



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

*TRABAJO FINAL DEL*

*REALIZADO POR*

*TUTORIZADO POR*

*FECHA:* Valencia,

## **Contenido:**

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.2 Objetivo del proyecto. ....	2
1.3 Motor térmico de Investigación AVL. ....	3
<b>2. Monitorizado de los Sistemas Generales .....</b>	<b>4</b>
2.1 Introducción.....	4
2.2 Descripción de los sistemas generales.....	4
2.2.1 Sistema de control .....	4
2.2.2 Sistema de ventilación.....	5
2.2.3 Red de agua de refrigeración.....	6
2.2.4 Red de combustible .....	7
2.2.5 Instalación de aire comprimido .....	8
2.2.6 Sistema de seguridad .....	9
2.3 Mantenimiento general.....	10
<b>3. Sistemas particulares Sala 5.....</b>	<b>11</b>
3.1 Introducción.....	11
3.2 Bancada .....	12
3.3 Sistema de admisión.....	13
3.3.1 Mantenimiento sistema de admisión .....	14
3.3.1.1 Compresor ATLAS COPCO .....	14
3.3.1.2 Secador ATLAS COPCO FD 380.....	14
3.4 Sistema de escape.....	15
3.4.1 Mantenimiento sistema de escape .....	16
3.5 Sistema de refrigeración .....	17
3.5.1 Mantenimiento sistema de refrigeración .....	20
3.6 Sistema de lubricación.....	21
3.6.1 Mantenimiento sistema de lubricación .....	22
3.7 Sistema de combustible .....	23
3.7.1 AVL 733S.....	23
3.7.2 AVL 753C .....	23
3.7.2.1 Mantenimiento AVL 753 .....	25
3.7.3 AVL GDI High Pressure Unit .....	27
3.7.3.1 Mantenimiento AVL GDI High Pressure Unit.....	28
3.8 Sistema de EGR.....	31
3.8.1 Mantenimiento Circuito de EGR.....	32
<b>4. Monitorizado y equipos de medida .....</b>	<b>34</b>
4.1 Sistemas de regulación y medida de par y régimen.....	34
4.1.1 Mantenimiento.....	35
4.1.1.1 Unidad dinamométrica de refrigeración .....	36
4.1.1.2 Lubricación del dinamómetro.....	37

---

4.1.2 Calibración del torquímetro.....	37
4.2 Transductores de presión y temperatura media utilizados.....	39
4.3 Sensores de variables instantáneas .....	40
4.3.1 Piezorresistivos.....	41
4.3.2 Piezoeléctricos.....	42
4.3.3 Pinzas amperimétricas .....	43
4.3.4 Mantenimiento sensores de presión.....	45
4.4 Medida de gasto másico de aire.....	46
4.4.1 Mantenimiento y calibración Elster RVG G65 .....	47
4.5 Medida de gasto másico de combustible .....	48
4.5.1 Mantenimiento AVL 733S .....	49
4.6 Caudalímetro de agua.....	50
4.6.1 Mantenimiento caudalímetro de agua.....	50
4.7 Caudalímetro de aceite .....	51
4.7.1 Mantenimiento y calibración caudalímetro de aceite .....	51
4.8 Medida de Blow-by .....	52
4.8.1 Mantenimiento de Blow-by .....	53
4.9 Medida de emisiones de contaminantes .....	54
4.9.1 Mantenimiento y calibración de HORIBA MEXA .....	55
4.10 Medida de humos (opacímetro). ALV 415.....	57
4.10.1 Mantenimiento AVL 415 .....	58
4.11 Medida de posición del ángulo del cigüeñal .....	61
4.12 Termorregulador de sensores instantáneos. ATR 2E 3W.....	62
4.12.1 Mantenimiento ATR 2E 2W .....	62
4.13 Medidor Sonda Lambda .....	63
4.14 Sistemas de control y adquisición de variables medias .....	64
4.15 INDICOM .....	66
4.16 YOKOGAWA 850EV.....	67
4.17 INCA .....	68
<b>5. Plan de mantenimiento.....</b>	<b>69</b>
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>71</b>
<b>7. Presupuesto .....</b>	<b>72</b>
6.1 Introducción.....	72
6.2 Coste del proyecto.....	72
<b>8. Bibliografía.....</b>	<b>73</b>

---

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Foto del departamento CMT-Motores Térmicos. ....	2
<b>Ilustración 2.</b> Foto del motor AVL.....	3
<b>Ilustración 3.</b> Comprobación de bornes con cámara termográfica. ....	5
<b>Ilustración 4.</b> Pantalla de control de ventilación general del laboratorio.....	6
<b>Ilustración 5.</b> Pantalla de control del sistema de refrigeración.....	7
<b>Ilustración 6.</b> Pantalla de control del sistema de combustible.....	8
<b>Ilustración 7.</b> Pantalla de control de la sala 5.....	9
<b>Ilustración 8.</b> Esquema de los sistemas de la sala 5.....	11
<b>Ilustración 9.</b> Bancada de la sala 5 con el motor montado.....	12
<b>Ilustración 10.</b> Sistema de resortes de la bancada.....	12
<b>Ilustración 11.</b> Esquema de componentes del sistema de admisión.....	13
<b>Ilustración 12.</b> Esquema de componentes del sistema de escape.....	15
<b>Ilustración 13.</b> Imagen de las válvulas de contra presión de escape.....	16
<b>Ilustración 14.</b> Esquema del sistema de refrigeración.....	17
<b>Ilustración 15.</b> Vaso de expansión.....	17
<b>Ilustración 16.</b> Intercambiador Carcasa y Tubos.....	18
<b>Ilustración 17.</b> Bomba centrífuga CWA400.....	19
<b>Ilustración 18.</b> Resistencia de calentamiento.....	19
<b>Ilustración 19.</b> Refractómetro portátil.....	20
<b>Ilustración 20.</b> Esquema del sistema de lubricación.....	21
<b>Ilustración 21.</b> Imagen de la bomba de aceite de tres cuerpos.....	22
<b>Ilustración 22.</b> Circuito de combustible.....	23
<b>Ilustración 23.</b> Imagen del acondicionador.....	24
<b>Ilustración 24.</b> Carro de alta presión AVL GDI High Pressure Unit.....	27
<b>Ilustración 25.</b> Rail del sistema GDI.....	28
<b>Ilustración 26.</b> Sistema de inyección de gasolina en el colector de admisión.....	29
<b>Ilustración 27.</b> Rail del sistema PFI.....	29
<b>Ilustración 28.</b> Posición del inyector GDI.....	30
<b>Ilustración 29.</b> Esquema Circuito EGR.....	31
<b>Ilustración 30.</b> Intercambiador de calor carcasa y tubos del sistema de EGR.....	32
<b>Ilustración 31.</b> Remanso de EGR.....	32
<b>Ilustración 32.</b> Torquímetro.....	34
<b>Ilustración 33.</b> Plato de adaptación al torquímetro.....	38
<b>Ilustración 34.</b> Brazos de calibración del torquímetro.....	38
<b>Ilustración 35.</b> Transductor de presión (Izq.) – Termopar encamisado (Der.).....	39
<b>Ilustración 37.</b> Señal del sensor de PMI recogida por la cadena de medidas (Izq.) – Sensor PMI (Der.).....	39
<b>Ilustración 38.</b> Señal del sensor de presión en el colector de admisión recogida por la cadena de medidas (Izq.) – Imagen del sensor de presión en el colector de admisión (Der.).....	40
<b>Ilustración 38.</b> Señal del sensor de presión en el colector de admisión recogida por la cadena de medidas (Izq.) – Imagen del sensor de presión en el colector de admisión (Der.).....	41
<b>Ilustración 40.</b> Efecto de la presión sobre un sensor piezoeléctrico.....	41
<b>Ilustración 41.</b> Señal del sensor de presión en cámara recogida por la cadena de medidas (Der) – Imagen del sensor de presión en cámara (Izq.).....	42
<b>Ilustración 42.</b> Conjunto de amplificadores y pinzas amperimétricas.....	43
<b>Ilustración 43.</b> Detalle de la pinza 2104 A20.....	43
<b>Ilustración 44.</b> Señal del pulso de inyección recogida por la cadena de medidas (Izq.) – Imagen de la pinza amperimétrica (Der.).....	44
<b>Ilustración 45.</b> Imagen de la pinza amperimétrica (Izq). Señal del pulso de inyección recogida por la cadena de medidas (Der.).....	45
<b>Ilustración 46.</b> Imagen del caudalímetro utilizado en la sala de ensayos.....	46
<b>Ilustración 47.</b> Valores de calibración del medidor.....	47
<b>Ilustración 48.</b> Imagen del interior de la balanza gravimétrica de combustible.....	48
<b>Ilustración 49.</b> Caudalímetro de agua.....	50
<b>Ilustración 50.</b> Caudalímetro de aceite.....	51
<b>Ilustración 51.</b> Imagen del medidor de Blow-by.....	52
<b>Ilustración 52.</b> Analizador de gases de escape Horiba MEXA 7100 DEGR.....	54
<b>Ilustración 53.</b> Analizador de gases de escape Horiba MEXA 7100 DEGR.....	55
<b>Ilustración 54.</b> Filtro del analizador de gases de escape Horiba MEXA 7100 DEGR.....	56
<b>Ilustración 55.</b> Medidor de humos (opacímetro).....	57



<b>Ilustración 56.</b> Encoder para medición del ángulo de cigüeñal. ....	61
<b>Ilustración 57.</b> Acondicionador refrigerante sensores.....	62
<b>Ilustración 58.</b> Equipo de medida de Lambda ETAS. ....	63
<b>Ilustración 59.</b> Pantalla de INDICOM. ....	66
<b>Ilustración 60.</b> Equipo de medida YOKOGAWA. ....	67
<b>Ilustración 61.</b> Pestaña de comando de bujía. ....	68
<b>Ilustración 62.</b> Pestaña de uso del VVT.....	68
<b>Ilustración 63.</b> Pestaña de uso del PFI.....	69
<b>Ilustración 64.</b> Pestaña de uso del GDI.....	69
<b>Ilustración 65.</b> Pestaña de uso del Raíl. ....	69
<b>Ilustración 66.</b> Pestaña de uso de las válvulas de admisión y EGR.....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tabla de mantenimiento Compresor.....	14
<b>Tabla 2.</b> Características AVL 753C. ....	24
<b>Tabla 3.</b> Mantenimiento Acondicionador de Combustible. ....	26
<b>Tabla 4.</b> Características AVL GDI High Pressure Unit.....	27
<b>Tabla 5.</b> Mantenimiento AVL GDI High Pressure Unit.....	27
<b>Tabla 6.</b> Mantenimiento Torquímetro.....	36
<b>Tabla 7.</b> Características técnicas Pinza amperimétrica.....	44
<b>Tabla 8.</b> Características Técnicas Pinza Colector.....	45
<b>Tabla 9.</b> Características Técnicas Balanza AVL 733S.....	48
<b>Tabla 10.</b> Mantenimiento AVL 733S.....	48
<b>Tabla 11.</b> Mantenimiento AVL 733S.....	49
<b>Tabla 12.</b> Características Técnicas AVL Blow-By.....	52
<b>Tabla 13.</b> Características Técnicas Smoke Meter.....	57
<b>Tabla 14.</b> Características Técnicas AVL 365C.....	61
<b>Tabla 15.</b> Plan de mantenimiento preventivo.....	71
<b>Tabla 16.</b> Coste mano de obra del trabajo final de master.....	72

## 1. Introducción.

### 1.1 Introducción.

Así como para el cuerpo humano los exámenes periódicos son esenciales para prolongar la vida, un mantenimiento regular es esencial para mantener la seguridad y la confiabilidad de los equipos y también ayuda a eliminar los riesgos laborales. La falta de mantenimiento o un mantenimiento inadecuado puede provocar situaciones peligrosas, accidentes y problemas de salud para de los equipos.

Tradicionalmente, se han distinguido 5 tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen:

- **Mantenimiento Correctivo:** Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos.
- **Mantenimiento Preventivo:** Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.
- **Mantenimiento Predictivo:** Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos.
- **Mantenimiento Cero Horas (Overhaul):** Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.
- **Mantenimiento En Uso:** es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tal solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base

del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total).

### **1.3 Antecedentes.**

El Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia, realiza una importante labor de investigación. Las principales líneas de investigación en las que se vuelcan los esfuerzos son cinco: combustión, renovación de la carga, técnicas experimentales de visualización, mantenimiento y ruido.

Dicho departamento tiene una labrada experiencia y trayectoria gracias a sus investigaciones tanto a nivel interno como a través de los contratos, convenios y colaboraciones con gran cantidad de empresas del sector de la automoción.

El presente proyecto surge a partir de la necesidad de la definición del mantenimiento e instrumentación de la sala de ensayo de motor número 5, para así tener unificada toda la información en un solo documento.



*Ilustración 1. Foto del departamento CMT-Motores Térmicos.*

### **1.4 Objetivo del proyecto.**

El objetivo final de este TFM es la definición del mantenimiento e instrumentación de una sala de ensayos de un motor monocilíndrico de investigación. En el TFM se encontrarán los equipos generales del laboratorio, los sistemas particulares de la sala de ensayo, y la instrumentación de la misma, así como una breve descripción con las características principales del motor de investigación.

En cada capítulo, se definirán los elementos que forman cada sistema, explicando sus características principales y el mantenimiento necesario a realizar a estos equipos en los casos que sea necesario, aplicando técnicas aprendidas en el Master de Ingeniería del Mantenimiento.

Además, en el presente TFM se ha realizado la instrumentación completa de la sala de ensayos. En este capítulo serán definidos todos los equipos utilizados para la medida y adquisición y tratamiento de los datos obtenidos durante los ensayos del motor. Además, en este capítulo se desarrollarán los mantenimientos a realizar de dichos equipos de medida.

De esta forma, el presente TFM se podrá usar como un manual en el que se encontrarán integrados, con sus respectivas características y mantenimientos, los sistemas generales del laboratorio, los sistemas particulares de la sala 5 y la instrumentación completa de la sala de ensayos del motor.

### 1.4 Motor monocilíndrico de Investigación AVL.

El tipo de motor térmico empleado en esta instalación es un motor de encendido provocado de 4 tiempos, con la posibilidad de utilizar gasolina o GNC, dotado de inyección directa, inyección indirecta, sistema de distribución variable de válvulas VVT y sobrealimentación, creado para la investigación del proceso de combustión y renovación de la carga.

También cuenta con un sistema de inyección capaz de realizar inyecciones múltiples, combinando las inyecciones directas junto a las inyecciones en el colector de admisión. Este tipo de sistemas de inyección permiten optimizar gracias a las distintas combinaciones de inyección las emisiones de gases contaminantes.

Debido a las características de los estudios del motor térmico, la posibilidad de montar un sistema propio de lubricación y refrigeración es inviable. La utilización de sistemas tradicionales en las que es el propio motor el que mueve las bombas de aceite y agua, provocaría en este caso unas pérdidas mecánicas inaceptables teniendo en cuenta la potencia que entrega el único cilindro disponible.

Es por ello por lo que es necesario que la sala de ensayo disponga de todos los equipos auxiliares necesarios para el funcionamiento del motor.

Las características fundamentales del motor son:

Number of cylinders	1	
Cylinder bore	82 mm	
Stroke	86 mm	
Swept volume	454 cm <sup>3</sup>	
Combustion system	4-valve pent roof GDI	Otto cycle
Fuel	Gasoline min 95 RON	Quality: EN228
Fuel system	Direct injection side position PFI injection	Single injector
Ignition system	Ignition coil + cable	
Engine management system	AVL RPEMS™ GDI	
Idle speed	700 rpm	
Piston variants	Optional for central injector position	
Rated speed	6000 rpm	
Maximum speed, instantaneous	6400 rpm	
Peak firing pressure AVL Basic Unit 5400 AVL power cell (piston/conrod/cylinder head)	Crankcase 150 bar 120 bar	@ bore 95 mm
Maximum boosting pressure	3 bar abs.	
Maximum exhaust pressure	3.5 bar abs.	
Compression ratio during test run	11.5 : 1	
Valves per cylinder	4	2 intake, 2 exhaust
Valve train type	DOHC	finger follower



Ilustración 2. Foto del motor AVL.

## **2. Monitorizado de los Sistemas Generales.**

### **2.1. Introducción.**

En la realización de toda investigación de carácter científico-tecnológico se requiere la selección, puesta a punto, validación y posterior utilización de diferentes herramientas experimentales. A continuación, se describen la sala de ensayos, los instrumentos, herramientas y equipos de medida utilizados durante el transcurso del presente proyecto.

### **2.2. Descripción de los sistemas generales.**

La sala de ensayos donde está ubicado el motor e instrumentación objeto del presente proyecto, se encuentra situada en el ya citado, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos (DMMT), dentro de la zona de laboratorios para ensayos de motores. Este departamento se encuentra situado en el Edificio de Investigación 6D de la Universidad Politécnica de Valencia junto a la Avenida de Los Naranjos.

Dicho laboratorio está dividido por un pasillo de control y ocho celdas, enfrentadas cuatro a cuatro (pares-impares), separadas por la zona de control. Frente a cada sala se encuentran los respectivos ordenadores de trabajo, los armarios de control y regulación, además de los equipos de medida de contaminantes. En la Sala 5, en cuya zona de control se encuentran los ordenadores que gestionan el sistema de inyección, sistema de control de válvulas, adquisición de datos y control de elementos auxiliares(bombas, resistencias, válvulas neumáticas, etc.).

Este recinto está diseñado para cumplir con las condiciones de insonorización, resistencia estructural y resistencia al fuego obligadas por la ley para este tipo de instalaciones.

#### **2.2.1 Sistema de control.**

Para el control de los diferentes sistemas de los que dispone el laboratorio, hay instalado un sistema de control denominado JOHNSON CONTROL. Este sistema permite la centralización del control de funcionamiento de los sistemas. En él se encuentran integrados los sistemas de ventilación, refrigeración y combustible.

De esta forma, desde un único PC en el laboratorio, se puede monitorizar el estado de la ventilación, refrigeración y combustible, así como asignarles valores a cada una de éstas de forma manual.

A su vez, si la sala de ensayo se pone en modo Operación, el sistema activa de forma automática todos los sistemas para dar servicio a la sala en función.

Como se trata de un sistema de uso diario, las principales operaciones de mantenimiento serán de correctivo, pero todos los días es necesario comprobar la comunicación entre módulos y que todas las variables responden a las consignas asignadas.

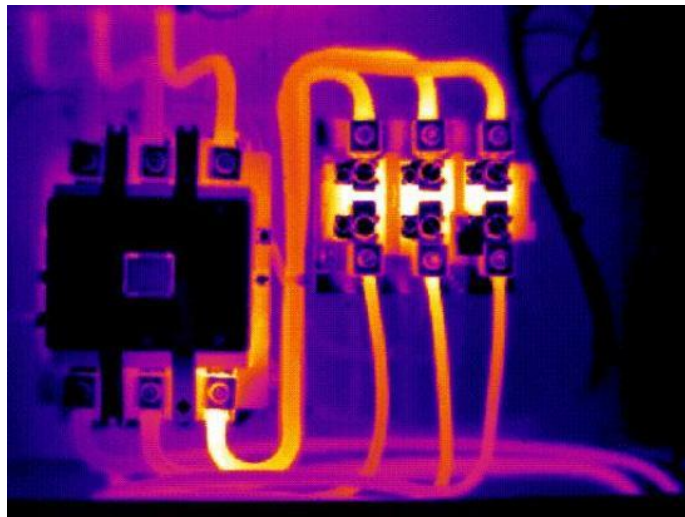
### 2.2.2 Sistema de ventilación.

La función de la ventilación es crear una atmósfera aceptable dentro de la sala de ensayos. De esta manera se tendrá un ambiente limpio, sin gases peligrosos, y con una presión, humedad y temperatura adecuada. Además, así se asegura la refrigeración de distintos instrumentos que trabajan dentro de la celda y que están refrigerados por aire. Este aire debe estar lo más fresco posible, para conseguir disipar la máxima cantidad de calor.

Para eliminar la energía calorífica del ambiente y renovar el aire de la sala, en el que pueden existir cantidades inadmisibles de gases de escape o gases procedentes del combustible, la instalación cuenta con un sistema de renovación de aire formado por la combinación de un sistema de impulsión y otro de extracción. La existencia de estos dos sistemas asegura la circulación del aire en todo momento a través de la celda de ensayo.

De forma periódica se realizarán las tareas de mantenimiento al sistema de ventilación. De las tareas más importantes se pueden destacar:

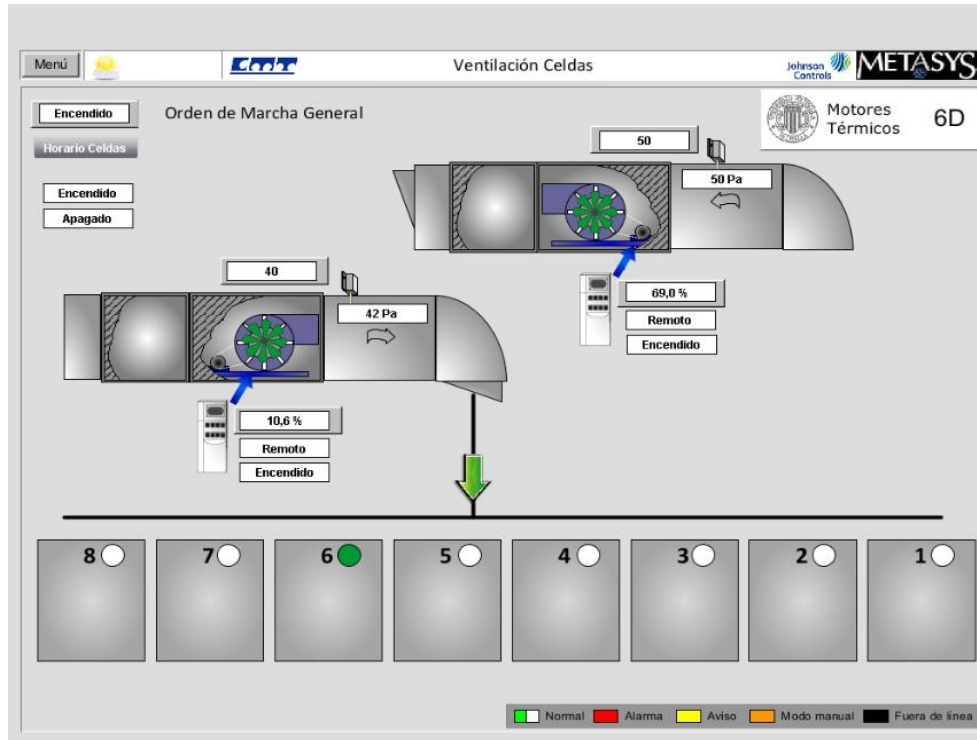
- Sustitución de filtros de ventiladores de impulsión.
- Revisión de motores y variadores que controlan la velocidad de funcionamiento de los ventiladores. Estas revisiones se realizarán con equipos como la cámara termográfica, de gran utilidad para diagnosticar problemas de contacto que provocan temperaturas elevadas en bornes.



**Ilustración 3.** Comprobación de bornes con cámara termográfica.

- Comprobación de funcionamiento de los actuadores de las compuertas de entrada y salida de aire de las salas de ensayo, situadas en la entreplanta.
- Comprobación de sondas de presión, situadas en cada sala de forma independiente. Es fundamental para que no se produzcan descompensaciones entre la impulsión y extracción.

- Comprobación de las sondas de temperatura, instaladas en cada sala de forma independiente, necesarias para controlar que la temperatura de la sala no ascienda hasta valores que pongan en peligro a otros equipos.  
Control del sistema general de ventilación:



**Ilustración 4.** Pantalla de control de ventilación general del laboratorio.

### 2.2.3 Red de agua de refrigeración.

El sistema de refrigeración de la instalación forma parte del sistema general de agua del laboratorio de motores. Este sistema es el encargado de servir tanto para la refrigeración de motores, como para refrigeración de combustible, gases o cualquier equipo que lo requiera. Está formado por un aljibe de 50.000 litros de capacidad enterrado en el exterior del edificio. El agua pasa por un filtro y mediante dos bombas situadas en paralelo envía el agua a las salas.

Las conducciones de agua entran y suministran agua a todos los equipos que necesitan refrigeración, existiendo dos salidas de agua en la conducción de motores, y otra en la conducción del freno.

Al lado de cada toma de agua, existe otra toma de desagüe, de modo que una vez que el agua ha realizado su función, es conducida hacia el desagüe, el cual desemboca de nuevo en el aljibe para cerrar el circuito.

Para que la refrigeración sea eficaz en todo momento es importante mantener la temperatura del agua dentro de unos valores determinados. Por ello, también existe



una tercera bomba de similares características a las anteriores. El objetivo de ésta es enviar el agua a una torre de refrigeración situada en la azotea del edificio cuando la temperatura del agua existente en el aljibe supera un determinado valor establecido. Una vez allí será enfriada y enviada de vuelta al aljibe.

Al tratarse de un sistema de uso diario, el mantenimiento que se realiza casi en su totalidad es mantenimiento correctivo, salvo la revisión de los filtros que abastecen de agua a las bombas de impulsión, que se realizarán en las paradas programadas cada 6 meses de funcionamiento. Además se comprobarán los estados de las sondas de temperatura, nivel de aljibe y presión.

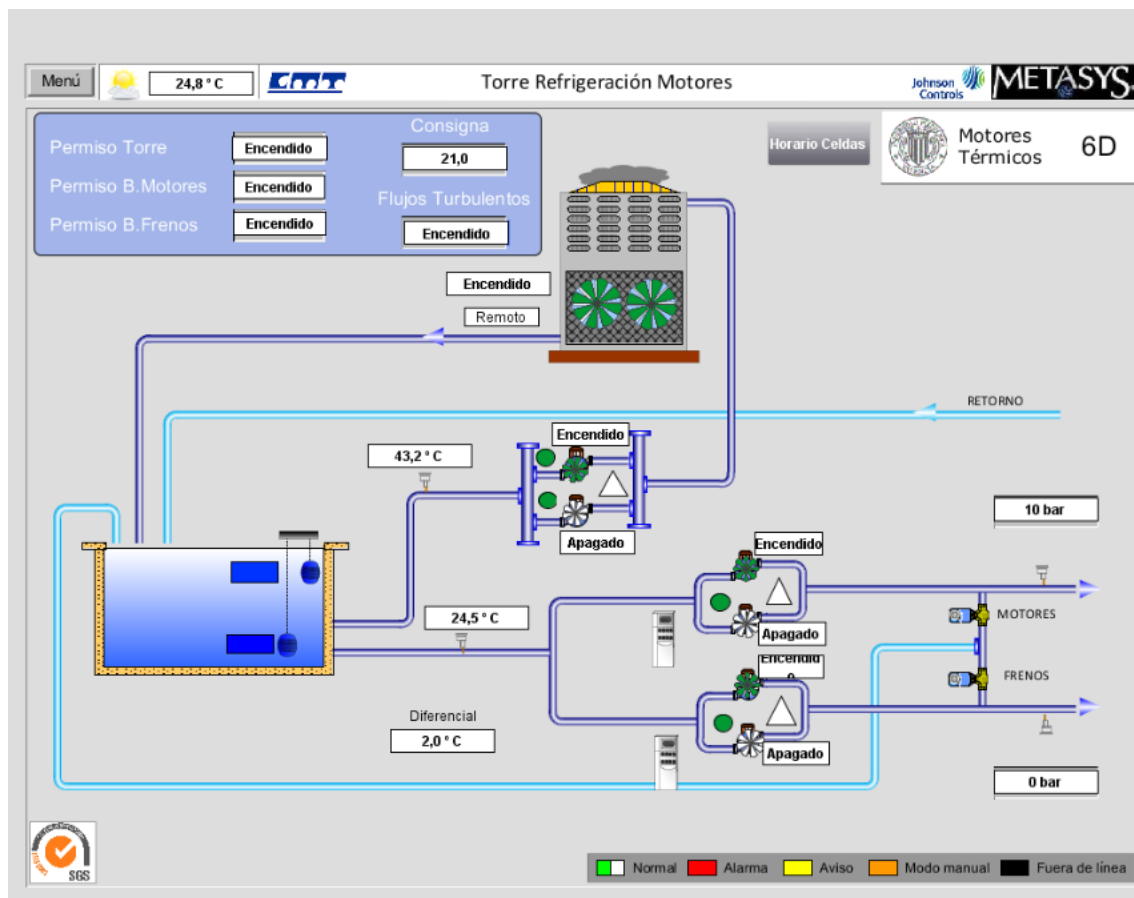


Ilustración 5. Pantalla de control del sistema de refrigeración.

## 2.2.4 Red de combustible.

Aunque el laboratorio dispone de una red de abastecimiento de combustible para todas las salas, para este proyecto se dispone de un depósito independiente para poder utilizar combustibles de referencia con la misma composición química exacta durante toda la realización del proyecto.

Se revisarán las sondas de nivel de los depósitos, indicadores de nivel (luces avisadoras en el pasillo de control de las salas de ensayo) y las bombas de combustible.



En el interior de las salas, se encuentran las electroválvulas neumáticas que se abrirán de forma automática al poner la sala en operación.

Ambos circuitos, tanto el de gasolina como el de diésel, disponen de filtros para evitar la entrada de impurezas y cuerpos extraños al sistema de combustible de cada sala. Estos filtros se revisarán cada 6 meses, en las paradas programadas para mantenimiento.

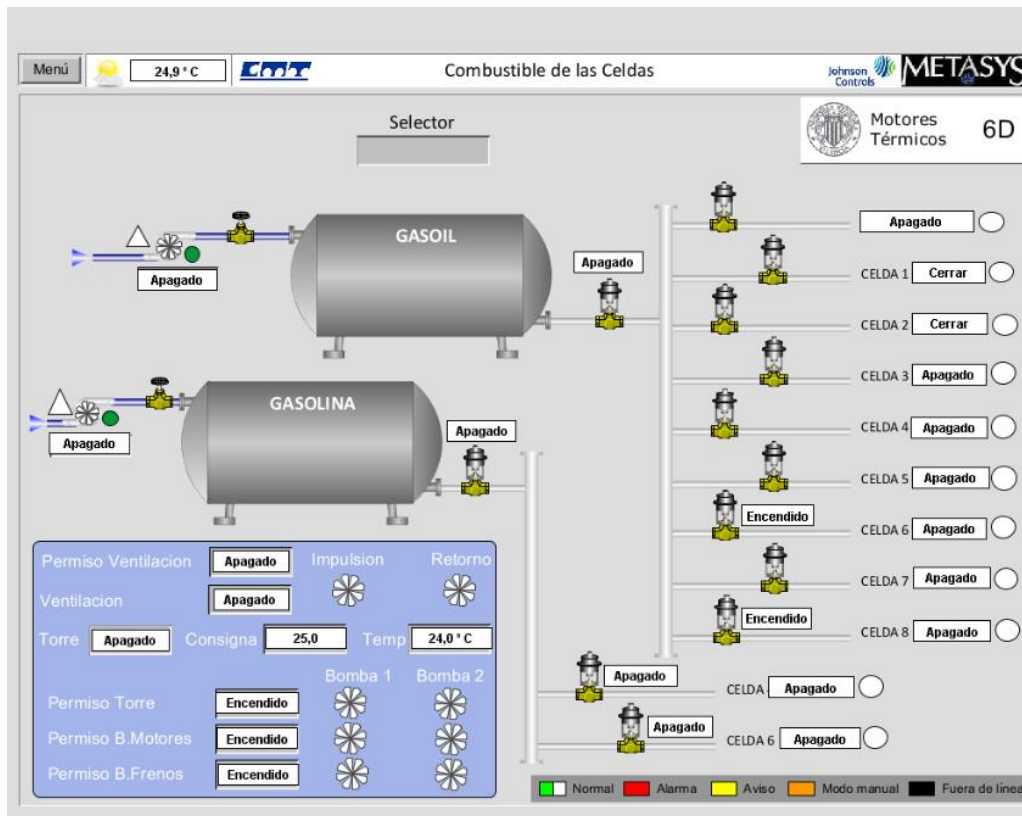


Ilustración 6. Pantalla de control del sistema de combustible.

### 2.2.5 Instalación de aire comprimido.

La instalación de aire comprimido auxiliar está formada por un compresor desde donde se conduce el aire, hasta las salas de ensayo, por unas tuberías de media pulgada.

Una vez que el aire entra en las salas, cada una de ellas dispone de dos reguladores para adecuar la presión a la demandada por cada uno de los equipos de la instalación. Todo el sistema está abastecido por un conjunto compresor-secador-remanso, situado en una sala para tal fin.

Las operaciones de mantenimiento son de forma periódica:

- Revisión de fugas.
- Revisión de manómetros.
- Cambios de aceite de los compresores.

## 2.2.6 Sistema de seguridad.

En la sala existen sistemas de seguridad de detección de incendios, de detección de presencia de CO y de detección de Metano en la atmósfera.

Tanto si hay un incendio, como una fuga de combustible, o concentraciones de CO peligrosas en cualquiera de las celdas se activaría una señal acústica mediante una sirena situada en el pasillo de control. También, se pondrían en marcha alarmas visuales en el ordenador general de los sistemas del edificio, las cuales indicarían la sala y el incidente correspondiente a dicha alarma.

En el panel de control de detección de concentraciones de CO y de Metano, se podría observar qué concentración de ese gas se encuentra en la sala y si es peligrosa o no. Estos paneles se encuentran junto a la puerta de entrada del pasillo de control.

Se realizarán de forma periódica del correcto funcionamiento de las alarmas, activando los magnetotérmicos.

## 2.2.7 Panel de control Sala 5

Dentro del sistema de control, se encuentran las salas de forma individual, donde se podrá ver el estado de cada uno de los sistemas, con todos los valores de las variables, y el estado de éstas.

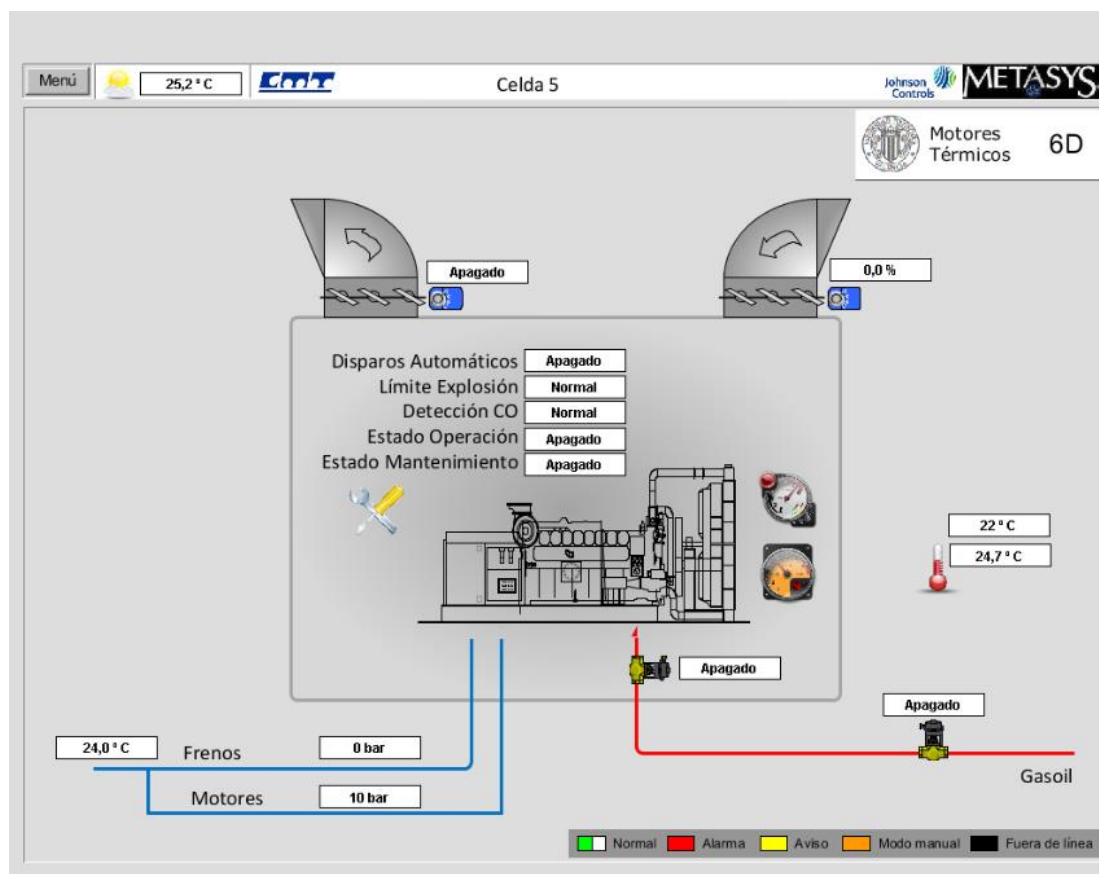


Ilustración 7. Pantalla de control de la sala 5.

### 2.3. Mantenimiento general

Las tareas de mantenimiento de los sistemas anteriores están divididas según la dificultad de éstas.

Las tareas básicas nombradas a continuación serán realizadas por los técnicos responsables del laboratorio:

- Sustitución de filtros de ventiladores de impulsión.
- Revisión de motores y variadores que controlan la velocidad de funcionamiento de los ventiladores. Estas revisiones se realizarán con equipos como la cámara termográfica, de gran utilidad para diagnosticar problemas de contacto que provocan temperaturas elevadas en bornes.
- Comprobación de funcionamiento de los actuadores de las compuertas de entrada y salida de aire de las salas de ensayo, situadas en la entreplanta.
- Comprobación de sondas de presión, situadas en cada sala de forma independiente. Es fundamental para que no se produzcan descompensaciones entre la impulsión y extracción.
- Comprobación de las sondas de temperatura, instaladas en cada sala de forma independiente, necesarias para controlar que la temperatura de la sala no ascienda hasta valores que pongan en peligro a otros equipos.
- Revisión de fugas de aire, combustible o agua.
- Revisión de manómetros de presión.
- Cambios de aceite de los compresores.
- Comprobar magnetotérmicos.
- Comprobar la seguridad de avisadores de gases tóxicos.
- Comprobar el estado de las bombas de refrigeración.
- En caso de falla de válvulas neumáticas, cambio o reparación.

Otras tareas relacionadas con las torres de refrigeración, aljibes, u otros elementos relacionados con la climatización, serán realizadas por la empresa FULTON, contratada por la Universidad Politécnica de Valencia para llevar a cabo estas actividades relacionadas con la infraestructura que requieren formación específica.

En caso de necesidad de realizar algún tipo de mantenimiento al software, es contratado directamente a la empresa Jhonson Controls.

### 3. Sistemas Particulares Sala 5

#### 3.1. Introducción

Debido a las características del motor térmico, explicado en el capítulo 1, la posibilidad de montar un sistema propio de lubricación, refrigeración y sobrealimentación es inviable. La utilización de sistemas tradicionales en las que es el propio motor el que mueve las bombas de aceite y agua o un turbogruppo provocaría en este caso unas pérdidas mecánicas inaceptables teniendo en cuenta la potencia que entrega el único cilindro disponible.

Por otra parte, debido a la existencia de un solo cilindro el calor generado por el funcionamiento del motor es mucho menor que el que se disipa en el motor policilíndrico equivalente, y por tanto resulta más difícil calentar el fluido refrigerante y lubricante hasta llegar a la temperatura de trabajo en un tiempo razonable.

Dado lo expuesto anteriormente, la sala de ensayos inicialmente equipaba un circuito de refrigeración y otro de lubricación independientes, donde los fluidos de trabajo circulaban por circuitos impulsados por bombas eléctricas accionadas de forma independiente del motor, así como los circuitos de admisión, escape, y combustible.

El esquema completo de la sala de ensayos es el siguiente, explicando cada circuito de forma independiente en los apartados siguientes:

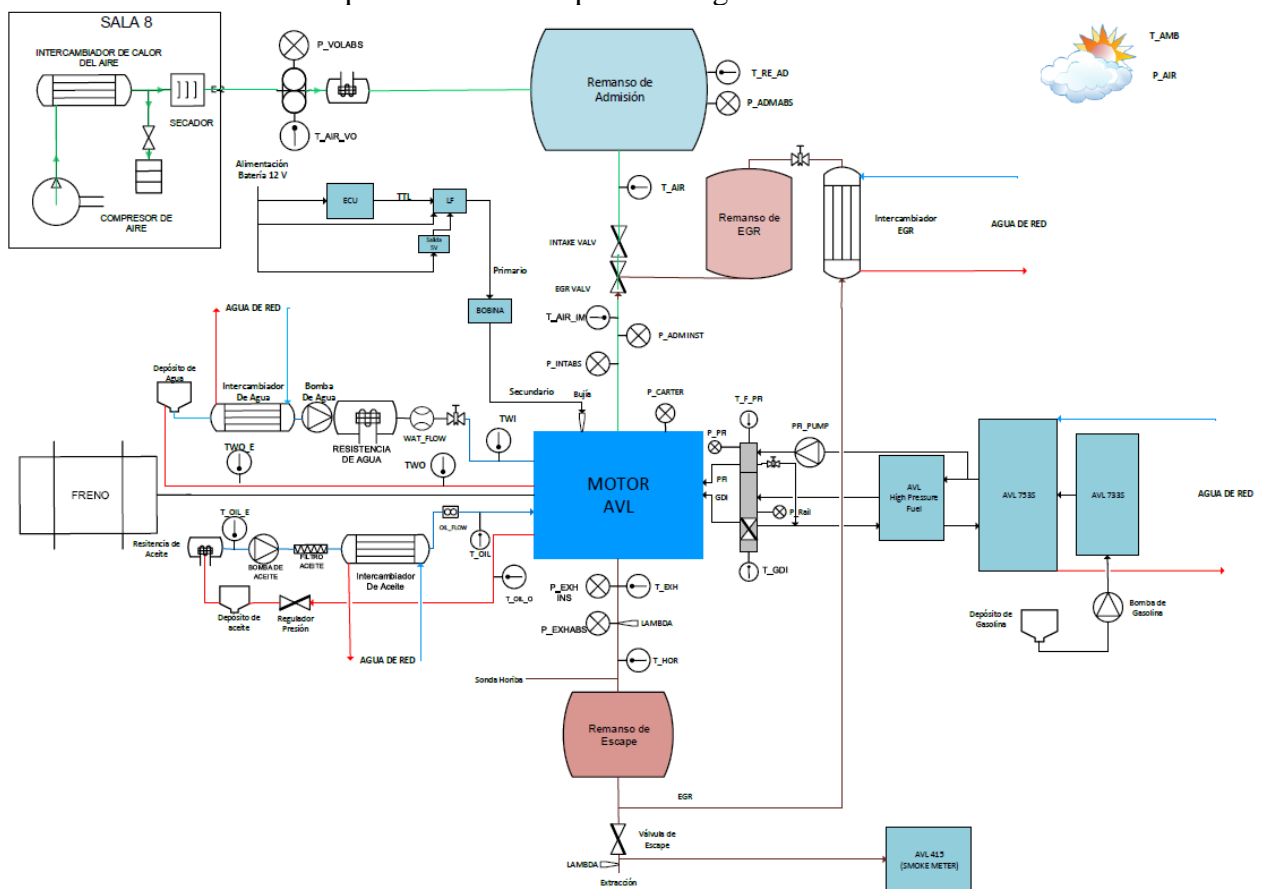
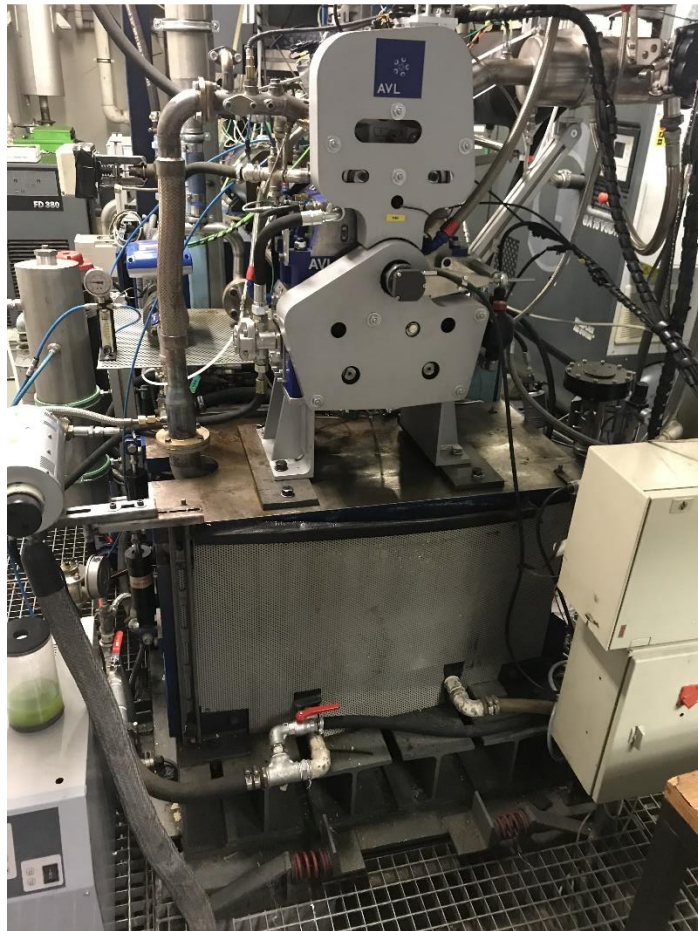


Ilustración 8: Esquema de los sistemas de la sala 5.

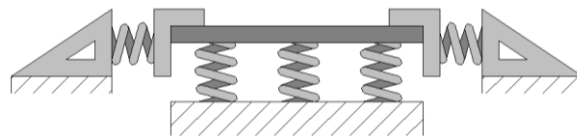
### 3.2. Bancada.

La bancada es una parte fundamental en cualquier tipo de sala de ensayos. Su función principal es la de aislar las vibraciones o resonancias, que pueda producir el motor instalado sobre ella, evitando así que se transmitan al resto de los elementos de la instalación y sus alrededores. Es por esta razón que la bancada está diseñada para ser capaz de soportar todos los elementos propios de la instalación y amortiguar o minimizar al máximo los efectos de las vibraciones que sobre ella se producen.



**Ilustración 9:** Bancada de la sala 5 con el motor montado.

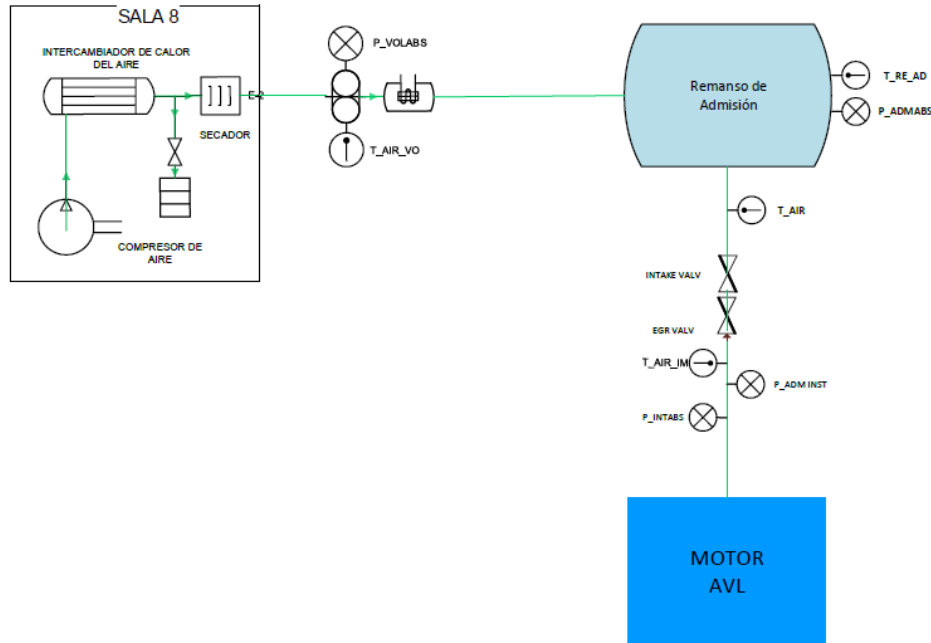
La bancada está formada por una serie de perfiles IPE 180 y UPN 180 sobre los que descansa, en este caso, una base móvil en la que va montado todo el sistema. Para amortiguar las vibraciones, estos perfiles descansan sobre una serie de 14 resortes colocados transversalmente y 8 resortes colocados longitudinalmente.



**Ilustración 10:** Sistema de resortes de la bancada

### 3.3. Sistema de admisión.

El objetivo de este sistema es reproducir de una forma lo más fielmente posible las condiciones de sobrealimentación que se producirían en el motor policilíndrico equivalente.



**Ilustración 11.** Esquema de componentes del sistema de admisión.

Para ello se dispone de un compresor externo de tornillo rotativo exento de aceite y refrigerado por agua, de la firma sueca Atlas Copco (modelo ZA-1).

El compresor está asociado a un secador que es el encargado de eliminar la humedad que pudiese contener el aire comprimido por medio de un proceso de enfriamiento (secador Atlas Copco modelo FD 380W).

Para atenuar las ondas de presión que se generan en el sistema debido al carácter fuertemente pulsante del proceso de admisión se dispone de tres remansos en la línea de admisión. Uno a la salida del compresor-secador, de 500 litros, otro en la celda de ensayo de 250 litros de capacidad. La presión entregada por el compresor, se regula variando el régimen del motor eléctrico que lo acciona. Esto se consigue con la ayuda de un variador de frecuencia, una válvula de regulación y un regulador tipo PID. En función del valor de consigna y del actual, el PID actúa sobre el variador de frecuencia aumentando o disminuyendo el régimen del motor eléctrico, y sobre la válvula de regulación abriéndola y cerrándola.

La temperatura también se regula mediante un PID, que actúa sobre una resistencia de calentamiento de 2 KW situada en la conducción del aire de admisión. Si el valor actual es inferior al valor de consigna el PID actúa sobre la resistencia, en caso contrario la resistencia deja de funcionar hasta la temperatura de consigna.

Actuando sobre estos dos elementos se es capaz de regular en todo el rango de caudales y presiones necesarios para la correcta realización de los ensayos.

### 3.3.1 Mantenimiento Sistema de Admisión.

#### 3.3.1.1 Mantenimiento Atlas Copco ZA-1

Para asegurar un funcionamiento seguro y una larga duración de servicio, se deben realizar las siguientes operaciones antes de que se cumplan los periodos máximos de funcionamiento.

Periodo	Horas de marcha	Operación
Diario	8	Comprobar display
Diario	8	Comprobar que se descarga el condensado durante la carga
Diario	--	Comprobar nivel de aceite
Semanal	50	Comprobar que el indicador se muestra azul
Mensualmente	--	Comprobar la diferencia de presiones y ajustar si es necesario
Cada 3 meses	--	Limpiar compresor
Cada 3 meses	--	Comprobar si hay fugas
Cada 3 meses	500	Comprobar refrigeradores y limpiarlos si fuese necesario.
Cada 6 meses	4000	Lubricación cojinetes de motor
Cada dos años	16000	Reemplazar esponja de demistor
Cuando aparezca	--	Realizar acciones de servicio.
Cada 4 años	36000	Cambio de cojinetes de motor

**Tabla 1.** *Tabla de mantenimiento Compresor.*

#### 3.3.1.2 Mantenimiento Secador Atlas Copco FD380

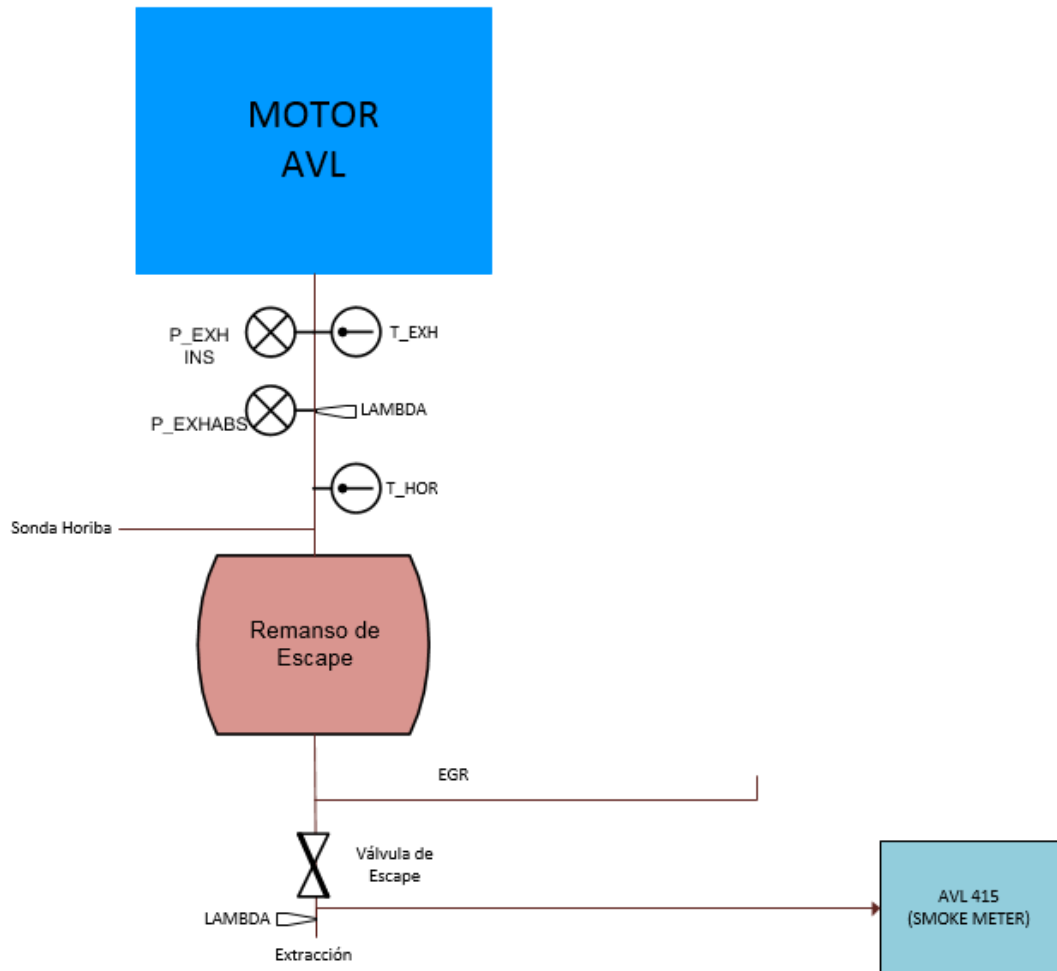
El trabajo de mantenimiento y reparación que no está programado, especialmente de los circuitos de refrigeración sólo puede ser realizadas por personal competente y con las herramientas adecuadas ya que:

- El contacto con del refrigerante con la piel ocasionará congelación.
- El fluido no es inflamable pero si es muy tóxico.
- El fluido es muy peligroso con el contacto con los ojos.

Es por este motivo por lo que todo trabajo en el circuito de refrigerante del secador o en cualquier equipo que ejerce influencia sobre éste tan sólo puede realizarse por una entidad autorizada.

### 3.4. Sistema de escape.

La misión de este sistema es la de evacuar los gases de escape que salen del cilindro y simular la contrapresión que generaría la turbina del turbocompresor en el motor policilíndrico equivalente.



**Ilustración 12.** Esquema de componentes del sistema de escape.

El sistema está dotado, al igual que el sistema de admisión, de un remanso para evitar efectos no deseados provocados por las ondas de presión. En el interior de este remanso se puede encontrar un sensor de presión, mientras que la medida de la temperatura se obtiene de un termopar tipo K situado en la entrada del remanso de escape.

La sala disponía de un sistema de regulación automático en función de una consigna previa. La regulación se hacía a partir de un sensor de presión (PID) situado en el remanso de escape.



Debido a la precisión demandada para este proyecto, se ha modificado el sistema de regulación de dicha presión.

Para ello se dispone de una válvula neumática de guillotina y una válvula de dos vías. Debido a la gran precisión requerida, se debe ajustar la presión de escape interactuando entre las dos válvulas de forma manual.

La válvula neumática de guillotina es regulada mediante una señal de 4-20 mA. Esta válvula presenta histéresis, es decir, tiene una regulación muy brusca. Es utilizada de válvula principal debido a su resistencia a la temperatura, y sitúa rápidamente la guillotina en el punto demandado.

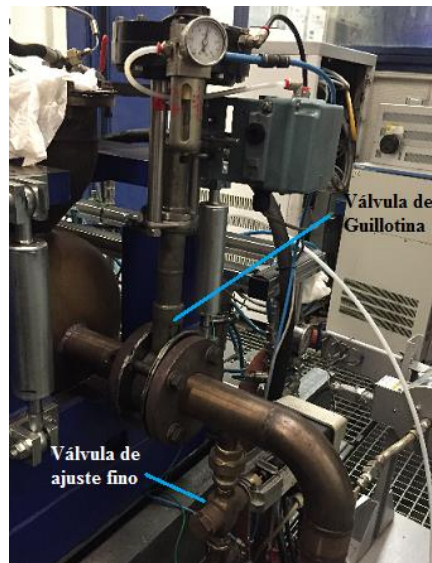


Ilustración 13. Imagen de las válvulas de contra presión de escape

La válvula de dos vías es regulada mediante una señal de 0-10V y actúa de forma paralela a la válvula neumática. Esta válvula no presenta histéresis, su ajuste es lineal, de forma que se puede situar la presión de escape en el punto deseado. Se usa de válvula secundaria ya que no tiene gran resistencia a la temperatura. Por ello, se monta un termopar para tener la temperatura controlada y no dañar el equipo.

Además, también se puede encontrar antes del remanso, la sonda para medición de oxígeno y la de medición de contaminantes. Aguas abajo de la válvula de contrapresión se encuentra el medidor de humos, cuya muestra se toma a partir de una sonda intercalada en el tubo de escape.

### 3.4.1 Mantenimiento sistema de escape

Las tareas de mantenimiento de este circuito son principalmente de limpieza de componentes por la cantidad de hollín que se genera por los gases de escape. Por ello, durante las paradas programadas de mantenimiento si fuese necesario se realizarán:

- Limpieza de válvulas de escape. Eliminación de hollín y lubricación de ejes y vástagos.
- Soplado de las electrónicas de las válvulas de escape.
- Limpieza de los tubos del intercambiador de calor.

### 3.5. Sistema de refrigeración

Los condicionantes impuestos por el fabricante es que el circuito de agua debe ser capaz de suministrar al motor térmico un caudal de aceite aproximado de 1800 litros/hora y además este caudal debe ser medido con un caudalímetro para que quede registrado el valor en todo momento.

El fabricante también ha establecido una temperatura de trabajo de 90° C a la entrada de motor. Para conseguir esta temperatura de funcionamiento es necesario instalar una resistencia de calentamiento, así como un intercambiador para controlar esta temperatura.

El buen estado del refrigerante es fundamental para mantener las condiciones de repetitividad, por lo que hay que tener controlado el deterioro de éste. Se realizarán de forma periódica muestras con un refractómetro para determinar el grado de degradación del refrigerante, de forma que nunca se encuentre por debajo de la temperatura de ebullición del agua.

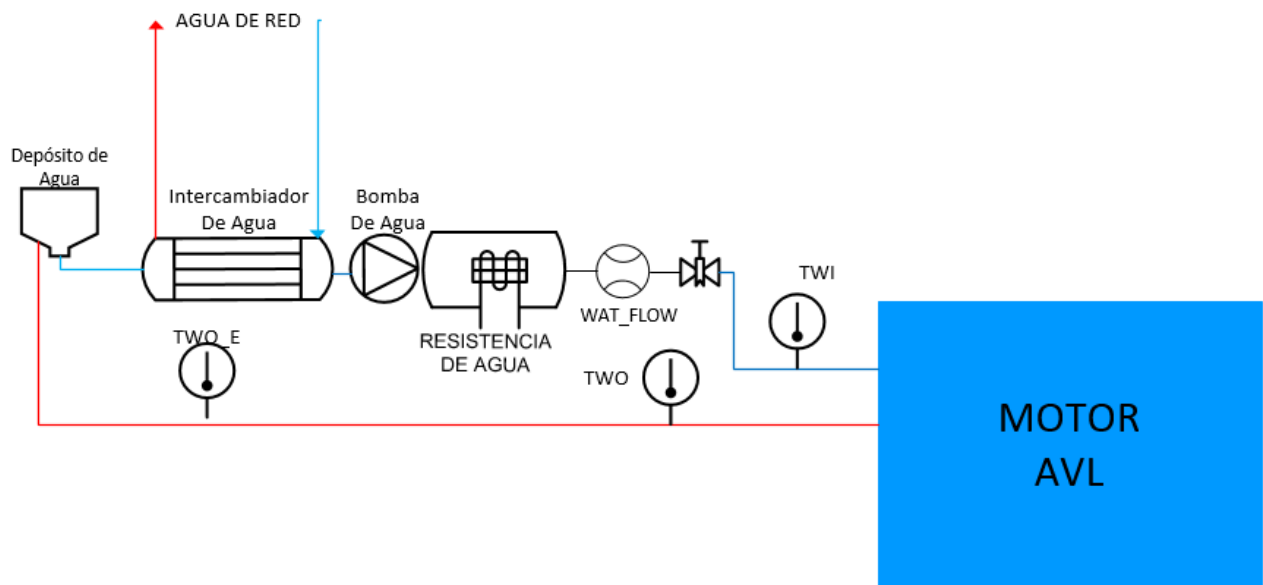


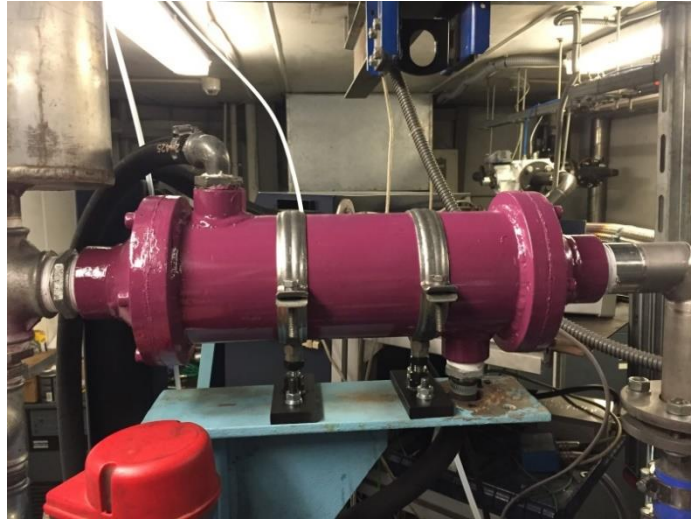
Ilustración 14. Esquema del sistema de refrigeración.

El circuito de refrigeración comienza con un vaso de expansión, que a su vez hace función de depósito. Es necesario para absorber el aumento de volumen que se produce al expandirse, por calentamiento, el fluido refrigerante que contiene el circuito y devolverla cuando se enfría.



Ilustración 15. Vaso de expansión

A continuación del vaso de expansión se encuentra un intercambiador de carcasa y tubos de flujos cruzados. Es necesario para mantener la temperatura de agua dentro de los rangos de funcionamiento del motor, haciendo la función de un radiador en un motor comercial.



**Ilustración 16.** Intercambiador Carcasa y Tubos

El flujo de agua de refrigeración (agua a temperatura ambiente proveniente de la red del laboratorio) se regula mediante una señal de temperatura controlada a través de un PID, con una temperatura de consigna de 90°C. De esta forma, si se supera esta temperatura, el flujo de agua se activa de forma automática mediante una válvula de regulación de caudal. De forma contraria, la válvula se cierra si es necesario calentar el agua del circuito.

Las características geométricas de este elemento son:

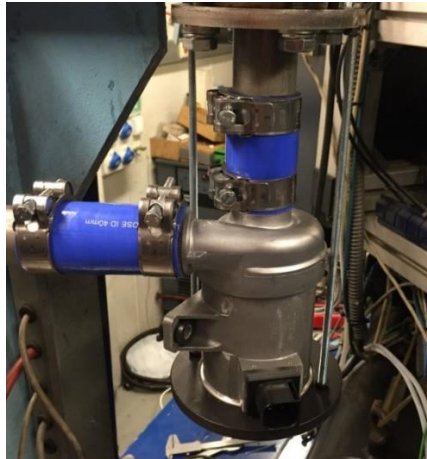
- Numero de tubos: 75
- Diámetro de tubos: 0.8mm
- Longitud de los tubos: 500 mm

Se ha elegido este intercambiador por que la sección total de paso de agua ( $Sección\ de\ paso\ de\ agua = 75 * 0.8mm = 60mm$ ) es superior a la sección de entrada y salida de la bomba de agua (40mm) por lo que no provoca pérdidas de carga importantes y mantiene el caudal necesario para el correcto funcionamiento del motor.

A la salida del intercambiador está conectada una bomba Pierburg, modelo CWA400, necesaria para hacer circular el líquido de refrigeración al caudal y presión necesaria por el circuito.

Esta bomba se acciona mediante una señal PWM que puede variar de 0 a 12V en función de la potencia demandada, así su consumo oscila desde 0.2mA en modo Standby a 36A a plena carga. Se ha elegido este modelo CWA 400 por ser la única capaz de dar un caudal mayor que el demandado por el motor (140 l/min). Para el montaje de esta bomba en la instalación se ha optado por la posición que se muestra en la figura a continuación. Esta posición es la más favorable debido al escaso espacio

con el que se cuenta en la celda para poder realizar el montaje de todo el circuito de refrigeración.



**Ilustración 17.** Bomba centrífuga CWA400

Las bocas de entrada y salida de la bomba tienen una sección de 40mm de diámetro. Para evitar pérdidas de carga y que la bomba proporcione el máximo caudal demandado, se ha optado por intentar mantener las máximas secciones de paso a lo largo de todas las conducciones de agua del circuito hasta llegar a las diferentes entradas del motor.

En la figura se muestran las curvas de funcionamiento de las distintas bombas circuladoras comerciales. Solo este tipo de bombas son capaces de dar el caudal requerido para la presión de funcionamiento del sistema. La marca Pierburg es la fabricante de estas bombas y se han elegido porque es el fabricante que mejor calidad precio presenta. En cuanto al modelo elegido, como ya se ha dicho se ha optado, por el CWA400 debido a que es el único que es capaz de proporcionar el caudal deseado 140 litros/minuto (8,4 m<sup>3</sup>/h).



A continuación de la bomba se encuentra instalada una resistencia de calentamiento.

Es necesaria para el acondicionamiento del agua de refrigeración, pues es la responsable de calentar dicha agua hasta la temperatura de trabajo del motor (90°C). Esta resistencia funciona a través de una señal de PID de temperatura, de forma que varía su resistencia dependiendo si debe calentar. Esta resistencia tiene una potencia de 2,5 kW,

**Ilustración 18.** Resistencia de calentamiento.

### 3.5.1. Mantenimiento del sistema de refrigeración.

La temperatura del refrigerante es la temperatura medida en un punto crítico del circuito, que normalmente es la salida de la culata.

El monitorizado de este síntoma (temperatura elevada) permite determinar funcionamientos anormales del sistema de refrigeración, caracterizados por un aumento de la temperatura superior al rango normal, o por lo contrario, a una disminución de la temperatura.

El sobrecalentamiento es la anomalía más común y peligrosa del sistema de refrigeración. Su aparición puede deberse a las siguientes causas:

- Falta de refrigerante por fugas. (Internas o externas)
- Anomalías en el sistema que reducen el coeficiente de película de transferencia de calor, como herrumbre, suciedad del circuito, etc.
- Bomba de refrigerante defectuosa.

Se establecen unos valores límites, de 75 a 95 centígrados, como valor mínimo y máximo de funcionamiento respectivamente.

El análisis del estado del refrigerante como síntoma permite por un lado monitorizar y determinar el momento más oportuno de cambiar el refrigerante y por otro diagnosticar los fallos del sistema.

La condición del refrigerante depende del tipo utilizado, del tiempo de funcionamiento y del estado de los elementos del sistema de refrigeración, A medida que crece el tiempo de utilización del refrigerante aumenta la contaminación y degradación del mismo. Esto se debe al efecto de los añadidos, la corrosión de las paredes de los conductos y la degradación del aditivo. La mayoría de fabricantes dan de vida de funcionamiento del refrigerante una vida media de dos años.

El refrigerante se puede evaluar de diversas formas: mediante la revisión visual, con lo cual se puede dar un diagnóstico subjetivo de su estado en función del cambio de color u observación de partículas contaminantes como aceite, aire, herrumbre, etc., mediante un densímetro o mediante un refractómetro.

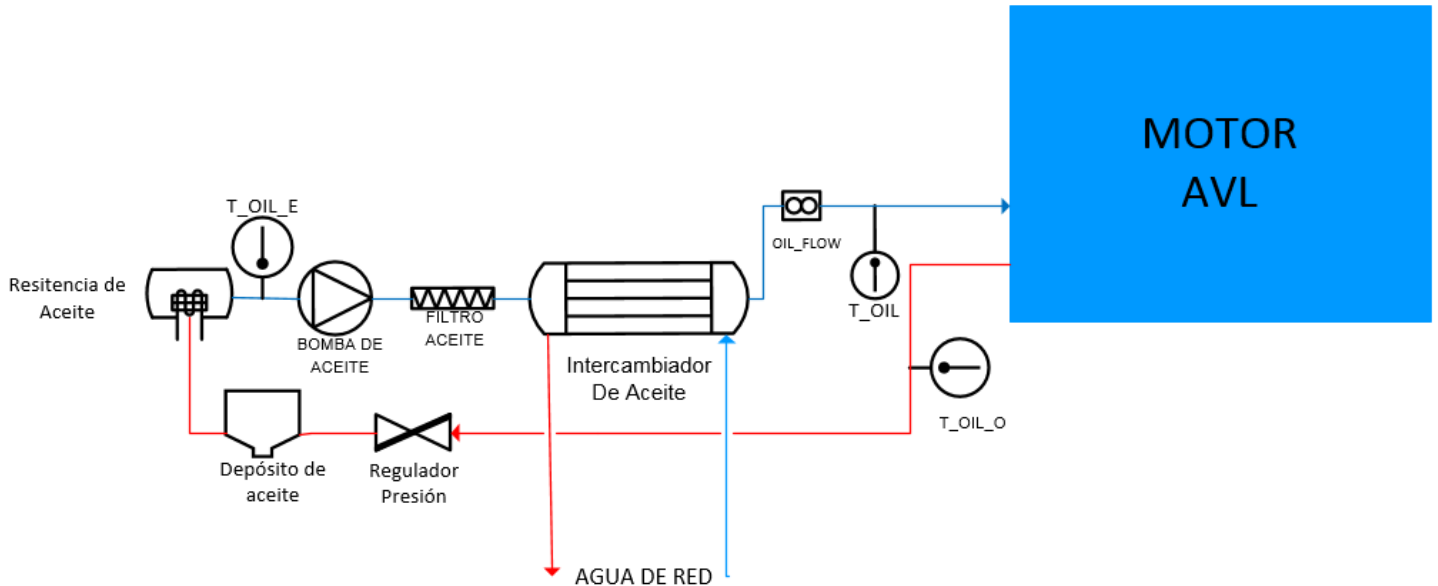
Mediante el refractómetro se puede determinar el grado de degradación del refrigerante, viendo así el número de grados que ha descendido el límite de ebullición del refrigerante.



Ilustración 19. Refractómetro portátil

### 3.6. Sistema de lubricación.

Los condicionantes impuestos por el fabricante es que el circuito de aceite debe ser capaz de suministrar al motor térmico un caudal de aceite aproximado de 300 litros/hora.



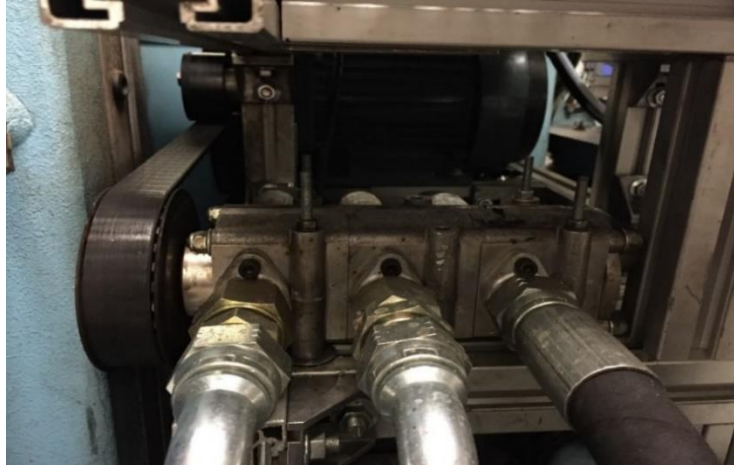
**Ilustración 20.** Esquema del sistema de lubricación.

Este caudal debe ser medido con un caudalímetro para que quede registrado el valor en todo momento. Además, el sistema debe de estar presurizado entre un rango de 3.5 y 4.5 bares. El monitorizado de esta presión es fundamental para asegurar el correcto funcionamiento del motor.

Al tratarse de un motor con cárter de tipo seco, se ha de aspirar el aceite del cárter con otra bomba para garantizar que éste no se presuriza y en todo momento está vacío de aceite. Es por ello que también impone que se debe de mantener toda la parte de desagüe de aceite en depresión y este valor debe ser medido. Esta depresión debe oscilar entre 850mbar y presión atmosférica.

Para cumplir con todos estos requerimientos, se ha cambiado la bomba de engranajes tradicional con la que contaba la instalación por una bomba de tres cuerpos accionada por un motor eléctrico, capaz de alcanzar 15 bares de presión máxima y un régimen máximo de 4000 rpm. El suministrador de este tipo de bombas es Danielson Equipment, empresa dedicada al mundo de la competición de coches. Solo se ha encontrado este suministrador. La bomba se puede observar en la ilustración que se muestra a continuación:





**Ilustración 21.** *Imagen de la bomba de aceite de tres cuerpos.*

A su vez, la bomba es accionada por un motor eléctrico, que es alimentado a través de un variador de frecuencia. De esta forma se tiene control sobre la velocidad de la bomba de tres cuerpos y por tanto de la presión suministrada al motor, así como del vacío del cárter.

El variador de frecuencia es controlado manualmente por el operario desde el puesto de control. Para que la regulación sea más precisa, este circuito también cuenta con una válvula de regulación tarada mecánicamente a la presión nominal de funcionamiento (alrededor de 6 bar).

En el circuito de vacío se cuenta con otra válvula de regulación, pero en este caso el accionamiento es manual, el operario se encargará de mantener en todo momento la presión de aceite en 6 bar y la depresión en el cárter en torno a 800-900 mbar.

### **3.6.1. Mantenimiento del sistema de lubricación.**

Se imponen unos límites de temperatura de funcionamiento de 85 a 95 grados. Si la temperatura es sobrepasada, rápidamente se puede identificar la anomalía y realizar el tipo de mantenimiento que corresponda.

El aceite y el filtro se cambiarán de forma periódica cada 100 horas de funcionamiento y se mantendrá siempre dentro de los niveles. A su vez, como el departamento consta de un laboratorio especializado en lubricación y análisis de lubricantes, se realizarán muestras para determinar el grado tanto de contaminación como de degradación del aceite.

Los parámetros más importantes para determinar el estado del lubricante son:

- TBN: Reservas alcalinas del aceite.
- Contaminación por líquido refrigerante: Importante para determinar si los conductos de lubricación y refrigeración se encuentran comunicados por alguna parte del circuito, que normalmente suele ser por la culata.
- Contaminación por partículas metálicas: Determinan un papel fundamental para el estudio del desgaste del motor, y qué partes son las que pueden estar sufriendo algún tipo de desgaste al producirse levantamiento de material.

### 3.7. Circuito de combustible.

Al tratarse de un motor de investigación, es capaz de realizar combustión mediante inyección directa de gasolina y a su vez mediante la inyección en el colector de admisión. Esto conlleva la necesidad de adaptar el circuito de combustible para cumplir las necesidades del motor.

Para cumplir con las necesidades del motor, se han diseñado dos líneas de inyección dentro del mismo circuito de combustible. Cada una de estas líneas tienen unas características y necesidades totalmente distintas, pero tienen elementos comunes, como la balanza de combustible AVL 733S seguida de un acondicionador de combustible AVL 753C.

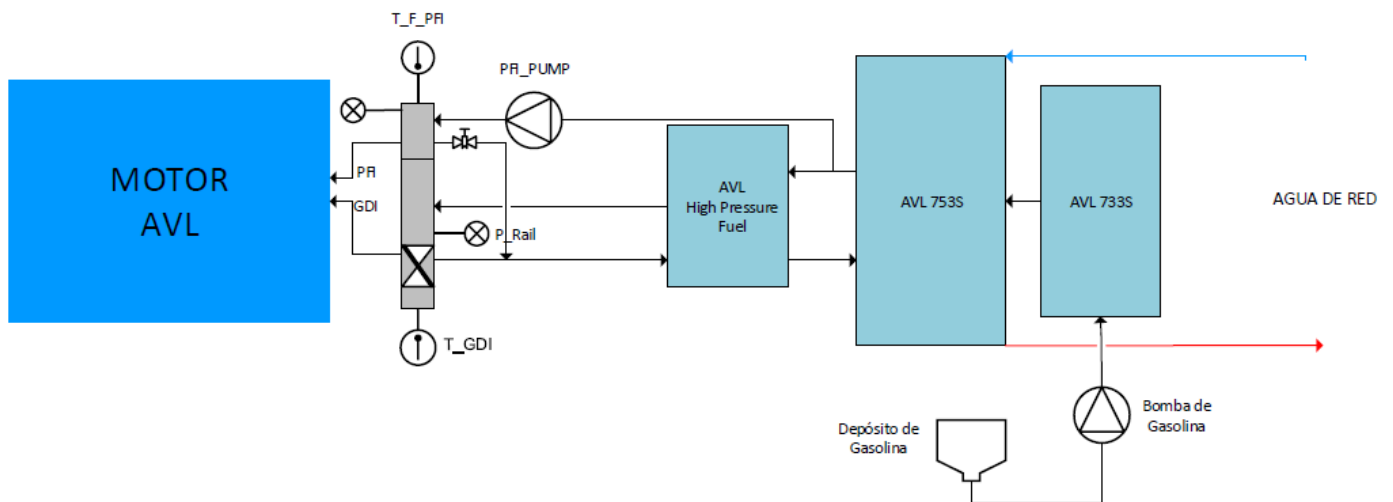


Ilustración 22: Circuito de combustible.

#### 3.7.1 Balanza de combustible. AVL 733S.

Al tratarse de un equipo de medida, en este capítulo únicamente será nombrado como un equipo común a ambas ramas de inyección ya que se explicará en detalle en el siguiente capítulo.

#### 3.7.2 Acondicionador de combustible. AVL 753C.

Para poder acondicionar la temperatura del combustible se ha optado por instalar un acondicionador de combustible de la marca AVL modelo 753C, instalado aguas abajo de la balanza gravimétrica anteriormente mencionada. El acondicionador consta de una resistencia, para poder alcanzar la temperatura deseada y de un intercambiador para poder refrigerar el caudal de combustible, en el caso de querer enfriar en vez de calentar. Dicho intercambiador es regulado por unas válvulas gestionadas eléctricamente. Los conductos de ida al motor y de retorno de combustible están aislados con cartuchos de espuma para disminuir el intercambio de temperatura con el ambiente y así evitar la variación de la temperatura.



Características técnicas:

Ambient temperature:	5 ... 50 °C
Fuels:	Otto (EN228), Diesel (EN590), up to 6% Biodiesel (EN14214) and 20% alcohol With FlexFuel option: up to 100% alcohol and biodiesel
Fuel circulation capacity at 50 Hz:	Standard 240 l/h, optional 450 l/h
Pressure control (option):	feed pressure: ~0 ... 6 bar (rel.) turn pressure: ~0 ... 0.5 bar (rel.) special ranges available on request
Temperature control range:	adjustable from appr.10 °C* ... 80 °C** * depending on cooling water temperature ** depending on heat return flow of the engine and fuel properties – gas bubble formation has to be avoided
Temperature stability:	better than 0.02 °C
Heating power (option):	1.6 kW
Special temperature ranges (option):	-8 °C ... 70 °C -30 °C ... 80 °C
Cooling power:	1.6 kW at 10 °C spread and 0.5 bar cooling water differential pressure
Interfaces:	2x RS232 (AK compliant) Analog 0 ... 10 V (optional) Digital I/O (optional)
Power supply:	230 V, 50 Hz 220 V, 60 Hz (option) 100 V, 50-60 Hz (option) 115 V, 60 Hz (option)
Power consumption:	0.4 kW
Power consumption with heating option:	2.25 kW
Dimensions:	770 x 910 x 345 mm (W x H x D)
Weight (dry):	90 kg (95 kg with heating option)

Tabla 2. Características AVL 753C.



Ilustración 23. Imagen del acondicionador.

### 3.7.2.1 Mantenimiento AVL 753C.

En lo referido al mantenimiento del acondicionador, el fabricante recomienda:

#### Maintenance Schedule

The system warns automatically when particular components require replacement (error 16, "execute maintenance").

In addition, the system includes some filters, the contamination of which depends on the circumstances of application. Checking once every quarter is recommended:

Components (see <i>System Components</i> on page 89)	Service interval / lifetime	Maintenance recommended	Replacement recommended	Method
Leak check of fuel circuit	Weekly	Visual check	—	—
Fuel filter (1) (standard filter)	Depends on the return flow contamination max. 1,000 h	—	After warning (at least 4 times per annum)	replacement (chapter <i>Fuel Filter</i> on page 176)
Return filter option (metal) (1)	Depends on the return flow contamination max. 1,000 h	After warning (at least 4 times per annum)	Replacement required after cleaning 4 times	Clean in ultrasonic bath or with compressed air (max. 4 times), then replace (chapter <i>Fuel Filter</i> on page 176)
Venting filter (9)	Depends on the return flow contamination max. 1,000 h	After warning (at least 4 times per annum)	Replacement required after cleaning 4 times	Clean in ultrasonic bath or with compressed air (max. 4 times), then replace (chapter <i>Fuel Filter</i> on page 176)
Dirt trap (20), circuit filter (26)	Depends on the return flow contamination max. 4,000 h	After warning (at least 2 times per annum)	—	Clean in ultrasonic bath or with compressed air
Cooling valves (28)	25 million actua- tions	Sealing test twice per annum (chapter <i>Cooling Valve Leakage Test</i> on page 176)	After warning	replacement (chapter <i>Valves</i> on page 183)
Overflow valve (valve ball) (27)	max. 4,000 h	Visual inspection of valve ball for wear	After warning	replacement
Main flow valve (2) (not existing in the AVL 753C-600)	1 million actua- tions	—	If faulty	chapter <i>Valves</i> on page 183
Venting valve (10)	Replacement after 500,000 actua- tions, mainte- nance after 1,000 actuations	Sealing test twice per annum or if error 16, "Execute maintenance" occurs and the maintenance limit of the venting valve is exceeded (chapter <i>Fuel Circuit Leakage Test</i> on page 173)	After 500,000 actuations	chapter <i>Valves</i> on page 183
Fuel pump (3)	10,000 h	Sealing test 4 times per annum (chapter <i>Fuel Circuit Leakage Test</i> on page 173)	After warning	chapter <i>Fuel Pump</i> on page 179
Flow switch (4), fuel circuit	30,000 h	—	After 10,000 h	replacement (chapter <i>Flow Switches</i> on page 186)

Components (see <i>System Components</i> on page 89)	Service interval / lifetime	Maintenance rec- ommended	Replacement recommended	Method
Flow switch (23), cooling water circuit	30,000 h	—	After 10,000 h	replacement (chapter <i>Flow Switches</i> on page 186)
Water circuit and Heating Option (24)	Depends on cooling water tem- perature and con- ditioning temperature max. 4,000 h	Decalcify at least 2 times per annum or Error 16 "Exe- cute maintenance"	—	Cleaning the complete water circuit using a cleansing agent (chapter <i>Cleaning the Water Circuit</i> on page 178)
Dessicator pouch for Option Heating (24)	2 times per annum or monthly, when condensate formation is high	2 times per annum or if required	After very check	Remove cover from hea- ting element and replace dessicator pouch.  Perform visual check of safety thermostat (check for rust at the electrical connectors). Replace whole heating element when connectors are corroded.
Motor fan, fan electronics box	Weekly	Visual check	Intake filter, extracted air filter (upon request)	—

**Tabla 3.** *Mantenimiento Acondicionador de Combustible.*

Para realizar cada una de las tareas de mantenimiento, se recomienda seguir las operaciones de trabajos especificadas en el manual del sistema.

### 3.7.3 AVL GDI High Pressure Unit

Este equipo se encuentra aguas abajo del acondicionador de combustible. Es necesario para aumentar la presión de combustible hasta la presión de trabajo de un inyector GDI.

Permite la variación de la presión en el raíl desde 15 bar como presión mínima hasta una presión máxima de 200 bar.

General		
Ambient Temperature	°C	+ 5 ... + 55
Humidity		Not condensing !
Electrical connection	V/Hz	3 x 400 VAC +/- 10% – PE 50 / 60 Hz
Connected load	kVA	approx. 3
Dimension	H / W / L	500 x 650 x 660 mm
Weight	kg	80
Fuel Temperature	°C	Fuel feed: 15 ... 60 Return max. 70
Fuel pressure, outlet	MPa	5 ... 20
In grace protection	IP	55
Media (fluid)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• gasoline acc. EN228</li> <li>• diesel acc. EN590</li> <li>• admixtures of up to 100 % by volume of ethanol</li> </ul>

Tabla 3. Características AVL GDI High Pressure Unit.



Ilustración 24: Carro de alta presión AVL GDI High Pressure Unit.

#### 3.7.3.1 Mantenimiento AVL GDI High Pressure Unit

Interval	Component
Daily	Check hoses, pipe lines, check for leakages
After first start-up	pipe lines, hoses, connections
After 50 operating hours	Initial change gear oil on high pressure fuel pump
After 500 operating hours and yearly	Initial change gear oil on high pressure fuel pump Change fuel filter cartridge
Approx. every 2'000 operating hours	Clean or exchange heat exchanger

*Maintenance Overview*

Tabla 4. Mantenimiento AVL GDI High Pressure Unit

La salida del sistema es conectada al raíl de inyección, donde se encuentran alojados los sensores de presión, temperatura y la válvula eléctrica de regulación de presión. Este raíl dispone de un conducto de retorno de combustible que lo lleva de vuelta al carro de inyección.

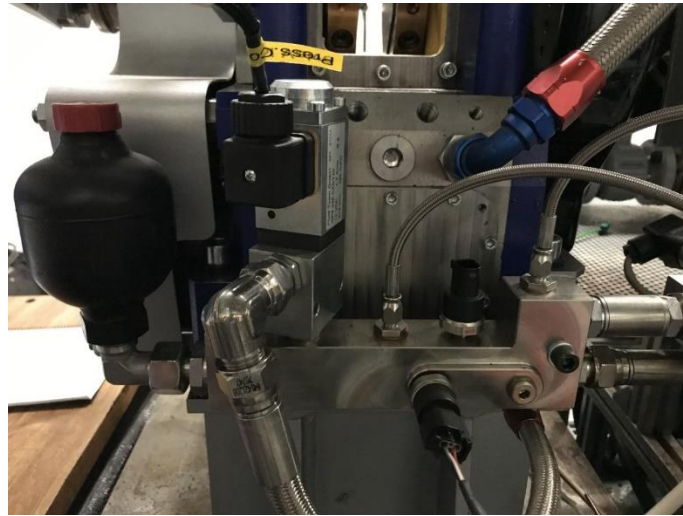


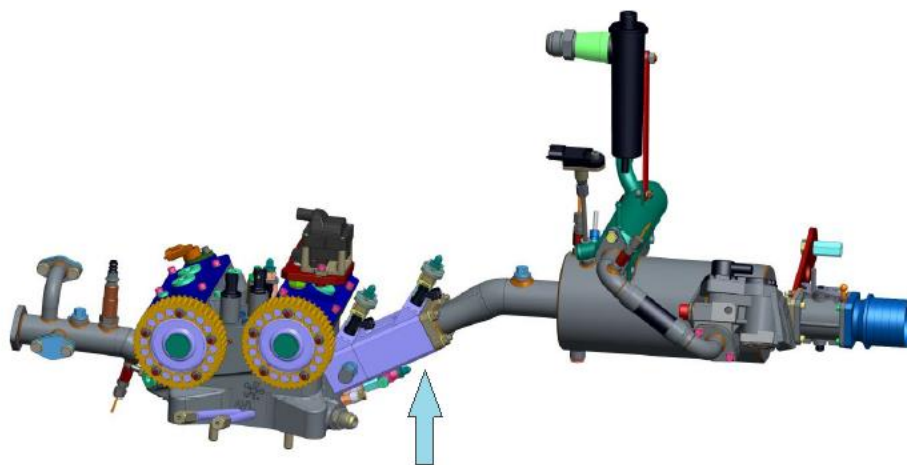
Ilustración 25: Rail del sistema GDI.

De la salida del raíl se divide en dos sistemas de inyección:

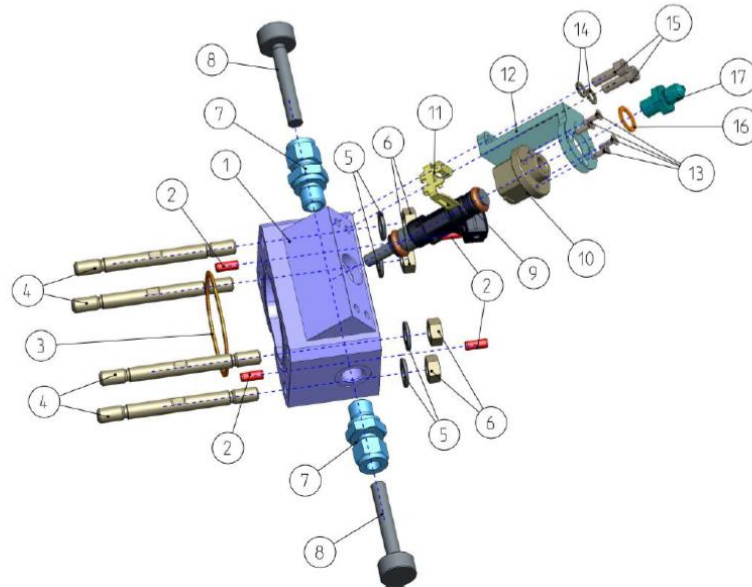
- **Port Fuel Injection (PFI).**

El diseño que se ha utilizado más hasta la fecha es el que inyecta el combustible directamente en el aire de admisión.

El combustible se pulveriza en el aire de la admisión para conseguir la mezcla de aire y gasolina necesaria. En función de las necesidades de cada momento, la válvula permite controlar la mezcla, que puede ser rica o pobre. Al abrir la válvula, la mezcla entra en la cámara de combustión. Este sistema se llama **PFI (del inglés Port Fuel Injected)**.





*Intake manifold injector explosion***Ilustración 26:** Sistema de inyección de gasolina en el colector de admisión.

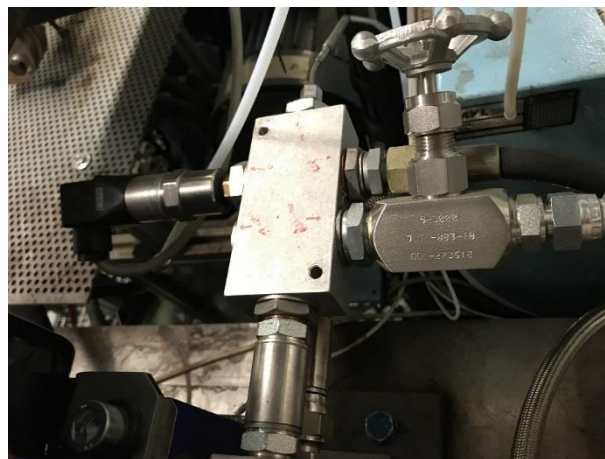
Para realizar este tipo de inyección, se ha montado un sistema auxiliar independiente al motor.

Este circuito consta de una bomba de combustible capaz de suministrar el combustible a una presión máxima de 10 bar. A continuación de la bomba, se encuentra un raíl en que se alojan los sensores de temperatura y de presión media.

El sensor de temperatura se trata de una termorresistencia de tres hilos. El sensor de presión es de la marca Wika y el rango de medida es de 0 a 10 bar en presión relativa.

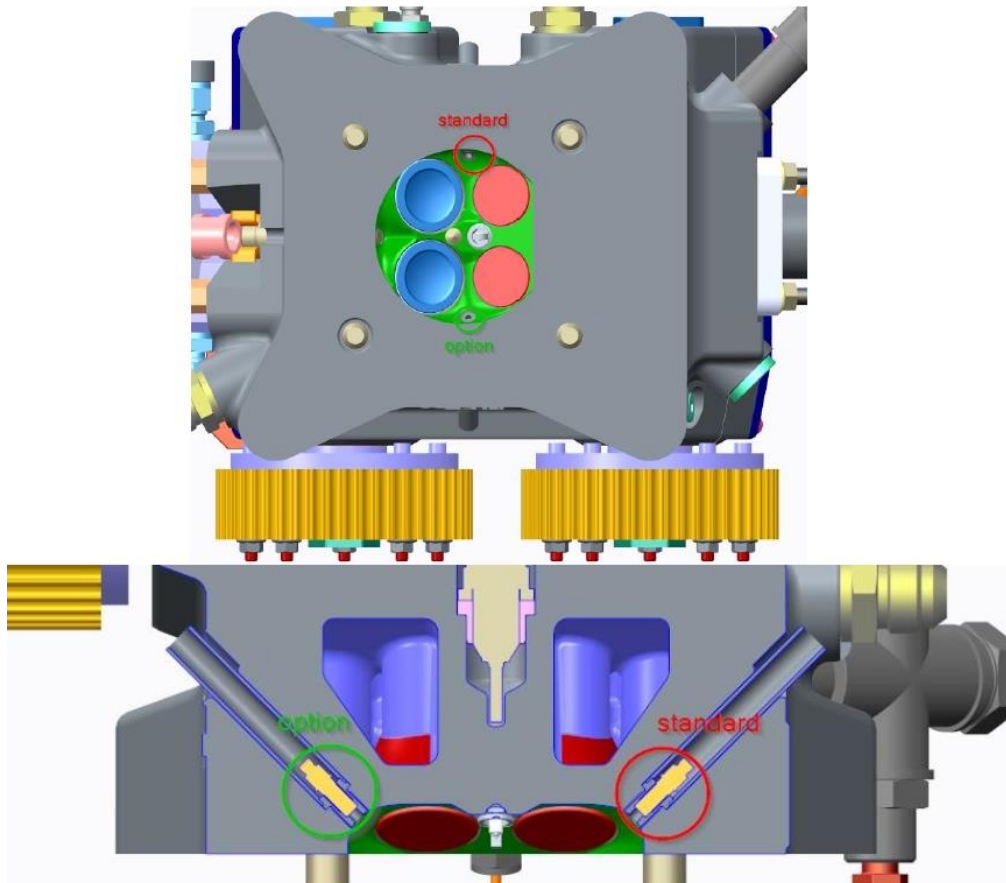
La presión de inyección se regula de forma manual mediante una válvula de aguja que alivia combustible al sistema de retorno. La presión se mantendrá dentro del rango de actuación de los inyectores de PFI, que suele oscilar entre 5-9 bar, dependiendo del tipo y finalidad de cada inyector.

El raíl es conectado al inyector mediante un latiguillo metálico.

**Ilustración 27:** Raíl del sistema PFI.

- **Gasoline Direct Injection (GDI).**

GDI son las siglas en inglés de Inyección Directa de Gasolina (Gasoline Direct Injection). Funciona a través de un sistema que consigue inyectar directamente el combustible en la cámara de combustión en lugar de hacerlo sobre la válvula de admisión, como era habitual en la mayoría de vehículos que montaban motores de inyección multipunto hasta su irrupción en el mercado.



**Ilustración 28:** Posición del inyector GDI.

El objetivo más importante no es otro que reducir el consumo de combustible y con éste también las emisiones de escape. Las emisiones de hidrocarburos, óxidos nítricos y monóxido de carbono se reducen hasta un 99% con la intervención de un catalizador de tres vías. Por su parte, el dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, que se produce con motivo de la combustión, y aun que no es venenoso es el causante del “efecto invernadero”, sólo se puede reducir a base de disminuir el consumo de combustible.

Para realizar este tipo de inyección, se ha montado un sistema auxiliar de alta presión de gasolina, que consta del siguiente equipamiento:

La salida del sistema es conectada al raíl de inyección, donde se encuentran alojados los sensores de presión, temperatura y la válvula eléctrica de regulación de presión. Este raíl dispone de un conducto de retorno de combustible que lo lleva de vuelta al carro de inyección.

### 3.8 Circuito de EGR

La recirculación de gases de escape o EGR (en Inglés Exhaust gas recirculation ) es un sistema utilizado desde principios del 1970, que consiste en redirigir una parte de los gases de escape de los motores de combustión hacia el colector de admisión, para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno.

El sistema de EGR funciona principalmente, a baja carga del motor y a baja velocidad. La proporción de gas recirculado se adecua para cada motor sobre la base de los estándares de contaminación para respetar el equilibrio entre las emisiones de óxidos de nitrógeno y de partículas. El endurecimiento de las normas de emisión conllevó un aumento de la necesidad de usar el sistema de EGR.

Para analizar en profundidad toda la casuística de ensayos del motor, se ha montado un sistema completo de EGR para el motor AVL.

El esquema del sistema de EGR es el siguiente:

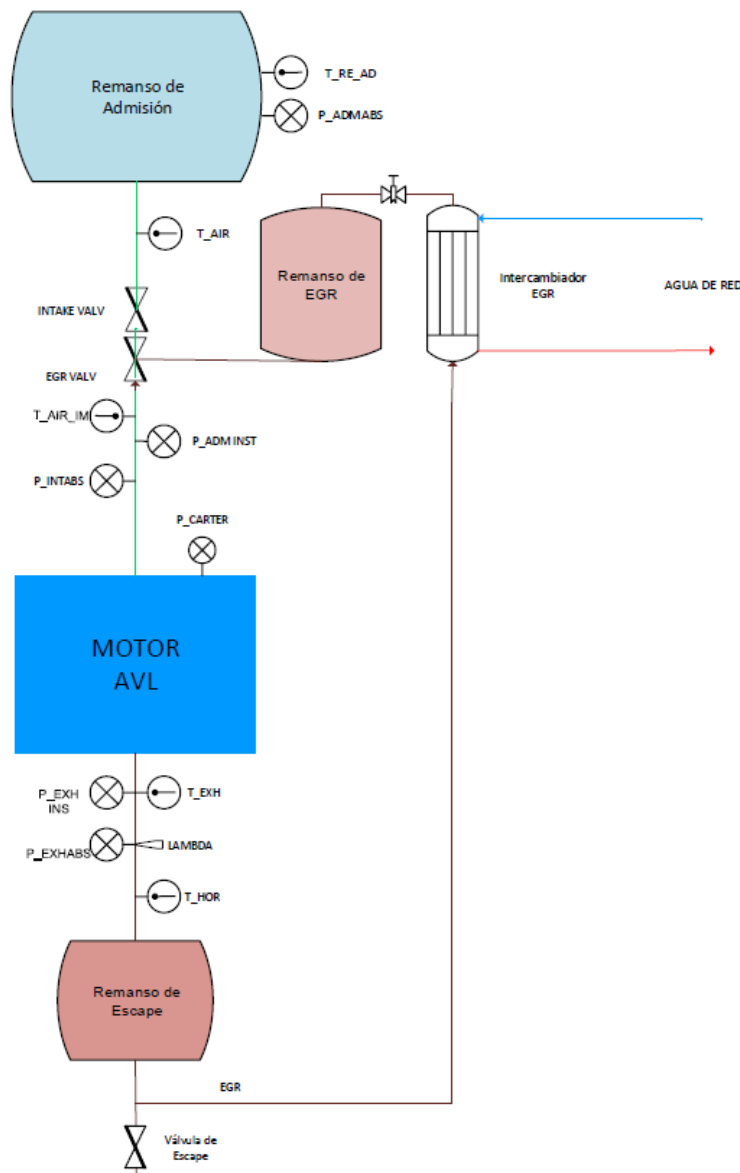
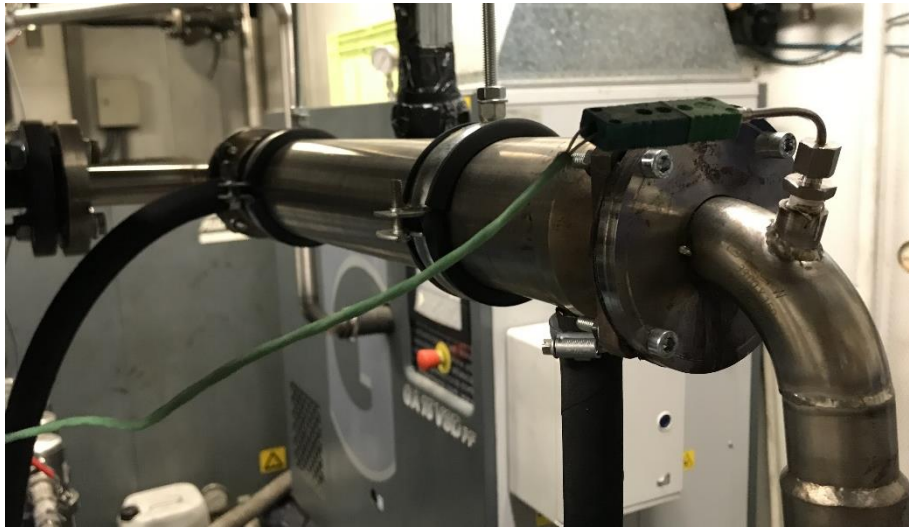


Ilustración 29. Esquema Circuito EGR



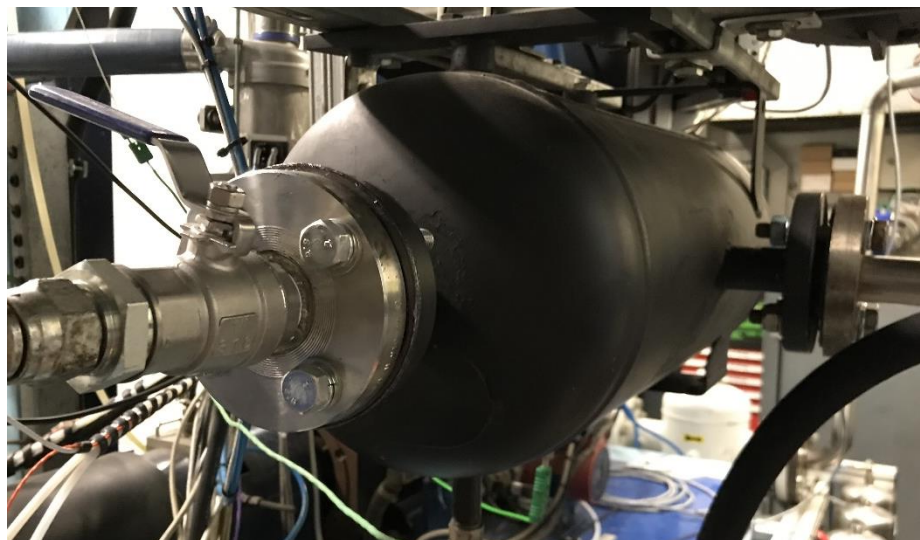
Las válvulas de contra presión situadas a la salida del remanso generan una presión en el interior del remanso por encima de la presión atmosférica. Esto genera una circulación de los gases de escape hacia el circuito de EGR.

Una vez direccionado hacia el circuito, los gases de escape pasan a través de un intercambiador de calor para bajar la temperatura de éstos antes de introducirlos nuevamente en la admisión. Este intercambiador lleva instrumentado un sensor de temperatura (termopar tipo K) a la entrada y otro a la salida, para ver la reducción de temperatura.



**Ilustración 30:** Intercambiador de calor carcasa y tubos del sistema de EGR.

A continuación del intercambiador hay instalado un remanso, para atenuar las posibles ondas que lleve el flujo de gases.



**Ilustración 31:** Remanso de EGR.

Para finalizar el circuito de EGR se encuentra la válvula, comandada desde el software INCA a través de la ECU propia del motor.

### **3.8.1. Mantenimiento circuito de EGR.**

Las tareas de mantenimiento de este circuito son principalmente de limpieza de componentes por la cantidad de hollín que se genera por los gases de escape. Por ello, durante las paradas programadas de mantenimiento se realizarán:

- Limpieza de válvulas de escape. Eliminación de hollín y lubricación de ejes y vástagos.
- Soplado de las electrónicas de las válvulas de escape.
- Limpieza de los tubos del intercambiador de calor.

## 4. Instrumentación y equipos de medida.

### 4.1 Sistemas de regulación y medida de par y régimen.

Este sistema permite estabilizar el motor en el punto de funcionamiento deseado controlando el régimen de giro y midiendo el par producido por el motor. El elemento principal de este sistema es el freno dinamométrico, encargado de disipar la potencia generada por el motor, en forma de calor y electricidad. Cuando trabaja como freno, la corriente eléctrica generada se revierte a la red.

El sistema de frenado tiene la posibilidad de trabajar a régimen constante o a par constante. En este caso se trabaja a régimen constante ya que permite una regulación más precisa. El dinamómetro empleado en la instalación, es un freno de corriente alterna tipo AFA refrigerado mediante circulación de agua forzada, cuyas características se detallan a continuación:

- Marca: AMK
- Velocidad máxima: 7000 rpm.
- Potencia máx. permitida: 38 KW.
- Par máx. permitido: 120 Nm.

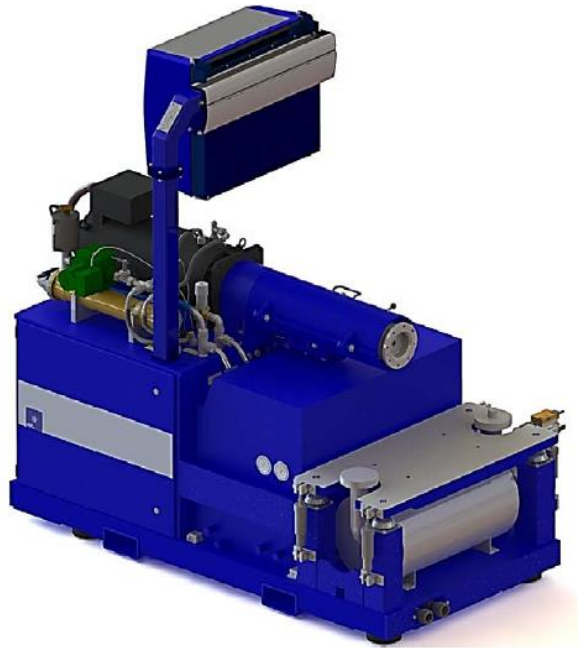


Ilustración 32: Torquímetro.

La medida de par es realizada por un torquímetro, el cual está montado en el propio eje de rotación de todo el conjunto motor-transmisión- torquímetro-dinamómetro.

Esta medida se realiza con un torquímetro de la marca alemana GIF consistente en un cuerpo de una sola pieza con un sistema sin cojinetes. La torsión de la sección de medida es registrada mediante galgas, convirtiéndose en una señal de voltaje

eléctrico y transmitida sin contacto por medio de una luz infrarroja modulada hasta el estator.

El límite de medida de este elemento es de 250 Nm, y un régimen de giro máximo de 7000 rpm.

El régimen es medido gracias a un sensor electromagnético ubicado en el dinamómetro. Para medir cualquier parámetro en función del régimen de giro, el par motor efectivo tiene que ser igual al par resistente del freno. En esta situación el régimen se mantiene constante. Por tanto, el freno dinamométrico actúa para mantener dicha igualdad al alcanzar un régimen de consigna gracias a las señales del sensor de régimen y la señal del torquímetro.

#### 4.1.1 Mantenimiento

Las operaciones de mantenimiento deben ser solo realizadas con el sistema frío, despresurizado y apagado. (Agua refrigerante, aceite lubricante, aire comprimido y la fuente de alimentación este apagado).

A continuación se muestran los tiempos de mantenimiento para las operaciones a realizar al torquímetro.

Intervalo	Componente	Mantenimiento	Reemplazo	Objetivo
Diario	<b>Mangueras y Conexiones</b>	Comprobación visual	Cada 5 años	
Regularmente	<b>Sensor de Caudal</b>	Sin mantenimiento, comprobación visual de fugas		
Regularmente	<b>Válvula de Agua refrigerante</b>	Sin mantenimiento, comprobación visual de fugas		
Regularmente	<b>Bomba refrigerante</b>	Sin mantenimiento, revisión de las conexiones de la bomba		
Cada 200 horas de operación	<b>Aceite</b>	Cambio	Aceite	Enfriar el circuito de aceite antes del cambio
Cada 400 horas de operación	<b>Filtro de Aceite</b>	Cambio	Filtro de aceite	
500...2000 horas de operación	<b>Tubos del intercambiador de calor</b>	Limpieza	Si los 2 ánodos están totalmente estropeados	
Tras 2000h de operación	<b>Dinamómetro</b>	Lubricación de los rodamientos		
Dos veces al año	<b>Cadenas de medida y sensores de presión</b>	Calibración		
Anual	<b>Brida de medición de par</b>	Sin mantenimiento		Limpie el plato con aire comprimido, limpiar el sensor con un palo de

				algodón seco, no utilizar disolventes
Anual	<b>Brida de medición de par</b>	Calibración		
En demanda cada 5 años	<b>Dinamómetro unidad refrigerante</b>	Revisión visual del nivel de llenado y de fugas en el sistema	Agua-glicol mezcla de 50% de anticongelante de automóvil con agente anticorrosivo y 50% de agua	Rellenar, Revisar intercambio
En caso de caída de potencia	<b>Plato de refrigeración</b>			Limpiar los conductos de refrigerante con un cepillo de plástico
	Brida de apriete	Re lubricación		
	Muelles y elementos de plato	Sin mantenimiento, revisión visual para búsqueda de fugas y sonidos inusuales		
	Sistema Acondicionado AVL 577			

Tabla 6. Mantenimiento Torquímetro.

#### 4.1.2. Unidad dinamométrica de refrigeración

Es obligatorio protegerse con ropa y gafas especiales para este tipo de proceso cuando se produzca el llenado o rellenado del sistema de refrigeración y asegurarse de que el circuito está frío y no se encuentra bajo presión.

Observe las indicaciones del fabricante en seguridad para el uso de refrigerantes.

- 1- Cambiar el refrigerante al menos cada 5 años. Los casquillos fijados en el dinamómetro y los tubos del intercambiador se encuentran preparados para esta operación. Una mezcla con un máximo de 50% de glicol, anticongelante más un agente anticorrosión y un 50% de agua se debe de usar como refrigerante. El rellenado se realiza a través del vaso de expansión.
- 2- Comprobar que la unidad refrigerante del dinamómetro no tiene fugas en las mangueras, puntos de conexión y los componentes a intervalos regulares. Se debe prestar una atención especial a la unidad de inversión refrigerante en la cabina de cambio para evitar cortocircuitos.
- 3- Comprobar que el indicador de nivel en el vaso de expansión para revisar en caso de que haya una pérdida de refrigerante. Si el nivel de refrigerante disminuye, cierre todo el banco de prueba y compruebe todo el sistema de refrigeración.

En las cámaras laterales de conexión de tubos, hay 2 nodos en agujeros ciegos de paso 3/8" que se convierten en agujeros pasantes cuando los nodos se encuentran totalmente consumidos. En este momento es necesario reemplazarlos.

- El trabajo de mantenimiento se debe efectuar después de 500h hasta 2000h de trabajo y/o cuando el sistema pierda ventilación y/o sea necesario limpiar el intercambiador de calor.
  - Los tubos pueden ser limpiados con agua a presión, los residuos persistentes pueden ser quitados con cepillos de plástico.
  - Alrededor de los tubos, solo se puede limpiar químicamente. Para descalcificar químicamente a través y alrededor de los tubos, use un limpiador que se adecue a los respectivos materiales
- El sistema debe de abrirse para que escapen los gases. Hay que estar seguros de que esos gases no sean inhalados. Para neutralizar, limpiar con un 5% de solución de carbonato sódico ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

#### **4.1.3 Lubricación del dinamómetro**

- Lubricar los rodamientos del dinamómetro con rodamientos de 5gr engrasados de tipo Rhenus Norplex LKP2 después de 2000 horas de operación.

#### **4.1.2. Calibración del torquímetro**

Riesgo de lesión durante montaje y calibración mientras se encuentre en funcionamiento

Cuando se monten o calibren partes en rotación en el banco de pruebas, el botón de emergencia de parada debe de estar presionado y el interruptor principal del banco de pruebas para mono cilíndrico debe de apagarse. El torquímetro está suministrado por voltaje externo y no por medio del banco de pruebas.

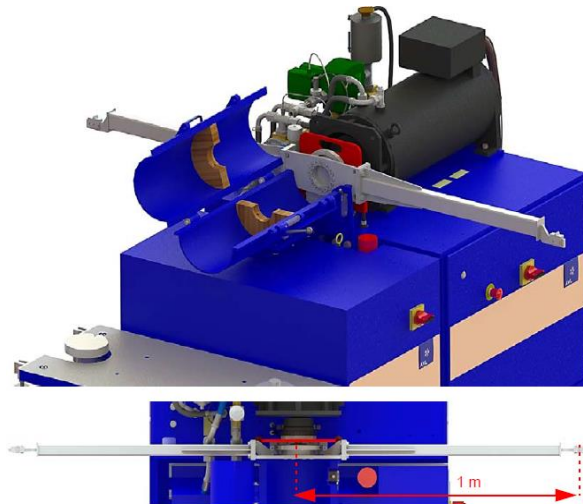
El brazo de calibración está diseñado para calibrar el torquímetro HBM. Es capaz de calibrar pares de hasta 500 Nm.

- 1- Para medir el par de manera estática y calibrar el torquímetro, siempre se debe de apagar el interruptor principal del banco de pruebas.
- 2- Desconectar la conexión elástica del eje del torquímetro y retirarla completamente
- 3- Montar el elemento de bloqueo
  - Para fijar la unidad de bloqueo, primero desatornillar los tornillos M10x40 de la torquímetro, rosca dentada y la conexión de soporte del eje.
  - Después fijar la unidad de bloqueo a la torquímetro con cuatro tornillos M10x40. Con este propósito, puedes introducir los tornillos a través de las aberturas en la torquímetro hacia el frente.



**Ilustración 33:** Plato de adaptación al torquímetro

- 4- Se debe montar el brazo de calibración en la torquímetro con los ocho tornillos M10x35 (DIN 6912). Para el montaje del brazo la cobertura no tiene que ser retirada.
- 5- El pie en la izquierda y la parte derecha del elemento de bloqueo sirve para ajustar el brazo en la horizontal. La altura se debe de nivelar con una llave Allen. La torquímetro es suministrada con un voltaje del sistema PUMA o del sistema de evaluación para comprobar el resultado de salida incluso aunque el interruptor se encuentre en la posición de apagado. Para saber más del calibrado, se debe de consultar el manual de la torquímetro.



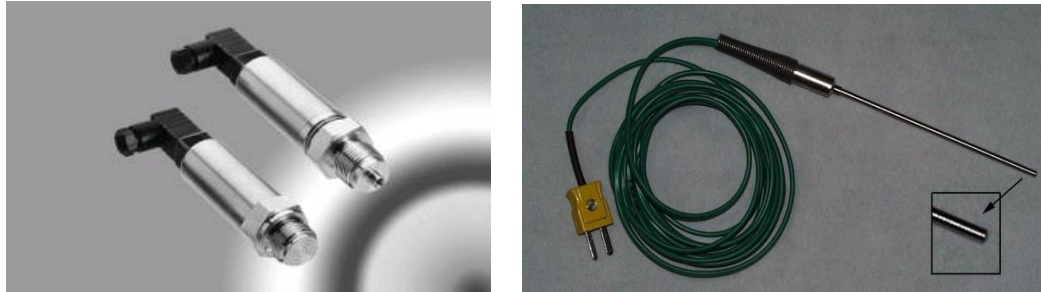
**Ilustración 34:** Brazos de calibración del torquímetro.

- 6- Antes de reiniciar la marcha del motor, se necesita quitar el elemento de bloqueo del brazo de calibración.
- 7- Monte la torquímetro, la arandela dentada, la conexión de la brida de apriete con cuatro tornillos M10x40.



#### 4.2 Transductores de presión y temperatura media utilizados.

Para medir la presión media en los puntos de la instalación experimental en los que se ha considerado oportuno se han instalado transductores comerciales de la marca PMA, concretamente el modelo P40. Todos los sensores incluidos son de tipo piezorresistivo y tienen un rango de medida de 0 a 10 bar o de 0 a 6 bar.



**Ilustración 35.** Transductor de presión (Izq.) – Termopar encamisado (Der.).

Estos transductores se encuentran en los siguientes puntos: Caudalímetro de aire volumétrico, remanso de admisión (señal para PUMA), remanso de admisión (señal para PID del compresor), colector de escape, salida del compresor de EGR, presión de aceite, presión de aceite en el cárter y presión en el retorno del inyector, presión de inyección para el inyector de PFI.

Para la medida de las temperaturas medias se ha optado por la instalación de termopares tipo K, sin recubrimiento en el caso de los gases limpios (admisión), y con recubrimiento de protección en el caso de los gases sucios (escape y EGR). El rango de medida de estos termopares es de 0 a 1100° C, con una precisión de  $\pm 2,5^\circ \text{C}$  (Figura 20).

La temperatura media de los líquidos de los sistemas de lubricación, refrigeración y alimentación de combustible se mide a la entrada y la salida mediante termorresistencias de tipo Pt100, con un rango de medida entre -250 y 850° C, y una precisión de  $\pm 0,3^\circ \text{C}$ . La conexión utilizada es la de 3 hilos.



Este es el método más ampliamente utilizado en las instalaciones industriales. La mayoría de los reguladores de temperatura que hay en el mercado tienen la entrada de lectura de sonda Pt-100 adaptada para leer sondas de 3 hilos.

Con este sistema se evita en gran parte, el error de medida atribuible a la resistencia de los cables de conexionado.

**Ilustración 36.** Termorresistencia PT100 3 hilos.

### 4.3 Sensores de variables instantáneas.

Son utilizados para adquirir señales que por su importancia son necesarias con una resolución de adquisición muy elevada, por lo que se ha optado por instalar sensores que permiten su adquisición a alta frecuencia.

Dentro de los sensores utilizados hay que diferenciar los de tipo piezorresistivo y los de tipo piezoeléctrico. Éstos funcionan de la siguiente forma:

#### 4.3.1. Piezorresistivos.

El efecto piezorresistivo describe cambios en la resistencia eléctrica de un material, tras aplicar estrés mecánico. En este caso una presión.

A diferencia de los transductores resistivos, los piezorresistivos utilizan semiconductores como cintas extensiométricas en vez de metal y la deformación provoca en este caso una variación de la resistencia específica. La resistencia eléctrica varía proporcionalmente con la resistencia específica.

La instalación está dotada de los siguientes sensores de presión piezorresistivos:

- **Sensor de presión en el PMI**

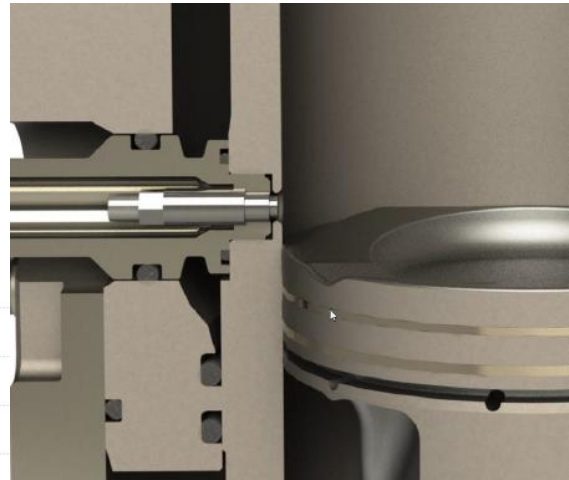
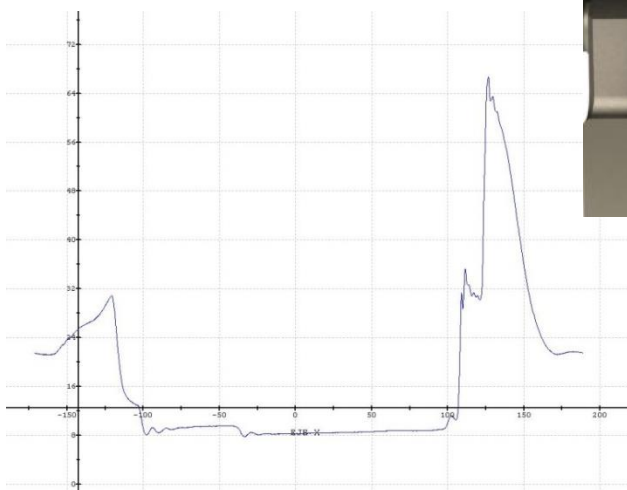
Se encuentra alojado en la camisa del cilindro, en el punto muerto inferior del motor.

Marca-modelo: Kistler 4007BA20FA2.

Rango de medida: 0 a 20 bares.

Sobrecarga: 30 bar.

Rango de temperatura: -40 / 200°C.



**Ilustración 37.** Señal del sensor de PMI recogida por la cadena de medidas (Izq.) – Sensor PMI (Der.).

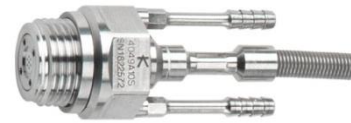
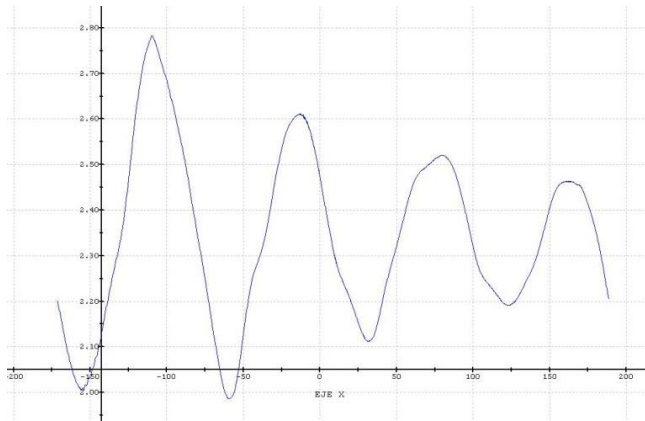
- **Sensor de presión de admisión:**

Marca-modelo: Kistler 4049A10SP2.

Rango de medida: 0 a 10 bares.

Sobrecarga: 25 bar.

Rango de temperatura: 0 / 5500°C.



**Ilustración 38.** Señal del sensor de presión en el colector de admisión recogida por la cadena de medidas (Izq.) – Imagen del sensor de presión en el colector de admisión (Der.).

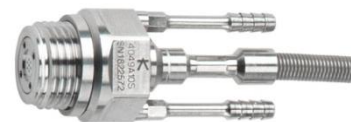
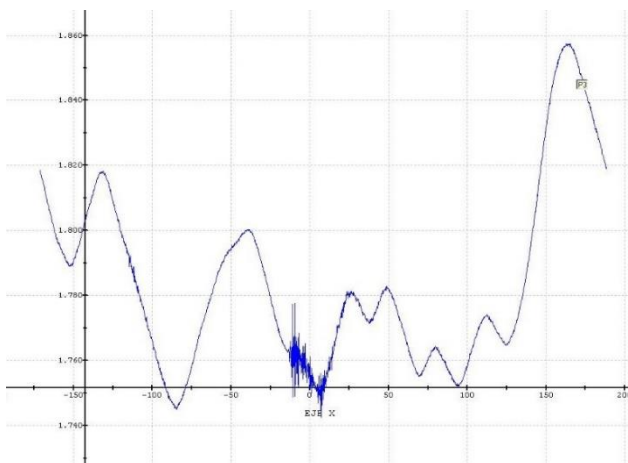
- **Sensor de presión en el colector de escape:**

Marca-modelo: Kistler 4049A10SP2.

Sobrecarga: 25 bar.

Rango de medida: 0 a 10 bares.

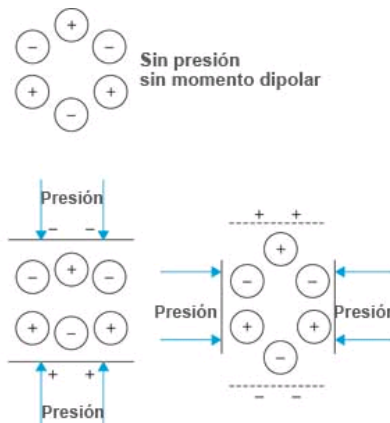
Rango de temperatura: 0 / 550°C.



**Ilustración 39.** Señal del sensor de presión en el colector de escape recogida por la cadena de medidas (Izq.) – Imagen del sensor de presión en el colector de escape (Der.).

### 4.3.2 Piezoeléctricos.

El principio de los sensores piezoeléctricos se basa en un efecto físico que sucede en unos pocos cristales no conductivos como el cuarzo. Cuando se comprime el cuarzo se produce una polarización eléctrica en superficies opuestas. La deslocalización de la estructura cristalina con carga eléctrica genera un momento dipolar que se refleja en una (aparente) carga de superficies. La intensidad de la carga es proporcional a la fuerza empleada por la presión y la polaridad depende de la dirección. La tensión eléctrica generada por la carga de la superficie puede captarse y amplificarse. El efecto piezoeléctrico es apto únicamente para la medida de presiones dinámicas. En la práctica se limita el uso de sensores piezoeléctricos a aplicaciones especiales.



**Ilustración 40.** Efecto de la presión sobre un sensor piezoeléctrico.

Se dispone del siguiente sensor de presión piezoeléctrico:

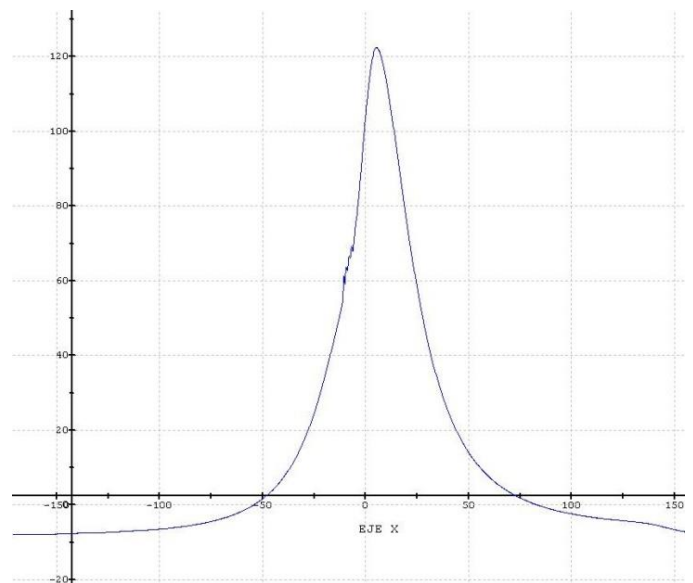
- Sensor de presión en cámara:

Marca-modelo: AVL GH14D.

Sobrecarga: 300 bar

Rango de medida: 0 a 250 bares.

Rango de temperatura: -40 / 400°C.



**Ilustración 41.** Señal del sensor de presión en cámara recogida por la cadena de medidas (Der) – Imagen del sensor de presión en cámara (Izq.).

#### 4.4 Pinzas amperimétricas.

- **Inyectores y primario**

Las medidas del pulso de inyección y el primario de la bobina de encendido se realizan mediante una pinza amperimétrica y su amplificador, ambas de la marca Kistler, que es capaz de medir la diferencia de potencial generada por la circulación de corriente a través del cable. Esta medida se monitoriza para asegurar que los sistemas funcionan correctamente y para conocer el ángulo exacto en el que comienzan los pulsos.



*Ilustración 42. Conjunto de amplificadores y pinzas amperimétricas.*

El tipo de pinza se trata del modelo 2105 A20.



*Ilustración 43. Detalle de la pinza 2104 A20*

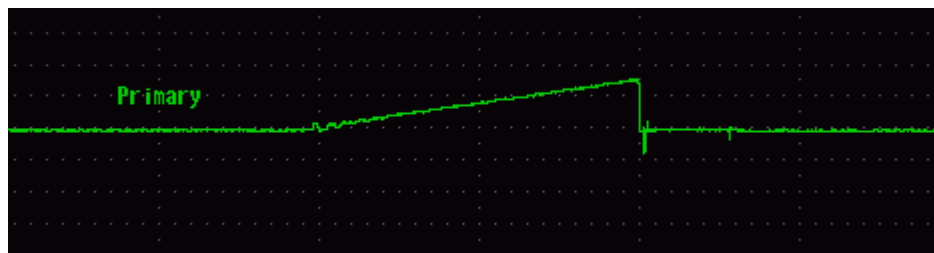
### Technical Data Type 2105A20

Output Signal		
Output signal depending on sensor sensitivity 10 mV/A / 100 mV/A	VDC	±10
Connections		
Voltage supply	–	6-pin Spring-contact
Input signal/Sensor <sup>1)</sup>	Type	Binder M8/4-pin Series 768
Output signal	Type	BNC neg.
Signal delay time	typical max.	1 µs 1,5 µs
Dimensions (LxWxH)	mm	65x55x23
Weight	g	85
Degree of protection	IP	40
Housing material <sup>2)</sup>		Plastic
Operating temperature range	°C	–25 ... 80

<sup>1)</sup> For connecting sensors of Type 2105A30

<sup>2)</sup> The plastic housing is oil- and gasoline-resistant

**Tabla 7.** Características técnicas Pinza amperimétrica.



**Ilustración 44.** Señal del pulso de inyección recogida por la cadena de medidas (Izq.) – Imagen de la pinza amperimétrica(Der.).

- **Colector**

La señal medida en el colector es monitorizada mediante una pinza amperimétrica Testec.



	TT-SI 9001
Bandwidth	DC to 25MHz (-3dB)
Attenuation Ratio	1:10 / 1:100
Accuracy	±2%
Rise Time	14ns
Input Impedance	4MΩ // 5,5pF each side to ground
Input Voltage - Differential Range	1:10 ±70V (DC+peak AC) or 70Vrms 1:100 ±700V (DC+peak AC) or 700Vrms
Input Voltage - Common Mode Range	1:10 and 1:100 ±700V (DC+peak AC) or 700Vrms
Input Voltage - Absolute Max. (Differential or Common)	1:10 and 1:100 ±1400V (DC+peak AC) or 1000Vrms
Measurement Category	CAT III
Output Voltage - Swing	±7V (into 50kΩ load)
Output Voltage - Offset (typical)	<±5mV
Output Voltage - Noise (typical)	0,7mVrms

Tabla 8. Características Técnicas Pinza Colector.

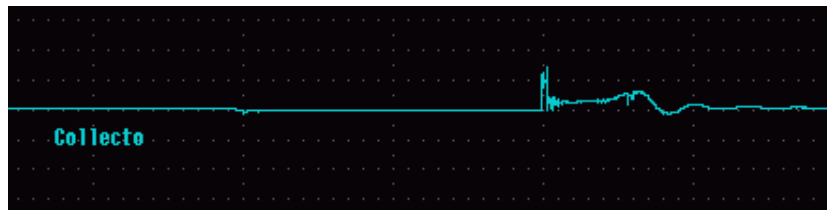


Ilustración 45. Imagen de la pinza amperimétrica(Izq). Señal del pulso de inyección recogida por la cadena de medidas (Der..)

#### 4.3.4 Mantenimiento sensores de presión.

Los sensores de presión están sometidos (en especial el sensor de presión en cámara) a altas presiones y a inclusión de partículas como hollín. Con tiempo de funcionamiento provocan desajustes y con ellos errores en las medidas.

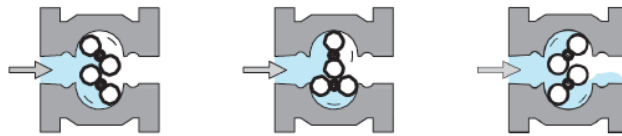
Por tanto es importante realizar las tareas de volver a calibrar o comprobación de los componentes, como las electrónicas de amplificación de las señales, cada 100 horas de funcionamiento en combustión.



#### 4.4 Medida del gasto másico de aire.

La medida del caudal volumétrico de aire (m<sup>3</sup>/h) se realiza en la instalación mediante un caudalímetro de lóbulos rotativos (roots) modelo Elster RVG G65 situado aguas arriba del remanso de admisión.

La cámara de medición en sí está compuesta por dos pistones en forma de 8, que junto con el cuerpo forman 4 cámaras por cada revolución, y así se llenan y vacían de forma periódica. El número de revoluciones es proporcional al volumen que pasa. La rotación es transferida a un totalizador mecánico que indica este volumen.



Los contadores de pistones rotativos se caracterizan por su elevado rango de medición y sus dimensiones compactas.

Debido a su principio de medición no requieren ningún tramo de tubo recto de entrada ni de salida. Los contadores de pistones rotativos deben lubricarse con aceite: para facilitar el acceso y el control del nivel de aceite adecuado, las cámaras de aceite delantera y trasera están conectadas para permitir que el mantenimiento se realice sólo desde la parte delantera.

El rango de medida es de 0´6 a 100 m<sup>3</sup>/h con una precisión de  $\pm 1\%$  sobre el valor medido. Sin embargo, el parámetro de mayor interés en el ámbito de los motores térmicos no es el caudal volumétrico, sino el gasto másico de aire (en kg/h) y para ello el caudalímetro integra un sensor de presión media y una termorresistencia. Con esto se calcula el valor de la densidad del aire que circula por el caudalímetro, permitiendo convertir las unidades volumétricas en másicas.

La calibración de este dispositivo se realizará en forma de una recta de regresión junto con las medidas de otro medidor (SensyFlow) de calibración conocida.



**Ilustración 46.** Imagen del caudalímetro utilizado en la sala de ensayos.

#### 4.4.1 Mantenimiento y calibración Elster RVG G65

Como en el interior del medidor hay diferentes partes móviles, que giran y se produce rozamiento entre ellas, es necesario realizar un control y mantenimiento del aceite.

El nivel de aceite deberá ser comprobado como máximo cada dos meses. Este aceite se cambiará de forma periódica cada 2.500 h de funcionamiento o como máximo cada 5 años. A su vez, se cambiarán los filtros de aceite que incorpora el medidor.

Así mismo, cada dos cambios de aceite, se aprovechará una de ellas para el reemplazo de las juntas de estanqueidad del medidor, las cuales son fundamentales para evitar fugas, que provocarían medias erróneas.

El fabricante incorpora junto al medidor una hoja de calibración, donde facilita la recta de calibración y el error que puede tener el medidor para luego tenerlo en cuenta a la hora de obtener las medidas.

Midiendo la pérdida de carga se puede verificar fácilmente el buen funcionamiento del contador rotativo. Si la pérdida de carga asciende a más del 50% del valor a la puesta en marcha, es posible que se haya acumulado suciedad en la cámara de medición, lo que conduce a un valor erróneo en la medición. Al hacer la comparación de la pérdida de carga se tienen que tener en cuenta el grado de carga y la presión de servicio (una presión de referencia para poder comparar).

Al poner en marcha por primera vez es aconsejable medir la pérdida de carga para obtener un valor de referencia. La pérdida de carga es proporcional a la presión absoluta y al cuadrado del caudal.

Si la pérdida de carga asciende a más del 50%, será necesario recalibrar el medidor, usando otro medidor con recta de calibración conocida.

Presión atmosférica :		1011	mbar.	Temp. ambiente :		21,32	°C
Pres.	Temp.	Caudal de Referencia	Caudal Mesurando	Error Rel.	Incertid.	Factor de Cobertura	
mbar	°C	(m³/h)	(m³/h)	(%)	(%)		
1,65	21,82	100,26	100,30	0,04	0,26	K=2	
0,63	21,86	70,25	70,42	0,24	0,28	K=2	
0,00	22,14	40,22	40,20	-0,05	0,28	K=2	
0,00	22,17	25,15	25,14	-0,05	0,28	K=2	
0,00	22,15	10,06	10,04	-0,22	0,29	K=2	
0,00	22,16	5,03	5,01	-0,32	0,31	K=2	
1,63	21,25	100,04	99,94	-0,10	0,28	K=2	

Ilustración 47. Valores de calibración del medidor.

#### 4.5 Medida del gasto másico de combustible.

Para medir el gasto másico de combustible se ha optado por una balanza gravimétrica modelo AVL 733S. Este sistema basa su funcionamiento en la deformación producida en una galga extensiométrica en función de la masa de combustible contenida en una balanza de precisión.

Las características técnicas del equipo son:

Recommended measuring range:	0 ... 125 kg/h, 0 ... 165 l/h (at 0.75 g/cm <sup>3</sup> )
Systematic measurement uncertainty:	Us = 0.12%
Density measurement uncertainty:	≤ 0.0005 g/cm <sup>3</sup>
Step response according to ISO16183:	T10 ... T90 < 125 ms
Maximal measuring frequency:	20 Hz (analogue output)
No. of measurements (running average):	1 ... 99
Ambient temperature:	0 ... 50 °C
Fuel supply pressure:	0.1 ... 0.8 bar
Fuel supply flow:	max. consumption + 20 kg/h
Fuel supply temperature:	- 10 ... + 40 °C
Fuels:	Otto (EN228), diesel (EN590), up to 30% biodiesel (EN14214) and 20% methanol / ethanol With Version FlexFuel: methanol / ethanol and biodiesel up to 100%
Outlet pressure:	adjustable from 0.05 ... 0.5 bar
Electrical interfaces:	RS232 (AK protocol) analog 0 ... 10 V digital I/O
Power supply:	24 V DC
Power consumption:	Max. 8 A
Dimensions:	770 x 670 x 345 mm (W x H x D)
Weight (dry):	62 kg



Tabla 9. Características Técnicas Balanza AVL 733S

Ilustración 48. Imagen del interior de la balanza gravimétrica de combustible.

##### 4.5.1. Mantenimiento AVL 733S

Component	Service interval/Lifetime	Maintenance	Replacement	Procedure
Pressure regulator	Weekly	Visual check	Can only be done by an AVL Service Engineer	Section Check the Pressure Regulator on page 14
Emergency stop relay	Weekly	Function check by pressing the button	If sticky	Section Check the Emergency Stop Relay on page 13
Filter mat	Weekly	Visual check	–	Section Filter Mat on page 14
Zero consumption measurement	Weekly	Check	–	Section Zero Consumption Measurement on page 15

Tabla 10. Mantenimiento AVL 733S

We recommend checking the dirt of the filter mat every week.



Fig. 3 Filter mat in the device



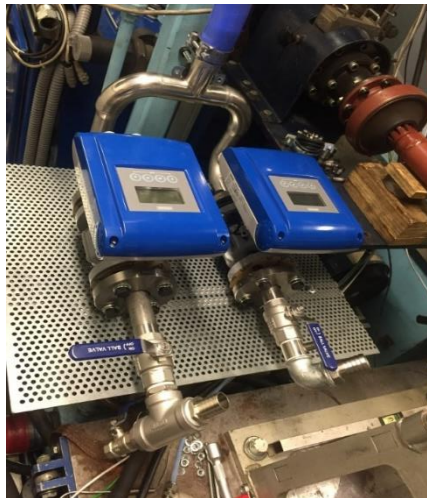
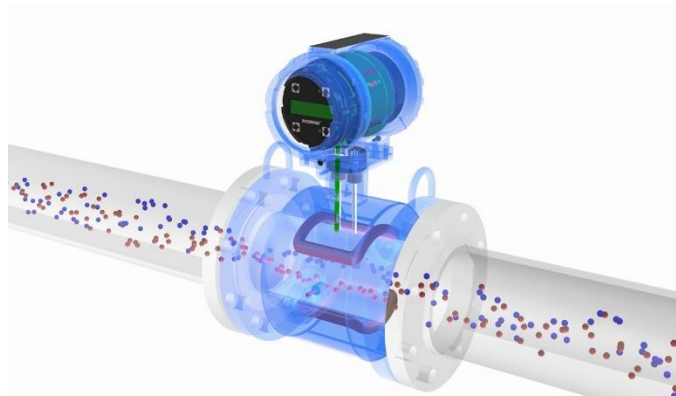
Fig. 4 Filter fan 24VDC 0,15A 125X125X57MM  
(Available in the eSpares™ Webshop)

Component	Service interval/Lifetime	Maintenance	Replacement
Pressure regulator	Annually	Visual check	Can only be done by an AVL Service Engineer
Emergency stop relay	Annually	Function check by pressing the button	If sticky
Filter mat	Annually	Replacement	Annually
Fuel pump	Annually	Checking and replacing after warning	Can only be done by an AVL Service Engineer After exceeding the maintenance limit
Fill valve	Annually	Checking and replacing if necessary	After exceeding the maintenance limit of 500 000 switchings
Zero consumption measurement	Annually	Check	-
Accuracy check	Annually	Check	-
Calibration	Annually	Check	-

Tabla 11. Mantenimiento AVL 733S

#### 4.6 Caudalímetro de agua.

El OPTIFLUX 4100 es un caudalímetro electromagnético (EMF) para una amplia gama de aplicaciones de proceso estándar con líquidos agresivos o abrasivos. Proporciona una medida de caudal fiable incluso en condiciones de proceso críticas con temperaturas hasta +180°C / +356°F, baja conductividad ( $\geq 5 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) y contenido en sólidos (hasta el 10%). Gracias a ello, este caudalímetro es especialmente apto para aplicaciones con productos químicos corrosivos, aguas cloacales y lodo de perforación o lodo de carbón.



**Ilustración 49.** Caudalímetro de agua

Además, es de caudal reversible, por lo que lo hace apto para gran cantidad de aplicaciones.

##### 4.6.1 Mantenimiento caudalímetro de agua.

El medidor no requiere mantenimiento preventivo. A diario se realizará una inspección general que consistirá en la búsqueda de fugas de refrigerante.

#### 4.7 Caudalímetro de aceite.

Se ha incorporado también un caudalímetro de aceite para poder medir el caudal que circula por el motor.

El medidor de caudal es el OG4. Sus siglas hacen referencia al principio de funcionamiento, pues se trata de un Oval Gear (Engranajes ovalados). Funcionan usando la baja presión generada a través del conducto que atraviesa los engranajes. Esa presión hace rotar los engranajes y es captada para generar una TTL y mandar un pulso de salida.

Las características más relevantes del medidor de caudal son las que se muestran a continuación:

- Rango de medida: 0.5 a 50l/min
- Rango de temperaturas: -40 a 150°C
- Voltaje máximo: 24 V en corriente continua.
- Corriente máxima: 100mA



*Ilustración 50. Caudalímetro de aceite*

##### 4.7.1 Mantenimiento y calibración caudalímetro de aceite.

Según el fabricante este medidor no requiere mantenimiento, ya que se auto lubrica con el paso del aceite que el mismo mide.

Se realizará una nueva calibración una vez al año para asegurar la exactitud de las medidas.



#### 4.8 Medida de Blow-by.

Por Blow-by se entiende el volumen de gases que fugan a través de las piezas con movimiento relativo entre ellas. En un motor térmico estas fugas de gases se pueden producir entre los segmentos del pistón y la camisa o por las guías de válvulas. Para medir el caudal del Blow-by en (l/h) se utiliza un equipo de la marca AVL modelo 442.

Durante los ensayos esta medida se convierte en gasto másico (kg/h), teniendo en cuenta las condiciones de presión y temperatura ambiente.

El desgaste producido en los segmentos del pistón es muy importante, aumentando la medida de Blow-by, con lo que monitorizarla permite controlar el desgaste de estos segmentos.

Measuring range :	0.2...2400 l/min (different orifice pipes)
Accuracy:	better than $\pm 1\%$ FS with optional fine linearization better than $\pm 1,5\%$ FS standard linearization
Outlets:	analogue $\pm 10$ V matching $\pm 100\%$ FS RS232C conforming to AK generic communication protocol
Power supply:	24 V DC
Power consumption:	35 W
Protection class:	IP 55
Temperature range:	-10...55 °C
Dimension 3...150 l/min:	approx. 330 x 350 x 75 mm (w x h x d)

**Tabla 12.** Características Técnicas AVL Blow-By.



**Ilustración 51.** Imagen del medidor de Blow-by.



### 4.8.1 Mantenimiento Blow By

---

#### Cleaning the Orifice Measuring Pipe

---

##### NOTICE

Never clean the orifice measuring pipe or the orifice plate inside it with sharp or hard objects.

Never clean the orifice measuring pipe without first disconnecting it from the electronic unit.

---

- Disassemble the orifice measuring pipe (see *Fig. 4* on page 22)
- If the orifice measuring pipe is heavily soiled, it can be cleaned with purified petrol, e.g. in an ultrasonic bath. After cleaning, blast with compressed air alternately through the pressure tapping nipple and the orifice measuring pipe until no more soiling is visible.
- When cleaning the instrument, do not forget to clean the two pressure tapping bores at the same time.
- After cleaning, dry the orifice measuring pipe with compressed air.

Check that there is no condensate in the electronic unit in the connection hoses between the solenoid valve and pressure sensors. If there is, remove the hoses making sure that no condensate gets onto the pcb - because of the danger of corrosion!

- Carefully detach the hoses from the differential pressure sensor.
- Clean the hoses
  - Clean the hose/solenoid valve-/differential pressure connection assembly for at least four cycles each of compressed air. (1 cycle: one zero calibration - "click")
- In addition for model 442.GD
  - Carefully remove hose from backpressure transducer
  - Blast compressed air through the hose-backpressure tapping nipple connection.
- Replace heavily soiled hoses and solenoid valves!

The solenoid valves are 2/3-way valves. During zero calibration, the compressed air may blow out condensate from the open end of the solenoid valve.

- Cover the valve opening with a cloth.

Re-assemble in the reverse order (see section *Measuring Equipment Layout* on page 18)

---

#### Cleaning the Dampers

The dampers may also become soiled as a result of condensate forming.

The condensate can be drained off by opening the draining screw or cock.

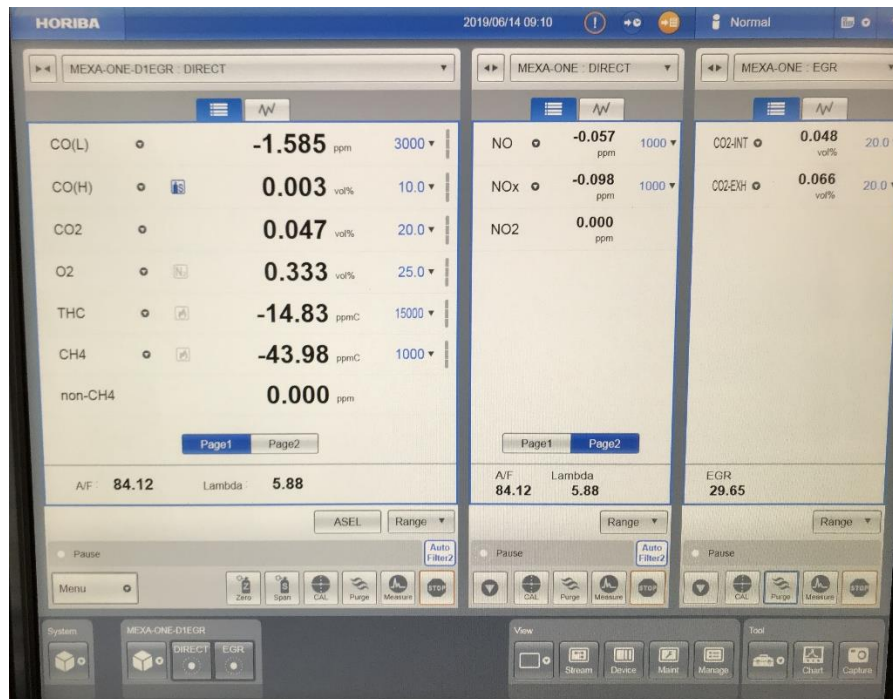
For more obstinate deposits, we recommend rinsing the damper out with purified petrol and then drying it with compressed air.

Tras largos periodos sin uso, se realizará una puesta a punto de limpieza y mantenimiento siguiendo los puntos anteriores.

#### 4.9 Medida de los gases de escape.

Lograr una adecuada precisión en la medida de las emisiones gaseosas catalogadas como contaminantes es fundamental en este tipo de proyectos, dada la restrictiva normativa existente.

Para ello se dispone del equipo Horiba MEXA 7100 DEGR, que permite la medida en concentración volumétrica (molar) de NO<sub>x</sub> (NO más NO<sub>2</sub>), CO, Hidrocarburos sin quemar totales (THC), CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, que aunque no sea un contaminante, conocer su concentración en los gases de escape es importante para el análisis de los procesos de combustión y de formación de las emisiones que sí son contaminantes, especialmente el hollín.



**Ilustración 52.** Analizador de gases de escape Horiba MEXA 7100 DEGR.

Este equipo toma la muestra de los gases a través de una sonda tomada aguas arriba de la válvula de contrapresión, y la hace pasar primero por un horno caliente (modelo OVN-723), en el que parte de los gases se utilizan para realizar las medidas internas y el resto se envía al Horiba. En el horno las muestras se miden a 192° C, debido a que los NO<sub>x</sub> y THC condensan por debajo de dicha temperatura. La muestra de gases de escape analizada en este horno se denomina muestra húmeda, pues el vapor de agua aún no se ha eliminado.

Los gases que llegan al analizador principal se enfrían hasta 5° C para provocar el condensado del vapor de agua. Esta muestra es la conocida como medida seca y permite la medición del CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. Todas estas medidas son corregidas para considerar la humedad existente en los gases de escape, ya que se extrae la humedad de la muestra. La medida del NO<sub>x</sub> también se somete a corrección para considerar la humedad. Todas estas correcciones, junto a la conversión de concentraciones

volumétricas (ppm) a unidades de gasto másico (g/h), se ha realizado según la Directiva Europea 2005/55/EC, que es la que se encuentra en vigor en el momento de la realización de presente proyecto.

El Horiba también permite medir el porcentaje de EGR, para ello se extrae una muestra en el colector de admisión y midiendo la concentración molar (volumétrica) de CO<sub>2</sub> en la admisión, para posteriormente, junto a la medida del CO<sub>2</sub> en el escape, calcular el porcentaje de EGR.

Por último el Horiba calcula la relación A/F y el parámetro lambda ( $\lambda$ ) mediante un método basado en la composición de los gases de escape.



**Ilustración 53.** Analizador de gases de escape Horiba MEXA 7100 DEGR.

#### **4.9.1 Mantenimiento y calibración de HORIBA.**

El Horiba requiere gases de referencia tanto para su correcto funcionamiento como para la calibración de sus analizadores. Estas botellas de gases de composición controlada están situadas en una sala anexa.

Antes de realizar las medidas de gases contaminantes, es necesario hacer las labores de calentamiento del horno así como las operaciones de calibración.

Para el calibrado, se disponen de botellas que contienen mezclas de gases puros.

- Mezcla de Oxígeno en Nitrógeno (N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>)
- Dióxido de Carbono en Nitrógeno (CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>)
- Monóxido de Nitrógeno (NO)

- Dióxido de Nitrógeno en Nitrógeno (NO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>)
- Mezcla de tres gases: Propano + Oxígeno + Nitrógeno (0.0085% + 20.99% + 79.0015%)

Al finalizar los ensayos, es fundamental revisar el estado de los filtros de las diferentes líneas del sistema, tanto de las líneas principales, como las líneas de EGR o los pre-filtros.



**Ilustración 54.** Filtro del analizador de gases de escape Horiba MEXA 7100 DEGR.

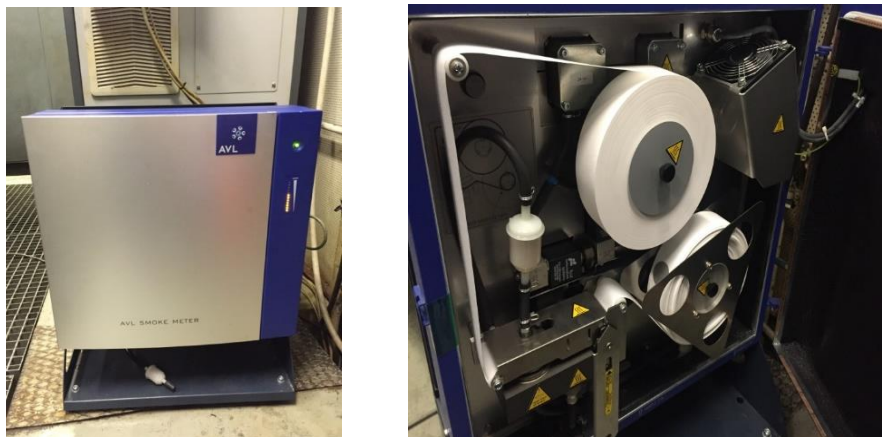
Las tareas de mantenimiento o calibración fuera del uso diario se realizarán por el técnico de laboratorio cualificado.

#### 4.10 Medida de humos (Opacímetro). AVL 415.

Para realizar la medida de la cantidad de humos en los gases de escape se utiliza un opacímetro modelo 415 de la marca AVL. Para ello, se extrae una cantidad de gases de escape mediante una sonda aguas abajo de la válvula de contrapresión. Estos gases se hacen pasar a través de un filtro de papel blanco cuyo índice de reflexión de la luz está calibrado. Una célula fotoeléctrica detecta el grado de ennegrecimiento del papel por el cambio en su índice de reflexión de la luz, asignándole valores entre 0 (Filtro limpio) y 10 (Filtro completamente negro). La unidad asignada a esta escala de medida es Filter Smoke Number (FSN).

<b>Measurement principle</b>	Measurement of filter paper blackening
<b>Measured value output</b>	FSN (filter smoke number), mg/m <sup>3</sup> (soot concentration)
<b>Measurement range</b>	0 to 10 FSN
<b>Detection limit</b>	0.002 FSN or 0.02 mg/m <sup>3</sup>
<b>Resolution</b>	0.001 FSN or 0.01 mg/m <sup>3</sup>
<b>Exhaust pressure ranges</b>	(-300*) -100 to 400 mbar (-500*) -200 to 750 mbar with the special sampling option 0 to 3000 mbar with the high-pressure option (* ) with activated altitude simulation
<b>Maximum exhaust temperature</b>	600 °C with standard 340 mm sample probe (800 °C with 780 mm long sample probe)
<b>Interfaces ...</b>	

**Tabla 13.** Características Técnicas Smoke Meter.



**Ilustración 55.** Medidor de humos (opacímetro).

### 4.10.1 Mantenimiento AVL 415

En lo referido al mantenimiento del opacímetro, el fabricante recomienda:

---

#### General

Error-free operation of the measuring device depends on several factors. No set service intervals can therefore be stipulated because they depend entirely on the operating conditions.

For permanent operation of the measuring device (fully automated endurance runs, 24 h / day, 6 ... 7 days / week), a service is recommended every three weeks. A full service or exchanging the pump is recommended every three months.

When the device is put to average use, we recommend:

- Each time the paper is changed:
  - inspect the reflectometer head (see *Reflectometer Head* on page 150)
  - inspect the two fine filters and replace if there are any signs of soiling (see *Gas Path* on page 169, *Fig. 60*, Pos. 060).
  - inspect the blackened filter area (see *Inspecting the Blackened Filter Area* on page 148)
  - leak check (see *Leak Check* on page 144)
  - check white value standard disk for soiling and clean if necessary
- Each third or fourth time the paper is changed:
  - Lubricate moving parts of camshaft and ratched clip using Teflon lubricating spray (material number HS0058) or Teflon lubricating oil (material number HS0064). See *Fig. 54* on page 163, *Fig. 55* on page 165 and *Fig. 59* on page 168.
- After 300 operating hours or 10000 measurements (corresponds to 5 ... 10 paper rolls HP0153):
  - check the reflectometer head (see *Reflectometer Head Check* on page 138 and *Calibration Procedure*)
  - check the sampled volume (see *Sampling Volume Check* on page 139 and *Calibration Procedure*)
  - clean sampling line tube with ultra-clean, oil-free and water-free compressed air (see *Requirements for the Measurement System and Operation* on page 35 and *Sampling Probe and Sampling Line* on page 148)
  - check filter mats for cooling air (see *Cooling* on page 152)
  - carry out all the activities described in the following sections
  - replace all fine filters
  - Lubricate moving parts of camshaft and ratched clip using Teflon lubricating spray (material number HS0058) or Teflon lubricating oil (material number HS0064). See *Fig. 54* on page 163, *Fig. 55* on page 165 and *Fig. 59* on page 168.
  - Check pump noise and check nominal pump flow (see *Pump* on page 152).

Users should adjust this service interval to match their own operating conditions after acquiring the appropriate experience with the device in conjunction with the conditions in which it is used.



---

**NOTICE**

Cleaning agents for the surface of the device (display, or anodized materials):

- Soft cloth - moistened with pure distilled water.

Painted surfaces or labels:

- Pure distilled water, as needed also distilled water with approx. 30 % Iso-Propanol can be used carefully.

As a cleaning agent for the electrical boards and electrical contacts, exclusively for such purpose approved medium should be used.

Halogen- or halides or other chemical salts must not be used.

After a cleaning at parts which are in contact with mains voltage, a safety check must be done (current-derivation test + when needed 1.4 kV high-voltage test).

---

**Information**

As a rule, the currently specified Teflon® lubricating oil may be used for all lubricating points. Note that it is absolutely necessary to adhere to the defined lubricating and cleaning intervals.

Any points or parts of the system for which preferably grease paste should be used, or which exclusively require lubricating oil (or spray lubricant) are indicated separately in the following illustrations.

If the measuring system is not used on a continuous basis (roughly 5 days a week; roughly 50 weeks a year), we generally recommend using HS0064 for lubricating purposes.

**Lubricants:**

- Teflon® lubricating oil (material number HS0064)
  - Teflon® spray lubricant (material number HS0058)
  - Grease OKS 260 (material number HS0071):  
Only for continuously operated systems (7 days a week, > 300 days a year).
- 

## Lubricating and Cleaning Intervals

1. After 3 to 4 paper rolls (material number HP0153):
  - Lubricate the moving parts of the paper feed mechanism with Teflon® lubricating oil or Teflon® spray lubricant as currently described in the documentation.
2. After about 5 to 10 paper rolls or 300 operating hours or every **10000** measurements (whatever occurs first):
  - Do a simple cleaning of the parts of the paper feed mechanism in order to remove coarse contamination.
  - After that, lubricate all moving parts (with grease paste and/or lubricating oil or spray lubricant).



3. After about **50** paper rolls:
  - Do a full cleaning of all parts of the paper feed mechanism to remove any deposits and re-lubricate all parts (all rotating and gliding parts; this also includes the inner parts of any shafts and rollers which can be taken apart).
  - Also check the parts for signs of wear and replace any affected components.
  - Do a full cleaning of the device to remove any kind of contamination such as paper fibers, particles or any other kind of system contamination.
4. After about 100 / 300 (**200**) paper rolls:
  - Check and, if necessary, replace the paper feed roller and the ratchet clip rollers (if necessary, the entire unit including shafts and rollers (see *Fig. 104* on page 271 - Pos. 110 to 150) or replace the entire ratchet clip).
  - Perform all procedures from step 3 onward.

---

#### NOTICE

The PU elastomer of the paper feed roller on the ratchet clip (*Fig. 104* on page 271 - Pos. 110) cannot be cleaned. This part has to be either removed or replaced before the other mechanical parts can be cleaned.

Having been cleaned, all parts have to be lubricated as shown in *Fig. 101* to *Fig. 104*.

---

5. After about 1000 paper rolls:
  - Call an AVL service technician: Parts such as motor, camshaft bearing, ratchet clip, clamping lever, suction unit or any other components with signs of wear have to be checked by an AVL service technician who will then decide whether a replacement is necessary.

## Lubricating Points

---

#### Information

**Lubricating and cleaning points** (*Fig. 101-Fig. 104*)

- **Blue frame:**  
Only use Teflon® lubricating oil (material number HS0064) or Teflon® spray lubricant (material number HS0058) to lubricate these points.
- **Red frame:**  
Use grease paste (material number HS0071) to lubricate these points. Only for continuously operated systems (7 days a week, > 300 days a year).  
Lubricating oil or spray lubricant may also be used.

The markings apply for all lubricating points:

All marked lubricating points also require cleaning on a regular basis.

---

#### 4.11 Medida de posición del ángulo del cigüeñal. AVL 365C.

La posición del ángulo del cigüeñal se mide gracias a un encoder de la firma AVL, modelo A365C. Su función óptica se basa en un sensor óptico capaz de captar las señales de un disco marcado con una pista de 720 pulsos para la información angular y que incluye un pulso de información por vuelta (trigger) para propósitos de sincronización. Por tanto tiene una precisión de  $0.2^\circ$ .

Las características técnicas son:

TECHNICAL DATA	
Type	Optical encoder 366C
Preferred acquisition	AVL X-Ion™ (Gigabit possible)
Detection rotation direction	Yes, absolute angle available
Speed range	0rpm to 20,000rpm
Vibration resistance	500 · 9.81m/s <sup>2</sup> (500g)
Short term load	1,000g
Temperature range (mechanics)	-40°C to 120°C
Life time	10 <sup>7</sup> revs at 500g load
Signal type	LVDS, RS422
Compatibility mechanically	365C mounting situation, flange and supporting arm identical

Tabla 14. Características Técnicas AVL 365C.

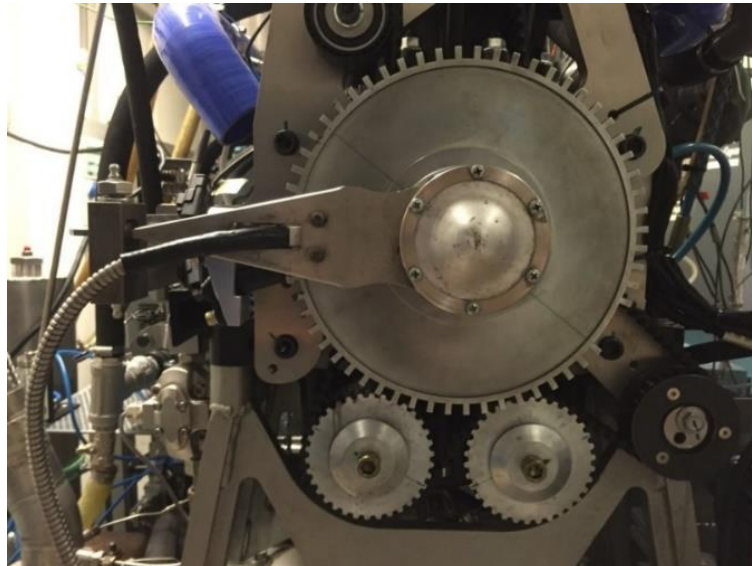


Ilustración 56. Encoder para medición del ángulo de cigüeñal.

**4.12 Termoregulador de sensores instantáneos. ATR 2E 3W.**

Este elemento es necesario para refrigerar los captadores de presión instantánea y mantenerlos continuamente a la misma temperatura para cumplir la repetitividad de los ensayos. De esta forma, si los sensores se encuentran calibrados correctamente, no habrá prácticamente variación en la medida de un día de ensayo a otro. Para esto se fija una temperatura de consigna, y el acondicionador la regula de forma automática.

Características técnicas:	<b>ATR 2E 3w</b>	<b>ATR 2E 6w</b>	<b>ATR 2E 9w</b>
Temperatura maxima:	95°C	95°C	95°C
Potencia calefacción:	3 kw	6kw	9 kw
Potencia refrigeración:	----- 18,000 kcals/hr @ 90°C -----		
Capacidad max (lt/min):	----- 60 -----		
Presión max. (Bar):	----- 3.8 -----		
Corriente:	---- 400 V, 3 Ph, 50 Hz (3 wire) ----		
Voltaje:	----- 24 VAC -----		
Medidas (w x d x h) mm:	----- 290 x 655 x 600 -----		
Peso (en vacio):	----- 47 kg -----		

**4.12.1 Mantenimiento ATR 2E 3W.**

Para el correcto funcionamiento del acondicionador, no debe quedarse sin líquido refrigerante, y será rellenado cuando sea necesario. El nivel de refrigerante será mantenido entre los límites Máximo y Mínimo del visor. Además, de forma periódica se revisará que no hayan fugas por el circuito interno y que las válvulas se encuentran en buen estado.

En caso de que el acondicionador no sea capaz de regular la temperatura de consigna, se deberán revisar la entrada de agua de red (fría) y la válvula que la controla, así como el nivel de líquido refrigerante.

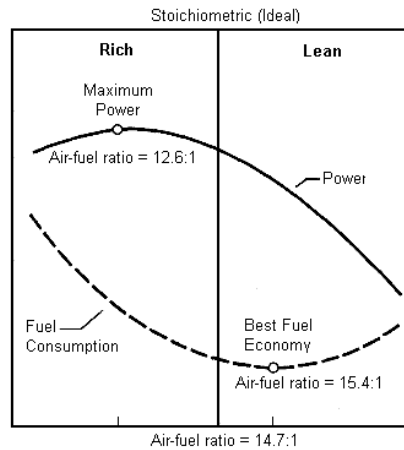
El buen estado del refrigerante es fundamental para mantener las condiciones de repetitividad, por lo que hay que tener controlado el deterioro de éste. Se realizarán de forma periódica muestras con un refractómetro para ver el grado de degradación del refrigerante, como se comprueba el estado del sistema de refrigeración del motor.



**Ilustración 57.** Acondicionador refrigerante sensores.

### 4.13 Medidor Sonda Lambda

La sonda lambda (Sonda- $\lambda$ ), es un sensor que mide la concentración de O<sub>2</sub>. Se utiliza para comprobar la calidad de una combustión, así cuando la combustión es óptima, la cantidad de O<sub>2</sub> en los gases de combustión 0%, en este caso factor lambda=1. Al aire libre la sonda nos da la concentración de oxígeno en el aire (O<sub>2</sub> 20.94 %) factor lambda >1.



En los vehículos de combustión, la sonda está situado en el conducto de escape, inmediatamente antes del catalizador, de forma que puede medir la concentración de O<sub>2</sub> en los gases de escape antes de que sufran alguna alteración.

El motor dispone de dos sondas lambda. Una está situada justo a la salida del cilindro y otra justo a la salida del remanso de escape, aguas debajo de la válvula. La colocación de la segunda sonda es para asegurarse que la medida no sufre alteraciones debidas a la presión de escape, pues ésta puede afectar.

La primera sonda es propia del motor AVL, y su medida es tratada mediante la ECU y posteriormente registrada por el programa INCA, mientras que el segundo equipo utilizado es de la marca ETAS, en concreto Lambda Meter LA4.

El sensor es una sonda de banda ancha Bosch, con un rango de medida de 0.65-15.99 con una salida en voltaje de 0 a 8.2 V.

La calibración de la sonda lambda se realizará como mínimo una vez al año o cada 200 horas de funcionamiento.



Ilustración 58. Equipo de medida de Lambda ETAS.

#### **4.14 Sistemas de control y adquisición de variables medias.**

Para el control del sistema se utiliza una unidad PUMA OPEN de la firma austríaca AVL. Este equipo permite el monitorizado de la instalación definiendo sus límites, control automático del valor de los factores deseados, adquisición de datos, etc.

El sistema se sirve de un PC con un software específico para que el usuario pueda interactuar con la instalación y monitorizar los parámetros de los sistemas auxiliares. De este modo, con una serie de componentes electrónicos, se completa un sistema que junto al PC forman una red de comunicación. Estos elementos, realizan la función de emisor-receptor, siendo los encargados de tratar las señales de forma que se pueda establecer una comunicación coherente entre el motor y el usuario, por medio del PC.

Las funciones principales del PUMA se resumen a continuación:

- Adquisición de datos: provenientes de los diferentes transductores, termopares y demás elementos de medidas medias.
- Límites de monitorizado: es posible definir límites superior e inferior para las señales recibidas, de forma que si cualquiera de ellas supera dicho valor, el sistema produce una señal de alerta.
- Monitorizado de la instalación: los sistemas auxiliares emiten una “señal de vida” que alertan en caso de un funcionamiento defectuoso.
- Control automático de valores demandados: mediante un panel de operaciones es posible mantener de forma automática los valores de régimen, grado de carga o par.
- Compilador de fórmulas: gracias a esta función es posible obtener y visualizar parámetros calculados en función de las señales adquiridas.

El sistema cuenta con la herramienta de gestión y postprocesado de datos “Concerto”. Es una aplicación de evaluación y visualización de datos, diseñada específicamente para bancos de prueba.

A continuación se describen los componentes físicos que forman el AVL PUMA OPEN:

#### **PC.**

El PC establece el lazo de unión entre el usuario y la instalación.

#### **Operating panel K 57.**

El Operating panel se utiliza para el control manual y automático en los ensayos y realiza las siguientes funciones:

- Selección de modo de control.
- Control de los valores demandados.
- Control del sistema.

- Control del motor.

En la consola donde se ubica este panel se encuentra instalado el paro de emergencia de la instalación.

### **Front end modules (FEMs).**

Los FEMs, son dispositivos especiales encargados de recoger, transformar y enviar información de la instalación a la zona de control, de forma coherente.

Los FEMs están conectados entre sí en forma de cascada, ya que operan juntos dentro de una red. Esta interconexión es necesaria para el funcionamiento global del sistema. El programa verifica esta interconexión al inicializarse. Los FEMs que componen el sistema son los siguientes:

- FEM - A. Entradas analógicas.
- FEM - P. Medida de presión (submódulo del FEM – A).
- FEM - D I/O. Entradas y salidas digitales.
- FEM - CNT. Contador de entradas.
- FEM - DAC. Convertidor digital - analógico.

### **Watchdog module (Señal de vida).**

Este elemento recibe una señal que consiste en una serie de pulsos de onda cuadrada. La frecuencia de esta onda es independiente del sistema. Si no se detecta un corte en un tiempo predefinido, el sistema realiza un paro.

### **EMCON 300 DIGITAL.**

La función principal del EMCON es la de controlar parejas de valores no lineales, como pueden ser el régimen de giro y el par.

Además de controlar, el EMCON permite realizar las siguientes funciones:

- Control del motor.
- Seguridad; definiendo límites de las variables.
- Simulaciones; de condiciones reales de funcionamiento (pendientes, cambios de velocidad, embragues, tipos de conducción, frenados, etc.).
- Para el manejo de todo el equipamiento del Puma Compact 5 es necesario un paquete de software compuesto por los siguientes elementos:
  - POI (Puma Operator Interface), utilizado para el control y visualización del ensayo.
  - PAM (Puma Parameter Manager), gestiona la preparación del ensayo y parametrización del sistema.

- PUC (Puma Concerto), para la evaluación y postprocesado de los datos del ensayo.
- AVL Glossary. Ayudas.

### 4.15 INDICOM

Este sistema es un software de la marca AVL usado para la adquisición de variables instantáneas así como para realizar el estudio de éstas y del proceso de combustión.

Indicom está formado por módulos de cuatro canales, que pueden ampliarse en cascada. Está integrado en PUMA, de forma que hay comunicación y traspaso de información de forma bidireccional.

Posee una interfaz limpia y fácil de visualizar y entender. Tiene la posibilidad de crear ventanas de trabajo totalmente configurables y con una gran cantidad de formas predeterminadas.

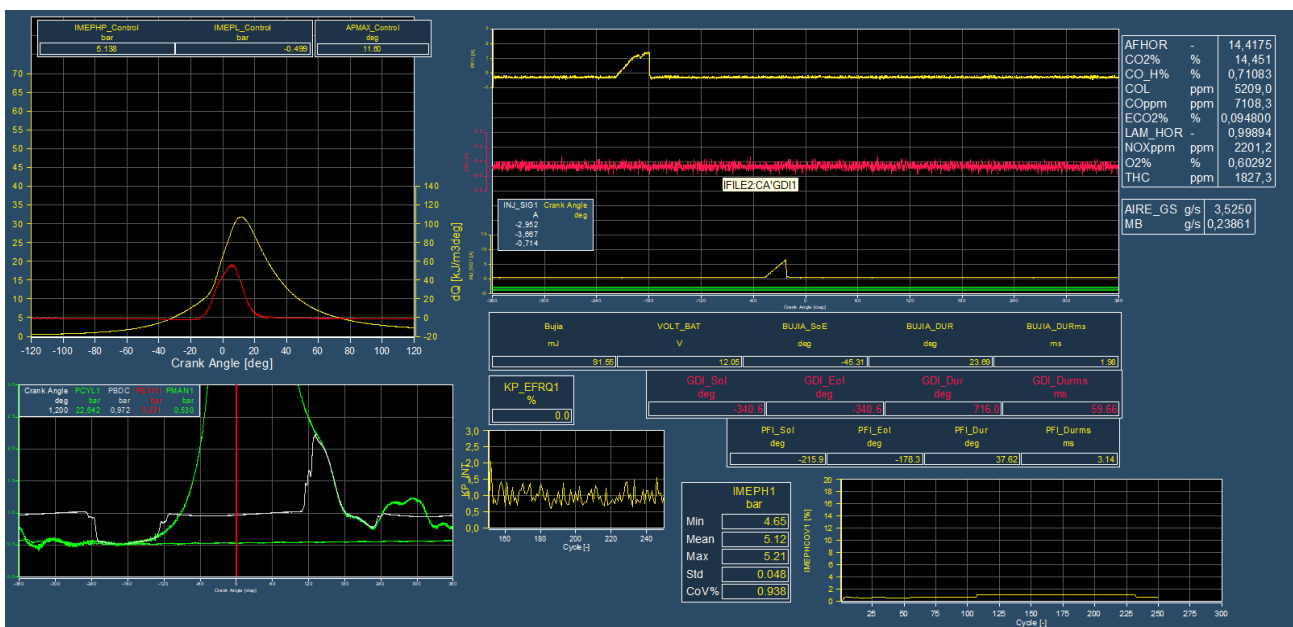


Ilustración 59. Pantalla de INDICOM.

A su vez, con la aplicación CalGraf, las variables introducidas por los canales pueden ser medidas y tratadas con fórmulas estandarizadas (las más habituales) para el fácil estudio de la combustión.



#### 4.16 YOKOGAWA 850 EV

Un ScopeCorder es un instrumento que combina un osciloscopio de señal mixta y un registrador portátil de adquisición de datos en una plataforma modular diseñada para capturar transitorios de alta velocidad y tendencias de baja velocidad.

Este equipo tiene una amplia variedad de características únicas de adquisición que le permite manejar cantidades grandes o pequeñas de datos. Puede realizar medidas de canales de larga duración mientras captura con precisión y alto muestreo los transitorios que puedan suceder.

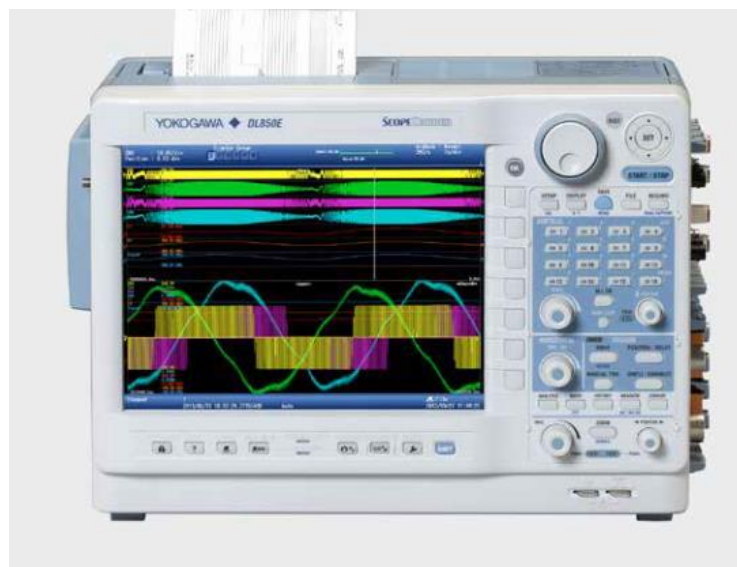
Permite una gran flexibilidad debido a los diferentes módulos que combinan medidas eléctricas, físicas y buses CAN/LIN. Es capaz de activar los disparos en medidas de potencia y otros cálculos en tiempo real.

El equipo lleva de forma intrínseca un total de 16 canales, pero es posible añadirle un total de 17 módulos diferentes que pueden llegar a configurar un total de 128 canales.

Estos módulos son capaces de registrar:

- Voltajes y Corrientes.
- Salidas de Sensores.
- Temperatura, Vibración/Aceleración, Extensimetría, Frecuencia.
- Señales Lógicas y CAN/LIN.

La frecuencia de adquisición varía en función de las necesidades del ensayo, pudiendo configurarse hasta una velocidad de adquisición de 1MHz



**Ilustración 60.** Equipo de medida YOKOGAWA.

#### 4.17 INCA

Inca es un software usado para el control completo de la ECU del motor. Inca permite la integración del control del hardware del motor, como pueden ser los inyectores, bujía, mariposa de admisión, válvula de EGR, posición de los árboles de levas de admisión y escape, etc. A su vez, puede ser usado como sistema de adquisición de los datos que ofrecen los sensores propios del motor, es decir, los sensores y actuadores que vienen montados de fábrica.

Presenta pantallas totalmente configurables, en las que se pueden ir añadiendo las variables con sus controles más importantes. Además, también se pueden añadir gráficas que funcionan a modo de osciloscopio a tiempo real, en las cuales se pueden ver las consignas proporcionadas a los actuadores y las posiciones reales de éstos, como es el caso de la válvula de admisión o EGR.

Inca permite realizar el control de los mapas predefinidos de la ECU de forma totalmente automática.

Las variables más utilizadas son:

- Bujía: Se puede variar el tiempo de carga de la bobina de encendido (DWELL) y la posición de salto de la chispa en grados con respecto al punto muerto superior. (SACAL).

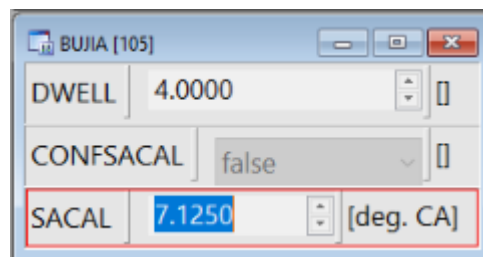


Ilustración 61. Pestaña de comando de bujía.

- Árboles de levas: Se puede adelantar o atrasar el punto de apertura y cierre de las válvulas de escape y admisión, de forma independiente.

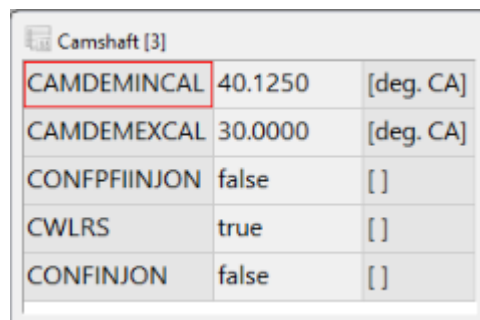


Ilustración 62. Pestaña de uso del VVT.

- Port Fuel Injection: Inyector en el colector de admisión. Se puede variar el tiempo que dura la inyección (TIPFICAL) en ms y la posición en la que se realiza la inyección en grados con respecto al punto muerto superior (EOI1CAL).

CONF TIPFICAL	false	[ ]
TIPFICAL	0.0000	[ms]
CONF EOI1CAL	false	[ ]
EOI1CAL	180.0000	[deg. CA]

**Ilustración 63.** Pestaña de uso del PFI.

- Gassoline Direct Injection: Inyección directa de gasolina. Como en el caso del inyector PFI, se puede variar tanto la duración (TI1CAL) como la posición de la inyección (SOI1CAL).

CONF EOI1CAL	false	[ ]
SOI1CAL	330.0000	[deg. CA]
CONF TI1CAL	false	[ ]
TI1CAL	0.0000	[ms]

**Ilustración 64.** Pestaña de uso del GDI.

- Presión en el Raíl: Con la consigna de esta variable se puede modificar la presión en el raíl de inyección para la inyección directa de gasolina en bar.

PRAILDEMCAL	100.0000	[bar]
CONF PRAILDEMCAL	false	[ ]

**Ilustración 65.** Pestaña de uso del Raíl.

- Posición de las válvulas de admisión y EGR.

TPSDEMCAL	20.0000	[ ]
-----------	---------	-----

EGRVALVEPOSDE...	0.0000	[%]
------------------	--------	-----

**Ilustración 66.** Pestaña de uso de las válvulas de admisión y EGR.

## 5. Plan de mantenimiento

A continuación se exponen desglosadas las tareas de mantenimiento a realizar a los equipos. A muchos de estos equipos se les realiza el mantenimiento según las horas de funcionamiento. Para simplificar, se tomará que un día de funcionamiento es igual que 8 horas de funcionamiento.

Por tanto, las tareas serán efectuadas de forma diaria, mensual, o anual. De esta forma se establece las siguientes tablas de mantenimiento preventivo.

Periodo	Sistema	Elemento	Operación
8 horas	Sistema de refrigeración	General	Revisar nivel de refrigerante Revisar fugas
	Sistema de lubricación	General	Revisar nivel de aceite Revisar fugas
	ATR 2E 3W	General	Revisar nivel de refrigerante
	Sistema de admisión	Compresor	Comprobar fallos en Display Comprobar nivel de aceite. Comprobar que se descarga el condensado
	Sistema de combustible	General	Revisar fugas
	HORIBA MEXA	General	Reemplazar filtros
50 horas	Sistema de admisión	compresor	Comprobar errores en Display
	Sistema de combustible	AVL GDI High Pressure	Cambiar aceite bomba combustible
100 horas	Sistema de lubricación	General	Cambiar de aceite Cambiar de filtro
	Sensores Presión de escape (Instantánea)	-	Calibrar sensor
	Sensor Presión Admisión (Instantánea)	-	Calibrar sensor
	Sensor Presión en cámara	-	Calibrar sensor
200 horas	Freno	-	Cambiar aceite
400 horas	Freno	-	Cambiar filtro de aceite
500 horas	Sistema de admisión	Compresor	Limpiar compresor Comprobar refrigeradores Comprobar fugas
	Freno	-	Limpiar intercambiadores
	Sistema de escape	-	Limpiar válvula de contrapresión de escape. Limpiar electrónicas de las válvulas de contra presión.
	Sistema de combustible	AVL GDI High Pressure	Cambiar de filtro de aceite
	Sistema de refrigeración	General	Cambiar refrigerante

	Sistema de EGR	-	Limpiar válvula de contrapresión Limpiar válvula de EGR. Limpiar Intercambiador
1.000 horas	Sistema de combustible	AVL GDI High Pressure	MANTENIMIENTO INTEGRAL
		AVL 753 C	MANTENIMIENTO INTEGRAL
		AVL 733 S	MANTENIMIENTO INTEGRAL
	Blow-by	-	MANTENIMIENTO INTEGRAL
	Sistema de lubricación	-	Calibrar caudalímetro
	Smoke meter	-	MANTENIMIENTO INTEGRAL
2.500 horas	Sistema de admisión	Medidor de aire	Cambiar aceite
	Sistema de combustible	AVL GDI High Pressure	Limpiar intercambiadores
	Freno	General	Limpiar freno Lubricar rodamientos
<b>4.000 horas</b>	<b>TODOS LOS SISTEMAS</b>	<b>GENERAL</b>	<b>MANTENIMIENTO TOTAL</b>

Tabla 15. Plan de mantenimiento preventivo

Se recomienda, de forma adicional, si el sistema aparece en uno de los periodos en el cual es necesario realizar mantenimiento, acudir al capítulo en el que se encuentra el equipo, donde se encontrarán todas las tareas desglosadas y con las instrucciones de operación. De esta forma se asegura el correcto mantenimiento cumpliendo todas las tareas correspondientes de cada equipo así como un aumento en la seguridad a la hora de realizar dichas tareas, ya que algunas de éstas tan sólo pueden realizarse por técnicos especialistas. Por tanto, para algunas de estas tareas se tendrá una previsión para poder avisar a los técnicos y así cumplir con los periodos de mantenimiento preventivo.

Para los casos en los que se produzcan fallos, roturas u otros desperfectos durante el funcionamiento de los equipos, el técnico responsable de la sala realizará el correspondiente mantenimiento correctivo, siempre y cuando tenga las competencias necesarias para realizar dichas tareas. Como en el caso del mantenimiento preventivo, en caso de no poder hacer las reparaciones el técnico responsable de la sala, será el técnico especialista el que resolverá el mantenimiento correctivo.

En cuanto al mantenimiento predictivo, es fundamental tener el monitorizado completo del laboratorio, incluyendo la sala de ensayo de motor. Esto permite conocer el estado de todos los equipos a tiempo real y prever posibles fallos en un periodo corto/medio plazo, ganando así tiempo para realizar las tareas de mantenimiento antes de que se produzcan fallos catastróficos.

## 6. Conclusiones

Como capítulo final del presente trabajo final de master y con la intención de corroborar el cumplimiento de los objetivos del trabajo, es conveniente recordar que, según se expone en el capítulo de introducción, el objetivo global planteado consiste en la definición del mantenimiento e instrumentación de una sala de ensayos de un motor monocilíndrico de investigación.

Durante el transcurso de este trabajo, se han definido con éxito todos los sistemas que involucran de una u otra manera a la sala de ensayo 5 del laboratorio. A parte de la definición de cada una de las partes de cada sistema, se han expuesto los elementos de instrumentación, así como el plan de mantenimiento de los equipos involucrados, en los casos que fuera necesario.

Así mismo, el presente trabajo final de máster se puede usar como un manual en el que se encuentran integrados, los sistemas generales del laboratorio, los sistemas particulares de la sala 5, la instrumentación completa y los mantenimientos de todos los equipos que configuran los diferentes equipos de la sala.

Por otro lado, con la definición del mantenimiento se consigue:

- Aumentar la vida útil de los equipos.
- Minimizar o eliminar las paradas por mantenimiento correctivo.
- Aumentar la seguridad en el funcionamiento de la sala 5, reduciendo así los posibles accidentes laborales.
- Minimizar al máximo los daños irreparables en la instalación.

Como se ha expuesto anteriormente, se han cumplido con éxito todos los objetivos de este trabajo final de master, poniendo en práctica las técnicas aprendidas en el Master de Ingeniería del Mantenimiento.

## 7. Presupuesto.

### 7.1. Introducción.

En el presente documento se expone el coste de realización del trabajo final de máster. Cabe destacar que, para la realización de dicho proyecto no ha sido necesaria la adquisición de ningún equipo por encontrarse ya en el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos.

Por tanto, a la hora de desarrollar este presupuesto tan sólo se ha tenido en cuenta:

Mano de obra directa: se corresponde con el gasto del personal que ha estado dedicado al proyecto. Será valorado por fracción de tiempo aplicándosele el precio en Euro/h. En el proyecto han trabajado dos categorías diferentes de personal, cada uno de ellos con unos costes diferentes:

- 1) Catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia.
- 2) Técnico medio de laboratorio.

No se tiene en cuenta el coste de amortización de los equipos, ni material fungible, etc.

### 7.2. Coste del proyecto.

Personal	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (€/Ud.)	Coste parcial (€)
1)	Catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia.	Horas	10	100	1.000 €
2)	Técnico medio de laboratorio.	Horas	105	50	5.250 €
<b><i>Coste de mano de obra empleada</i></b>					<b>6.250 €</b>

Tabla 16. Coste mano de obra del trabajo final de master.

**El presupuesto total del trabajo final de master, impuestos no incluidos, asciende a seis mil doscientos cincuenta euros.**



## 8. Bibliografía

- Atlas Copco Secadores de Aire. Libro de instrucciones
- Atlas Copco Compresores de Aire Estacionarios. Libro de instrucciones.
- PRODUCT GUIDE AVL 733S
- PRODUCT GUIDE AVL 753C
- PRODUCT GUIDE AVL HIGH PRESSURE UNIT.
- PRODUCT GUIDE TORQUIMETER.
- PRODUCT GUIDE BLOW-BY.
- PRODUCT GUIDE 415 SMOKE METER.
- “Mantenimiento de motores diesel”. Vicente Macián Martínez, Bernardo Tormos Martínez, Jorge Peidro Barrachina y Pablo Olmeda González. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Instrucciones de Instalación, funcionamiento y mantenimiento de Elster RVG G65. (Medidor de gasto másico de aire).
- Oval Gear Flowmeter. Instruction Sheet.
- Manual de instrucciones, uso y mantenimiento ATR 2E 3W.
- Indicom product folder.

