



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA



## Resumen

En el presente Trabajo Fin de Grado se aborda el montaje de una sala de ensayo para el análisis del rendimiento y las emisiones de un motor de combustión interna alternativo diésel. La investigación surge de las nuevas restricciones impuestas por la normativa Euro 6D-Temp, que establecen la realización de ensayos bajo condiciones cambiantes de altitud y temperatura. Por ello, la instalación dispone de un equipo para la emulación de condiciones ambientales variables, el cual requiere características especiales de montaje para su conexión con el motor. Durante el trabajo se desarrolla el proceso de instalación del motor en la sala y su conexión a los distintos sistemas auxiliares necesarios para su funcionamiento. Se ha llevado a cabo la instrumentación del motor para el registro de la temperatura y de la presión en múltiples puntos. Por último, para el estudio del sistema de postratamiento de gases de escape se ha instalado el equipo de medición de emisiones contaminantes.

**Palabras Clave:** instalación, instrumentación, medición, emisiones contaminantes, gases de escape, postratamiento, montaje, precisión, simulación.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA



## Resum

En el present Treball Fi de Grau s'aborda el muntatge d'una sala d'assaig per a l'anàlisi del rendiment i les emissions d'un motor de combustió interna alternatiu dièsel. La investigació sorgeix de les noves restriccions imposades per la normativa Euro 6D-Temp, que estableixen la realització d'assajos sota condicions canviants d'altitud i temperatura. Per això, la instal·lació disposa d'un equip per a la emulació de condicions ambientals variables, el qual requereix característiques especials de muntatge per a la seva connexió amb el motor. Durant el treball es desenvolupa el procés d'instal·lació del motor a la sala i la seva connexió als diferents sistemes auxiliars necessaris per al seu funcionament. S'ha dut a terme la instrumentació del motor per al registre de la temperatura i de la pressió en múltiples punts. Finalment, per a l'estudi del sistema de postractament de gasos d'escapament s'ha instal·lat l'equip de mesura d'emissions contaminants.

**Paraules Clau:** instal·lació, instrumentació, mesura, emissions contaminants, gasos d'escapament, postractament, muntatge, precisió, simulació.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA



## Abstract

The present final degree project includes the mounting of a rehearsal room for the analysis of the efficiency and emissions of a diesel internal combustion engine. The investigation arises from the new restrictions imposed by the Euro 6D-Temp regulation, which establish the realization of tests under changing altitude and temperature conditions. For this reason, the installation disposes of an equipment for the emulation of variable atmospheric conditions that require special mounting characteristics for its confection with the motor. During the project, is developed the installation process of the motor in the room and its connection to the different auxiliary systems necessary for its operation. In addition, the motor has been instrumented for the recording of temperature and pressure at multiple points. By last, for the study of the exhaust gas after-treatment system, has been installed the Pollutant emission measurement equipment.

**Keywords:** Installation, instrumentation, measurement, pollutant emissions, exhaust gases, after-treatment, assembly, precision, simulation.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA



## DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- Memoria
- Presupuesto
- Planos

## ÍNDICE MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. Preámbulo.....	17
1.2. Objetivos.....	19
2. ENSAYOS DE EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES.....	20
2.1. Marco legal.....	20
2.2. El ciclo WLTC.....	21
3. SALA DE ENSAYO.....	23
3.1. Descripción. Esquema general.....	23
3.2. Bancada.....	26
3.3. Sistemas auxiliares de servicio.....	26
3.4. Equipo de acondicionamiento de aire.....	28
4. MOTOR.....	30
4.1. Descripción y características.....	30
4.2. Sistemas de postratamiento de gases de escape.....	31
4.2.1. Sistema de EGR (Recirculación de Gases de Escape).....	31
4.2.2. Catalizador de oxidación DOC (Diesel Oxidation Catalyst).....	31
4.2.3. Sistema selectivo de reducción NOx (Selective Catalytic Reduction Filter).....	32
4.3. Instalación del motor en la bancada.....	33
4.3.1. Nivelación del motor.....	34
4.3.2. Acoplamiento al freno dinamométrico.....	35
4.4. Instalación de elementos auxiliares.....	37
4.4.1. Sistema eléctrico.....	37
4.4.2. Sistema de refrigeración del motor.....	38
4.4.2.1. Refrigeración del motor.....	38
4.4.2.2. Refrigeración del intercooler.....	40



4.4.3. Sistema de admisión.....	40
4.4.4. Sistema simulación de presión para los gases de cárter ( <i>blow by</i> ) y ECU.....	41
4.4.5. Sistema de combustible. ....	43
4.4.6. Sistema de escape. ....	44
4.4.7. Sistema de urea.....	44
5. FRENO ASÍNCRONO.....	46
5.1. Freno asíncrono.....	46
5.2. Calibración del freno. ....	46
6. PARÁMETROS A MEDIR Y SISTEMAS DE MEDIDA. ....	48
6.1. Par y régimen de giro del motor. ....	48
6.2. Caudalímetro de aire.....	48
6.3. Sistema de acondicionamiento y medida de combustible.....	49
6.4. Régimen de giro del turbocompresor. ....	50
6.5. Presiones. ....	51
6.5.1. Presiones medias.....	51
6.5.1.1. Transductores de presión.....	51
6.5.1.2. Instalación. ....	51
6.5.1.3. Conexión al sistema de adquisición PUMA. ....	52
6.5.1.4. Variables medidas. ....	53
6.5.2. Presión instantánea en la cámara de combustión. ....	55
6.5.2.1. Esquema de montaje.....	55
6.5.2.2. Sensor de presión. ....	56
6.6. Codificador angular. ....	57
6.7. Pinza amperimétrica.....	58
6.8. Temperaturas medias.....	59
6.8.1. Termopares. ....	59
6.8.2. Conexión al Módulo AVL. ....	59
6.8.3. Variables e instalación.....	60
6.9. Visualización de variables.....	63
6.10. Medida de emisiones de escape. ....	64
6.10.1. Sondas. ....	64



6.10.2. Analizador de gases HORIBA MEXA ONE.....	65
6.10.2.1. Medida de emisiones contaminantes. ....	65
6.10.2.2. Medida de tasa de EGR. ....	67
6.10.2.3. Instalación. ....	67
6.10.3. Medición de opacidad de humos. ....	68
6.10.3.1. Opacómetro AVL 439. ....	68
6.10.3.2. Instalación. ....	68
6.10.4. Equipo de medida de partículas. ....	68
6.10.4.1. Acondicionador de muestra. ....	69
6.10.4.2. Espectrómetro de medida de tamaño de partículas.....	70
6.10.4.3. Instalación. ....	70
7. SISTEMAS DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS.....	72
7.1. Sistema AVL PUMA 2. ....	72
7.1.1. Módulo AVL. ....	72
7.1.2. PUMA 2. ....	72
7.2. Sistema de alta frecuencia (YOKOGAWA DL-850V).....	73
8. ENSAYOS DE VALIDACIÓN. ....	75
8.1. Planificación y ensayos. ....	75
8.2. Valores límite durante el ensayo.....	77
8.3. Validación en régimen estacionario. ....	77
9. CONCLUSIONES. ....	81
10. BIBLIOGRAFÍA. ....	82

## ÍNDICE PRESUPUESTO

1. Objeto del presupuesto.....	85
2. Desglose del presupuesto. ....	85
2.1. Instalación del motor. ....	85
2.2. Sistema eléctrico. ....	86
2.3. Sistema de refrigeración del motor.....	86
2.4. Sistema de admisión.....	86
2.5. Simulador de presión para los gases de cárter (blow-by) y ECU.....	87



2.6. Sistema de combustible. ....	87
2.7. Sistema de escape. ....	88
2.8. Sistema de urea. ....	88
2.9. Calibración del freno. ....	88
2.10. Régimen de giro del turbocompresor. ....	88
2.11. Medición de presión y temperatura. ....	89
2.12. Sistema de captación de presión instantánea en cámara de combustión.....	89
2.13. Equipo de medida de gases de escape.....	90
3. Resumen presupuesto.....	91
4. Presupuesto Total.....	91

## ÍNDICE PLANOS

1. Adaptador caudalímetro.....	94
2. Adaptador filtro.....	96
3. Disco adaptador transmisión.....	98
4. Adaptador codificador angular.....	100



## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Gráfica de la fase de velocidad baja del WLPC. Gráfica extraída del “Reglamento (UE) 2017/1151” .....	21
Figura 2. Gráfica de la fase de velocidad media del WLPC. Gráfica extraída del “Reglamento (UE) 2017/1151” .....	22
Figura 3. Gráfica de la fase de velocidad alta del WLPC. Gráfica extraída del “Reglamento (UE) 2017/1151” .....	22
Figura 4. Gráfica de la fase de velocidad extra alta del WLPC. Gráfica extraída del “Reglamento (UE) 2017/1151” .....	22
Figura 5. Sala de ensayo 6. Vista desde la puerta de acceso.....	23
Figura 6. Esquema general instalación.....	25
Figura 7. Acondicionador de Temperatura (izquierda) y Humectador (derecha).....	28
Figura 8. MEDAS VO .....	29
Figura 9. Gráfica Par y Potencia específicos.....	30
Figura 10. Situación del DOC.....	32
Figura 11. Situación del inyector de AdBlue y del bloque SCRF.....	33
Figura 12. Acoplamiento motor-transmisión con disco adaptador transmisión.....	36
Figura 13. Esquema refrigeración bloque motor e intercooler.....	38
Figura 14. Intercambiadores bancada.....	39
Figura 15. Electroválvulas control refrigeración.....	39
Figura 16. Pieza adaptador caudalímetro instalada.....	40
Figura 17. Detalle acople filtro-manguera admisión.....	41
Figura 18. Esquema conexiones sistema de simulación de presión blow-by.....	42
Figura 19. Esquema sistema combustible.....	43
Figura 20. Freno AVL ELIN EGB Elektronik GmbH, modelo INDY 22/2V/0525).....	46
Figura 21. Caudalímetro. Unidad de evaluación (izquierda) y unidad de medición (derecha). [12]...	48
Figura 22. Esquema de funcionamiento del caudalímetro (AVL). [12] .....	49
Figura 23. Esquema balanza (AVL). [13] .....	49
Figura 24. Detalle instalación sensor rpm.....	50
Figura 25. Esquema de la colocación de las galgas extensiométricas. [3] .....	51
Figura 26. Transductores de presión.....	52

Figura 27. Conexión al sensor (izquierda) y distribución de pines de la conexión al módulo AVL (derecha). .....	53
Figura 28. Detalle montaje especial instrumentación presión y temperatura aceite cojinete.....	55
Figura 29. Esquema del sistema de captación de la presión en la cámara de combustión. ....	56
Figura 30. Montaje codificador angular. ....	57
Figura 31. Diagrama de conexiones del sistema del codificador angular. [9].....	58
Figura 32. Conexiones termopar al conector de 8 pines.....	59
Figura 33. Visualización variables controladas monitor PUMA 2.....	63
Figura 34. Puntos de medición de gases de escape: Salida turbocompresor (izquierda), Salida DOC (centro) y Salida Bloque SCRF (derecha). ....	64
Figura 35. Imagen de sonda fabricada a partir de varilla de acero inox. de 6mm. ....	65
Figura 36. Imagen del Horiba MEXA-ONE-D1 (izquierda) y el módulo horno (derecha). ....	65
Figura 37. Imagen del módulo R-EGR-01 para medición de porcentaje de EGR.....	67
Figura 38. Esquema de la cámara de medición del opacímetro. [15] .....	68
Figura 39. Equipo de control (izquierda) y sonda de muestreo (derecha).....	69
Figura 40. Esquema dilución. [5] .....	69
Figura 41. Medidor de partículas (izquierda) y ejemplo de visualización de datos (derecha). [6] .....	70
Figura 42. Esquema funcionamiento medidor de partículas. [6] .....	70
Figura 43. Armario PUMA 2.....	72
Figura 44. Zona de control.....	74
Figura 45. Gráfica ciclo RST 95.....	76
Figura 46. Gráfica régimen de giro y par en los casos 1 a 6. ....	78
Figura 47. Gráfica caudal de aire y caudal de combustible casos 1 al 6.....	79
Figura 48. Gráfica Presión Salida intercooler y Presión Entrada Turbina casos 1 al 6. ....	79
Figura 49. Gráfica Tª salida intercooler y entrada turbina casos 1 al 6.....	79



## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Variables ya instaladas parcialmente. ....	53
Tabla 2. Variables de presión instaladas completamente por CMT. ....	55
Tabla 3. Termopares instalados por Renault. ....	60
Tabla 4. Termopares instalados en todas sus fases por CMT. ....	63
Tabla 5. Secuencia de rodaje. ....	75
Tabla 6. Valores límite. ....	77
Tabla 7. Presupuesto parcial: instalación del motor. ....	85
Tabla 8. Presupuesto parcial: Sistema eléctrico. ....	86
Tabla 9. Presupuesto parcial: Sistema de refrigeración del motor. ....	86
Tabla 10. Presupuesto parcial: Sistema de admisión. ....	87
Tabla 11. Presupuesto parcial: Simulador de presión para los casos de cárter (blow-by) y ECU. ....	87
Tabla 12. Presupuesto parcial: Sistema de combustible. ....	87
Tabla 13. Presupuesto parcial: Sistema de escape. ....	88
Tabla 14. Presupuesto parcial: Sistema de urea. ....	88
Tabla 15. Presupuesto parcial: Calibración del freno. ....	88
Tabla 16. Presupuesto parcial: Sensor de rpm del turbocompresor. ....	89
Tabla 17. Presupuesto parcial: Medición de presión y temperatura. ....	89
Tabla 18. Presupuesto parcial: Sistema de captación de presión en cámara. ....	90
Tabla 19. Presupuesto parcial: Equipo de medida de gases de escape. ....	90
Tabla 20. Resumen presupuesto material y mano de obra. ....	91
Tabla 21. Presupuesto de ejecución material. ....	91
Tabla 22. Presupuesto Total. ....	91



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA



# I. MEMORIA.

# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.1. Preámbulo.

En 1876, Nikolaus August Otto creó el primer motor de gasolina de cuatro tiempos de la historia, siendo éste la base para todos los motores posteriores de combustión interna. Posteriormente, el 1893 el ingeniero alemán Rudolf Diésel, empleado de la firma MAN, inventó el primer motor diésel. Desde entonces, se han producido sucesivos avances tecnológicos para la mejora de la eficiencia y la fiabilidad tanto de los motores de encendido provocado (MEP), como de los motores de encendido por compresión (MEC). Esta continua mejora ha provocado su masificación y su notable incorporación a nuestro día a día, por ejemplo, en España hay unos 32 millones de vehículos.

La problemática principal del uso masivo de motores de combustión interna impulsados por gasolina y diésel es el aumento de la contaminación, siendo este último tipo de motores los más contaminantes. El siguiente trabajo se basa en una sala de ensayo para un motor diésel modelo k9k de la firma Renault. Como es sabido, el diésel es un derivado del petróleo, cuya combustión produce los siguientes contaminantes: hidrocarburos sin quemar (aldehídos, alcanos, alquenos, etc.) o THC (total hydrocarbons), óxidos de nitrógeno (NOx), partículas en suspensión, monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SOx) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Es este último contaminante el que contribuye en mayor medida al efecto invernadero. Las emisiones de SOx se controlan limitando el contenido de azufre presente en el combustible a través de legislación. Los NOx, que se producen a causa de las elevadas temperaturas durante la combustión, contribuyen a la formación de smog y a la lluvia ácida. El CO es tóxico y en la atmósfera se produce su disociación en CO<sub>2</sub>.

La reducción de gases contaminantes es uno de los principales objetivos en el diseño y fabricación de vehículos en la actualidad. Es por ello que, la legislación al respecto de las emisiones contaminantes de vehículos se encuentra inmersa en un ciclo de continuo endurecimiento, reduciendo los valores admisibles y endureciendo las pruebas de homologación para vehículos. A nivel europeo, la ley vigente es la EURO 6. Dichas restricciones han llevado a incluir en los nuevos vehículos numerosos sistemas de postratamiento de gases de escape. Prueba de ello es la instalación de la válvula de recirculación de gases de escape (exhaust gases recirculation, EGR), para reducir la temperatura de la combustión y con ello reducir la producción de NOx. Otro sistema incorporado es el DOC ("Diésel Oxidation Catalyst), mediante el cual se introduce una pequeña cantidad de aire para producir la combustión de los hidrocarburos inquemados. También se incluye el catalizador de reducción selectiva (SCR), que utiliza la inyección de urea en el escape que reacciona con los NOx. Además, para reducir las emisiones de partículas se incorpora el filtro antipartículas (FAP).

La instalación de este proyecto está diseñada para el estudio del rendimiento y de las emisiones de gases contaminantes de un motor diésel bajo un alto rango de temperaturas y altitudes para las condiciones del aire de admisión. Incluyendo el comportamiento bajo ciclos de homologación que serán vigentes próximamente.

Como se detallará a continuación, la instalación de este proyecto está diseñada para el estudio de las prestaciones y emisiones del motor en condiciones de operación estacionaria y transitoria a diferentes altitudes (de 0 a 2500 m) en un rango de temperatura ambiente amplio (de +35°C a -7°C).



El proyecto se lleva a cabo en CMT-Motores Térmicos de la Universitat Politècnica de València (UPV). Dicho centro, fundado en 1979, es un centro educacional y de investigación que colabora con el desarrollo de los motores del futuro. CMT cuenta con un gran número de profesionales cuya experiencia y dedicación son la base para éxito de todos los proyectos que se llevan a cabo. Además, sirve de punto de partida para el aprendizaje y la colaboración de alumnos, permitiéndoles participar de lleno en proyectos reales y ser base para Trabajos Final de Grado (TFG), Trabajos Fin de Máster (TFM) y doctorandos.

A lo largo de la siguiente memoria se describirá el proceso de instalación del motor diésel K9K de la firma Renault, detallándose las características de la sala y del equipo auxiliar. Así, se desarrolla en la memoria: el proceso de instalación del motor, del sistema eléctrico, del sistema simulador de presión para los gases de cárter (blow-by) y ECU, sistema de combustible, sistema de admisión, sistema de refrigeración del motor, instrumentación de presión y temperatura, sistema de medida de gases de escape, sensor RPM del turbocompresor, sistema de captación de presión en cámara, sistema de escape y sistema de inyección de urea.

El elemento diferencial de esta instalación es el acondicionamiento de la instalación para la conexión del motor al equipo de emulación de condiciones ambientales cambiantes. Este simulador, es capaz de generar una atmósfera para el motor con variación de presión y temperatura. La simulación de altitudes superiores a la del lugar donde se realizarán los ensayos (se realizarán a nivel del mar) provocará diferencias de presión que pueden causar fugas de flujo másico y el colapso de conducciones no rígidas. Por ello, será necesario adaptar las conducciones de admisión y cuidar el sellado entre conducciones para que el motor pueda trabajar adecuadamente.



## 1.2. Objetivos.

El objetivo del siguiente trabajo es el de ofrecer un detallado informe sobre el montaje de una instalación para el ensayo de un MEC (Motor de Encendido por Compresión), el cual es objeto de un estudio sobre las prestaciones y la emisión de gases contaminantes de un motor diésel de nueva generación bajo el contexto de la normativa de emisiones Euro 6d-TEMP.

En la memoria se explicarán todas aquellas variaciones que diferencian esta instalación de una instalación típica de ensayos de motores de combustión interna alternativos. Esta diferencia radica en los ensayos de simulación de altitud, los cuales requieren de equipos adicionales y montajes especiales.

Como objetivo deseado se incluye el de conseguir una instalación que cuente con un alto grado de fiabilidad en el montaje, precisión en las medidas y repetividad de las condiciones de ensayo.

Este trabajo también tiene como propósito ofrecer un presupuesto sobre el coste asociado a la instalación del motor en la sala e instalación de los equipos de adquisición de datos. Siendo por tanto dicho presupuesto una fracción del presupuesto total del proyecto al que pertenece. Por todo ello, no se incluirá el coste de construcción de la sala, ni de los equipos auxiliares de los que ya disponía antes del inicio del proyecto, ni de los equipos de acondicionamiento del aire de entrada y medición de las emisiones en los gases de escape.

Con la posterior memoria, se plasmará el paso del autor por CMT-Motores Térmicos y su involucración en la fase inicial de montaje de un proyecto llevado a cabo en este centro. Así como la involucración en la fase inicial de puesta en marcha y primera fases de rodaje del motor.

El otro gran objetivo de este TFG es que el alumno que lo realiza demuestre sus conocimientos adquiridos durante todo el grado de GITI. Gracias a ello, conseguirá finalizar sus estudios y así, la obtención de dicho título. Tras esto, reunirá las condiciones necesarias para su ingreso en el Máster en Ingeniería Industrial.

## 2. ENSAYOS DE EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES.

### 2.1. Marco legal.

La legislación al respecto de las emisiones de vehículos se encuentra inmersa en un ciclo de continuo endurecimiento. A nivel europeo, en 1993 entró en vigor la norma Euro 1, la primera ley que ponía límite a las emisiones producidas por los vehículos comerciales. Desde entonces, se ha evolucionado hasta la actual Euro 6 que entró en vigor en 2014. En la actualidad se está trabajando en la nueva Euro 7 para 2020.

La legislación sobre la que se basa el objetivo del ensayo es el reglamento (UE) 2017/1151 de la comisión del 1 de junio de 2017 que complementa el Reglamento (CE) n.o 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos, modifica la Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y los Reglamentos (CE) n.o 692/2008 y (UE) n.o 1230/2012 de la Comisión y deroga el Reglamento (CE) n.o 692/2008 de la Comisión.

Tal y como se cita en dicho reglamento:

*“Del examen continuado de los procedimientos, los ciclos de ensayo y los resultados de los ensayos pertinentes establecido en el artículo 14, apartado 3, del Reglamento (CE) n.o 715/2007, resulta evidente que la información sobre el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> obtenida de la realización de ensayos en los vehículos de conformidad con el Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC) ha dejado de ser apropiada y ya no refleja las emisiones en el mundo real.*

*Ante esta situación, conviene establecer un nuevo procedimiento de ensayo reglamentario, incorporando a la legislación de la Unión el procedimiento de ensayo de vehículos ligeros armonizado a nivel mundial (WLTP, Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure).”*

El nuevo ciclo WLTC, que sustituye al NEDC, simula de forma más realista condiciones de conducción reales. Los resultados sobre emisiones de CO<sub>2</sub> obtenidos en este ciclo, serán los valores sobre los que recaerán la aplicación de impuestos. Además, incluye condiciones de ensayo diferentes a las utilizadas hasta ahora:

- Una homologación en altura, a 1300 metros con respecto al nivel del mar.
- Una homologación a baja temperatura, -7 °C.

La aplicación de este nuevo procedimiento de homologación WLTP pertenece a la fase Euro 6d-TEMP. Los valores límite de NO<sub>x</sub> y de partículas sólidas se van limitando en dos fases de las normas Euro 6d-Temp y Euro 6d. La fase Euro 6d-TEMP se aplica en tres fechas:

- 1 de septiembre de 2018: Fecha de aplicación a nuevos tipos. Es la fecha a partir de la cual los nuevos tipos de vehículos (aquellos que no cuentan con un modelo previo) deben ser homologados bajo el WLTP.

- 1 de septiembre de 2020: Fecha de aplicación a nuevos vehículos. Es la fecha para el cumplimiento del WLTP para los nuevos modelos de vehículos. Por tanto, no afecta a la venta de modelos de vehículos homologados anteriormente.

- 31 de diciembre de 2021: Última fecha de matriculación. A partir de esta fecha todos los vehículos que se matriculen deben cumplir haber sido homologados bajo el WLTP.

## 2.2. El ciclo WLTC.

En el reglamento (UE) 2017/1151, se define segundo a segundo, la evolución en km/h del ciclo WLTC. Tiene una duración total de 30 minutos en los que se recorre 23'25 km. Consta de 4 fases en las que se va incrementando la velocidad y cuya duración es la siguiente:

- Fase de velocidad baja (Low): 589 segundos.
- Fase de velocidad media (Medium): 433 segundos.
- Fase de velocidad alta (high): 455 segundos.
- Fase de velocidad extra alta (Extra High): 323 segundos.

En cada fase, el ciclo exige velocidades ligeramente diferentes según la clase de vehículo. En concreto, para el tipo vehículos al que está enfocado el motor K9K encajan en la clase 3 (puesto que tienen una relación entre potencia y masa  $> 34$  W/kg). Además, su  $V_{max} \geq 120$  km/h, por lo que pertenecen a la categoría 3b. Las cuatro fases del WLPC para dicha categoría se representan a continuación:

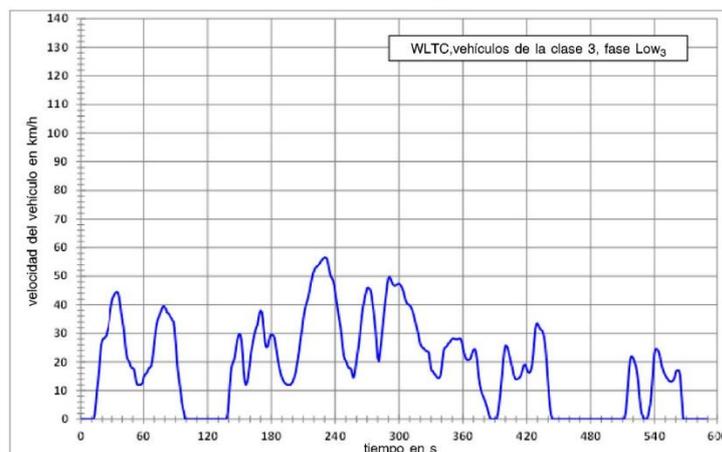


Figura 1. Gráfica de la fase de velocidad baja del WLPC. Gráfica extraída del "Reglamento (UE) 2017/1151".

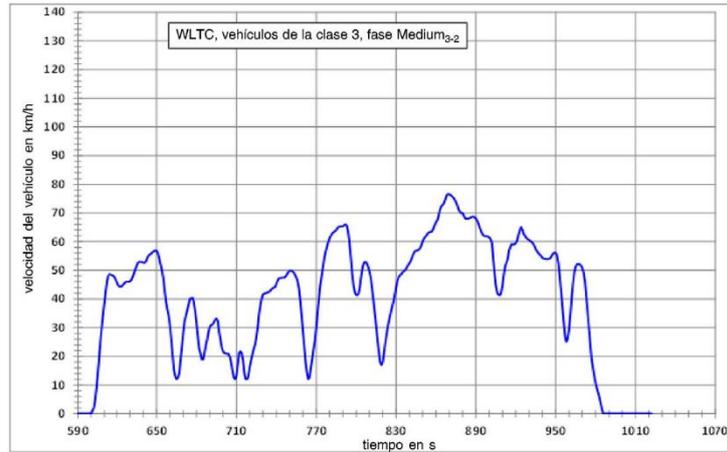


Figura 2. Gráfica de la fase de velocidad media del WLPC. Gráfica extraída del “Reglamento (UE) 2017/1151”

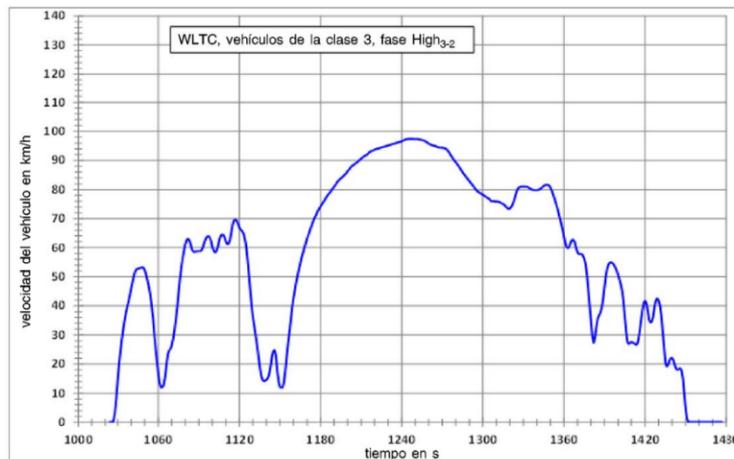


Figura 3. Gráfica de la fase de velocidad alta del WLPC. Gráfica extraída del “Reglamento (UE) 2017/1151”

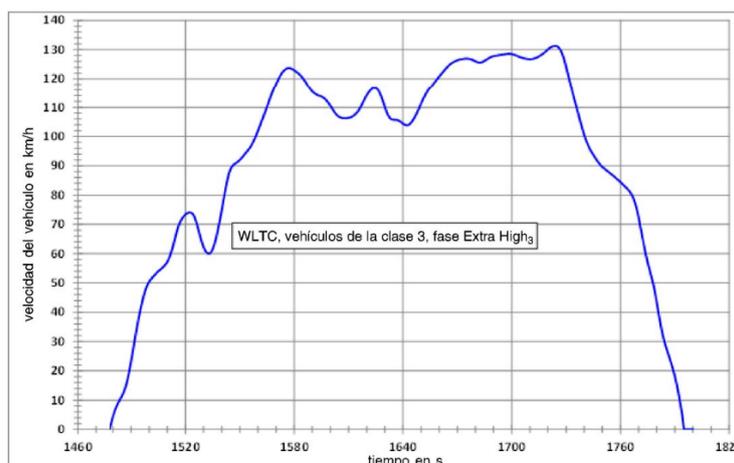


Figura 4. Gráfica de la fase de velocidad extra alta del WLPC. Gráfica extraída del “Reglamento (UE) 2017/1151”

En el reglamento (UE) 2017/1151 subanexo 1 apartado 6, se recogen las tablas con las que se han creado los gráficos anteriores. En ellas se especifica para cada segundo los km/h demandados.

### 3. SALA DE ENSAYO.



*Figura 5. Sala de ensayo 6. Vista desde la puerta de acceso.*

#### 3.1. Descripción. Esquema general.

La instalación del motor se ha lleva a cabo en la sala de ensayos número 6 del edificio 8P del Campus de Vera de la UPV. Dicha sala es una de las seis salas que se encuentran en el ala oeste del edificio 8P. La sala se encuentra contigua a la sala número 5, la cual albergará el resto de equipo de acondicionamiento de aire descritos en el apartado 3.4, necesarios para el proyecto principal. Ambas salas están ampliamente comunicadas por una gran abertura de 2,5 metros de ancha y 2,5 metros de altura. Dicha apertura se cierra (cuando no es necesaria la comunicación entre ambas salas) mediante dos puertas correderas con cierre insonorizado que cierran contra un perfil metálico móvil que se coloca en el medio de la abertura.

Las dos salas poseen unas dimensiones de 3,6 metros de ancho, 5,2 metros de largo y 3 metros de altura. A la izquierda de las puertas de entrada, las salas tienen una ventana cerrada por un cristal doble fijo, que permite en todo momento el control visual del interior de la sala. Esto es especialmente útil debido a que el puesto de control está materializado sobre unas mesas colocadas enfrente de la ventana, con lo que es posible la observación de la sala, su control y monitorización desde una misma posición.

El recubrimiento de las paredes internas y del techo consta de una chapa de acero inoxidable pintada por su cara externa. La chapa esta agujereada con orificios de 6 y 3 milímetros separados 8 milímetros.

A continuación, hay 8 cm de espuma aislante, que gracias a ella y a los orificios en la chapa, se consigue la insonorización. Por el contrario, las paredes exteriores, que son también de chapa pintada de acero inoxidable, no disponen de ningún tipo de orificio.

La iluminación de la sala recae en dos iluminarias con dos tubos fluorescentes de luz blanca colocados en sentido longitudinal de la sala (dirección desde la puerta hacia el fondo).

El suelo, tanto de la sala como el de toda la zona de ensayos, es una capa de cemento pintado de un tono gris.

Sobre las salas de ensayo del edificio 8P se halla una entreplanta o altillo en la que se sitúan las conducciones de aire de material aislante y los cuadros de potencia del sistema de abastecimiento de aire de las salas. Además, en ella se encuentra el cuadro de potencia de los frenos de cada sala, así como los interruptores generales para cada uno.

Como puede observarse en la figura 5, en el centro de la sala se halla la bancada (apartado 3.2) para la colocación del freno y el motor. Detrás de la bancada se dispone de una estructura creada con perfiles de aluminio de 45x45mm, la cual tiene unas dimensiones de 170 cm de alto, 75 cm de largo y 119 cm de ancho. La estructura de aluminio soporta el caudalímetro, parte del sistema de extracción de escape, el módulo AVL, los cuadros de alimentación de corriente continua, etc. Además, soporta una viga en voladizo que sobresale 170 cm y pasa por encima del freno y del motor. Esta viga sirve para la canalización de los cables de los sensores de temperatura y los conductos de los sensores de presión. A parte de esto, en la viga de aluminio se sujetarán diversos elementos como: el filtro de aire, el vaso de expansión del glicol, el amplificador del sensor de presión en cámara, etc. La característica más destacable de esta estructura es que al no estar conectada mecánicamente con la bancada, los elementos que se sustentan en ella quedan protegidos de las vibraciones del motor.

En la figura 6 puede verse una esquematización de la sala de ensayo y las distintas conexiones con los equipos necesarios para el funcionamiento del motor y la monitorización de datos que se detallarán durante el trabajo.

Puede verse en el esquema que la instalación dispondrá de dos modos de funcionamiento: modo normal y modo simulación. Durante el modo normal la admisión del motor se realizará a través del caudalímetro tomando aire de la sala (condiciones ambientales) y el escape se conecta al sistema de extracción de la sala. Durante el modo simulación la admisión y el escape del motor se conectan a equipo de acondicionamiento de aire o MEDAS (apartado 3.4). Además, a este equipo se conectará sistema de simulación de presión para gases de cárter blow-by y ECU (apartado 4.4.4)

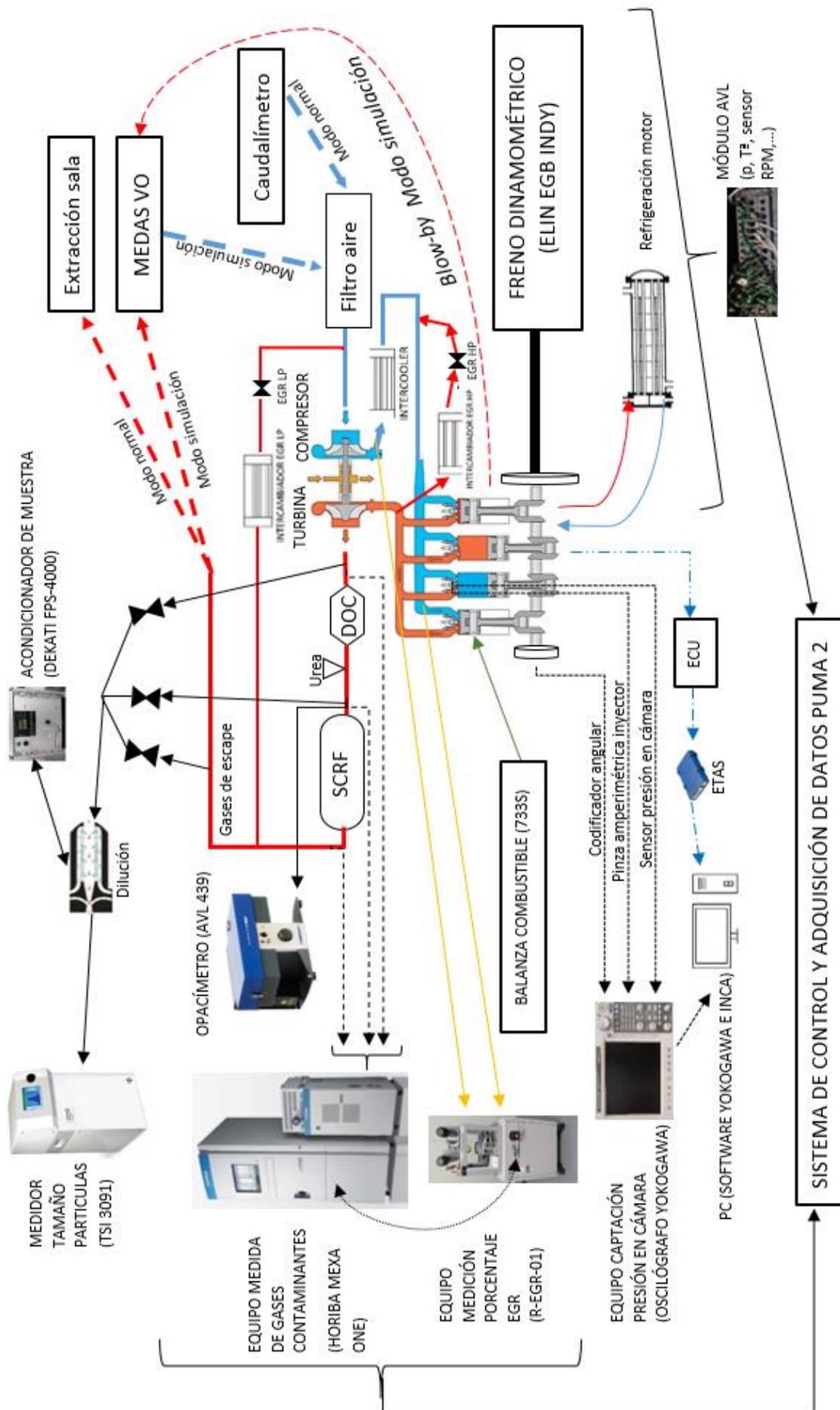


Figura 6. Esquema general instalación.



## 3.2. Bancada.

La bancada juega un papel fundamental en la sala del motor. Por una parte, sirve de elemento de sujeción y de sustentación para el motor y para el freno. Gracias a la bancada, la posición relativa entre el freno y el motor se mantiene constante, lo que permite la transmisión de fuerza entre ambos elementos de forma segura. Por otro lado, la bancada es la encargada de absorber las vibraciones generadas durante el funcionamiento y no transmitir las al suelo.

El cuerpo principal de la bancada son dos vigas longitudinales de acero formadas cada una por dos perfiles UPN 120 con las aperturas enfrentadas. La longitud total alcanzada es de 3 metros y el ancho total es de 95 centímetros. La bancada incluye 4 patas extensibles para la sujeción del motor, las cuales se atornillan a las dos vigas principales en la ranura que se forma entre ambas. Las dos patas de la parte delantera disponen de una estructura arqueada con un soporte en el centro. En dicho punto de apoyo se sujetará la parte delantera del motor. Las patas de la parte trasera están unidas por un perfil en C, en el cual se atornillan los dos soportes de la placa de acero que sujeta la parte trasera del motor.

Para evitar la transmisión de vibraciones, la bancada se conecta al suelo de la sala por medio de muelles. Los muelles se disponen en parejas unidos por dos chapas en cada extremo, las cuales se atornillan a la bancada y al suelo. En total hay 16 parejas de muelles repartidos de forma simétrica respecto al eje longitudinal.

## 3.3. Sistemas auxiliares de servicio.

La sala está diseñada para el ensayo de motores de encendido provocado, por ello cuenta con una red de abastecimiento que incluye el suministro de aire, agua de red (que servirá para la refrigeración), combustible (diésel), electricidad y extractor de gases de escape. Los sistemas auxiliares de la sala son los siguientes:

- **Sistema de ventilación.** La mayoría de los ensayos se realizan a temperatura ambiente y presión atmosférica. Para ello la sala cuenta con un ventilador de 1 metro de diámetro que extrae el aire de la sala hacia el exterior del edificio por unas conducciones instaladas en el altillo. Al conectar el ventilador se produce la succión de aire a través de una abertura situada en el fondo de la sala y que dispone de un filtro de 2 metros de ancho por 1,5 de alto. El aire hasta la abertura se circula desde el exterior del edificio por unas canalizaciones situadas en el altillo. Cuando se realicen los ensayos con el equipo de acondicionamiento de aire, este sistema servirá para mantener una temperatura aceptable en sala y ayudar al flujo de aire al sistema de ventilación de la sala 5.

- **Suministro de aire comprimido.** En la pared derecha de sala (según se entra), se halla la toma de aire a presión. Esta toma recibe el aire a presión de un compresor de tornillo situado en la azotea del edificio 8P. Dicho compresor es capaz de suministrar una presión de hasta 8 bares y es el encargado de satisfacer tanto al resto de las salas, como al taller del edificio. Servirá para suministrar aire al equipo de medición de tamaño de partículas (7.8.4).

- **Suministro de agua refrigerante.** La sala 6 dispone de dos tomas de corriente de agua de red. La principal, situada al fondo de la sala, dispone de una conexión de 2 pulgadas y suministra agua a una presión de 2,2 bares. La segunda toma, de 2 pulgadas, se encuentra dispuesta a la derecha (según se entra a la sala), a mitad de la longitud de la sala. Ambas poseen una llave de paso y un filtro que



permite la retirada de la suciedad si tener que desmontar las tuberías. También disponen ambas de manómetros que permiten la rápida lectura de la presión.

Junto a cada toma se encuentra el desagüe. El desagüe principal es una tubería de 9 cm de diámetro que brota desde el suelo a la cual se le ha acoplado una extensión con un codo y un tramo de tubería de PVC con tres orificios de 5cm. En dichos orificios se sitúan tres acoples formados por dos medias partes que cubren la tubería y se aprietan mediante 4 tornillos. El acople ya cuenta con una junta circular y una conexión hembra roscada de una pulgada. El segundo es similar pero con un diámetro de 6cm.

Tanto las tomas de agua, como los desagües proceden de un orificio realizado en el hormigón del suelo y que comunica la sala con el subsuelo del edificio. Desde allí, circulan hasta un aljibe de 50.000 litros soterrado en el exterior del edificio.

En la azotea se encuentran dos torres de refrigeración. Un conjunto está destinado a los laboratorios de prácticas del edificio y el otro a las salas de ensayo de motores, entre las cuales se encuentran las salas 5 y 6. Las torres de refrigeración se activan cuando el agua del aljibe sobrepasa los 25°C. Su funcionamiento se basa en hacer pasar por dentro de tubos el agua del aljibe y pulverizar agua desde arriba. Tras esto, el agua cae hacia el fondo de la torre donde se almacena y se vuelve a rociar. En la zona de las salas de ensayo se encuentra un panel de control desde el que se puede desactivar o cambiar su modo de funcionamiento de manual (funcionamiento constante) a automático (se puede cambiar la temperatura de actuación de la torre).

**-Suministro de combustible.** Junto a la segunda toma de agua se encuentra la toma de combustible (diésel) de la sala. El diámetro de la instalación es de 1/2 pulgada. Al igual que las tomas de agua, consta posee un filtro con un tapón extraíble para su limpieza. El sistema de combustible posee una válvula reguladora de presión con manómetro incorporado. La regulación se realiza liberando el mecanismo regulador de un bloqueador de plástico y posteriormente girando el mecanismo hasta que el manómetro marca la presión deseada.

Para proveer de combustible hay un depósito de 2600 litros enterrado en la zona este del exterior del edificio junto a un sistema de bombas para suministrar el caudal y la presión necesarias.

**-Suministro de electricidad.** Mediante canaleta de PVC fijada a la pared se distribuyen por la sala diversos enchufes de 230 Voltios y 50 Hz. Además, cuenta con varios enchufes de corriente trifásica que no se utilizarán en este montaje.

**-Sistema de extracción de gases de escape.** En el fondo-derecha de la sala (respecto a la puerta de entrada) se halla la toma de extracción de gases de escape. Está constituida por un tubo de 30 cm de diámetro que desde la sala pasa por el altillo hasta la fachada sur por la cual sube hasta la azotea. En la azotea un ventilador proporciona la succión necesaria para la extracción.

**-Sistema de seguridad.** En la sala hay diversas setas de emergencias conectadas al sistema de control para la inmediata parada del motor en caso de emergencia. También hay un detector de monóxido de carbono que avisa con una alarma sonora. Además, en la puerta y en la tapa de la transmisión hay dos sensores para parar el motor o evitar su arranque en caso de apertura de cualquiera de ambas.

### 3.4. Equipo de acondicionamiento de aire.

Para poder llevar a cabo los ensayos para el estudio de las emisiones descritos en el apartado 8.1, es necesario poder cambiar las condiciones del aire entrante al motor tanto en temperatura como en presión. Para ello existen varias opciones, instalar el motor en una habitación climática y altimétrica; o utilizar un equipo de acondicionamiento de aire. Para este proyecto se empleará el equipo MEDAS (*Mobile Efficient Dynamic Altitude Simulation*) puesto que permite variaciones más dinámicas que en una cámara altimétrica.

El equipo MEDAS es un simulador de altitud para motores térmicos de combustión interna, que permite llegar a simular una altitud de hasta 5000 metros sobre el nivel del mar lo que supone una presión en la admisión del motor de unos 0,5 bares. Para este ensayo en concreto se empleará el modelo VO, acoplado a otros dos equipos auxiliares para ayudar a conseguir la consigna de presión y temperatura deseadas.

El MEDAS VO es capaz de generar sobrepresiones capaces de simular condiciones de hasta 2000m por debajo del nivel del mar (útil para simular las condiciones de vehículos que trabajan en minas profundas). Para para conectarse al equipo auxiliar de temperatura y humedad sería necesario desactivar la función de sobrepresión.

El MEDAS por si solo ofrece un reducido rango de variación de temperatura y humedad del aire de admisión. La temperatura más baja está fuertemente relacionada con la el salto de presiones que se esté llevando en cada momento y la temperatura de la sala, pudiendo llegar a reducir la temperatura hasta 22 °C por debajo de la temperatura de la sala cuando se simula una altitud de 5000m y disminuirla solo en 10 °C cuando se simula una altitud de 2000m. En cuanto al incremento de temperatura, solo permite un aumento en 10°C respecto a la temperatura del agua de refrigeración y solo en simulaciones de 2000m o menos.

Para solucionar esta limitación, se acoplan dos equipos auxiliares: el acondicionador de temperatura y el humectador. Ambos se encuentran unidos formando un único equipo tal y como se representa en la figura 7. Con los tres equipos conectados se pueden conseguir las temperaturas necesarias (hasta -20°C) y las condiciones de humedad y presión deseadas para la realización del ensayo. El orden de conexión de los tres equipos, siguiendo el orden que recorrería el flujo de aire a través de ellos, es el siguiente: acondicionador de temperatura, humectador y MEDAS.



Figura 7. Acondicionador de Temperatura (izquierda) y Humectador (derecha).

Por último, en la figura 8, puede verse las distintas conexiones del MEDAS VO. La conexión con el motor es triple: se conecta a la admisión del motor (1), al escape (2) y a una conducción que conecta los gases de cárter (*blow-by*) y el sensor de presión atmosférica de ubicado en la ECU (3). Gracias a esto, se consigue que el motor a ensayar se encuentre bajo las mismas condiciones de operación que si operase en físicamente en el ambiente recreado en el ensayo. El resto de conexiones son las siguientes: (1) Admisión del MEDAS VO (conectado al humectador), (4) Aire comprimido, (5) Entrada agua, (6) Retorno agua, (7) Condensados limpios, (8) Condensados sucios y (9) Extracción.

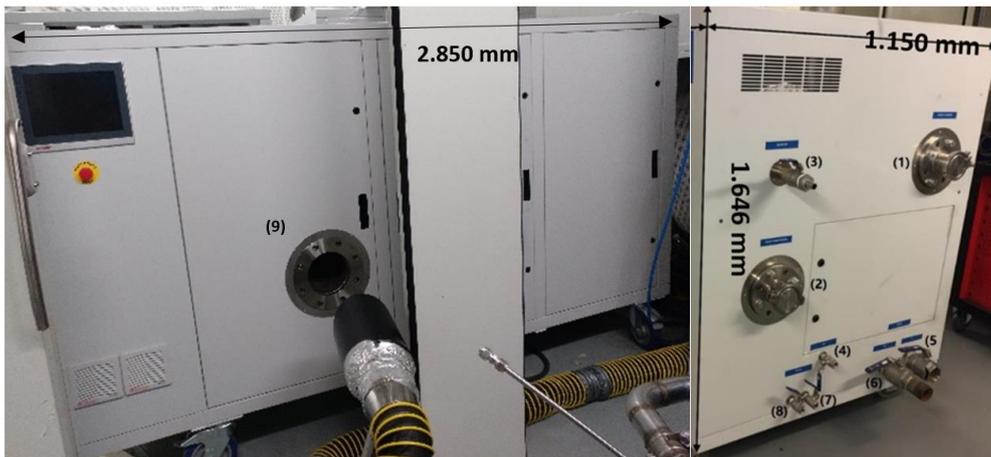


Figura 8. MEDAS VO

En el TFM de la ESTII de Roberto Tabet Aleixandre, “CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE UNA MÁQUINA PARA EMULAR CONDICIONES AMBIENTALES VARIABLES EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN”, se detalla el funcionamiento del MEDAS VO, el Acondicionador de Temperatura y el Humectador.

## 4. MOTOR.

### 4.1. Descripción y características.

El proyecto se llevará a cabo sobre el motor de la firma Renault K9K 1.5 dCI de octava generación. Dicho motor es una versión diésel de 4 cilindros en línea y  $1461 \text{ cm}^3$ .

Los modelos de automóviles que han incorporado este modelo de motor son por parte de la firma Renault: Clio, Megane, Modus, Kangoo y algunos modelos de DACIA. Por parte de la filial japonesa NISSAN: Almera y el Micra.

Dispone de un sistema de inyección a alta presión de rail común. Lleva montado un árbol de levas en cabeza (OHC) el cual regula tanto el escape como la admisión. Cada cilindro dispone de una válvula para la admisión y otra para el escape (8 en total).

Posee turbocompresor con TGV (Turbina de Geometría Variable), mediante la cual la ECU (Unidad de Control Electrónico) puede controlar la apertura de los álabes para aumentar el rendimiento. A bajas revoluciones los álabes se cierran de tal forma que aumenta la velocidad de los gases de escape, aumentando así el empuje sobre la turbina. A altas revoluciones los álabes se abren, colocándose en la dirección de los de la turbina. Con esto, se consigue reducir la sobrepresión y se reducen las pérdidas de carga.

Los pistones tienen un diámetro de 76 mm. La carrera (distancia que recorre el pistón desde el momento en el que ha subido completamente hasta que baja completamente) es de 80,5 mm. La relación de compresión es de 18,25/1, que se calcula dividiendo el volumen que barre el cilindro entre el volumen de la cámara de combustión.

Este motor desarrolla una potencia máxima de 116 CV (85 kW) a un régimen de giro de 4000 rpm. El par máximo es de 270 Nm y se alcanza entre las 1750 y 2500 rpm. En la siguiente gráfica (figura 9) pueden observarse las curvas características de par y potencia efectivos del motor en función del régimen de giro.

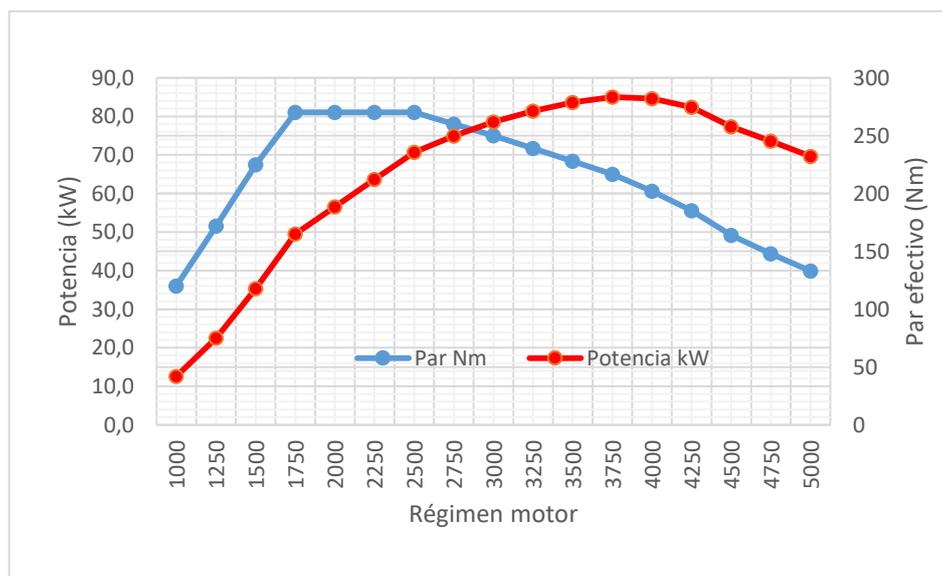


Figura 9. Gráfica Par y Potencia específicos.

La potencia efectiva se calcula como función del par efectivo y del régimen de giro mediante la siguiente expresión:

$$Potencia (kW) = \frac{Par (Nm) \times 2 \times \pi \times N (rpm)}{60000} \quad (1)$$

## 4.2. Sistemas de postratamiento de gases de escape.

### 4.2.1. Sistema de EGR (Recirculación de Gases de Escape).

Este motor tiene instalada dos válvulas EGR, una de alta presión y otra de baja presión. La de alta presión se encuentra integrada en la culata y su apertura recircula de forma directa gases desde el colector de escape al colector de admisión. La de baja presión toma los gases de escape después de su paso por el resto de sistemas post-tratamiento y los recircula a la entrada al compresor, concretamente al final del manguito que proviene del filtro de aire. En la figura 6 del apartado 3.1, puede verse el esquema de ambos circuitos.

La función de la válvula EGR es la de disminuir la temperatura de los gases en el cilindro al disminuir la cantidad de oxígeno, con ello se disminuye la formación de NOx.

Tanto el EGR de alta presión como el de baja presión disponen de intercambiadores de calor para reducir la temperatura de los gases de escape refrigerados con el refrigerante del motor. Ambos son intercambiadores de carcasa y tubos, en los cuales el gas circula por los tubos y el refrigerante del motor por la carcasa. El intercambiador de alta presión es de mayor tamaño debido a que la temperatura de los gases es mayor al no haber pasado por los sistemas post-tratamiento.

### 4.2.2. Catalizador de oxidación DOC (Diesel Oxidation Catalyst).

Este sistema se sitúa justo después de la salida de gases de la turbina del turbocompresor. En el DOC se produce una reacción de oxidación de ciertos gases de escape mediante la inyección de aire (que contiene el oxígeno necesario para el proceso). Gracias a este sistema, se consigue la oxidación de los hidrocarburos si quemar dando como resultado H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>. Además, se consigue la oxidación del CO (monóxido de carbono) a CO<sub>2</sub>. Mediante esta oxidación se consigue oxidar la parte orgánica del material particulado (PM). Aproximadamente en el DOC se consigue reducir entre un 60% y un 90% los niveles de hidrocarburos inquemados y de CO, y el nivel de PM entre un 20% y un 50%. En la entrada del DOC, se sitúa una sonda lambda capaz de medir la cantidad de O<sub>2</sub> y NOx presentes en los gases de escape para que la ECU pueda ordenar las acciones de postratamiento.

Como elemento catalizador usa una mezcla de Pt + Pd (platino más paladio) en una proporción de 2,5:1 a 5:1. Es un sistema de coste moderado, libre de mantenimiento, que casi no afecta al consumo y que contribuye a la atenuación de ruido. En la figura 10 se muestra su posición en el sistema de escape.

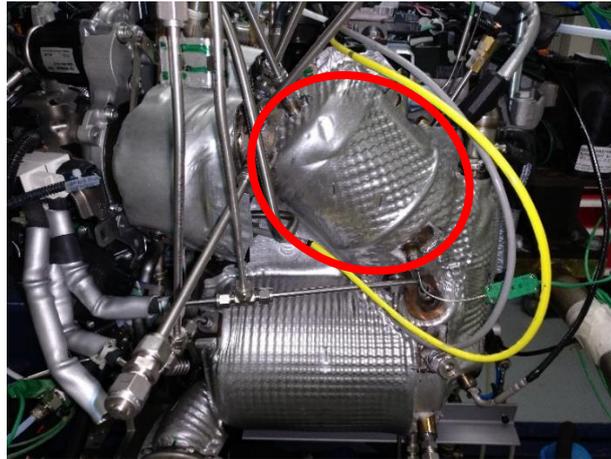
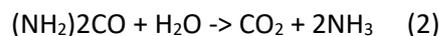


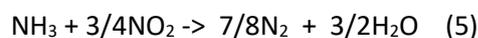
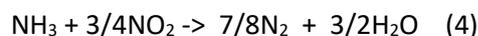
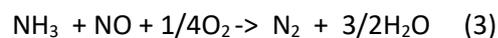
Figura 10. Situación del DOC.

#### 4.2.3. Sistema selectivo de reducción NOx (Selective Catalytic Reduction Filter).

Después del DOC, se encuentra el reactor de inyección del DEF (Fluido de Escape Diésel), donde se inyecta a la corriente de gases de escape y se produce su evaporación. El DEF, también conocido como AdBlue, es una disolución acuosa de urea al 32,5 %. La urea es un compuesto que al inyectarse en los gases de escape proporciona la cantidad de NH<sub>3</sub> (amoníaco) necesario para la reacción química que se producirá en el SCR. El amoníaco se obtiene a partir de un catalizador de hidrólisis mediante la siguiente reacción química:



El bloque SCR (figura 11) se sitúa después del inyector de urea en la línea de gases de escape, y es un sistema que combina dos funciones. Por un lado, sirve de filtro antipartículas (FAP) también llamado DPF (Diésel Particle Filter). Por otro lado, es el catalizador de reducción selectiva (SCR) para la eliminación de los NOx. El SCR está formado por un substrato cerámico que contiene una mezcla de óxidos de vanadio y de titanio. Éste retiene las partículas de los gases de escape y sirve de catalizador para la reacción química de los NOx con el amoníaco (NH<sub>3</sub>). Las reacciones químicas que intervienen en este proceso son las siguientes:



Mediante un sensor de saturación de NOx, se mide la concentración de éste y la CPU calcula la cantidad de urea a inyectar. Para el almacenamiento del AdBlue los vehículos disponen de un depósito, cuya reposición se hace coincidir con las revisiones periódicas del vehículo.

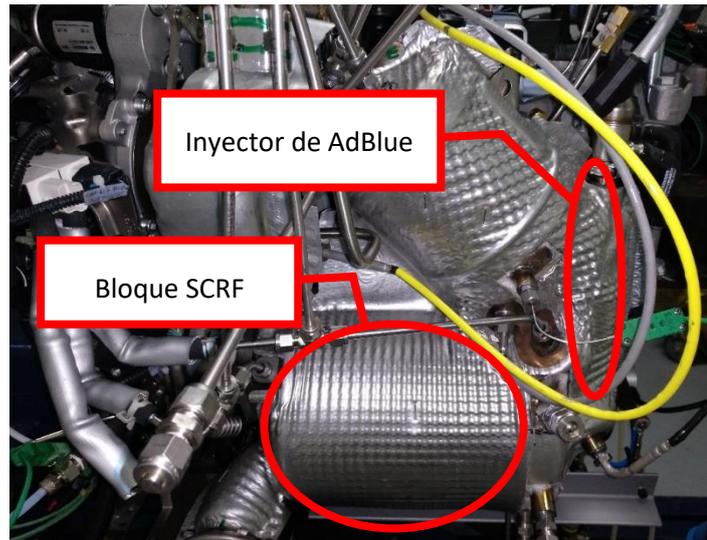
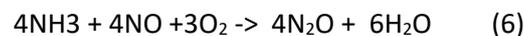


Figura 11. Situación del inyector de AdBlue y del bloque SCRF.

Durante el funcionamiento del motor, el SCRF puede saturarse de partículas sólidas de los gases de escape. La regeneración se produce mediante la incineración de las partículas cuando la temperatura de los gases de escape es superior a 550°C. Para alcanzar esta temperatura, o bien se aprovechan momentos en los que el motor circula a más de 2500 rpm o se inyecta más cantidad de combustible para aumentar la temperatura de los gases de escape.

Otro sistema incorporado en el bloque SCRF es el ASC (Ammonia Slip Catalysts). Es el último elemento por el que pasan los gases de escape dentro del bloque SCRF. En el ASC se produce la oxidación del posible exceso de amoníaco tras el SCRF. La reacción química involucrada es la siguiente:



## 4.3. Instalación del motor en la bancada.

### 4.3.1. Instalación del motor.

La instalación del motor es uno de los momentos del proceso en el que se debe tener la máxima precaución y extremar las medidas de seguridad puesto que es esencial no dañar el mismo y evitar daños físicos al personal implicado.

El motor fue entregado en una caja construida sobre un traspalé. Para facilitar el transporte, la instalación y evitar daños, el cableado y la ECU se mandaron por separado. El motor no tenía instalado el intercooler, ni las conducciones de la admisión, ni el motor de arranque. Por el contrario, la polea y la correa de auxiliares venía instalada y conectada a la bomba de vacío de la climatización del vehículo y al alternador (también instalados). Tanto la bomba como el alternador no serán utilizadas durante los ensayos, pero su instalación es vital para simular la carga sobre el motor de ambos. El volante de inercia y el embrague se encontraban ya instalados.

En primer lugar, se retiró el embrague (que no será necesario para el ensayo) y el volante de inercia (siguiendo a la inversa la secuencia de apriete que venía numerada al lado de cada tornillo). A continuación, se soldaron las dos partes que constituyen el volante bi-masa, que pese a formar un

único volante, presentaban un pequeño juego que permitía una ligera rotación y la pérdida de paralelismo entre ambos discos.

Mediante el uso de una grúa de taller, se alzó el motor por dos soportes que ya venían colocados. Una vez en el aire, se instaló (sin apretar los tornillos) la placa de acero inoxidable y 10mm de espesor que soportará el peso del motor en su parte posterior (la que irá conectada a la caja de cambios del vehículo). Dicha placa provenía de ensayos anteriores con motores semejantes. Ésta posee un orificio por el cual asomará el volante de inercia y se conectará a la transmisión del freno. Los orificios para atornillar el motor a la placa coinciden con los orificios a los que se atornillaría la carcasa de la transmisión en un vehículo. En la base de la placa, se dispone de dos placas de 5mm de espesor que apoyan sobre dos tacos de goma de 5 cm de espesor que conectan con dos soportes de acero que se atornillan a la bancada.

En el siguiente paso fue el de llevar el motor hasta el interior de la sala sobre la bancada y proceder a la pre-colocación sobre el soporte trasero de la bancada. Después, se colocaron los soportes delanteros y se atornillaron al soporte delantero del motor (este venía instalado con el motor y encaja a la perfección con la configuración de la bancada). Tras apretar los tornillos de los cuatro soportes a la bancada, se termina de dejar caer el peso del motor y se aprietan los tornillos de la placa de acero inoxidable de la parte trasera.

#### 4.3.1. Nivelación del motor.

Para asegurar una correcta transmisión de potencia entre el motor y el freno, es necesario que el eje del freno y el eje del cigüeñal del motor se encuentren perfectamente alineados. Esto permitirá el correcto acople entre ambos y evitará oscilaciones que podrían llegar a causar un fallo catastrófico tanto en el motor como en el freno.

Durante este paso, es esencial tomar puntos de referencia correctos a la hora de tomar las mediciones para no incurrir en un error sistemático. El material empleado será un metro, una plomada (Instrumento formado por una pesa de metal colgada de una cuerda, que sirve para señalar la línea vertical), un pie de rey, un nivel y un perfil de aluminio.

Las mediciones se llevarán a cabo en tres puntos:

- En el centro del eje del freno, medido en la parte posterior del freno (el lado que contrario al que está encarado el motor y la transmisión), de ahora en adelante punto 1.
- En el centro del volante de inercia, medido en la parte posterior del motor, en adelante punto 2.
- En el centro de la polea de auxiliares, medido en la parte delantera del motor (la que da de cara hacia la puerta de la sala), en adelante punto 3.

Para la nivelación del motor tomaremos como base la bancada, puesto que el freno se encuentra sobre ella totalmente centrado. Además, como se comentó en el apartado 3.2, la bancada se apoya en el suelo mediante muelles, lo que distorsiona tomar el suelo como referencia. Como se explica en ese apartado, las patas que soportan el motor son extensibles gracias al mecanismo roscado del que disponen.



El primer paso es aflojar los dos tornillos que unen cada pata con la base de la bancada. Después, se acerca el motor a la transmisión del freno hasta su posición final (la transmisión consta de dos partes que permiten acortarla o alargarla unos centímetros como puede verse en la figura 12). Con el metro, se mide la longitud de cada pata y se ajustan de forma que las longitudes de las patas de cada cara del motor (delantera y posterior) sean iguales.

El siguiente paso es el de hacer coincidir el plano de simetría longitudinal del motor con el del freno, es decir, alinear el eje cigüeñal-transmisión respecto de la planta (visto desde encima del motor). Para ello, se coloca el perfil de aluminio apoyado en la base de la bancada a lo ancho. Para tomar la medida de dichas posiciones 1, 2 y 3, se coloca la cuerda de la plomada de forma que toque el perímetro tanto del eje, como del volante, como el de la polea. Así, obtenemos la vertical tangente a cada pieza circular. A continuación se mide desde el cruce de la cuerda de la plomada (una vez se halla estabilizado) con el perfil de aluminio hasta el lado de base de la bancada. De esta forma, sumando o restando el radio de cada pieza, obtenemos la posición de los puntos 1, 2 y 3. Tras la medición se desplazan las patas la distancia necesaria para hacer coincidir los puntos 2 y 3 con el 1, puesto la posición del freno es invariante. Tras los ajustes se repetirán las mediciones y si fuese necesario se repetiría el proceso hasta obtener el resultado adecuado. Al finalizar, se aprietan los tornillos que sujetan cada pata a la bancada.

Por último, queda alinear el eje cigüeñal-transmisión en la dirección horizontal, es decir, que los extremos de cada eje se encuentren todos a la misma altura. De nuevo, se coloca la viga de aluminio en la misma posición que antes para cada punto. Con la ayuda de la plomada se mide la distancia del punto más alto (o más bajo) de cada pieza circular, de esta forma, restando (o sumando si se ha medido el punto más bajo) el radio de cada elemento, se obtiene la posición de los puntos 1, 2 y 3. Éstas serán las alturas de los ejes respecto al perfil de aluminio que está apoyado en la base de la bancada. El objetivo es el de igualar las alturas de los puntos 2 y 3 a la de 1. Para ello, se afloja con una grifa el mecanismo que fija la altura de cada pata y modifica su altura en parejas, para mantener el nivel alcanzado en el primer paso. Se modifica la altura de las patas situadas detrás del motor para ajustar el punto 2 y las patas situadas delante para modificar la altura del punto 3. Se debe reiterar la medición y el ajuste las veces necesarias hasta obtener un resultado satisfactorio. Si es así, se aprieta el mecanismo y el motor queda en su posición definitiva.

Por último, para comprobar si se ha realizado correctamente la nivelación, se acerca la transmisión al motor una distancia que permita la introducción del pie de rey entre el plato de la transmisión y el volante de inercia. Con ayuda del nivel y tacos de madera, se coloca la transmisión totalmente horizontal (debido a estar formada por dos piezas y a estar en voladizo hasta su instalación, la transmisión tiende a caer unos milímetros si la dejásemos en voladizo). Una vez nivelada la transmisión, se toman sucesivas medidas entre la distancia que las separa para comprobar que los planos perpendiculares a los ejes son paralelos entre sí. Si es necesario algún ajuste, se repite lo explicado anteriormente.

#### 4.3.2. Acoplamiento al freno dinamométrico.

La transmisión de par entre el freno y el motor se realiza mediante una transmisión que está formada por dos platos unidos a dos ejes, los cuales encajan entre sí. El plato que se acopla al motor dispone de un eje macizo con dientes longitudinales labrados en la superficie. El plato que se acopla al freno está unido a un eje hueco que dispone de dientes tallados en su superficie interior. De este modo,

ambas partes de la transmisión encajan entre sí y permiten la variación de su longitud. Es importante que durante la instalación la transmisión quede lo más corta posible, para favorecer la transmisión de par entre ambos ejes al aumentarse la superficie de contacto entre los dientes.

El lado de la transmisión que se acopla al motor no tiene la configuración necesaria para la conexión al volante de inercia, por ello se intercala entre ambos un disco adaptador de acero creado para este fin. La morfología del disco se detalla en el plano 3. Disco adaptador transmisión del apartado III.PLANOS. La fabricación de éste fue llevada a cabo en el taller del edificio 6d de CMT y su diseño en Inventor, bajo supervisión, fue llevada a cabo por el autor de este trabajo.

El disco encaja en dos centradores del volante de inercia, que son unas protuberancias cilíndricas que permiten el preciso posicionamiento al introducirse sin juego en los agujeros del disco. El plato de la transmisión es de un diámetro menor que el disco adaptador, en el cual se ha mecanizado una cavidad cilíndrica con el mismo diámetro del plato de la transmisión, para que ambos encajen y queden totalmente centrados. De la misma forma, en el disco adaptador se ha mecanizado una protuberancia con forma de disco para encaje en la cavidad circular interna del volante de inercia. La unión al volante se realiza con 9 tornillos de métrica 8 que son pasantes en el disco y roscados al volante. A la transmisión del freno se conecta con 8 tornillos de métrica 8 pasantes en plato de la transmisión y roscados en el disco adaptador.

En la figura 12 puede verse el montaje final entre el motor y la transmisión del freno. De izquierda a derecha, se conectan la transmisión, el disco adaptador y el volante de inercia bimasa.

Toda la transmisión está cubierta por una estructura de protección, la cual se abre por la mitad para acceder a la transmisión. Esta tapa dispone de un sensor que detecta su apertura para impedir el arranque del motor en caso de que no esté completamente cerrada.



*Figura 12. Acoplamiento motor-transmisión con disco adaptador transmisión.*

## 4.4. Instalación de elementos auxiliares.

### 4.4.1. Sistema eléctrico.

Tanto el cableado del motor como numerosos equipos de medición se alimentan por corriente continua, por ello se ha instalado una fuente de alimentación de 12 V. La fuente de alimentación se halla situada en un armario eléctrico de 30x25x15 cm instalado en el lado derecho de la estructura de perfil de aluminio. Ésta fuente dispone de hasta cuatro conexiones y necesita una toma de corriente de 110 a 220 V (conectada a una de las tomas de corriente de 220 V de la sala).

Para la alimentación del sistema eléctrico del motor se ha instalado una caja eléctrica de plástico con 18 conexiones banana hembra, para facilitar la rápida conexión y desconexión. El esquema implementado es el de 8 conexiones negativas y 8 positivas conectadas a la fuente de alimentación mencionada.

El circuito eléctrico de muchos elementos del motor cierra por masa, es decir, son alimentados por un único cable y están en contacto con el bloque motor. Por ello, se han conectado eléctricamente el bloque motor, la bancada y la base del freno. Desde las conexiones negativas de la caja se conecta un cable con conector banana en un extremo y el otro extremo conectado a un cable que conecta los tres elementos mencionados.

En la derecha de la bancada, posicionado a media distancia entre el motor y el freno AVL, se ha colocado un armario eléctrico de 40x40cm sobre un soporte de montante de aluminio atornillado a la bancada. La finalidad de éste es la de albergar y proteger gran parte del cableado y de los elementos eléctricos. Sujeta a esta estructura, se halla la ECU y la caja de eléctrica con conexiones banana.

El cableado se entregó por separado del motor, pero totalmente organizado y protegido de igual forma que iría en un vehículo corriente. A pesar de estar etiquetado, la colocación fue compleja debido a que la configuración no era exactamente la del motor. Se encontraron diversas incompatibilidades las cuales fueron detectadas y consultadas con Renault para su resolución.

El procedimiento a seguir fue el de dejar caer el cableado encima del motor. Tomando de referencia las conexiones de los inyectores y calentadores, poco a poco, se han conectado los conectores que sean de fácil identificación, bien sea por un correcto etiquetado o por ser único.

Para la alimentación, se conecta mediante conexiones de tipo banana el cableado de alimentación positivo y negativo (claramente identificados por el color rojo y negro, respectivamente).

El cableado también incluye un par de cables etiquetados como 'masa', estos se conectan a la masa formada por el bloque motor y la bancada.

## 4.4.2. Sistema de refrigeración del motor.

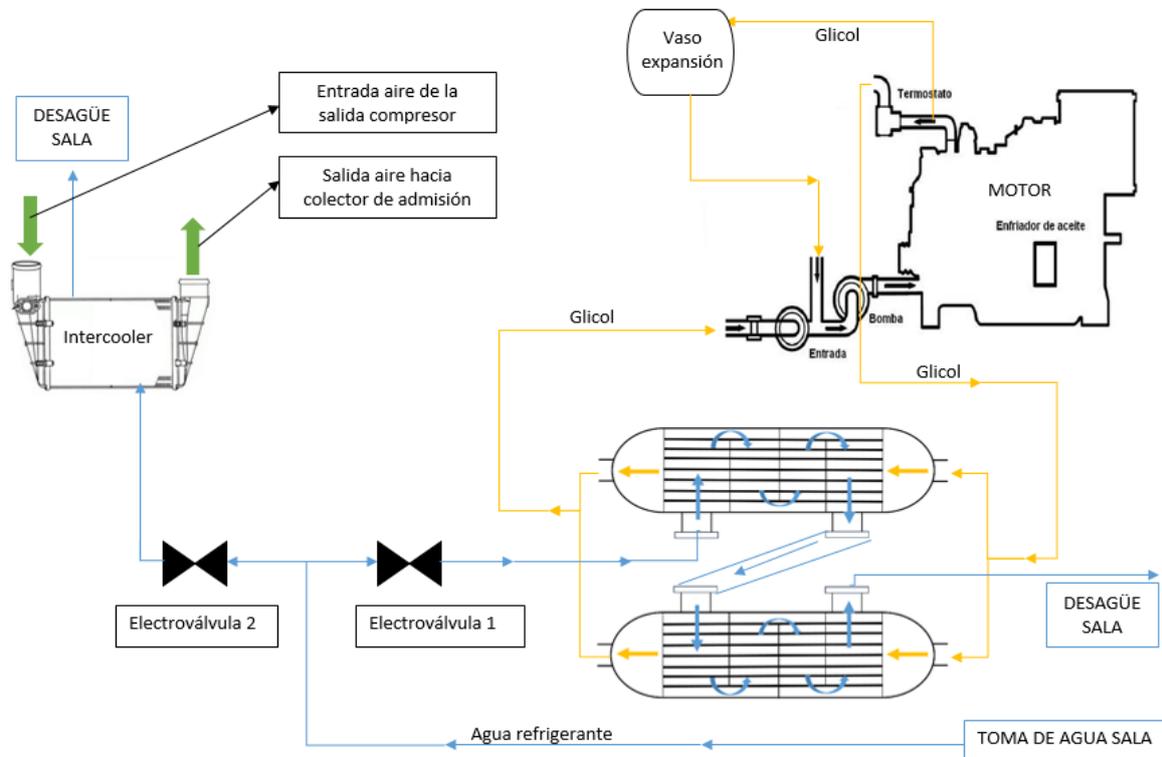


Figura 13. Esquema refrigeración bloque motor e intercooler.

### 4.4.2.1. Refrigeración del motor.

Para la refrigeración del motor, en la base de la bancada hay dos intercambiadores de carcasa y tubos (figuras 13 y 15). El fluido que circulará por los tubos internos será el refrigerante del motor y por el exterior, el agua de red refrigerante tomada desde la toma del fondo de la sala. El único control que se realizará sobre el sistema es mediante la electroválvula 1 (figuras 13 y 14). El refrigerante empleado es una mezcla de agua y glicol al 50% (punto de congelación a  $-50^{\circ}\text{C}$ ). Para el flujo de agua de red la conexión entre ambos intercambiadores es en serie, y para el circuito de glicol la conexión entre ambos es en paralelo. En ambos intercambiadores el sentido del flujo es a contracorriente.

La entrada de agua de red a los intercambiadores se controla mediante la electroválvula 1 (figuras 13 y 14), controlada desde sistema PUMA 2. El sistema ajusta mediante un PID interno, la apertura de la electroválvula 1. Para esta regulación se basa en la variable TWO (apartado 6.6.3), que es la temperatura de salida de refrigerante del motor. No se monitoriza ni el caudal circulado ni la temperatura de salida del agua hacia el desagüe.

La entrada de glicol del motor se sitúa por el fondo del motor, y su primera función es la de pasar por un intercambiador de placas (de serie) para enfriar el aceite del motor, después de esto llega a la bomba de agua. En este punto, a la entrada al motor, se conecta una manguera desde el vaso de expansión, el cual está colocado en la viga de aluminio, unos 50 cm por encima de motor. El vaso debe contener glicol entre el nivel mínimo y el máximo, para suministrar en caso de falta y tener espacio suficiente para que al aumentar la presión, se comprima el aire encerrado en él. La circulación de glicol

por el motor está a cargo de la bomba de agua instalada por defecto, gracias a ella y al termostato del motor, la CPU regula automáticamente la apertura del termostato. Antes del termostato, se ha intercalado una conexión hacia el vaso de expansión. Cuando se produzcan sobrepresiones con el aumento de temperatura, por esta conducción se expulsará el sobrante de glicol y se presurizará el aire del vaso de expansión. El esquema de estas conexiones puede verse en la figura 13.

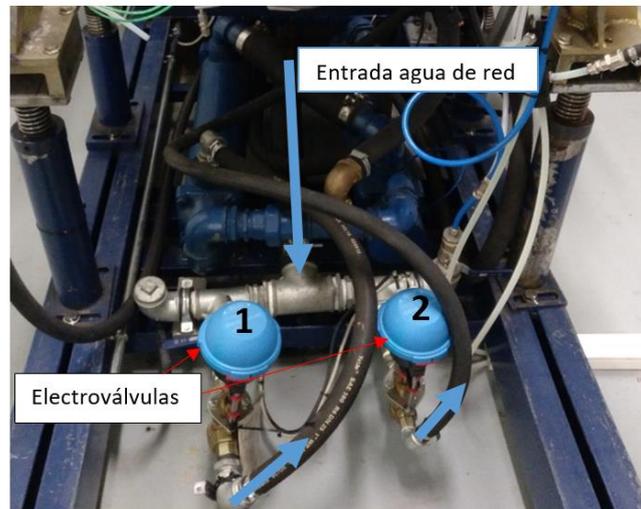


Figura 15. Electroválvulas control refrigeración.

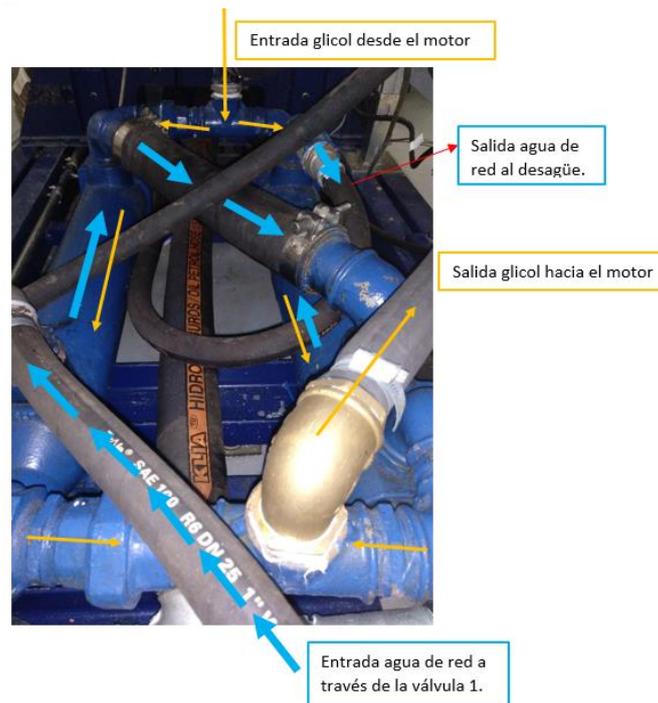


Figura 14. Intercambiadores bancada.

La salida del refrigerante del motor se sitúa en la parte posterior del motor a la altura de la tapa de la culata, tras pasar por el termostato. La altura de la salida evita que el motor se vacíe por gravedad.

La temperatura consigna del refrigerante del motor será de 90°C.

#### 4.4.2.2. Refrigeración del intercooler.

El esquema de conexión del sistema de refrigeración del intercooler puede verse en la figura 13 del apartado 4.4.2.

El intercooler es un intercambiador aire-agua de tipo compacto, por los tubos circula el agua de red y por las carcassas compactas circula el aire proveniente del compresor, para ser enfriado y circulado hasta el colector de admisión.

La conexión se ha realizado a contracorriente, es decir, el sentido del flujo de aire que viene del compresor será inverso al del agua refrigerante. Este sistema a contracorriente es más eficiente que con el mismo sentido de flujo para ambos fluidos.

Para el control de la temperatura, la entrada de agua al intercooler está conectada a la electroválvula 2 (figuras 13 y 14), que está controlada por el sistema PUMA 2. El software será el encargado de regular el grado de apertura de la electroválvula 2 para alcanzar la temperatura consigna (normalmente 40°C) de la variable T\_outWCAC (descrita en el apartado 6.6.3), que es la temperatura del aire a la salida del intercooler. La salida de agua se conecta directamente al desagüe del fondo de la sala.

#### 4.4.3. Sistema de admisión.

La admisión del motor podrá realizarse de dos formas, a través del caudalímetro tomando aire de la sala (modo normal de funcionamiento) o a través de la conexión con el MEDAS (Modo simulación). Para realizar este cambio, tras la salida del caudalímetro se ha instalado una brida clam de que permite separar la manguera y conectarla fácilmente al MEDAS en la conexión figura 8 apartado 3.4.

La manguera de admisión está reforzada por un alambre en espiral por todo su cuerpo que le permite soportar presiones inferiores a la ambiente sin deformarse, lo cual impediría la correcta entrada de aire en el motor.

Para la conexión al caudalímetro se ha fabricado una pieza de PVC en forma de cono, con configuración para una brida clam en un extremo y una espiga en el otro para insertarse en la manguera. La pieza se ha diseñado en Inventor y se detalla en el Plano 1. Adaptador caudalímetro. La pieza ya instalada puede verse en la figura 16. Se ha fabricado en PVC por ser de bajo coste y permitir un rápido mecanizado. Además, el aire que circulará por su interior estará a temperatura ambiente, por lo que el PVC es apto para la pieza.



Figura 16. Pieza adaptador caudalímetro instalada.

La manguera reforzada se conecta por su otro extremo al filtro de aire del motor. El filtro y la caja del filtro son los que vienen de serie en el vehículo. Mediante el uso de montante de aluminio se han sujetado a la viga central de aluminio que pasa por encima de la bancada.

En la caja del filtro, concretamente a la salida, se ha instalado un sensor de temperatura y el tubo para el sensor de presión. Debido a que la caja es de plástico de unos 2,5 mm de espesor, se ha colocado dos casquillos roscados en el interior, que al roscarse con el termopar y el conector de neumático para el tubo, producen presión en ambas caras de la pared de la caja. Además, se ha en siliconado todo para mejorar el sellado.

Como se realizarán ensayos de altitud, es necesario sellar la caja del filtro con silicona en todas sus conexiones para evitar la aspiración de aire de la sala (puesto las presiones interiores serán menores). La conexión al motor se realiza mediante el manguito de serie. Para la conexión a la manguera se ha fabricado un adaptador de acero para pasar de la sección de la manguera a la sección de la toma del filtro. La pieza fabricada parte de la pieza del plano 2. Adaptador filtro, a la cual se le ha soldado una espiga normalizada 47mm de diámetro interior. El diámetro interior de la pieza del plano adjunto coincide con el diámetro interior de la espiga. Puede verse el acople el filtro la pieza de adaptación y la manguera entre en la figura 17.



*Figura 17. Detalle acople filtro-manguera admisión.*

La admisión del motor también incluye el conducto que une la salida del compresor con la entrada del intercooler, y la salida del intercooler con la entrada a la válvula de admisión. Estos manguitos no estaban preparados para soportar presiones en su interior más bajas a la del entorno, se deformarían. Para solucionarlo, en el manguito desde el compresor al intercooler se ha intercalado un tramo de tubo metálico. En la entrada y salida del intercooler, se han instalado abrazaderas a lo largo de los manguitos que impiden la deformación al restringir la forma de la sección a la puramente circular.

#### 4.4.4. Sistema simulación de presión para los gases de cárter (*blow by*) y ECU.

Parte de los ensayos que se llevarán a cabo tienen como objetivo simular altitudes de hasta 2500 metros. Para ello, la presión en la admisión descenderá hasta los 750 milibares. Como ya se ha comentado, esto se llevará a cabo mediante la conexión de la admisión y el escape del motor al MEDAS. Además, el MEDAS dispone de una conexión para los gases de cárter o blow-by, como puede verse en la figura 8 del apartado 3.4.

El motor dispone de un sistema de recirculación para los gases de cárter, también llamados *blow by*, que se cuelean a la culata superior desde el cárter debido a las fugas de gases a través de los segmentos del pistón. Este sistema se ha modificado para poder simular la presión deseada también en la culata y el cárter. Debido a que la ECU dispone de un sensor de presión ambiental, se ha aprovechado esta conexión del MEDAS para simular la presión de ensayo en dicho sensor.

El esquema de conexiones para la simulación de presión se representa en la figura 18.

La salida de los gases de cárter se ha conectado a un depósito, para así acumular los condensados que puedan producirse. Del depósito se conducen a una cruz de fontanería de 1/2 pulgada con 4 válvulas de bola con una espiga en cada salida. De una de las salidas de dicha cruz, se conecta a la admisión del motor, en el manguito de admisión justo antes de la entrada del aire en el compresor. De las dos salidas restantes, una se conectará al MEDAS para igualar la presión a la de la admisión y el escape. La salida restante se conectará a la ECU, puesto que dispone de un sensor de presión ambiente para realizar los cálculos internos.

La conexión de la manguera al sensor de la ECU se lleva a cabo mediante un montaje especial que puede verse en la figura 18. El montaje consta de un casquillo roscado al que se le ha instalado una espiga en un extremo y el otro extremo se apoya en la carcasa de la ECU, dejando el sensor dentro de él. Para sellar correctamente, entre el casquillo y la ECU se intercala una junta de goma. El casquillo se inserta en una chapa de 21x85 cm, a la cual va soldado. La chapa se atornilla mediante 4 espárragos roscados que también sujetan soporta la ECU al soporte. Gracias a esto, se puede ejercer presión para que el cierre sea hermético.

Con la apertura y cierre de los grifos se diferencian dos modos de funcionamiento:

- Modo normal. Para este modo se desconecta la manguera que va al MEDAS y se cierra la correspondiente válvula. Se cierra la válvula de la manguera que va a la ECU y se desconecta ésta para que lea la presión de la sala. Las otras dos válvulas permanecen abiertas de modo que los gases pasan de la salida del *blow by* al depósito de condensados y de ahí a la entrada de aire del compresor.
- Modo simulación. La posición de las 4 válvulas es abierta. Se conectan todas las mangueras mencionadas (al MEDAS, ECU, depósito de condensados y admisión de los gases *blow by*). De este modo se igualan las presiones para simular la presión de la altitud deseada. Este modo de funcionamiento coincide con el esquema de la figura 18.

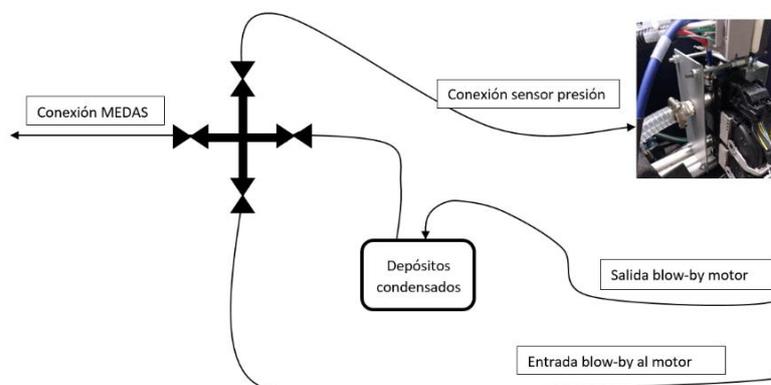


Figura 18. Esquema conexiones sistema de simulación de presión blow-by.

#### 4.4.5. Sistema de combustible.

El sistema de combustible es de vital importancia en el funcionamiento de los motores MEC, puesto es el cargado de la atomización del combustible para una eficiente combustión.

El sistema de combustible instalado en el K9K es de inyección directa (DI), es decir, el combustible se inyecta directamente en la cámara de combustión del cilindro.

El sistema de combustible en un vehículo está formado por una electrobomba de baja presión instalada en el depósito de combustible y que proporciona la cantidad de combustible necesaria a la bomba de alta y a la presión necesaria. De la bomba de alta, el combustible pasa al *common rail* o raíl común. En la instalación del proyecto, no se dispone de bomba de baja, y su función la realiza el conjunto acondicionador de combustible-balanza de combustible AVL (apartado 6.3).

La bomba de alta presión es accionada por el cigüeñal y se encarga de trasegar, a través del *common rail*, el combustible hacia los inyectores. La bomba de alta presión es alimentada a 2,5 bares y eleva la presión en el *common rail* hasta los 1600 bar. El raíl cumple la función de acumulador de combustible y a la vez sirve de elemento de amortiguación de las oscilaciones generadas por la bomba de combustible de alta presión. La mencionada bomba es una bomba de radial de pistones.

Para la regulación de la presión, la bomba posee una válvula de descarga que devuelve el exceso de combustible al depósito (circuito de retorno). El esquema de instalación entre la bomba de alta presión del motor, que venía ya instalada, y la balanza de combustible puede verse en la figura 19.

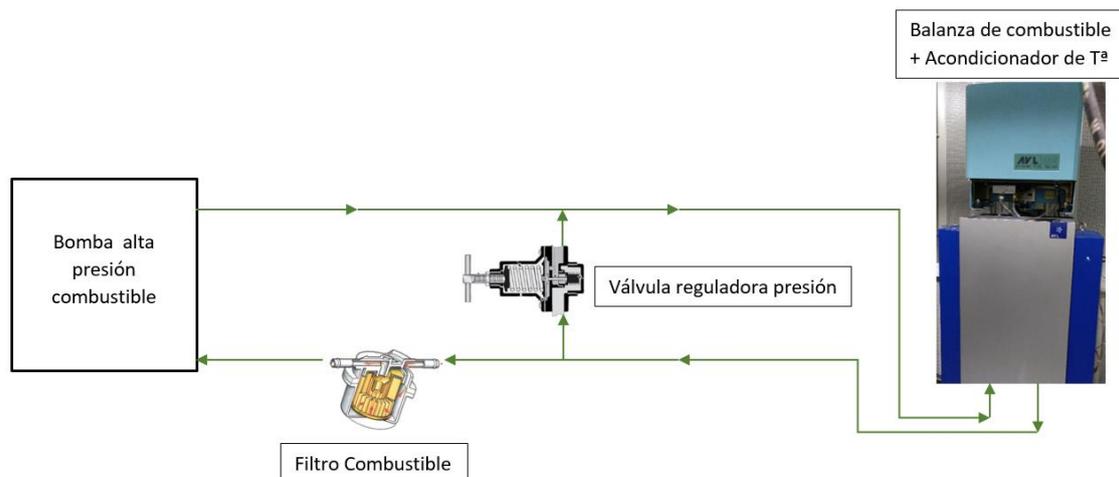


Figura 19. Esquema sistema combustible.

El motor del proyecto será alimentado a través de la balanza y el acondicionador de temperatura de AVL mediante tubo de teflón de 10x8 mm (diámetro exterior e interior). Se conecta la salida de combustible de la balanza a la entrada del filtro y la salida de éste a la entrada de combustible de la bomba de alta presión. El retorno de la bomba se conecta a la conexión para el retorno del conjunto balanza-controlador de temperatura. Entre ambas conexiones hay que realizar un bypass, conectando la entrada de combustible al motor (antes de su paso por el filtro) con el retorno al a balanza.

En el bypass se intercala un válvula reguladora de presión cuya función es la de mantener la presión de combustible a la entrada de la bomba de alta presión lo más estable posible. Así, se ha ajustado la válvula para que recircule combustible al retorno cuando se sobrepasan los 2,5 bares a la entrada.



Antes del filtro, se ha instalado mediante una conexión en T, el sensor de temperatura de entrada al motor.

La sustentación del filtro y de la válvula recae en un soporte fabricado con dos barras planas atornillada entre sí y al soporte delantero del motor. Para proteger los tubos de combustible desde el conjunto balanza-controlador de temperatura hasta la bancada, se introducen en 80 cm de canaleta de PVC. Otro factor muy importante a tener en cuenta es la protección de los tubos de teflón de partes metálicas de la bancada y del motor, de lo contrario las vibraciones durante los ensayos pueden llegar a agujerearlas.

#### 4.4.6. Sistema de escape.

El sistema de escape de serie tenía una forma inicial que no permitía su instalación. Por ello, fue necesario su modificación. Tras la válvula de escape, antes del silenciador, se ha cortado y soldado un codo de 90°. En su acople al motor, dispone de un tramo especial flexible el cual impide la transmisión de vibraciones del motor al escape.

Como se ha comentado anteriormente, el ensayo tendrá etapas de condiciones en sala (modo normal) y etapas de simulación con el MEDAS. Para permitir la conexión al MEDAS o al sistema de extracción de humos de la sala, se ha instalado tras el silenciador una conexión clamp. A esta conexión, se acoplará un tubo metálico flexible hasta el MEDAS (modo de simulación) o un tubo de 60 mm de diámetro (durante el modo normal de funcionamiento) esquematizado en la figura 6 del apartado 3.1.

El tubo de 60 mm continúa hasta el fondo de la sala y se sujeta a la estructura de aluminio. Para la conducción de los gases hasta la extracción de humos de la sala, se ha intercalado un tubo metálico flexible que permite dar la forma adecuada hasta el tubo de la extracción. Cabe destacar que la unión entre el tubo y el flexible es inexistente. Al tubo flexible se le ha instalado una reducción de 80 mm a 60mm (insertado en el extremo del flexible). De esta forma entre el tubo y el flexible dista una distancia de unos 5 cm. El motivo es que, si se instalasen uno insertado en el otro, la extracción succiona gases del tubo de escape, lo que falsifica las lecturas de gases contaminantes. Con el montaje realizado, si hay succión, se tomará aire de la sala.

Para la sustentación del sistema de escape, tras el silenciador, se ha colocado un pórtico realizado con perfil de aluminio.

#### 4.4.7. Sistema de urea.

El sistema de inyección de urea consta del depósito de serie que dispone de una bomba de presión en su interior y del inyector de urea ya instalado. Tanto el conducto de urea como el cableado que se conecta desde el cableado del motor al depósito, son lo suficientemente largos como para su instalación lejos del motor. Concretamente se ha colocado en un espacio debajo del freno y se ha sujetado a la base de la bancada. El inyector de urea dispone un conector para el cableado del motor, será la ECU la encargada de regular la inyección.

Por otro lado, al estar el inyector en el sistema de escape del motor, dispone de una envoltura metálica por la que ha de circular agua para la refrigeración. Las conexiones a este intercambiador tienen un diámetro interior de 8mm, que se ha respetado en todo el circuito de refrigeración. La entrada de agua se ha conectado a la toma de agua de red mediante tubo de teflón, este punto cuenta con una válvula



de bola. El control realizado sobre este circuito será nulo, simplemente será un todo o nada (abrir o cerrar la válvula). Esto es así debido a que este circuito de refrigeración apenas tiene efecto en la temperatura de los gases de escape, y su función principal es asegurar la integridad del inyector. La salida de agua de red tras el intercambiador se ha conectado directamente a la toma de desagüe de la parte posterior de la sala.

## 5. FRENO ASÍNCRONO.

### 5.1. Freno asíncrono.

El freno es un generador asíncrono que, acoplado al motor, permite simular la carga necesaria para obtener los valores de régimen de giro y par deseados. Por ello, este elemento es clave en la realización del ensayo. El freno utilizado es de la marca austriaca AVL, es el ELIN EBG Elektronik GmbH, modelo INDY 22/2V/0525. Está alimentado por una red trifásica de 500 Voltios y una corriente de 290 A. La regulación del régimen de giro se realiza mediante la variación de la frecuencia de 0,5-167 Hz para un rango de 1 a 10.000 rpm. El par máximo es de 522 Nm.

El rotor es del tipo jaula de ardilla y se apoya en dos rodamientos de bolas de alta precisión y precargados, lo que aumentan la rigidez y una mejor respuesta mecánica. La temperatura se monitoriza en los dos extremos del rotor por medio de termistores, como medida de seguridad ante un posible recalentamiento.

Entre las funciones de este equipo, se encuentra la posibilidad de arrastrar o ser arrastrado por el motor, incluyendo la función de arranque. El freno dispone de un armario eléctrico situado en el altillo desde el cual se puede desconectar de la red eléctrica.

El freno se controla mediante el sistema PUMA 2 de AVL, desde el cual se puede escoger entre el control manual o se puede lanzar un ciclo de carga previamente programado.



Figura 20. Freno AVL ELIN EBG Elektronik GmbH, modelo INDY 22/2V/0525).

### 5.2. Calibración del freno.

La calibración se llevó a cabo para que el sistema PUMA 2 al que está conectado el freno representase de forma precisa la carga aplicada al freno. Como se comenta en el apartado 6.1, el freno dispone de unas galgas extensiométricas para medir el par transmitido. Mediante la calibración, se introduce en el sistema la equivalencia en Newton por metro (Nm) para la variación de la señal eléctrica de las galgas extensiométricas.



Para este proceso ha sido necesaria la presencia un técnico de la empresa AVL. El proceso consiste en cargar el freno gracias a dos brazos metálicos acoplados a cada lado del estator. El estator posee de dos acoples a cada lado para ellos, a los cuales se accede al quitar una tapa. Los brazos sostienen unas bandejas colgantes en las que se posan pesas de 1, 5 o 10 kg. Los brazos tienen la longitud necesaria para que cada Kilo colocado en las bandejas sea equivalente a 10 Nm.

El *software* PUMA 2, incluye una función de calibración a la que el técnico de la empresa tenía acceso. El proceso consistió en la carga y descarga de los brazos. La carga en un lado es positiva, puesto representa el desplazamiento que se producirá cuando el motor mueva el rotor del freno En el otro lado, la carga es negativa y representa el caso en el que el motor sea arrastrado por el freno.

## 6. PARÁMETROS A MEDIR Y SISTEMAS DE MEDIDA.

### 6.1. Par y régimen de giro del motor.

La detección del par se realiza mediante un brazo palanca conectado al estator (estator que permite un pequeño giro en ambos sentidos), el cual está amortiguado hidráulicamente. Durante la transmisión de par entre freno y motor, se induce en el estator un pequeño desplazamiento proporcional al par. El desplazamiento se mide mediante galgas extensiométricas, mediante las cuales y con una correcta calibración, permite conocer el par transmitido entre el motor y el freno. El par puede ser positivo (desde el motor al freno) o negativo (del freno al motor). El rotor es del tipo jaula de ardilla y se apoya en dos rodamientos de bolas de alta precisión y precargados, lo que aumentan la rigidez y una mejor respuesta mecánica. La temperatura se monitoriza en los dos extremos del rotor por medio de termistores, como medida de seguridad ante un posible recalentamiento.

Para registrar el régimen de giro de del motor, el freno dispone de un sensor óptico que detecta las rpm del eje. Este sensor se sitúa en la parte trasera del freno.

### 6.2. Caudalímetro de aire.

Cuando la admisión se realice del aire de la propia sala o modo normal de funcionamiento, el caudal será medido con el caudalímetro de la firma AVL: AVL FLOWSONIX LD (Light-Duty-Version). Tiene un rango de medición de hasta 1400Kg/h. La frecuencia de muestreo es de 10 milisegundos, con una incertidumbre de medida del  $\pm 1\%$ .

El sistema se compone de dos partes: la unidad de medición, a la cual se acopla la tubería de toma de aire de la sala y la tubería que comunicará con la admisión del motor; la unidad de evaluación, situada en el exterior de la sala como se ve en la figura 43, la cual dispone de un panel en el que se indica la lectura del flujo másico.

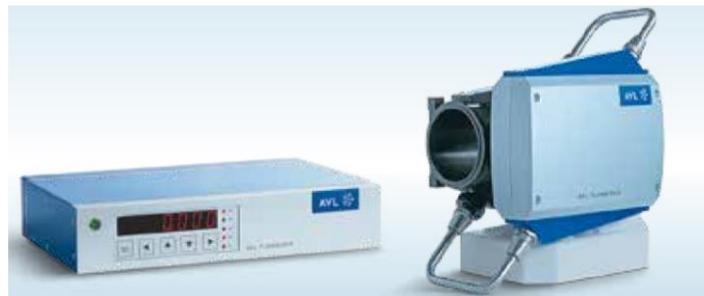


Figura 21. Caudalímetro. Unidad de evaluación (izquierda) y unidad de medición (derecha). [12]

El principio de medición del caudal empleado se basa en un método diferencial de la medición del tiempo de tránsito de ultrasonidos. Dos impulsos se envían simultáneamente entre el transmisor 1 (T1) y el 2 (T2) (figura 22). La interacción entre la velocidad del flujo circulante y la velocidad del sonido 'c' hace que se acelere el pulso en una de las rutas y se desacelere en la otra. Debido a esta diferencia, la señal en el receptor 1 (R1) llega antes que la señal al Receptor 2(R2). Con ello se puede calcular el flujo másico de aire trasegado.

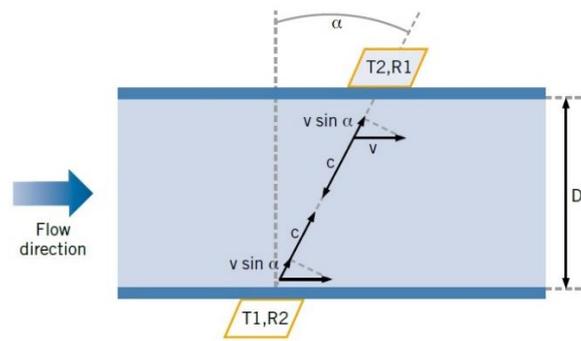


Figura 22. Esquema de funcionamiento del caudalímetro (AVL). [12]

### 6.3. Sistema de acondicionamiento y medida de combustible.

Para el control y medición del flujo de combustible se utilizará una combinación de dos módulos de la firma austriaca AVL, la balanza de flujo de combustible 733S junto con el acondicionador de temperatura. La balanza se sitúa encima del controlador de temperatura y todo el conjunto va instalado sobre un chasis de montante de aluminio con cuatro ruedas que facilitan su traslado. EL conjunto es capaz de suministrar el combustible hasta una presión de 5 bares y un rango de temperatura 10-80°C (dependiendo de la temperatura del agua refrigerante y de la temperatura de retorno del combustible). La balanza se comunica con el sistema PUMA 2 y proporciona el valor del caudal de combustible en kg/h (variable FB\_VAL) y temperatura (T\_Fuel) del combustible como puede verse en la figura 33 del apartado 6.9.

Para la medición del caudal, se mide peso del combustible trasegado mediante un sensor de desplazamiento capacitivo conectado a un recipiente a través de una viga. La calibración del sistema es automática.

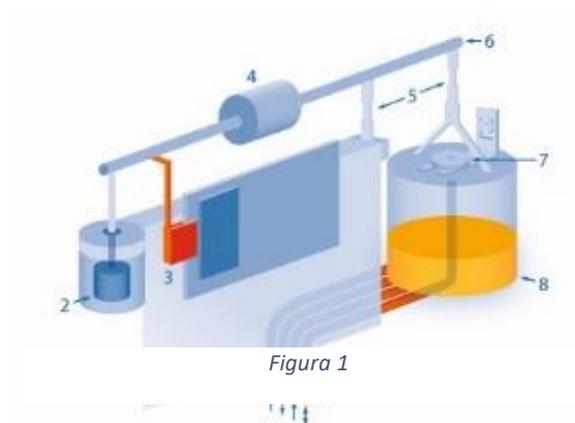


Figura 1

- 1- Conexiones de suministro de combustible (4).
- 2- Dispositivo de amortiguación.
- 3- Sensor capacitivo.
- 4- Peso de tara.
- 5- Resorte de lámina.
- 6- Viga de medida.
- 7- Peso de calibración.
- 8- Recipiente de medida.

Figura 23. Esquema balanza (AVL). [13]

El conjunto balanza-acondicionador de temperatura dispone de una toma de diésel que se conecta al sistema de abastecimiento de combustible (apartado 3.3) y de una salida y un retorno que se conectarán al motor de la forma explicada en el apartado 4.4.5.

## 6.4. Régimen de giro del turbocompresor.

Para conocer el régimen de giro de la turbina del turbocompresor, se ha instalado un sensor inductivo. Como turbina y compresor están acoplados por el mismo eje, ambas velocidades son la misma. El sensor se ha instalado en el compresor puesto que en él la temperatura es menor que en la turbina, donde se dañaría el sensor. Para ello, se ha perforado la pared del compresor y se ha mecanizado un orificio roscado con métrica 6. En la figura 24 puede verse el sensor instalado en el compresor.



Figura 24. Detalle instalación sensor rpm.

Al paso de los álabes, el sensor produce un pulso. Como se conoce el número de álabes del compresor (5), se puede saber cuando ha dado una vuelta completa. Así, cinco pulsos significan una vuelta completa del turbo compresor.

El turbocompresor en este proyecto podrá llegar a velocidades de giro de 240.000 rpm. Si se tiene en cuenta esto, el régimen podrá llegar a ser de 4.000 revoluciones por segundo, que por el número de palas (5), hacen una frecuencia de la señal del sensor de 20.000 pulsos por segundo (20 KHz).

El sensor se alimenta mediante una fuente de alimentación de 5V que se conecta intercalando un convertidor universal de frecuencia. De esta forma el convertidor detecta los pulsos de 5V en un rango de 0 a 60 kHz (suficiente puesto el máximo serán 20 kHz) y proporciona una señal de salida analógica proporcional a la frecuencia de 0 a 10 V. En el sistema PUMA 2 se ha programado para transformar la señal a Hz y posteriormente con la fórmula anterior mostrar la equivalencia en rpm. Así, la primera conversión es:

$$\text{Señal (Hz)} = 6000 \times \text{Señal convertidor (V)} \quad (7)$$

Como la velocidad ha de representarse en revoluciones por minuto, se ha configurado en el sistema PUMA 2 la siguiente fórmula:

$$\text{RPM turbo} = \frac{\text{Señal (Hz)} \times 60}{\text{n}^\circ \text{ álabes (5)}} \quad (8)$$

El convertidor se conecta al módulo AVL para enviar la señal y para recibir alimentación de corriente continua de 24 V. El conector implementado para la conexión con el módulo sigue el mismo esquema que el conector de los transductores de presión detallado en el apartado 6.5.1.3. De esta forma, un cable es para la señal, otro para el positivo de la alimentación y otro para las masas de señal y alimentación. En el convertidor se han puenteado también ambas masas.

## 6.5. Presiones.

### 6.5.1. Presiones medias.

#### 6.5.1.1. Transductores de presión.

Para registrar la presión en los diferentes puntos de la instalación, se ha empleado el transductor de presión de la firma WIKA modelo S-20. El funcionamiento se basa en la deformación que sufre una membrana en el interior del transductor. Para registrar la deformación de la membrana, hay dos galgas extensiométricas, una colocada en la parte de la membrana que se dilata y otra en la parte que se contrae. Las galgas varían su resistencia en función de la deformación. Mediante esta variación controlada de la resistencia se deduce la presión. En la figura 48 puede verse en detalle la colocación de las galgas. El transductor amplifica la señal recibida para ofrecer una intensidad de salida lineal entre 4 y 20 miliamperios para las presiones comprendidas entre 0 y 6 bares. Esta recta de calibración se ha introducido en el sistema PUMA 2. Tiene un tiempo de respuesta de 0,15 segundos y una precisión de 0,01 milibares.

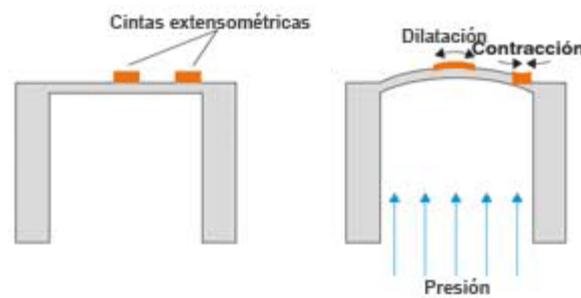


Figura 25. Esquema de la colocación de las galgas extensiométricas. [3]

Para su funcionamiento, necesita alimentación de corriente continua comprendida en un rango de 8 a 32 V. El módulo AVL al que se conectan dispone de alimentación a 24 V mediante dos de sus pines.

#### 6.5.1.2. Instalación.

El transductor de presión dispone para su conexión a proceso de una conexión hembra de rosca de 1/4" (un cuarto de pulgada).

El modo de montaje consiste en conectar un tubo que conecte el punto en el que se ha de realizar la medición con la conexión a proceso del sensor de presión. Así, éste siempre se encuentra alejado de las vibraciones y las altas temperaturas. Tanto si se está midiendo la presión en gases como en líquidos, el fluido comprime el aire hasta el sensor, con lo cual no llegan a estar en contacto. Además, los sensores se instalan a una cota superior al punto de medición y evitando remansos en el tubo.

Para las conexiones se han empleado tubos flexibles de poliuretano de 6 o 10 mm de diámetro exterior (4 u 8 mm de diámetro interior). Mediante racores con un extremo roscado, se conectan al transmisor y al punto de medición.

Para los casos en los que la temperatura sea mayor de los 100 °C, se han empleado tubos flexibles de teflón, capaces de soportar temperaturas de hasta 250°C. Para la presión en gases de escape, se conecta el tubo de teflón a un tramo de unos 30 cm de tubo de acero inoxidable de 6mm (diámetro

exterior). El tubo de acero se conecta al motor mediante racores de la firma Swagelok. Estos disponen de una rosca de un cuarto de pulgada que se conecta a un casquillo roscado soldado a la zona donde se desea monitorizar la presión. Previamente se habrá realizado un orificio de 3mm que quedará dentro del casquillo.

Parte de los transductores se han colocado en el módulo AVL, que dispone de una bandeja para hasta 6 de ellos. El resto se han colocado en un soporte de aluminio sujeto a la viga central de aluminio, como puede observarse en la figura 26.



Figura 26. Transductores de presión.

### 6.5.1.3. Conexión al sistema de adquisición PUMA.

Los transductores de presión se conectan al sistema de adquisición PUMA 2 mediante su conexión al módulo de AVL (apartado 7.1.1) a través de un conector de 8 pines. Cada transductor dispone de un capuchón desmontable en el cual se conecta el cableado. El esquema eléctrico es el siguiente, referenciado a la figura 27:

Conexión al sensor:

1. Positivo de la alimentación de 24 V (cable blanco).
2. Negativo de la alimentación de 24 V (cable marrón).
3. Señal analógica del transductor, de 4-20 miliamperios (cable verde).

Conexión a los pines del conector al módulo de AVL:

Pin 1: Señal del transductor (cable verde).

Pin 2: Negativo de la alimentación de 24 V (cable blanco).

Pin 8: Positivo de la alimentación de 24 V (cable blanco).

Pines 2 y 3: Puente eléctrico entre ambos. La justificación de este puente es la de unir el negativo de la alimentación (pin 2) con el negativo de la señal (pin 3), para cerrar el circuito de la señal. Es decir, ambas masas serán la misma.



Figura 27. Conexión al sensor (izquierda) y distribución de pines de la conexión al módulo AVL (derecha).

#### 6.5.1.4. Variables medidas.

El motor, en el momento de su entrega, disponía de ciertos racores ya instalados para la instrumentación de los sensores de presión. A continuación, en la tabla 1 se recogen las variables correspondientes a dichos racores. Aunque la conexión al motor estaba realizada, se ha realizado la conexión mediante tubos al transductor de presión y la conexión de éste al módulo AVL. Las variables nombradas a continuación son las que el sistema PUMA 2 registrará con el nombre que tienen asignado, como puede verse en la 32 del apartado 6.9.

<b>Nombre Variable</b>	<b>Descripción</b>
P_ATM	<b>Presión atmosférica.</b> Sensor dejado al aire, por lo tanto registra la presión en la sala tomada como la presión atmosférica.
P_inC	<b>Presión entrada compresor.</b> Mide la presión en el manguito de entrada al compresor. Esta presión coincide con la <b>presión del aire de entrada al intercooler.</b>
P_outC	<b>Presión salida compresor.</b> Mide la presión del aire tras el paso del aire por el compresor. También puede considerarse como la <b>presión del aire a la entrada del intercooler.</b>
P_inMANIF.	<b>Presión colector de admisión.</b> Mide la presión del aire en el colector de admisión del motor.

Tabla 1. Variables ya instaladas parcialmente.

A continuación, en la tabla 2 se detallan las variables que han sido instrumentadas en todas sus fases.

<b>Nombre variable</b>	<b>Descripción</b>
P_SUM	<b>Presión en el cárter.</b> Presión en el cárter del motor. El racor se ha conectado en el orificio roscado del que ya disponía el motor para insertar el bloqueador del motor. Debido a la incompatibilidad de las roscas del racor y del orificio, se ha perforado un tornillo que era apto para el orificio. En el tornillo se ha soldado un casquillo roscado de 1/8 de pulgada, donde se inserta el racor.

P_inT	<b>Presión a la entrada de la turbina.</b> Mide la presión a la que llegan los gases de escape a la turbina. Para su instalación, se ha perforado en la entrada a la turbina y se le ha soldado un casquillo de un cuarto de pulgada. En el casquillo se ha instalado un racor con un tubo de acero inoxidable de 6mm, con un racor de empalme de 6 a 6 mm. En el racor se ha empalmado un tubo de teflón de 6mm que se conecta hasta el transmisor de presión.
P_outT	<b>Presión a la salida de la turbina.</b> Registra la presión de los gases de escape a la salida de la turbina del turbocompresor. Dicha presión coincide con la <b>presión de entrada al DOC.</b> El modo de instalación es igual que el de P_inT.
P_outDOC	<b>Presión a la salida del DOC.</b> Es la presión de los gases de escape tras su paso por el DOC. También coincide con la <b>presión de entrada al bloque SCRF.</b> El modo de instalación es igual que el de P_inT.
P_outDPF	<b>Presión salida DPF.</b> Mide la presión de los gases de escape a la salida del bloque SCRF (apartado 4.2.3). Esta presión también es la <b>presión de los gases de escape a la entrada del intercambiador de EGR de baja presión.</b> El modo de instalación es igual que el de P_inT.
P_outAIRF	<b>Presión salida filtro.</b> Registra la presión del aire tras pasar por el filtro. Se ha instalado el racor en la pared de la caja del filtro. Para ello, se ha perforado la caja para que entre la rosca del racor. Por el interior se ha roscado un casquillo, lo cual coloca la pared entre el casquillo y el racor. Antes de apretar, se ha ensiliconado todo para evitar tanto fugas, como entrada de aire cuando se simule altitud (diferencia de presión de hasta 0'25 bares).
P_outWCAC	<b>Presión salida intercooler.</b> Mide la presión del aire tras su paso por el intercooler. Para su instalación, se ha aprovechado que aguas abajo del intercooler el motor dispone de una pieza metálica. En ella se ha realizado un agujero y se ha roscado dicho orificio.
PWO	<b>Presión salida refrigerante.</b> Es la presión del glicol a la salida del motor. En la manguera de salida del agua se ha intercalado un tubo de acero inoxidable cuyo diámetro exterior coincide con el diámetro interior de la manguera. En el tubo se ha perforado un orificio sobre el cual se ha soldado un casquillo con roscado en su interior. El racor se ha roscado en el casquillo.
P_OIL	<b>Presión aceite en el cojinete del turbo.</b> Presión del aceite a la entrada del cojinete del turbocompresor. Para su instalación, se ha realizado un montaje especial (figura 28), en el cual se ha hecho una prolongación del conducto que lleva aceite al cojinete. El montaje se ha adaptado para la instalación de un termopar.

P_FUEL	<b>Presión combustible.</b> En la manguera de combustible se ha intercalado un tubo cuyo diámetro exterior es igual que el diámetro interior de que la manguera de combustible. En el tubo se ha perforado un orificio y soldado un casquillo roscado de 1/8". En el casquillo se ha roscado el racor para el tubo de teflón que va al transductor de presión.
--------	--

Tabla 2. Variables de presión instaladas completamente por CMT.



Figura 28. Detalle montaje especial instrumentación presión y temperatura aceite cojinete.

## 6.5.2. Presión instantánea en la cámara de combustión.

### 6.5.2.1. Esquema de montaje.

Para la monitorización de la presión en cámara, es necesaria la instalación de tres sistemas de medición diferenciados: el codificador angular (explicado en el apartado 6.6), el sensor piezoeléctrico de presión y la pinza amperimétrica del inyector (explicado en el apartado 6.7). Con estos elementos y su conexión analógica al oscilógrafo Yokogawa, se conocerá la presión en cámara en todo momento, la posición del motor en la que se ha producido y el momento de la inyección en el que se ha producido.

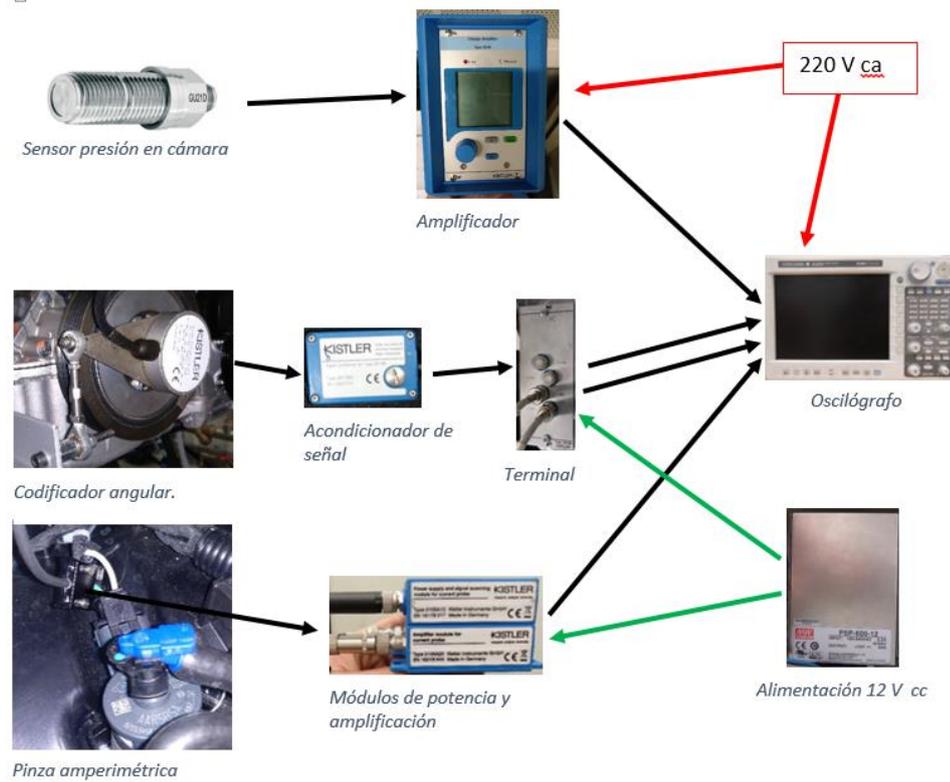


Figura 29. Esquema del sistema de captación de la presión en la cámara de combustión.

### 6.5.2.2. Sensor de presión.

El sensor empleado para la captación de la presión instantánea en cámara es un sensor piezoeléctrico de la firma AVL, modelo GU21D. Dicho sensor tiene un rango de medida de 0 a 250 bares (presión relativa), suficiente teniendo en cuenta que dicha presión no debe superar los 163 bares, como se especifica en el apartado 8.2. La frecuencia de muestreo del sensor es de 85kHz y tiene una incertidumbre de  $\pm 0,2$  bar. El amplificador está calibrado con una sensibilidad de 15'52 pC/bar.

El sensor dispone de un adaptador que se encaja en el orificio de la bujía de precalentamiento. Para este ensayo, solo se ha instalado un sensor en el cilindro número 2, que era el más accesible. El adaptador se ha instalado con una llave dinamométrica empleando un par de apriete de 12 Nm, que fue el par al cual se desinstaló la bujía de precalentamiento. El par de apriete para la instalación del sensor en el adaptador es de 3 Nm. El sensor se enrosca en el adaptador mediante una herramienta especial que dispone de una ranura para el cable del sensor.

Este sensor necesita de un amplificador de señal, en concreto se empleará el amplificador Tipo 5018 de la marca firma Kistler. Dicho amplificador se ha colocado sobre un soporte en la viga central de aluminio. Tanto la entrada al amplificador (señal del sensor) como la salida (entrada del oscilógrafo) son de tipo analógico. El amplificador proporciona una señal de salida entre 0 y 10 V, proporcional al rango de medida de 0 a 250 bares del sensor. La salida del amplificador está conectada al oscilógrafo Yokogawa. Desde el software Yokogawa se selecciona la frecuencia de muestreo que se desea registrar y en el PC se almacenan los datos.

## 6.6. Codificador angular.

El codificador es de la empresa kistler tipo 2613B. Dispone de un sensor óptico que detectan unos orificios que se encuentran en un disco interno. Su función es la de permitir conocer de forma exacta la posición angular del cigüeñal para poder referenciar las mediciones de presión instantánea tomadas y saber en qué momento del ciclo termodinámico se producen. Para cumplir su cometido consta de tres elementos:

**-El codificador angular o encoder.** Dispone de un sensor óptico en su interior que detecta unos orificios de un disco interno. Para unirlo solidariamente al cigüeñal, se ha fabricado una pieza de aluminio que encaja en la polea de auxiliares del motor y dispone de 6 agujeros roscados para unir el codificador. La pieza se detalla en el plano 4. ACOPLAMIENTO ENCODER.

Puede verse ya instalado en la figura 30. Para su colocación, primero se retira la correa de auxiliares. Después, bloqueando el motor, se afloja el tornillo que sujeta la polea. A continuación, se coloca la pieza, se aprieta de nuevo el tornillo y se instala la correa.

El encoder debe estar sujeto a un punto fijo para poder medir la posición del cigüeñal. Para ello se ha sujetado a un perfil en L, el cual está atornillado al bloque motor (aprovechando dos orificios roscados que ya disponía el motor). Este punto de sujeción debe realizarse en el motor para conseguir que el movimiento relativo entre ambos sea nulo. El resultado de dicho montaje se visualiza en la figura 30.

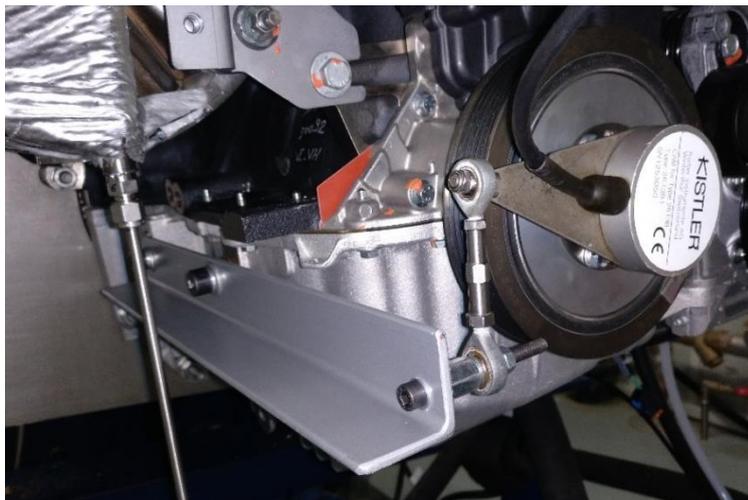


Figura 30. Montaje codificador angular.

**-Acondicionador de señal.** Se ha instalado sobre la viga central de aluminio. En la figura 31 puede verse el diagrama de montaje. Está conectado al sensor por un cable de tres pines de 1,5 metros. Al terminal de línea se conecta mediante un cable de 7 pines de 10 metros de longitud. Por este cable se alimenta el acondicionador (pines 2 y 4) y se envía las señales al terminal de línea. Del acondicionador se envía tres señales: CAM (pin 5), *trigger* (TRG) (pin7) y CAMM (pin6). La señal CAM es la señal de posición del motor, que se envía un pulso cada activa cada cierto grado de giro del cigüeñal. Para la señal CAM el acondicionador dispone de interruptores tipo DIP, los cuales permiten ajustar la resolución de la señal a: 6°, 2°, 1°, 0'5°, 0'2° o 0'1°. Para este proyecto se ha configurado la señal CAM cada 0'5°. La señal TGR es una señal que por defecto se activa cada vuelta completa del motor. Por último la señal CAMM se activa por defecto cada 1° girado por el motor, en el montaje de este proyecto no será utilizada. Todas las señales tienen una amplitud de 5 V.

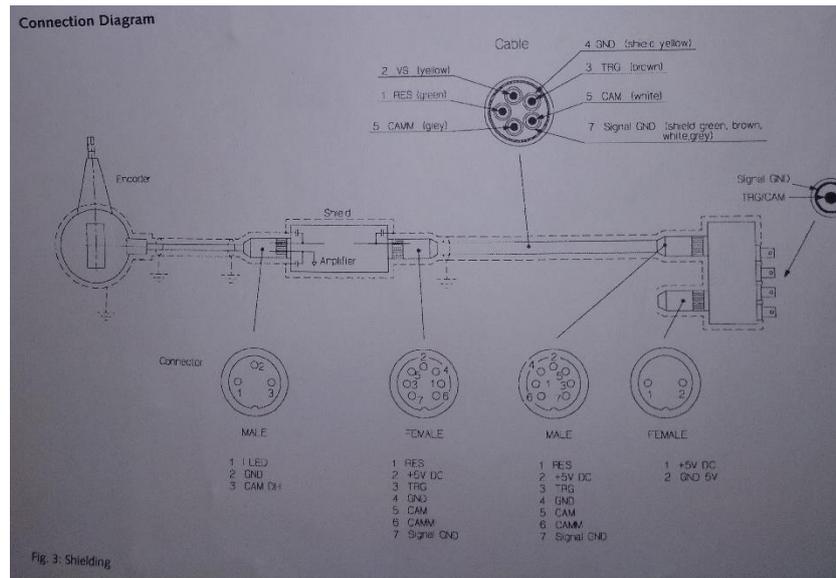


Figura 31. Diagrama de conexiones del sistema del codificador angular. [9]

**-Terminal de línea.** Se ha instalado en la estructura de aluminio. Es un dispositivo al que se conecta el cable proveniente del acondicionador de señal y el cable de alimentación de 12V (conectada a la fuente de alimentación de 12 V). También dispone de las conexiones para los cables coaxiales que se conectarán al oscilógrafo. Estos cables disponen de un pin interno y de una armadura exterior de aluminio conectada a masa que protege del ruido externo. Se han instalado dos cables para las señales CAM y TGR. Éstos se conectan al oscilógrafo Yokogawa situado en el exterior de la sala. También dispone de la conexión para el cable de toma de corriente (conectada a la fuente de alimentación de 12 V).

### 6.7. Pinza amperimétrica.

Para realizar las inyecciones de combustible la ECU envía una señal por el cable conectado al inyector. En concreto, el motor realiza tres pequeñas inyecciones. Con el fin de poder referenciar la presión en cámara respecto de estas inyecciones y valorar su efecto, se ha instalado una pinza amperimétrica en el cable eléctrico del inyector del cilindro número 2 (donde se encuentra instalado el sensor de presión en cámara). Gracias a la pinza se visualizará en el oscilógrafo el momento exacto de cada inyección que corresponderá con los picos de corriente enviados por la ECU.

La pinza empleada es de la firma Kistler tipo 2105A. Realmente es un elemento compuesto por un módulo amplificador de señal tipo 2105A20 unido a un módulo de suministro de electricidad tipo 2105A10. Ambos elementos se han colocado en la estructura de aluminio.

El módulo de potencia eléctrica puede ser conectado a un voltaje de entre 9 y 36 V. En la instalación de este proyecto la pinza se ha conectado a la fuente de alimentación de 12 V. El módulo amplificador de señal se ha conectado mediante un cable coaxial al oscilógrafo, y mediante un cable de dos pines al sensor de intensidad. El esquema de conexiones puede verse en la figura 28. El sensor también llamado pinza envuelve el cable donde se desee medir intensidad. La corriente que circula por cable induce una corriente proporcional en el sensor.

La señal de salida del amplificador es 100mV/A (0,1 Voltio por cada amperio) en un rango de 0 a 10V (tanto positivos como negativos). El tiempo de respuesta del sensor es de  $1'5\mu\text{s}$  ( $1,5 \times 10^{-6}$  segundos).

## 6.8. Temperaturas medias.

### 6.8.1. Termopares.

Para la instrumentación de la temperatura se han empleado termómetros eléctricos del tipo termopar. Concretamente termopares formados por cromel-alumel (tipo K), que son de bajo coste y capaces de medir en un gran rango de temperaturas ( $-273^{\circ}\text{C}$  a  $1100^{\circ}\text{C}$ ). Tienen una sensibilidad de  $41 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$  (microvoltios por grado centígrado). La incertidumbre asociada es de  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ . Su funcionamiento se basa en la propiedad de los conductores metálicos por la cual generan una fuerza electromotriz cuando cada extremo se somete a una temperatura distinta.

Para su funcionamiento, existe una unión fría sometida a una temperatura de referencia y una unión caliente en el medio que queremos medir. El termopar generará un voltaje proporcional a la diferencia entre ambas temperaturas del orden de microvoltios. La unión fría se encuentra a la temperatura ambiente de la sala. La unión caliente se encuentra en el interior de un tubo de acero inoxidable, con el extremo sellado. Es en dicho extremo donde se produce la medición. En tuberías y conductos el extremo debe situarse en el medio del conducto.

Para su instalación, el tubo de acero inoxidable se introduce en un racor para termopares el cual fija su longitud mediante un bicono. El racor dispone de una rosca de  $1/8''$  (un octavo de pulgada) cónica para su instalación, la cual sella al ser apretada. El tubo termina en una ficha macho con dos conexiones, una para el positivo y otra para el negativo, cada una de un tamaño distinto para su correcta conexión.

Este tipo de termómetro tiene como ventaja la no necesidad de una fuente de alimentación. Como desventaja hay que destacar la baja tensión de salida, un mayor coste del cableado y la necesidad de una unión de referencia. El cableado empleado está formado dos cables: uno para el polo positivo (verde) y otro el negativo (color blanco).

### 6.8.2. Conexión al Módulo AVL.

Para su conexión al módulo AVL, se emplean conectores de 8 pines en los cuales se sigue el siguiente esquema de montaje:

- Pines 1 y 6: Resistencia Pt 100.
- Pines 3 y 7: Puente eléctrico entre ambos.
- Pin 4: Positivo del sensor (cable verde).
- Pin 5: Negativo del sensor (cable blanco).
- Pines 2 y 8: Al aire.

En el otro extremo del cable, se ha instalado una ficha hembra para la rápida conexión al termopar.

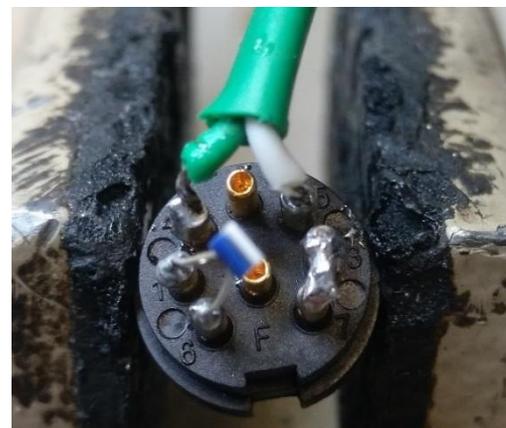


Figura 32. Conexiones termopar al conector de 8 pines.

### 6.8.3. Variables e instalación.

El motor objeto de este proyecto, fue entregado con ciertos termopares ya instalados. Estos disponían de una ficha macho para su conexión con el cableado. Por lo tanto, en el posterior presupuesto sólo se ha contabilizado el coste económico de su conexión desde el motor al amplificador AVL. En la siguiente tabla se recogen los sensores ya instalados por Renault, así como el nombre que se les ha asignado y su localización.

<b>Nombre variable</b>	<b>Descripción</b>
T_inC	<b>Temperatura entrada a compresor.</b> Está colocada justo antes de la entrada del aire al compresor, después de la unión entre el manguito del EGR de baja presión y el aire que viene del filtro.
T_outC	<b>Temperatura salida compresor.</b> Instalado tras la salida de aire después del compresor y antes del colector de admisión. Esta temperatura también corresponde con la <b>temperatura de entrada al intercooler.</b>
T_inMANIF	<b>Temperatura colector de admisión.</b> Colocada en el colector de admisión, el aire se habrá mezclado con el aire recirculado por el EGR de alta presión.
T_outWCAC	<b>Temperatura salida aire intercooler.</b> Temperatura del aire tras su paso por el intercambiador agua-aire.
T_inEGR	<b>Temperatura entrada EGR de alta presión.</b> Temperatura a la que se encuentran los gases de escape recirculados por la válvula EGR de alta presión.
T_inEGB	<b>Temperatura gases entrada EGR de baja presión.</b> Temperatura de los gases antes de ser recirculados por la EGR. También es la <b>presión de los gases de escape a la salida del intercambiador del EGR de baja presión.</b>
T_outEGB	<b>Temperatura gases salida EGR de baja presión.</b> Está colocada después de la EGR, justo antes de la unión del manguito del EGR con el del proveniente del filtro de aire.
TWI_EGB	<b>Temperatura del agua de entrada al intercambiador de EGR de baja presión.</b> Mide la temperatura del refrigerante del motor antes de su paso por el intercambiador de EGR de baja presión.
TWO_EGB	<b>Temperatura del agua a la salida del intercambiador del EGR de baja presión.</b> Mide la temperatura del refrigerante del motor tras su paso por el intercambiador del EGR de baja presión.

Tabla 3. Termopares instalados por Renault.

En cuanto a los instalados por parte del equipo del CMT, el procedimiento general consiste en soldar un casquillo de acero inoxidable con una rosca interior de 1/8" al elemento que se acoplará a la pieza donde se desee medir la temperatura. Para la instrumentación en mangueras, se intercala en la manguera un manguito metálico en el que se realiza un orificio, para dejar paso el termopar, y se suelda el casquillo en el que roscará el racor del termopar. En la siguiente tabla se recoge el nombre que se les ha asignado en el sistema, así como una breve descripción de ellos.

<b>Nombre variable</b>	<b>Descripción</b>
T_ATM	<b>Temperatura atmosférica.</b> Se trata de un termopar dejado al aire que mide la temperatura de la sala.
TWO	<b>Temperatura salida del refrigerante del motor.</b> Mide la temperatura del refrigerante a su salida del motor. Con lo que también es la temperatura de entrada del refrigerante al intercambiador de la bancada. Está instalada en la manguera de salida de refrigerante.
TWI	<b>Temperatura entrada del refrigerante del motor.</b> Mide la temperatura del refrigerante a su entrada al motor, con lo que también es la temperatura a la cual sale el refrigerante del intercambiador de la bancada. Está instalado en la manguera de entrada de refrigerante.
TWI_WCAC	<b>Temperatura de entrada del agua al <i>intercooler</i>.</b> Mide la temperatura del agua de red que entra al intercambiador. Está instalado en la manguera de agua, justo antes de la entrada.
TWO_WCAC	<b>Temperatura de salida del agua del <i>intercooler</i>.</b> Mide la temperatura del agua de red a la salida del intercambiador. Está instalada en la manguera de salida hacia el desagüe, justo tras la salida del intercambiador.
T_FUEL	<b>Temperatura de entrada del combustible a la bomba.</b> Mide la temperatura del diésel que entra al motor. Se ha instalado a la entrada del filtro de combustible mediante una T de 1/8" con dos espigas y el racor para el termopar.
T_outAIRF	<b>Temperatura aire a la salida del filtro.</b> Mide la temperatura del aire tras su paso por el filtro. Su instalación se ha descrito en el apartado 4.5.3.
T_outCYL1	<b>Temperatura salida gases cilindro 1.</b> Está instalada en el colector de escape, en la toma de los gases del cilindro 1. Se ha perforado y roscado un orificio en el dicho colector para insertar el racor.

T_outCYL2	<b>Temperatura salida gases cilindro 2.</b> Está instalada en el colector de escape, en la toma de los gases del cilindro 2. Se ha perforado y roscado un orificio en el dicho colector para insertar el racor.
T_outCYL3	<b>Temperatura salida gases cilindro 3.</b> Está instalada en el colector de escape, en la toma de los gases del cilindro 3. Se ha perforado y roscado un orificio en el dicho colector para insertar el racor.
T_outCYL4	<b>Temperatura salida gases cilindro 4.</b> Está instalada en el colector de escape, en la toma de los gases del cilindro 4. Se ha perforado y roscado un orificio en el dicho colector para insertar el racor.
T_inT	<b>Temperatura gases de entrada a la turbina.</b> Está instalada justo a la entrada de la turbina. Se ha perforado y roscado un orificio para roscar el termopar.
T_outT	<b>Temperatura gases de salida de la turbina.</b> Está instalada a la salida de la turbina, antes del DOC. Para su instalación, se ha perforado el conducto y se ha soldado un casquillo roscado para el racor del termopar. Esta temperatura también corresponde a la <b>temperatura de entrada al DOC.</b>
T_outDOC	<b>Temperatura gases a la salida del DOC.</b> Mide la temperatura de los gases de escape tras su paso por el DOC. Para su instalación, se ha perforado el conducto y se ha soldado un casquillo roscado para el racor del termopar.  Esta temperatura también corresponde a la <b>temperatura de los gases de escape a la entrada al bloque SCRF.</b>
T_outDPF	<b>Temperatura gases a la salida del bloque SCRF.</b> Es la temperatura de los gases de escape tras su paso por el bloque que SCRF (apartado 4.2.3). Para su instalación, se ha perforado el conducto y se ha soldado un casquillo roscado para el racor del termopar. Esta temperatura coincide con la <b>temperatura de los gases a la entrada del intercambiador del EGR de baja presión.</b>
TWI_EGR	<b>Temperatura del refrigerante a la entrada del intercambiador del EGR de alta presión.</b> Mide la temperatura del refrigerante del motor a la entrada del intercambiador. Para su instalación, se ha intercalado en la manguera un tramo de tubo con espigas mecanizadas en sus extremos, en el cual se ha perforado un agujero y se ha soldado un casquillo roscado de 1/8" para el racor del termopar.
TWO_EGR	<b>Temperatura del refrigerante a la salida del intercambiador del EGR de alta presión.</b> Mide la temperatura del refrigerante del motor a la salida del intercambiador. Para su instalación, se ha intercalado en la manguera un tramo de tubo con espigas mecanizadas en sus extremos, en el cual se ha

	perforado un agujero y se ha soldado un casquillo roscado de 1/8" para el racor del termopar.
T_OIL	<b>Temperatura del aceite del cojinete del turbocompresor.</b> Mide la temperatura a la salida del aceite que lubrica el cojinete del turbo. Puede verse el termopar instalado en la figura 28 apartado 6.5.1.4.

Tabla 4. Termopares instalados en todas sus fases por CMT.

## 6.9. Visualización de variables.

En la siguiente figura puede verse el modo de visualización de las variables en el monitor de la zona de control. Las variables detalladas en los apartados 6.5.1.4 y 6.8.3 se visualizan de forma constante durante los ensayos.



Figura 33. Visualización variables controladas monitor PUMA 2.

La configuración de las variables de temperatura y presión instrumentadas en la pantalla de la figura 33 ha sido objeto de este trabajo. Para empezar, se crea la variable deseada y se asocia al puerto del Módulo AVL al cual se ha conectado. Para los termopares, el sistema está configurado de serie con la configuración para termopar tipo k, por lo que solo es necesario seleccionar esta opción. Para los sensores de presión se selecciona el modo de entrada de corriente y el sistema pide los puntos extremos de la recta de calibración (4 mA para 0 bar y 20 mA para 6 bares). Para su visualización, se inserta un display como los que se observa en la figura 33 y con doble clic se accede a la selección de la variable que representará.

## 6.10. Medida de emisiones de escape.

La medición de gases de escape se realizará en tres puntos distintos del sistema post-tratamiento de gases de escape del motor. La primera muestra se toma a la salida de la turbina. La siguiente entre el DOC y el bloque SCRF. La última, se toma tras la salida del bloque SCRF, antes de la válvula de contrapresión. En cada uno de estos puntos se han instalado dos sondas: una para el Horiba y otra para el equipo de medición de partículas. En la figura 6 del apartado 3.1 puede verse un esquema de los puntos de captación de muestras.

La medición de humos con el opacímetro únicamente se realizará antes del bloque SCRF.

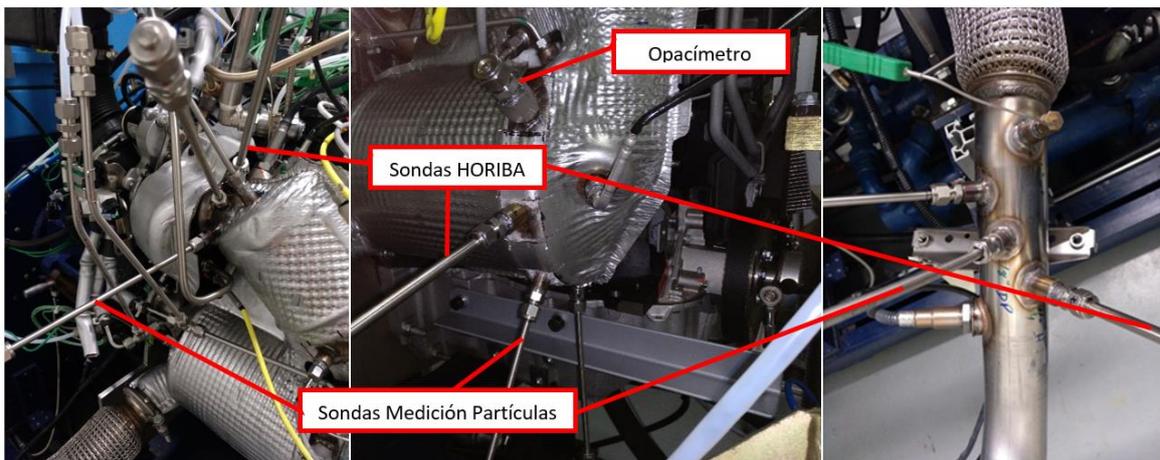


Figura 34. Puntos de medición de gases de escape: Salida turbocompresor (izquierda), Salida DOC (centro) y Salida Bloque SCRF (derecha).

### 6.10.1. Sondas.

Son los elementos con los que se extraen muestras de gases de una corriente de gas principal.

Las sondas se han fabricado a partir varillas de acero inoxidable de unos 40cm de longitud. Las correspondientes al HORIBA son de 8mm (diámetro exterior) y las correspondientes a la medición de partículas son de 6mm (diámetro exterior).

Para su instalación, debido a que se introducen en el interior del flujo, se perfora un orificio de diámetro superior a la sonda. Alrededor de éste se suelda un casquillo roscado de 1/4". En el casquillo se rosca un racor para el diámetro de la sonda. Por defecto, estos racores no permiten que la varilla-sonda pase por su interior, por ello se ha ampliado el orificio a un diámetro media décima mayor al de la varilla.

La fabricación de las sondas sigue los siguientes pasos:

1. Cálculo de la longitud a la que se introducirá cada sonda. Para ello se instalan todas las sondas y se introducen el máximo posible. Entonces se sacan 1 cm aproximadamente y se marca el tubo hasta donde se ha introducido. Posteriormente se mide la longitud del racor con el casquillo y se resta a la marca efectuada anteriormente. Así, se conoce la longitud de la sonda que queda dentro del flujo de gas.

Es importante evitar el contacto entre dos sondas y el contacto con partes móviles como los álabes de la turbina del turbocompresor.

2. Realización de orificios a tresbolillo. Se realizan orificios a tresbolillo de 2 mm de diámetro para tubo de 6mm y de 3mm para tubo de 8mm. La separación entre ellos de varios diámetros.

3. Limpieza de la sonda. Se repasa con una broca el interior de las sondas para romper la viruta que ha quedado en el interior. Además se lijan y luego se soplan con aire a presión. Se debe retirar todo tipo de viruta residual.

4. Sellado del extremo interno. El extremo que se inserta en el motor se sella soldándolo.

5. Pulido final. Se remata el acabado de la soldadura y la parte externa de la sonda.



Figura 35. Imagen de sonda fabricada a partir de varilla de acero inox. de 6mm.

La base del proyecto que se llevará a cabo sobre el motor de la instalación es estudiar la emisión de gases contaminantes. En el siguiente capítulo se detalla el equipamiento empleado con tal fin.

### 6.10.2. Analizador de gases HORIBA MEXA ONE.

En el exterior de la sala se encuentra con el equipamiento de alta precisión de la firma japonesa HORIBA para el análisis de gases de escape de motores de combustión interna.

#### 6.10.2.1. Medida de emisiones contaminantes.

El equipo que permite un preciso control de la composición de los gases de escape es el Horiba MEXA-ONE-D1, formado por un módulo en el que se encuentra la toda la electrónica de control y los módulos de análisis de gases. A parte de este módulo, el equipo cuenta con un módulo separado para albergar el horno (OVN).



Figura 36. Imagen del Horiba MEXA-ONE-D1 (izquierda) y el módulo horno (derecha).



El equipo permite la medida en ppm (partes de millón) de NO<sub>x</sub> (NO más NO<sub>2</sub>), CO, Hidrocarburos sin quemar totales (THC), CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>. Además, es capaz de medir la concentración de O<sub>2</sub>, que aunque no sea un contaminante, es útil para el análisis de los procesos de combustión y de formación de las emisiones.

El almacenamiento de la información de las mediciones será registrado por el software PUMA 2, el cual se encuentra comunicado con el Horiba y permite la visualización en todo instante de los valores medidos por el equipo Horiba.

La configuración que se dispone permite analizar una única muestra. Ésta se conduce por un tubo de teflón de 8 mm de diámetro exterior (6mm diámetro interior), el cual está calefactado para evitar la condensación.

La muestra pasa primero por el horno donde se mide a 192°C, que es la temperatura por debajo de la cual condensan los THC y NO<sub>x</sub>. A esta muestra se la conoce como muestra húmeda, debido a que el vapor de agua aún no se ha eliminado. En este paso se produce una medida de THC, CH<sub>4</sub>, NO, NO<sub>x</sub> y NO<sub>2</sub>.

Después del horno la muestra pasa al Módulo principal donde se enfría hasta una temperatura de 5°C. A esa temperatura se produce la condensación del vapor de agua. A dicha muestra se la conoce como medida seca y permite la medición del CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. Además, se vuelve a medir el NO<sub>x</sub> para corregir el efecto de la humedad.

El sistema Horiba es capaz de calcular, mediante métodos basados en la concentración en los gases de escape, la proporción aire-combustible o dosado (A/F) de la combustión. Además calcula el parámetro lambda o dosado relativo, que es el cociente entre el dosado y el dosado estequiométrico o ideal.

Para la medición de los gases mencionados, el equipo requiere un suministro de los siguientes gases: CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO, CH<sub>4</sub> y C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>. Estos sirven como gases de calibración para el equipo. En el exterior del edificio en un habitáculo de reja metálica se encuentran los bidones metálicos presurizados.

El proceso de medida del HORIBA incluye un paso previo automatizado de calentamiento y calibración del sistema. Tras cada medida se realiza una purga automatizada del sistema.

### 6.10.2.2. Medida de tasa de EGR.

El motor K9K dispone tanto de EGR de alta presión como de baja presión como se explica en el apartado 4.1. Para conocer de forma precisa el porcentaje de gases de escape recirculado en cada uno de ellas se emplea el módulo R-EGR-01.



Figura 37. Imagen del módulo R-EGR-01 para medición de porcentaje de EGR.

De forma independiente a la muestra tomada para analizar los gases de escape, se toman dos muestras: una en el colector de admisión (para el EGR de alta presión) y otra tras el compresor (para el EGR de baja presión). Ambas muestras se conducen al módulo, el cual dispone de analizadores de CO<sub>2</sub>. Gracias a la concentración de CO<sub>2</sub>, el sistema calcula el porcentaje de gases de escape recirculados en cada una de las válvulas.

El módulo de EGR se comunica con el HORIBA MEXA ONE, para proporcionar la información necesaria y transmitir la información al sistema PUMA 2.

### 6.10.2.3. Instalación.

El equipo HORIBA de medición de contaminantes se encuentra en el exterior de la sala. La muestra se conduce por un tubo de teflón de 6x8mm el cual está calefactado para que la temperatura no descienda de 192 °C y evitar la condensación de NO<sub>x</sub> y THC (hidrocarburos quemados).

Como sólo se puede realizar una medición, el cambio del punto de medición se realiza entrando en la sala a motor parado y conectando el tubo al racor de la sonda correspondiente. La sonda que no se utilice se le coloca un tapón.

Para el equipo de medición de porcentaje de gases recirculados mediante EGR, el motor disponía de dos sondas ya instrumentadas. Para el EGR de alta presión, la sonda está instalada en el colector de admisión. Para el EGR de baja presión, la sonda se encuentra instalada en el manguito que conecta la salida del aire del compresor con la entrada al intercooler. Mediante tubo de teflón de 4x6mm se conecta cada sonda al módulo R-EGR-01 ubicado en el exterior de la sala.

### 6.10.3. Medición de opacidad de humos.

#### 6.10.3.1. Opacímetro AVL 439.

El opacímetro es el equipo empleado para medir la cantidad de humos en los gases de escape. El opacímetro empleado es el AVL Opacimeter 439, visible en la figura 6 del apartado 3.1. La medición es adimensional y se representa en tanto por cien, entre 0 y 100%.

El principio de funcionamiento se basa en la atenuación de la luz visible en la cámara de medida. Esta atenuación es provocada por el humo negro (hollín), humo azul (vapores de hidrocarburos) y humo blanco (vapor de agua). Dispone de una cámara de medición con una longitud definida (430mm) y una superficie no refractiva. La cámara se llena homogéneamente de gases de escape y se obtiene la opacidad en tanto por cien. Para el llenado de la cámara cuenta con una bomba de diafragma.

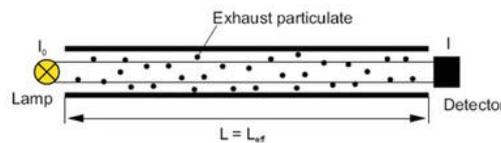


Figura 38. Esquema de la cámara de medición del opacímetro. [15]

El equipo permite la medición de gases de escape en un rango de temperatura entre 0 y 600 °C. Tiene un tiempo de respuesta de 0.1 segundos y la resolución de la medida obtenida es de 0.01 %.

El opacímetro se conecta al sistema PUMA 2 para registrar las mediciones y visualizar el valor de la opacidad en todo momento.

#### 6.10.3.2. Instalación.

El opacímetro dispone de su propio carro con ruedas para su colocación en el interior de la sala.

Para la toma de la muestra se ha perforado sistema de postratamiento del motor y se ha soldado un casquillo roscado de 1/2" pulgada. En el casquillo se ha roscado un racor de Swagelok para tubo de 10mm (exterior), donde se ha instalado la sonda de toma de la muestra del equipo (incluida en el equipo). El opacímetro dispone de una salida para el gas de muestra una vez medido, la cual se ha enfocado al ventilador de extracción de aire de la sala.

### 6.10.4. Equipo de medida de partículas.

El equipo de medición de partículas consta de dos sistemas diferenciados. Por una parte, el equipo de acondicionamiento de la muestra, que toma la muestra de gases de escape y la diluye en una proporción de aire conocida. Por otro lado, el equipo de medida de tamaño de partículas.

#### 6.10.4.1. Acondicionador de muestra.

El acondicionador de la muestra empleado es de la firma finlandesa Dekati, modelo FPS-4000. El sistema consta de un equipo de control y de una sonda de muestreo de acero inoxidable.



Figura 39. Equipo de control (izquierda) y sonda de muestreo (derecha).

La muestra de gases de escape pasa a través de la sonda donde se mezcla con aire en dos pasos, como puede verse en la figura 40. En la dilución primaria, el aire es calefactado previamente y entra forzado a través de poros perforados en la pared. Pueden alcanzarse rangos de dilución de 1:3 a 1:20. En la dilución secundaria, se aprovecha el efecto venturi para extraer la muestra e inyectar más aire. En el secundario de 1:7 a 1:15. Tras esto, la muestra se dirige al medidor de partículas.

La unidad de control recoge los datos de presión y temperatura de la sonda para calcular el ratio de dilución.

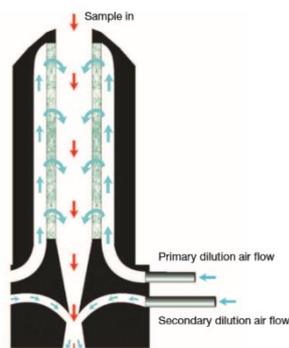


Figura 40. Esquema dilución. [5]

El sistema de control se encarga de controlar la dilución de la muestra y proporcionar el valor del factor de dilución aplicado. Se conecta a un PC con el software necesario para el control del equipo y el almacenamiento de los datos.

### 6.10.4.2. Espectrómetro de medida de tamaño de partículas.

El medidor es de la marca TSI, en concreto es el modelo 3091. La función de este equipo es la de medir la distribución del tamaño de partículas de la muestra. El equipo toma la muestra tras la sonda de muestreo y es capaz de detectar partículas cuyo tamaño esté comprendido ente 5 y 560 nanómetros.

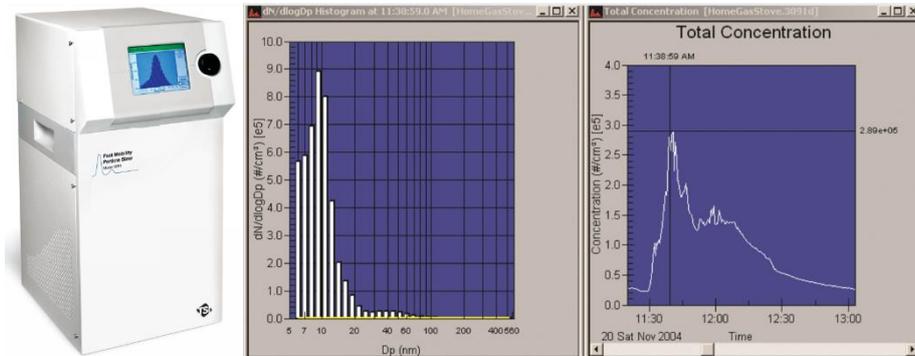


Figura 41. Medidor de partículas (izquierda) y ejemplo de visualización de datos (derecha). [6]

Las partículas se cargan positivamente en la entrada en la cámara de medición (figura 42). Después caen hacia un electrodo con carga positiva incremental desde la cabeza hasta la base. De este modo las partículas más finas son repelidas por la parte superior y las de mayor grosor por la parte inferior.

A los lados se encuentran unos electrómetros contra los que chocan las partículas y provocan su descarga. Mediante la detección de estas descargas en 32 niveles de electrómetros, se consigue

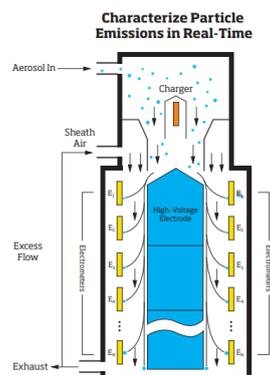


Figura 42. Esquema funcionamiento medidor de partículas. [6]

registrar la distribución de partículas en 32 niveles. Como se conoce el ratio de disolución de la muestra se puede conocer la concentración real de partículas.

### 6.10.4.3. Instalación.

El equipo de control de la dilución de la muestra y de medición de partículas se ha colocado en el interior de la sala, próximos a la toma de la muestra.

Debido a que se deben conectar las tres sondas a la misma sonda de muestreo de la figura 39 (apartado 6.10.4.1), y debe hacerse con varilla de acero inoxidable de 6mm, se ha optado por instalar un circuito con tres válvulas (una para cada punto de muestra). De las tres válvulas confluyen varillas hasta el diluidor o sonda de muestreo. En la figura 6 puede verse el circuito esquematizado. Todo el conjunto



válvulas-sonda de muestreo se soporta con perfil de aluminio a la bancada. Esto es importante para que el movimiento relativo al motor sea nulo o lo menor posible.

Las válvulas son del tipo aguja y normalmente cerrado, capaces de soportar presiones de hasta 10 bares y temperaturas de hasta 700°C. Se accionan neumáticamente con el aire comprimido de la toma de la sala que debe tener una presión mínima de 4,5 bares. Son capaces de soportar gases hasta a 700 °C de temperatura.

Para la selección del punto de muestreo se conecta, gracias a un conector rápido de neumática, el tubo de aire comprimido a la válvula correspondiente al punto de medición deseado. El par de válvulas restantes permanecen cerradas. Este proceso debe realizarse a motor parado.

## 7. SISTEMAS DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS.

### 7.1. Sistema AVL PUMA 2.

#### 7.1.1. Módulo AVL.

Sobre la estructura de aluminio de la sala, se encuentra el Módulo AVL. Consiste en un armario metálico que dispone de 3 bandejas con 16 puertos (cada una) para conectores de 8 pines.

Se encarga de transformar a digital las señales tipo analógico provenientes de los sensores de presión y temperatura y el sensor de régimen de giro del turbocompresor. En dos de sus pines posee alimentación de corriente continua a 24V, para aquellos sensores que lo requieran. En el armario también dispone de un soporte para colocar 8 sensores de presión.

#### 7.1.2. PUMA 2.

El control del motor y la medición de las distintas variables están a cargo del sistema PUMA 2 de la empresa austríaca AVL. El hardware del sistema está materializado en un armario eléctrico (figura 43) en el que se encuentran todos los dispositivos electrónicos, incluyendo un PC con Windows 10, una alarma y un interruptor general. Dispone de los elementos electrónicos para tratar las señales que recibe y envía y establecer una correcta comunicación con el operario de la sala por medio de su conexión con el monitor y el panel de operación. Una de las ventajas de esta disposición es que se libera espacio en la zona de control, donde solo son necesarios dos monitores, un teclado y el panel de operación AVL, como se observa en la figura 44.



Figura 43. Armario PUMA 2.

Desde el panel de operación se puede detener el motor gracias a una seta de emergencia ubicada en él. Entre las funciones del panel de operación se encuentran: la selección del modo de control, el control de los valores demandados de par y régimen de giro, el arranque y parada del motor y el control del sistema.

Los modos de funcionamiento son combinaciones de dos de las tres posibles variables a controlar (pedal (%), carga o par (Nm) y régimen de giro (rpm)). Por ello, existen 3 modos en los que las dos variables nombradas son las ajustadas y la no nombrada se ajusta automáticamente:

- Régimen de giro-par.
- Régimen de giro-tasa de aceleración del motor.



- Par-tasa de aceleración del motor.

El sistema PUMA 2 permite desde la zona de control: visualización y medición de las variables controladas, establecimiento de los parámetros demandados de carga, pedal y revoluciones, la inclusión de fórmulas para visualizar parámetros calculados de forma indirecta.

Otra importante función es la de que desde la zona de control permite establecer valores consigna para que el sistema de forma automática realice el control. Es un ejemplo de ello el control de la temperatura del aire a la salida del intercooler (variable T\_outWCAC apartado 6.8.3). El usuario introduce la temperatura deseada y el sistema actúa mediante PIDs internos sobre la válvula 2 de las figuras 13 y 15 del apartado 4.4.2.

## 7.2. Sistema INCA.

En la zona de control se dispone de un PC con el software INCA 7.0. Es un software que está constantemente conectado con la ECU y permite la visualización y registro de todos los parámetros internos de los que el motor dispone. Además, permite la modificación de parámetros por defecto del motor. Entre ellos, es posible ajustar la temperatura del refrigerante (temperatura a la que se abrirá el termostato), la apertura de las válvulas EGR, el ángulo momento de la inyección de combustible en cada ciclo, etc.

Con este software se puede hacer una selección de las variables internas necesaria para visualizarlas. También dispone de la opción de toma de datos, mediante la cual se genera un archivo con extensión .dat (ejecutable con Matlab) que se almacena en el PC.

La comunicación con la ECU se realiza mediante un controlador de la firma ETAS, el cual se conecta al PC con el software INCA 7.0. La ECU dispone de la conexión necesaria para el cable que la conecta con el controlador. El controlador se conecta al PC con una conexión tipo cable de red. Para su funcionamiento, necesita alimentación de 12V, que se le proporciona a través de la caja de 12V.

Por parte de Renault, se especificaron que variables de todas las posibles registradas por la ECU se deseaban monitorizar. Para ello, el software INCA dispone de una función de creación de experimentos. Dentro del experimento creado para este proyecto, se han seleccionado una a una (gracias a un buscador) todas las variables deseadas.

## 7.2. Sistema de alta frecuencia (YOKOGAWA DL-850V).

Se empleará el oscilógrafo de la firma japonesa Yokogawa modelo DL850EV ScopeCorder Vehicle Edition. Dicho elemento se conecta al PC de la zona de control el cual dispone del software necesario. El oscilógrafo permite registrar señales analógicas de forma precisa y con una frecuencia de muestreo de hasta un millón de por segundo. Desde el PC se puede ajustar la resolución con la que se almacenarán las diferentes señales, así como ajustar el tiempo de muestreo. También es posible dar comienzo a la medición desde el PC.

Como se explica en el apartado 6.5.2, al oscilógrafo se conectan las dos señales del codificador angular, la del sensor de presión en cámara y la señal de la pinza amperimétrica instalada en el inyector de combustible.

En la figura 44, puede verse la localización del oscilógrafo en la zona de control.

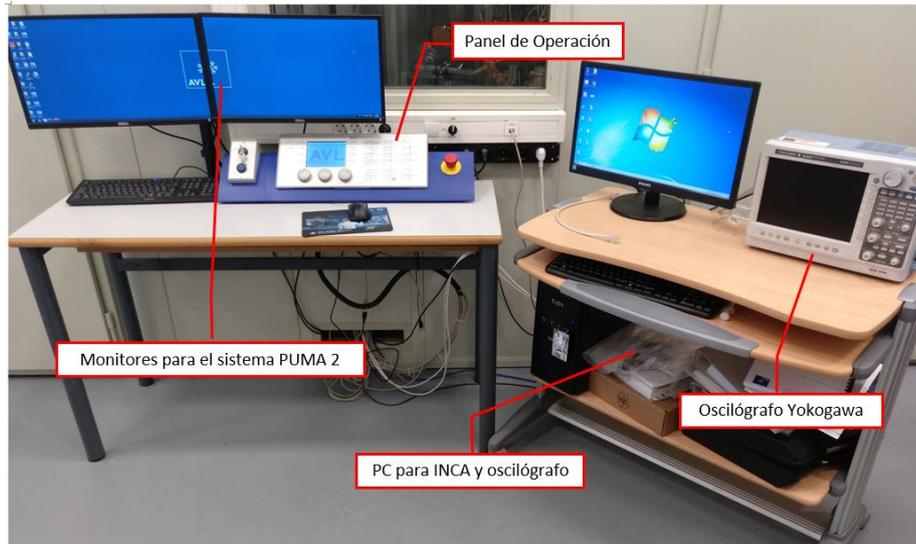


Figura 44. Zona de control.

## 8. ENSAYOS DE VALIDACIÓN.

### 8.1. Planificación y ensayos.

El estudio del comportamiento del motor y de los sistemas de postratamiento comprenderá cuatro fases:

- **Rodaje** (20 horas de duración): Durante esta etapa, un motor recién puesto en marcha va comenzando a desgastar aquellas partes que rozan entre sí para conseguir el último ajuste antes de comenzar su vida útil. Durante el rodaje, las válvulas de EGR permanecerán cerradas y el sistema de Adblue anulado. Para este ensayo, Renault ha diseñado un ciclo de 20 puntos, en los que se varía la carga y el régimen de giro de forma incremental según se detalla en la Tabla 5.

CASOS	RÉGIMEN MOTOR (rpm)	POTENCIA (kW)	PAR (Nm)	DURACIÓN (mins)
1	1500	0	0	60
2	1725	8,5	47	60
3	1950	8,5	42	60
4	1950	14,17	69	60
5	2175	14,17	62	60
6	2175	19,83	87	60
7	2400	19,83	79	60
8	2400	25,5	101	60
9	2625	25,5	93	60
10	2625	31,17	113	60
11	2850	29,75	100	60
12	2738	43,92	153	60
13	3075	41,08	128	60
14	2963	55,25	178	60
15	3300	52,42	152	60
16	3188	66,58	200	60
17	3525	63,75	173	60
18	3413	77,92	218	60
19	3750	75	191	60
20	3750	85	216	60

Tabla 5. Secuencia de rodaje.

El primer caso, es el de calentamiento del motor, que debe realizarse cada vez que se interrumpa la secuencia. Al principio y al final de cada caso se procederá a la toma de datos.

- **Caracterización base** (1 mes de duración): Para la futura comparación y análisis de los datos es necesario la monitorización del comportamiento del motor bajo unas condiciones de funcionamiento base. La caracterización cubrirá tanto los puntos de funcionamiento estacionario

como los ciclos de conducción. Durante este proceso se controlará la repetibilidad de las mediciones de emisiones. Esta caracterización se llevará a cabo a 0 metros de altitud (presión de 1013 mbar) y 20°C.

Los puntos de caracterización serán los siguientes:

- 20 puntos estacionaros para cubrir de forma aproximada el mapa del motor, para lo cual se combinarán 4 variaciones del régimen (1000, 2000, 3000 y 4000 rpm) con 5 variaciones de la carga del motor (0, 25, 50, 75 y 100%).
- Ciclo WLTP de conducción, tanto en frío como en caliente y el ciclo RST 95. Este último ciclo, también llamado *RST agresive*, es considerado la opción más desfavorable en cuanto a emisiones de gases respecta de los test RDE (Real Driving Emisions). Este ciclo combina tramos de conducción urbana, rural y de autopista. En la Figura 45 se representa la evolución de la velocidad respecto al tiempo durante dicho ciclo.

El ciclo en frío WLTC se realizará al comienzo del día de ensayos y a continuación el WTPC en caliente y el RST 95.

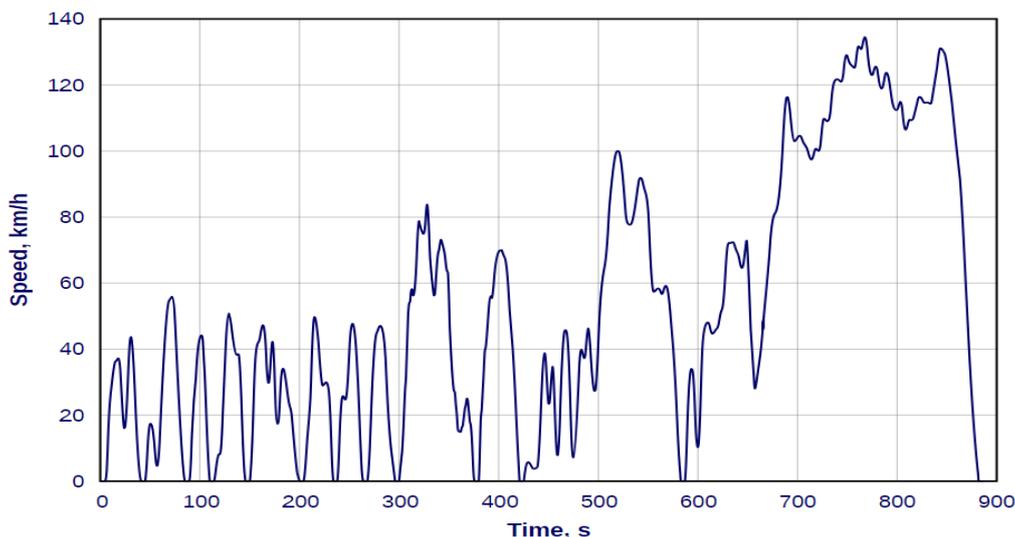


Figura 45. Gráfica ciclo RST 95.

- **Caracterización en función de la altitud y de la temperatura** (7 meses de duración): Para poder evaluar el comportamiento del motor y de las emisiones bajo condiciones cambiantes de altitud y temperatura ambiente, se repetirán los ensayos descritos en el apartado anterior (Caracterización base) en 9 ambientes diferentes. Dichos ambientes son:

- Nivel del mar (presión de 1013 mbar): a -20°C, -7°C, 20°C y 35°C.
- Altitud de 700 metros (presión de 940 mbar) y 20°C.
- Altitud de 1300 metros (presión de 870 mbar) y -7°C, 20°C y 35°C.
- Altitud de 2500 metros (presión de 750 mbar) metros a 20°C y 35°C.

- **Abordaje de nuevas estrategias de control en altitud** (2 meses): En esta parte se analizarán los datos obtenidos en las dos fases anteriores para crear una nueva estrategia de control de emisiones. La visión de CMT en este tema es la de conseguir mejorar el rendimiento del motor

manteniendo la protección mecánica del turbo y actuar sobre la selección y dimensionamiento de los sistemas post-tratamiento.

## 8.2. Valores límite durante el ensayo.

Durante los ensayos mencionados anteriormente, se deben respetar ciertos valores límite para garantizar la integridad del motor y de sus componentes, y con ello, asegurar el éxito del proyecto. Uno de los valores restringidos es el de las revoluciones que se alcanzan en el turbocompresor, no debiendo superar los 240.000 rpm. La presión máxima absoluta antes de la turbina no debe superar los 4,4 bar hasta 4.250 rpm y 4 bar a partir de 4.500 rpm. Además, la presión absoluta después del compresor no debe superar en ningún momento 3,3 bar.

A continuación, se muestra en la Tabla 6 los límites para la presión máxima del cilindro, la máxima temperatura después de compresor y la máxima temperatura antes de la turbina. Todos estos valores límite son dependientes de la velocidad del motor, por lo que depende del punto de funcionamiento.

Régimen de giro (rpm)	Presión máxima cilindro (bar)	Temp. Max. después del compresor (°C)	Temp. Max. antes de la turbina (°C)
1000	135	200	710
1250	138	200	710
1500	143	200	790
1750	148	210	790
2000	153	210	790
2250	153	210	790
2500	158	210	790
2750	158	210	790
3000	158	200	810
3250	161	200	810
3500	163	200	820
3750	163	200	820
4000	163	200	820
4250	163	200	820
4500	163	200	820
4750	160	200	820
5000	160	200	820

Tabla 6. Valores límite.

## 8.3. Validación en régimen estacionario.

Para la puesta en marcha inicial se ha procedido de la siguiente forma:

- Comprobación de nivel de aceite y agua refrigerante del motor.
- Comprobación de ausencia de elementos susceptibles a entrar en contacto con partes móviles.
- Apertura de las válvulas para agua de refrigeración y combustible.

- Inspección de todas las conexiones del motor para comprobar su correcto estado y la ausencia de fugas.
- Cerrar la sala (sin personal en el interior) y activar la extracción de humos y la ventilación.
- En el panel de control del PUMA 2, iniciar el arranque. Por defecto, el motor se mantendrá a 900 rpm y sin carga (a ralentí).
- Durante 30 minutos bajo continua observación, se comprueba el funcionamiento de todos los sensores de presión y temperatura. Se comprueba también el correcto funcionamiento de las variables de consigna reguladas mediante PID automáticos. Durante este tiempo se controla constantemente el nivel de refrigerante del motor, visible desde la zona de control a través de la ventana.
- Parada del motor.
- Comprobación visual de posibles fugas.
- Revisión del nivel de aceite.

Tras esta puesta en marcha se ha comenzado con el ciclo de rodaje explicado en el apartado 8.1. Concretamente se han llevado los 6 primeros casos en los cuales se ha realizado mediciones a los 10 primeros minutos del comienzo y a los 10 últimos minutos de cada caso. Como resultado se ha obtenido dos pares de medidas para cada caso marcados con los subíndices a y b en las posteriores gráficas.

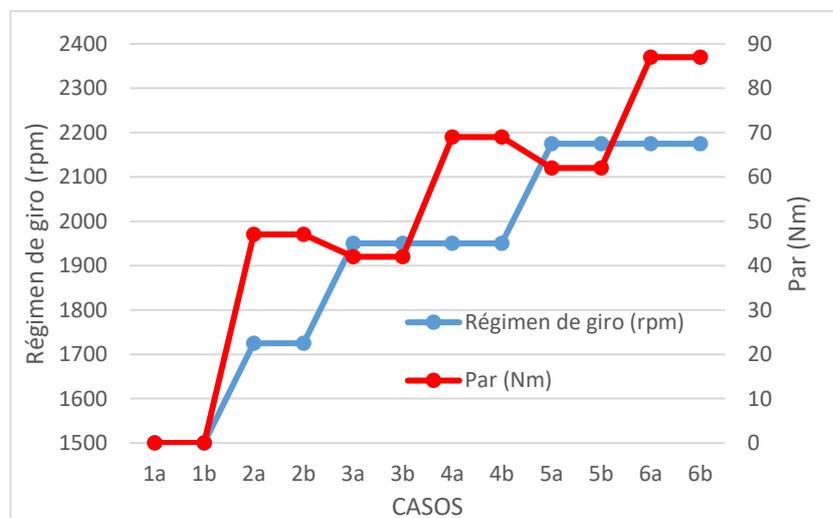


Figura 46. Gráfica régimen de giro y par en los casos 1 a 6.

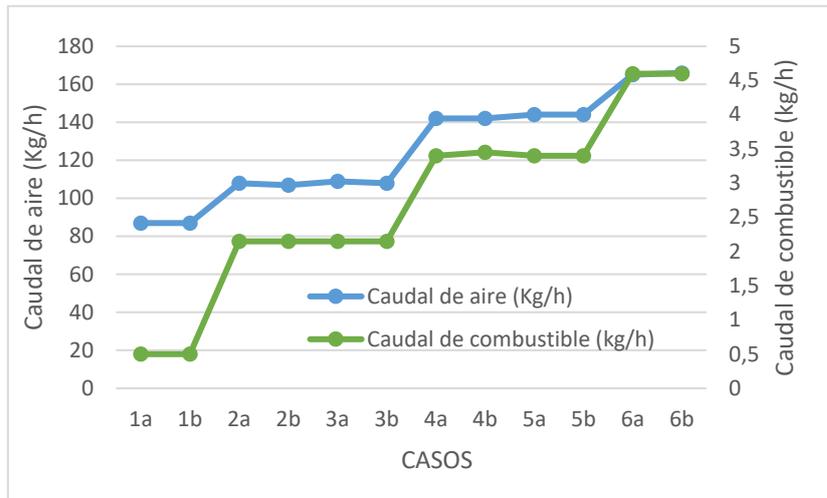


Figura 49. Gráfica caudal de aire y caudal de combustible casos 1 al 6

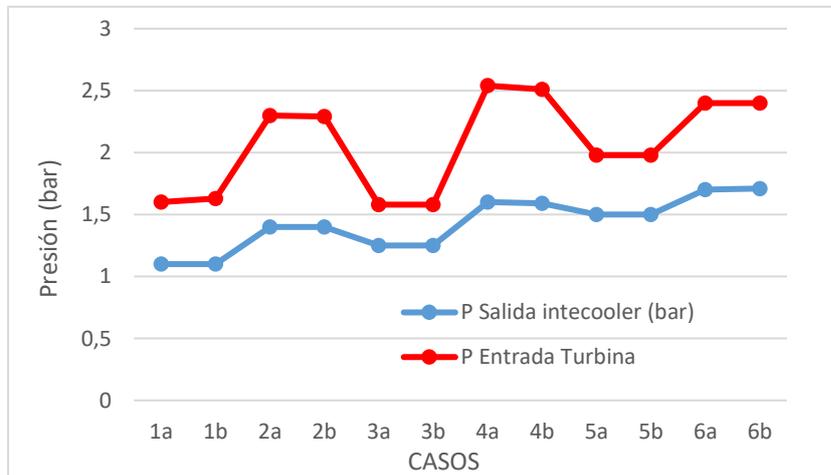


Figura 47. Gráfica Presión Salida intercooler y Presión Entrada Turbina casos 1 al 6.

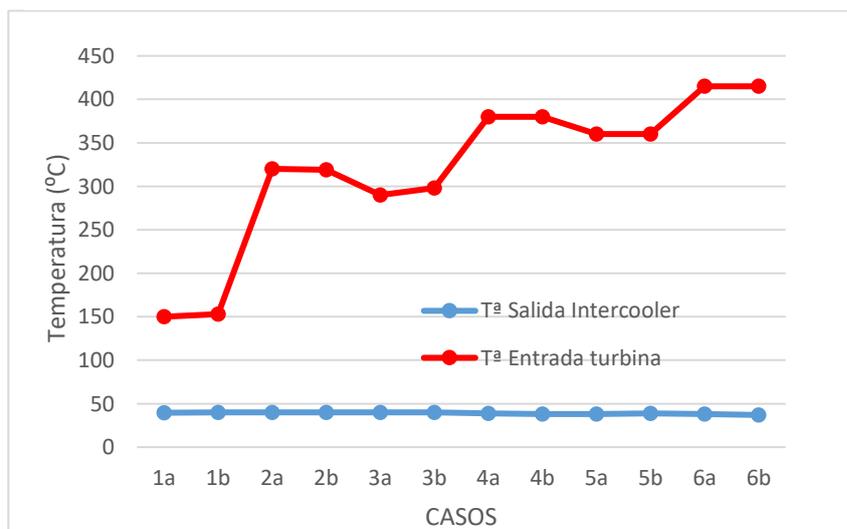


Figura 48. Gráfica Tª salida intercooler y entrada turbina casos 1 al 6.



En la Figura 46 se representa el par y régimen de giro impuesto en cada uno de los 6 casos. En la figura 47, puede observarse como el caudal de aire y combustible entre los puntos 2-3 y 4-5 es muy parecido a pesar de tener demandas de régimen de giro y par distintas. Esto se debe a que en los casos 2 y 4 la demanda de par es mayor que en los casos 3 y 5, con un régimen de giro menor, lo que implica un consumo similar al de los casos 3 y 5, en los cuales el régimen de giro es más alto pero el par demandado es menor. Por ello, en los casos 2 y 4 la exigencia al motor es mayor, que se refleja en las figuras 48 y 49 como un aumento en la presión y temperatura de los gases a la entrada de la turbina (salida cilindros) y en la presión de salida del intercooler (presión de admisión).

Como puede observarse en la figura 49, la temperatura del aire a la salida del intercooler se mantiene a 40°C puesto se regula mediante el sistema de refrigeración automatizado explicado en el apartado 4.4.2.2.



## 9. CONCLUSIONES.

A lo largo de este trabajo, se ha logrado validar la instalación mediante pruebas bajo régimen de giro estacionario del motor y bajo condiciones ambientales durante la fase de rodaje del motor. Se ha comprobado el correcto funcionamiento de termopares y transductores de presión, sensor de rpm del turbocompresor, sistema de captación de presión en cámara, sistema de combustible, etc.

La validación de la instalación bajo el modo de simulación de altitud será llevada a cabo durante las siguientes fases de ensayos del proyecto descritas en el apartado 8.1.

La propiedad de fiabilidad prolongada en el tiempo y la consecuente repetitividad de las pruebas, se valorarán al final del proyecto.

El alumno autor del presente trabajo ha colaborado de forma activa en el montaje de la instalación, adquiriendo conocimiento de primera mano sobre una sala de ensayo para motores de combustión interna y todos sus elementos. Así, se ha familiarizado con equipos de medida y de control de uso general en este tipo de salas de ensayos.

Durante el proceso de instalación el alumno se ha implicado en la modelación de piezas en Inventor para su posterior fabricación en el taller del centro. Estas piezas han cumplido su función en la instalación como elementos de adaptación entre distintos sistemas,



## 10. BIBLIOGRAFÍA.

1. Prof.F.Payri y Prof.J.M.Desantes. *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Reverté Editorial UPV. 2ª Reimpresión, 2012.
2. Tabet Alexandre, R (2017). *Caracterización experimental de una máquina para emular condiciones ambientales variables en los motores de combustión*. Trabajo de Fin de Máster en Ingeniería industrial. Universitat Politècnica de València.
3. WIKA (2014). Ficha técnica WIKA PE 81.61. *Transmisor de presión de alta calidad para aplicaciones industriales generales Modelo S-20*. Recuperado de: [https://www.wika.com.ar/upload/DS\\_PE8161\\_es es 49142.pdf](https://www.wika.com.ar/upload/DS_PE8161_es_es_49142.pdf)
4. HORIBA (2012). Catálogo: *Horiba Motor Exhaust Gas Analyzer Mexa-One*. Recuperado de: [https://static.horiba.com/fileadmin/Horiba/Products/Automotive/Emission Measurement Systems/MEXA-ONE/AUTOMOTIVE\\_EMISSION\\_ANALYZER\\_MEXA-ONE\\_EMISSION\\_MEASUREMENT\\_SYSTEMS\\_BROCHURE\\_EN.pdf](https://static.horiba.com/fileadmin/Horiba/Products/Automotive/Emission_Measurement_Systems/MEXA-ONE/AUTOMOTIVE_EMISSION_ANALYZER_MEXA-ONE_EMISSION_MEASUREMENT_SYSTEMS_BROCHURE_EN.pdf)
5. DEKATI (2010). Ficha técnica: *Dekati FPS-4000 Fine Particle Sampler*. Recuperado de: <https://www.ecotech.com/wp-content/uploads/2015/03/Dekati-BRO-FPS-4000-brochure.pdf>
6. TSI (2015). Catálogo: *Fast mobility particle sizer spectrometer model 3091*. Recuperado de: [http://www.tsi.com/uploadedFiles/\\_Site\\_Root/Products/Literature/Spec\\_Sheets/3090\\_2980244A.pdf](http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Spec_Sheets/3090_2980244A.pdf)
7. AVL (2017). Ficha técnica: *Pressure sensor for combustion analysis GU21D*. Recuperado de: [https://www.avl.com/documents/10138/7916544/GU21D\\_Datasheet.pdf](https://www.avl.com/documents/10138/7916544/GU21D_Datasheet.pdf)
8. Kistler Group (2015). Ficha técnica: *Current Impulse Sensor*. Recuperado de: <https://www.kistler.com/?type=669&fid=76025&model=document>
9. Kistler Group (2005). Manual usuario: *Cranck angle encoder Tipe 2613*.
10. ELIN EGB (2002).Manual usuario: *Asynchronous generator ELIN EGB Elektronik GmbH INDY 22/2V/0525*.
11. Renault (2015). Nota Técnica 6006ª. *Motor K9K. Manual de reparación*. Recuperada de: <http://diagramasde.com/diagramas/otros2/manual%20megane%20ii%201%205%20dci%20motor%20k9k.pdf>
12. AVL List GMBH (2018). AVL FLOWSONIX Air. Graz, Austria. Recuperado de: <https://www.avl.com/-/avl-flowsonix-air>
13. AVL List GMBH (2018). AVL Fuel Balance and Fuel Temperature Control. Recuperado de: <https://www.avl.com/-/avl-fuel-balance-and-fuel-temperature-control>
14. Reglamento (UE) 2017/1151 DE LA COMISIÓN de 1 de junio de 2017. Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32017R1151>
15. AVL List GMBH (2018). AVL Opacimeter. Recuperado de: <https://www.avl.com/-/avl-opacimeter>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA



## II.PRESUPUESTO.

## 1. Objeto del presupuesto.

En el siguiente presupuesto tiene como objeto el coste tanto material como personal de la etapa de instalación del motor en la sala de ensayo. Por lo tanto, no es propósito el recoger el coste asociado a la posterior etapa de ensayos y análisis de datos, las cuales no son objeto del presente TFG. El resultado es un presupuesto que formará parte del presupuesto final del proyecto que el CMT lleva a cabo para la firma Renault.

Se incluye en dicho presupuesto el coste de todos aquellos equipos y materiales cuya compra ha adquisición ha sido necesaria para el proyecto y su vida útil no está garantizada tras la finalización de éste. No se incluirá en dicho presupuesto el coste de aquellos elementos invariantes en la sala, cuya vida útil es muy superior a la duración del proyecto. El coste de amortización de dichos elementos se incluiría en el presupuesto final del proyecto en base a la duración del mismo y las horas de uso de los equipos.

## 2. Desglose del presupuesto.

A continuación, se muestran los presupuestos parciales correspondientes a cada fase de la instalación. Se incluyen las mediciones en unidades o metros (especificado) y los precios unitarios.

En cuanto la mano de obra, se ha incluido dos tipos de personal:

**Ingeniero Industrial.** Encargado del montaje en sala, toma de decisiones y responsable de la fase de instalación. Se incluye también en este tipo la mano de obra realizada por el autor de este TFG.

**Técnico Mecanizado.** Técnico especializado en mecanización de piezas. Encargado de la fabricación de las piezas representadas en el apartado IV. PLANOS de este TFG para el montaje de la sala. También es el encargado de la realización de las soldaduras en caliente.

### 2.1. Instalación del motor.

Material	Medición	Precio unitario	Total
Tornillo M8 Allen 30mm	20	0,40	8,00
Tornillo M10 Cabeza Hexagonal 70mm	10	0,85	8,50
Tuerca M8	40	0,03	1,20
Tuerca M10	20	0,05	1,00
Adhesivo fija roscas LOCTITE 270 ml	0,1	170,42	8,52
Disco acero 280 mm (por metro)	0,03	310,34	9,31
		<b>Total</b>	36,53
Mano de Obra	Medición	Precio/hora	Total
Ingeniero Industrial	23	16,70	384,10
Técnico Mecanizado	6	11,00	66,00
		<b>Total</b>	450,10

Tabla 7. Presupuesto parcial: instalación del motor.

## 2.2. Sistema eléctrico.

Material	Medición	Precio unitario	Total
Cableado motor K9K.	1	0,00	0,00
ECU Bosh.	1	0,00	0,00
Licencia INCA 7.0	1	0,00	0,00
Armario eléctrico chapa 500x500x15 mm.	1	97,35	97,35
Perfil aluminio 45x45 tipo FASTEN.	1,5	14,43	21,65
Caja eléctrica plástico 20x10x75mm.	1	13,67	13,67
Conexiones rápidas tipo banana 4mm.	20	0,45	9,00
Fuente de alimentación 12 V Mean Well PS-600-12	1	113,06	113,06
Armario eléctrico 400x300x200 mm	1	36,10	36,10
Material diverso (cableado, tornillería, bridas de plástico,...).	1	6,50	6,50
		<b>TOTAL</b>	297,33
Mano de Obra	Medición	Precio/hora	Total
Ingeniero Industrial	30	16,70	501,00
		<b>TOTAL</b>	501,00

Tabla 8. Presupuesto parcial: Sistema eléctrico.

## 2.3. Sistema de refrigeración del motor.

Material	Medición	Precio unitario	Total
Espiga rosca macho 1/2" para manguera de 25 mm	4	2,17	8,68
T de fontanería 1/2"	2	1,95	3,90
Manguera alta resistencia 25mm (por metro)	3	2,50	7,50
Material diverso (Teflón, bridas metálicas,...)		12,70	12,70
		<b>TOTAL</b>	32,78
Mano de Obra	Medición	Precio/hora	Total
Ingeniero industrial	5	16,70	83,50
		<b>TOTAL</b>	83,50

Tabla 9. Presupuesto parcial: Sistema de refrigeración del motor.

## 2.4. Sistema de admisión.

Material	Medición	Precio unitario	Total
Manguera reforzada 50 mm (metro)	6	6,53	39,18
Redondo PVC 140 mm (metro)	0,12	101,46	12,18
Redondo acero 68 mm (metro)	0,35	32,32	11,31
Abrazadera supra 55-59 mm	7	4,30	30,10
Abrazadera supra 63-68 mm	3	4,65	13,95
Material diverso (Bridas, teflón, silicona para sellar, conexiones fontanería...)		14,80	14,80
		<b>TOTAL</b>	121,52

<b>Mano de Obra</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio/hora</b>	<b>Total</b>
Ingeniero Industrial	10	16,70	167,00
Técnico mecanizado	3	11,00	33,00
		<b>TOTAL</b>	200,00

Tabla 10. Presupuesto parcial: Sistema de admisión.

## 2.5. Simulador de presión para los gases de cárter (blow-by) y ECU.

<b>Material</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Total</b>
Manguera reforzada 25mm de PVC transparente con refuerzo de alambre de acero incorporado (por metro).	8	6,24	49,92
Cruz fontanería rosca hembra 1/2"	1	3,84	3,84
Espiga rosca macho 1/2" para manguera de 25 mm	6	2,17	13,02
Manguito Liso INOX H-H 1/2	4	1,49	5,96
TUBO INOX 0`6mm AISI-316L-EN10312 (por metro)	0,5	2,68	1,34
Válvula de bola empalme 1/2" H - 1/2" H DN15 514360	4	15,08	60,32
Abrazadera supra 20-25 mm	10	1,20	12,00
Depósito condensados	1	15,00	15,00
Chapa acero 3mm (espesor) x 150 mm(ancho)	0,25	12,96	3,24
Material diverso (teflón, bridas, tornillería,...)		10,40	10,40
		<b>TOTAL</b>	175,04
<b>Mano de Obra</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio/hora</b>	<b>Total</b>
Ingeniero industrial	12	16,70	200,40
Técnico mecanizado	0,5	11,00	5,50
		<b>TOTAL</b>	205,90

Tabla 11. Presupuesto parcial: Simulador de presión para los gases de cárter (blow-by) y ECU.

## 2.6. Sistema de combustible.

<b>Material</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Total</b>
Tubo de teflón PTFE 8X10 mm (por metro)	5	7,37	36,85
Válvula reductora de presión	1	20,22	20,22
Válvula de paso 3/8" H-H	2	3,27	6,54
Material diverso (Teflón, abrazaderas, conectores rápidos ...)		16,20	16,20
		<b>TOTAL</b>	79,81
<b>Mano de Obra</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio/hora</b>	<b>Total</b>
Ingeniero Industrial	3	16,70	50,10
		<b>TOTAL</b>	50,10

Tabla 12. Presupuesto parcial: Sistema de combustible.

## 2.7. Sistema de escape.

Material	Medición	Precio unitario	Total
Tubo acero inox. 60 mm (por metro)	4	20,50	82,00
Tubería flexible escape 60 mm(por metro)	1,5	25,00	37,50
Flexible Multi Ajuste Acero Inoxidable 60mm (por metro)	4	24,00	96,00
Conexiones clamp 6"	4	8,25	33,00
Perfil aluminio 45x45mm. (por metro)	1,5	14,43	21,65
Material diverso (abrazaderas, bridas, soldadura,... )		47,00	47,00
		<b>TOTAL</b>	317,15
Mano de Obra	Medición	Precio/hora	Total
Ingeniero Industrial	7	16,70	116,90
Técnico Mecanizado	2	11,00	22,00
		<b>TOTAL</b>	138,90

Tabla 13. Presupuesto parcial: Sistema de escape.

## 2.8. Sistema de urea.

Material	Medición	Precio unitario	Total
Tubo flexible de poliuretano de 8x10 mm (por metro)	5	1,93	9,65
Tubo de teflón PTFE 4x6 mm (por metro)	5	3,40	17,00
Material diverso (bridas, conexiones,..)	1	5,70	5,70
		<b>TOTAL</b>	32,35
Mano de Obra	Medición	Precio/hora	Total
Ingeniero Industrial	1,5	16,70	25,05
		<b>TOTAL</b>	25,05

Tabla 14. Presupuesto parcial: Sistema de urea.

## 2.9. Calibración del freno.

Material	Medición	Precio unitario	Total
Kit calibración (brazos más pesas)	1	0,00	0,00
		<b>TOTAL</b>	0,00
Mano de Obra	Medición	Precio/hora	Total
Ingeniero industrial	2	16,70	33,40
		<b>TOTAL</b>	33,40

Tabla 15. Presupuesto parcial: Calibración del freno.

## 2.10. Régimen de giro del turbocompresor.

Material	Medición	Precio unitario	Total
Convertidor de frecuencia universal	1	59,95	59,95
Sensor capacitivo	1	34,00	34,00
Fuente de alimentación 5V	1	12,45	12,45

Material diverso (cableado, bridas,...)		4,50	0,00
		<b>TOTAL</b>	106,40
<b>Mano de Obra</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio/hora</b>	<b>Total</b>
Ingeniero Industrial	14	16,70	233,80
		<b>TOTAL</b>	233,80

Tabla 16. Presupuesto parcial: Sensor de rpm del turbocompresor.

## 2.11. Medición de presión y temperatura.

Material	Medición	Precio unitario	Total
Termopares tipo K diámetro 1,5mm de diámetro x 200mm longitud	18	22,30	401,40
Racor latón termopar 1,5mm x 1/8"Gas cónica	10	3,50	35,00
Racor acero inox. 1.5mm x 1/8"Gas cónica	8	4,40	35,20
Conector Miniatura macho tipo K	18	2,10	37,80
Conector Miniatura Hembra tipo K	26	2,10	54,60
Cable termopar Tipo K (por metro)	104	1,11	115,44
Transductor de Presión 0-6 bar abs	14	75,60	1058,40
Conector macho Swagelok de Acero inox. 1/4 pulg.NPT macho	4	7,46	29,84
Unión recta Swagelok de Acero inox. Tubo 6mm	4	11,69	46,76
Tubo flexible de poliuretano de 8x10 mm (por metro)	10	1,93	19,30
Tubo de teflón PTFE 4x6 mm (por metro)	5	3,40	17,00
Cable para instrumentación armado (por metro)	28	4,65	130,20
Tubo inox 6x4mm (por metro)	1,5	8,05	12,08
Material diverso (Teflón, bridas, estaño soldadura, etc,..)		15,50	15,50
		<b>TOTAL</b>	2008,52
<b>Mano de Obra</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio/hora</b>	<b>Total</b>
Ingeniero Industrial	45	16,70	751,50
Técnico Mecanizado	2	11,00	22,00
		<b>TOTAL</b>	773,50

Tabla 17. Presupuesto parcial: Medición de presión y temperatura.

## 2.12. Sistema de captación de presión instantánea en cámara de combustión.

Material	Medición	Precio unitario	Total
Sensor presión en cámara AVL GU21D	1	2.999,00	2.999,00
Amplificador señal sensor presión en cámara Kistler Tipo 5018	1	499,00	499,00
Pinza amperimétrica Kistler tipo 2105A	1	250,00	250,00
Codificador angular kistler tipo 2613B	1	4.507,59	4.507,59

Material diverso (bridas, soportes, tornillería,...)		30,10	30,10
		<b>TOTAL</b>	8.285,69
<b>Mano de Obra</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio/hora</b>	<b>Total</b>
Ingeniero Industrial	10	16,70	167,00
		<b>TOTAL</b>	167,00

Tabla 18. Presupuesto parcial: Sistema de captación de presión en cámara.

### 2.13. Equipo de medida de gases de escape.

Material	Medición	Precio unitario	Total
Válvula alta temperatura	3	350,00	1050,00
Tubo flexible de poliuretano de 8x10 mm (por metro)	13	1,93	25,09
Varilla acero inox 8x6 mm (por metro)	1	13,11	13,11
TUBO INOX 6x4 (por metro)	2	8,05	16,10
Perfil aluminio 45x45mm. (por metro)	7	14,43	101,01
Tubo inox. 6x4mm (por metro)	3	8,05	24,15
Férulas Swagelok de acero inoxidable	20	2,01	40,20
Unión T Swagelok de Acero inox.Tubo 6mm	2	23,71	47,42
Unión recta Swagelok de Acero inox. Tubo 6mm	4	11,69	46,76
Conector macho Swagelok de Acero inox. 1/4 pulg.NPT macho	7	7,46	52,22
		<b>TOTAL</b>	340,97
<b>Mano de Obra</b>	<b>Medición</b>	<b>Precio/hora</b>	<b>Total</b>
Ingeniero Industrial	22	16,70	367,40
Técnico Mecanizado	0,5	11,00	5,50
		<b>TOTAL</b>	372,90

Tabla 19. Presupuesto parcial: Equipo de medida de gases de escape.

### 3. Resumen presupuesto.

Resumen capítulos del presupuesto	Material	Mano de obra
2.1. Instalación del motor.	36,53	450,10
2.2. Sistema eléctrico.	297,33	501,00
2.3. Sistema de refrigeración.	32,78	83,50
2.4. Sistema de admisión.	121,52	200,00
2.5. Simulador de presión para los gases de cárter (blow-by) y ECU.	175,04	205,90
2.6. Sistema de combustible.	79,81	50,10
2.7. Sistema de escape.	317,15	138,90
2.8. Sistema de urea.	32,35	25,05
2.9. Calibración del freno.	0,00	33,40
2.10. Régimen de giro del turbocompresor.	106,40	233,80
2.11. Medición de presiones y temperaturas medias.	2008,52	773,50
2.12. Sistema de captación de presión instantánea en cámara.	8285,69	167,00
2.13. Equipo de medida de emisiones de escape.	340,97	372,90
<b>TOTAL</b>	<b>11834,07</b>	<b>3235,15</b>

Tabla 20. Resumen presupuesto material y mano de obra.

### 4. Presupuesto Total.

A continuación, se indica el presupuesto total o presupuesto base de licitación. Se ha partido del presupuesto de ejecución material calculado en el apartado anterior, al cual se le ha aplicado un 10% de gastos generales y un 6% de beneficio industrial para calcular el presupuesto de ejecución por contrata. A continuación, se ha aplicado el 21% del Impuesto sobre el Valor Añadido para obtener el presupuesto total.

Material	11834,07
Mano de Obra	3235,15
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>15069,22</b>

Tabla 21. Presupuesto de ejecución material.

Presupuesto de Ejecución Material	15069,22
Gastos generales (10%)	1506,92
Beneficio industrial (6%)	904,15
<b>PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA</b>	<b>17480,20</b>
IVA (21%)	3670,86
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>21151,16</b>

Tabla 22. Presupuesto Total.

El presupuesto asciende a la cantidad de: VEINTIUN MIL CIENTO CINCUENTA Y UNO CON DIECISEIS CÉNTIMOS DE EUROS.



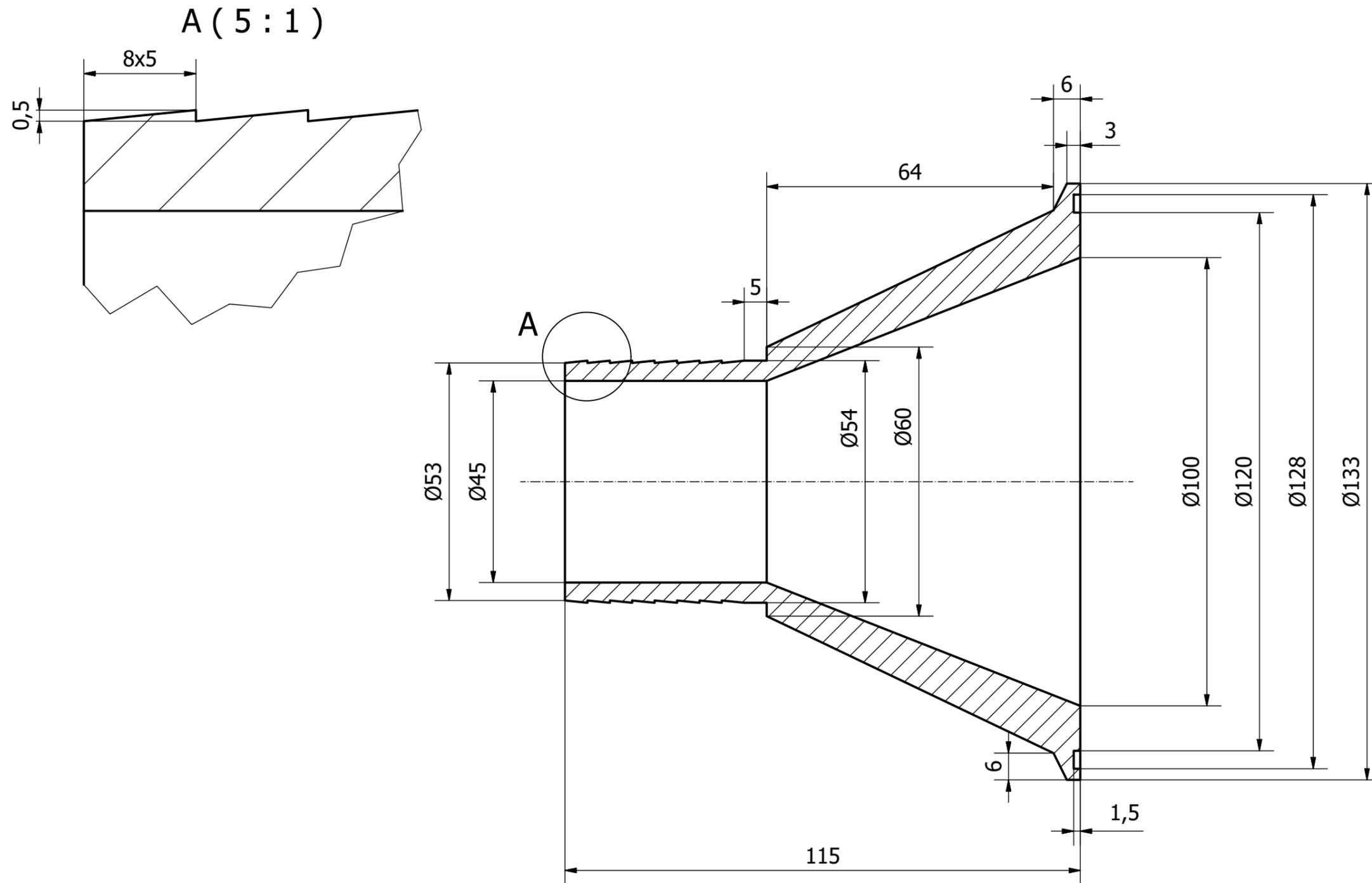
# III. PLANOS.



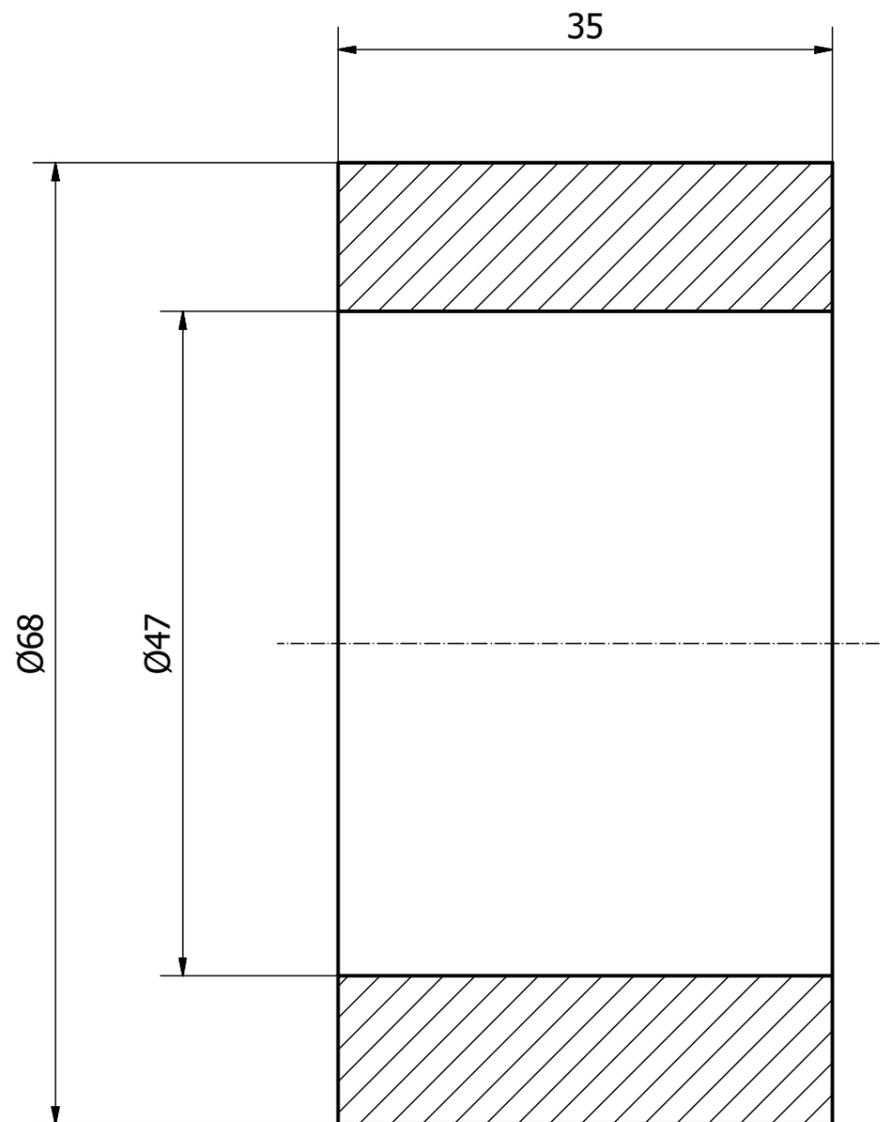
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA









A-A ( 1 : 2 )

