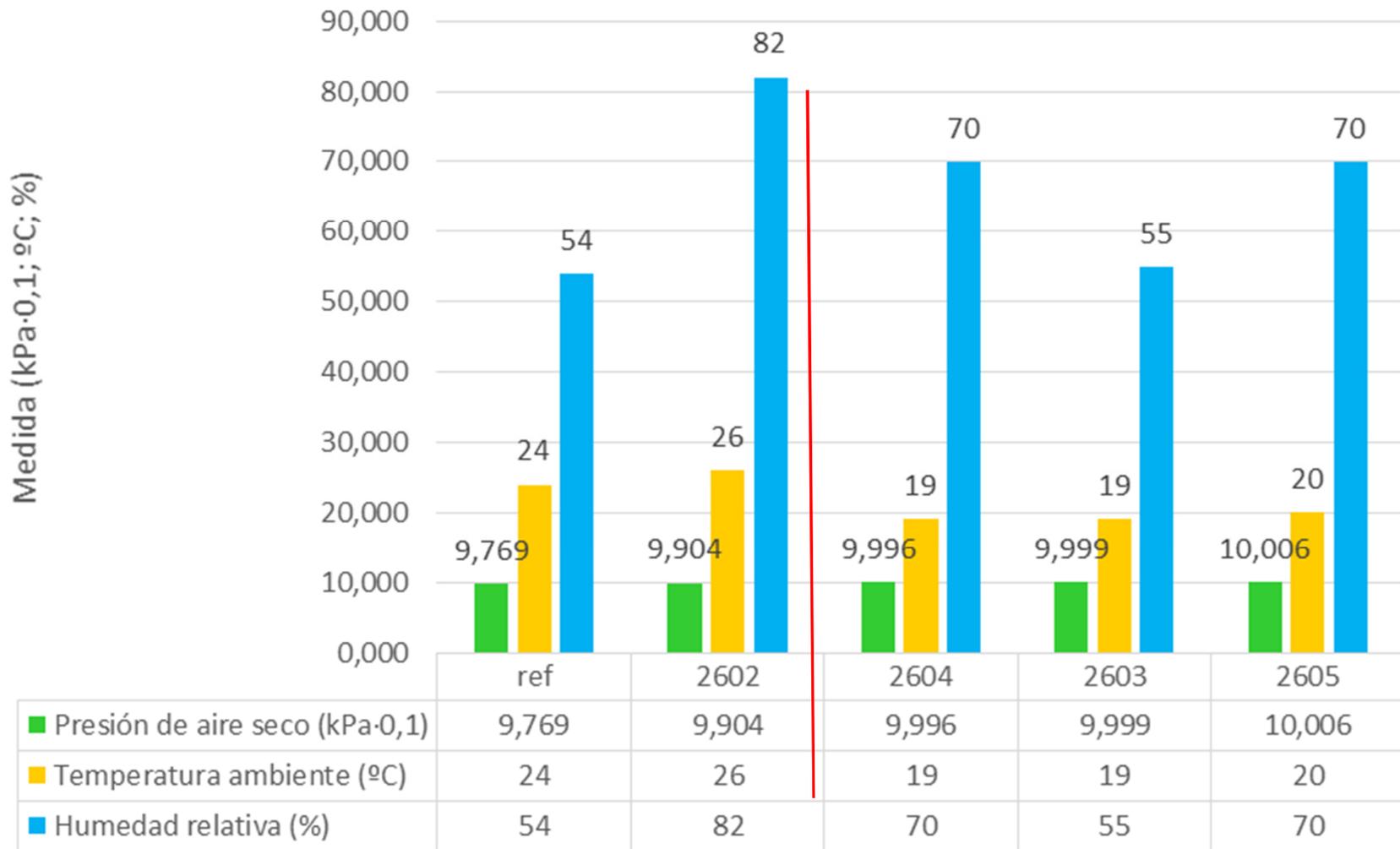


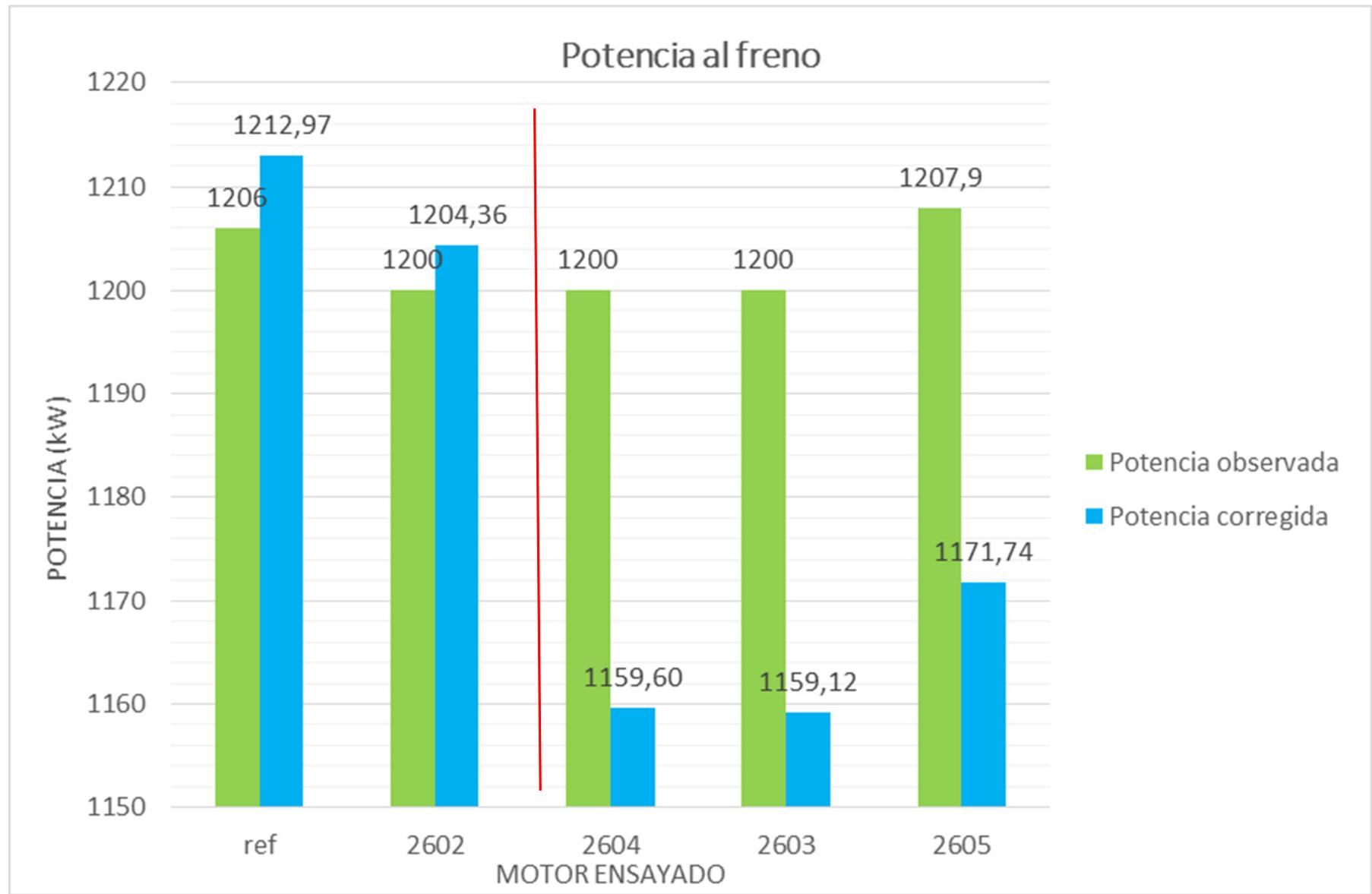
A distintas condiciones de ensayo

# MOTORES DISTINTOS

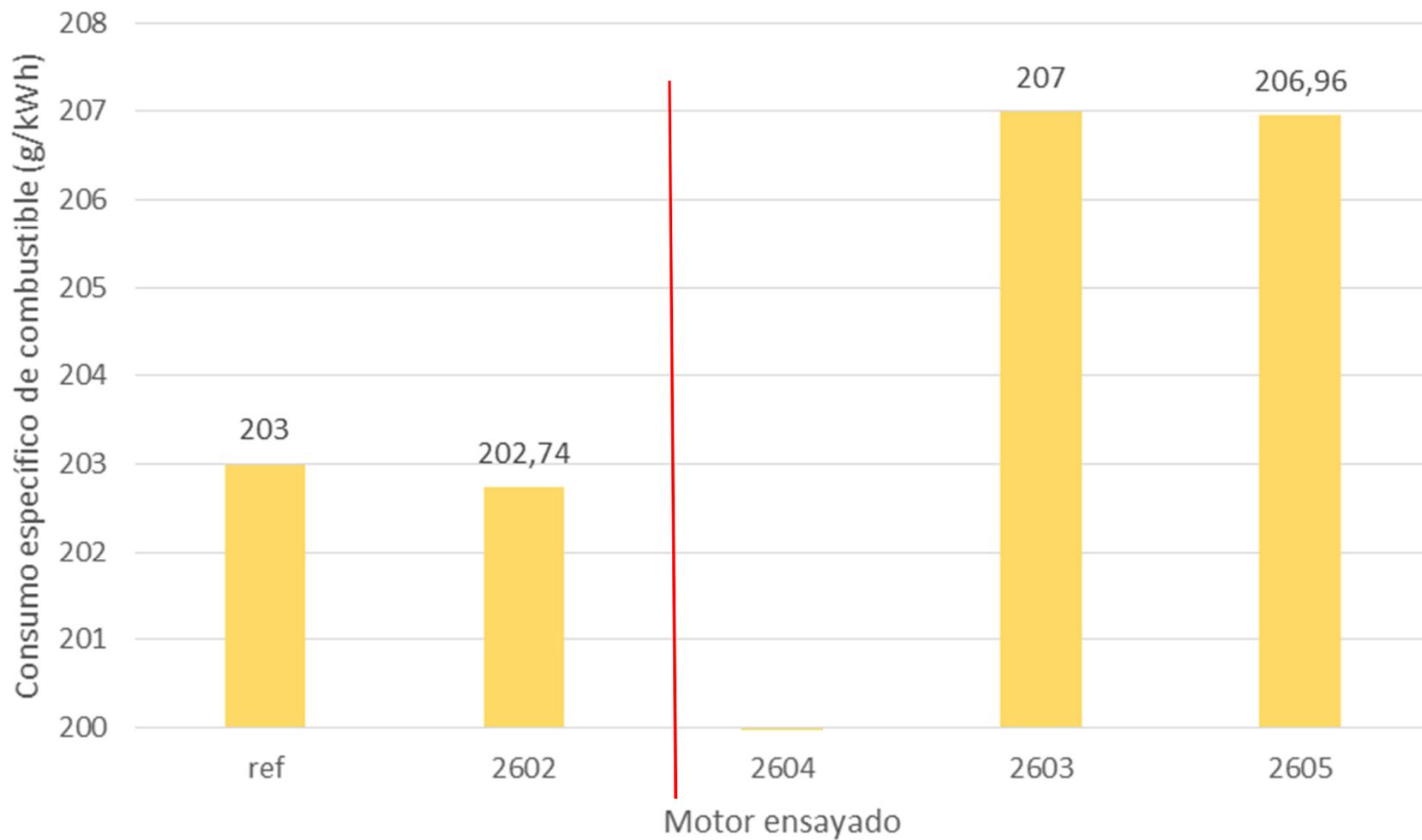
24

### Condiciones ambientales

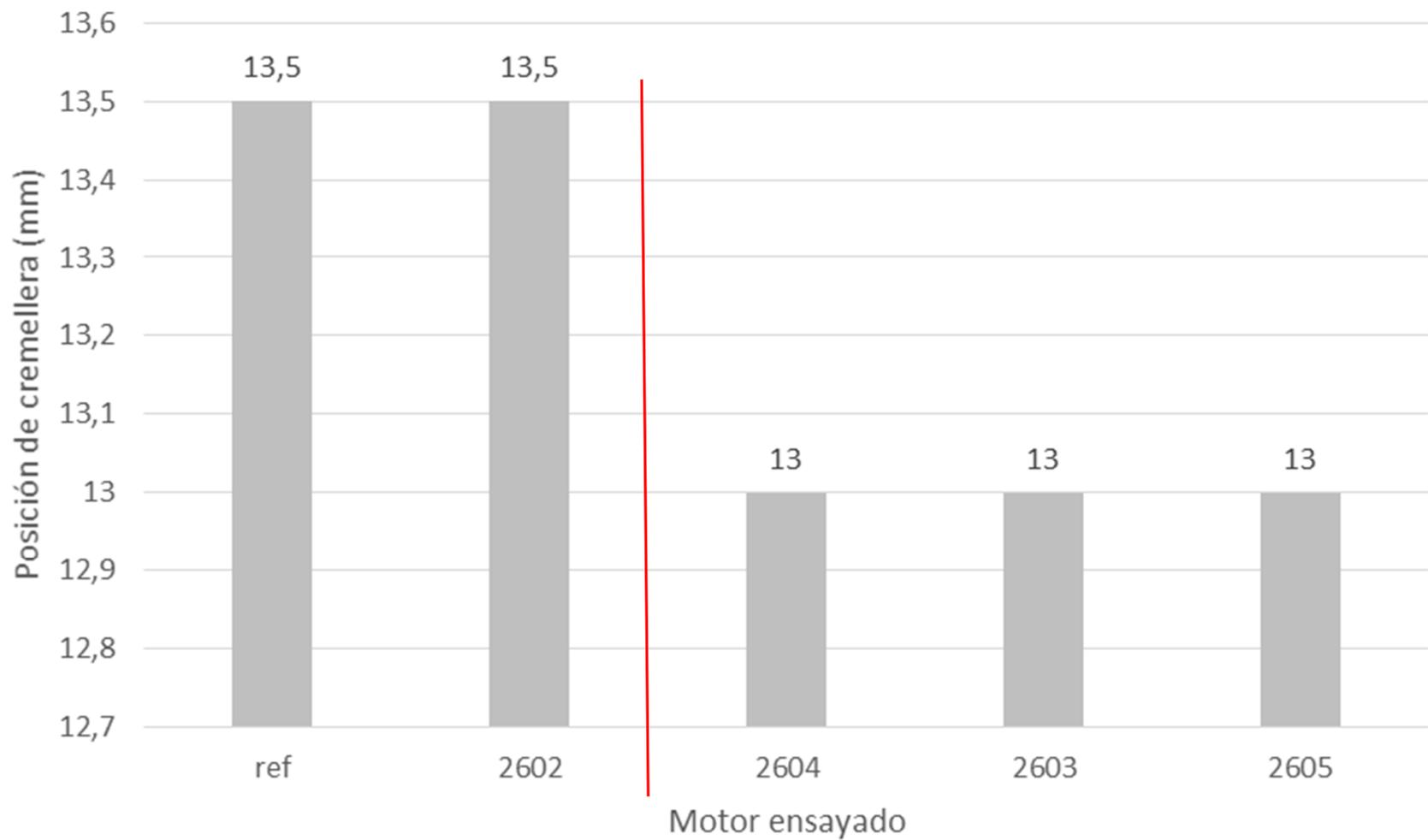




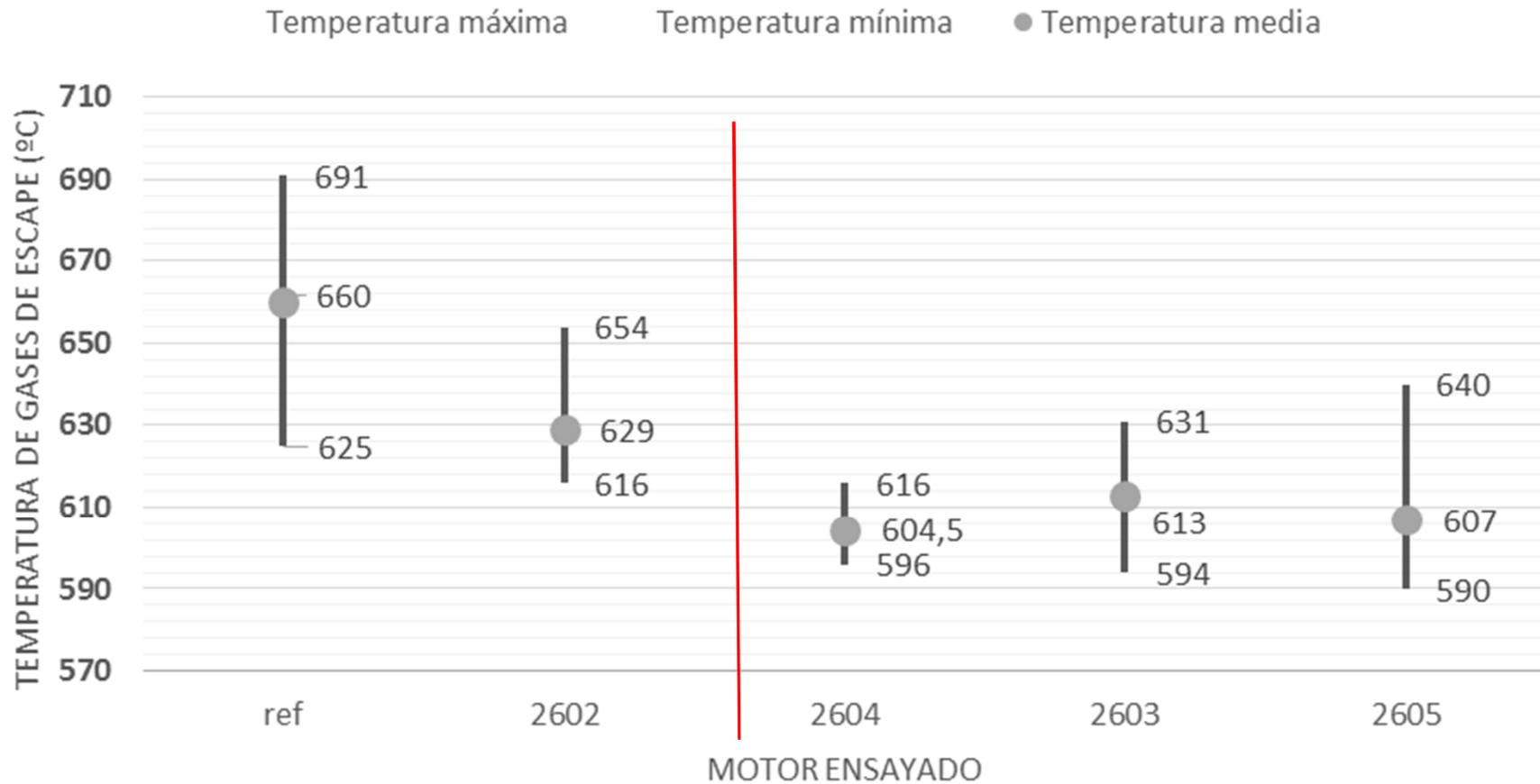
### Consumo específico de combustible al punto nominal



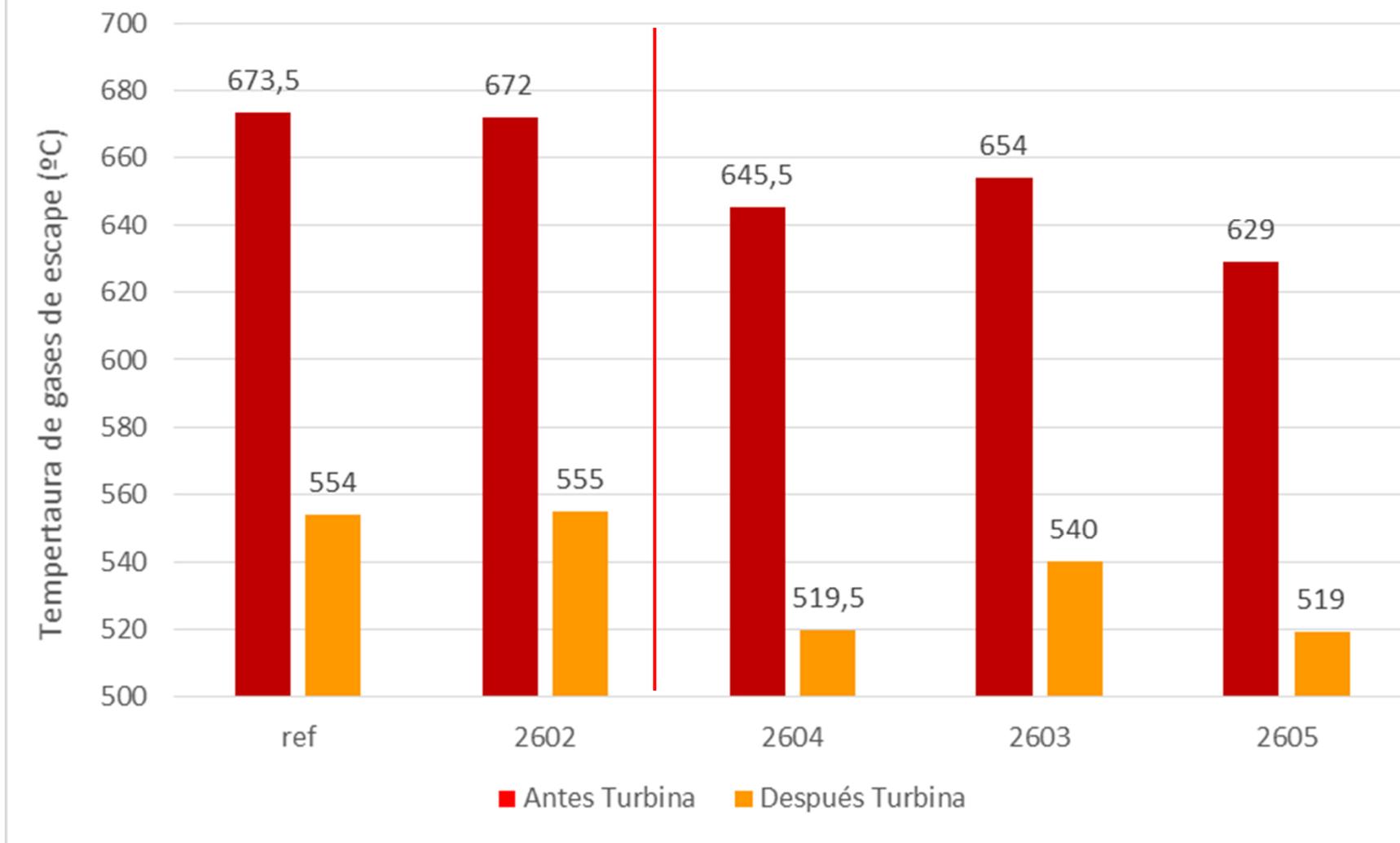
Posición de cremallera, punto nominal



## Desviación máxima de temperatura de escape entre cilindros



Temperatura de gases de escape, antes y después de turbos



# CONCLUSIONES DEL TRABAJO

31

- 1) Éxito en el desarrollo del programa que permite obtener y validar valores de prestaciones y diagnosis a partir de valores medidos en banco de ensayos MCIA, de manera casi inmediata.
- 2) Después de un análisis comparativo de variabilidad, obtener relaciones entre ellos que ofrecen información muy interesante desde el punto de vista de conocer como al variar ciertas condiciones (ya sean operativas, intrínsecas a la fabricación, o del propio ensayo) inciden en mayor o menor medida en las prestaciones y características del motor, y poder cuantificar esta variabilidad.

# CONCLUSIONES DEL TRABAJO

32

3) Con una base de datos suficientemente extensa, además de otra base de datos de campo, pueden obtenerse los *KPI's* para un MCIA, pero hay que tener siempre presente que mayoritariamente se obtienen por relaciones estadísticas (no físicas) y que, por tanto, contienen intrínseco a ellos un factor de aleatoriedad que puede provocar que algunas veces las relaciones no se cumplan o carezcan de total sentido.



**GRACIAS POR SU ATENCIÓN  
¿PREGUNTAS?**



**SERRA COMELLAS, JORDI;  
HERNÁNDEZ GRAU, JOSÉ;  
PAGÁN RUBIO, JOSÉ ANTONIO;**

**[jordi.serra.comellas@gmail.com](mailto:jordi.serra.comellas@gmail.com)**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA, ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA, DEPARTAMENTO DE  
TÉRMICA Y FLUIDOS**