



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:





## ÍNDICE GENERAL

<b>DOCUMENTO I: MEMORIA</b> .....	<b>6</b>
<b>Capítulo 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	15
1.2. OBJETIVO DEL PROYECTO .....	15
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	17
1.4. VIABILIDAD .....	18
1.5. DESARROLLO .....	18
<b>Capítulo 2: PROCESOS DE COMBUSTIÓN EN MOTORES DIESEL. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL ARRANQUE EN FRÍO</b> .....	<b>20</b>
2.1. INTRODUCCIÓN .....	22
2.2. ASPECTOS RELEVANTES .....	22
2.2.1. Definición de tiempos de arranque .....	22
2.2.2. Tipos de fluidos .....	23
2.2.3. Importancia de la capacidad e intensidad máxima de la batería ...	25
2.3. PROCESO DE COMBUSTIÓN .....	25
2.3.1. Mezcla aire-combustible .....	26
2.3.2. Evolución de la presión y la temperatura de la mezcla aire-combustible .....	31
2.3.3. El autoencendido de la mezcla .....	37
2.3.3.1. Problemas para iniciar el autoencendido .....	41
2.3.3.2. Soluciones para iniciar el autoencendido .....	42
2.4. EMISIONES CONTAMINANTES .....	44
2.4.1. Humos .....	44
2.4.2. HC, CO y NO <sub>x</sub> .....	45
2.5. SISTEMAS DE AYUDA AL ARRANQUE .....	46
2.5.1. Medios de inflamación del carburante por incandescencia .....	46
2.5.2. Calentamiento del aire de admisión .....	50
<b>Capítulo 3: SALA DE ENSAYOS PARA ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO EN FRÍO E INSTALACIÓN DEL MOTOR EN LA SALA</b> .....	<b>52</b>
3.1. SALA DE ENSAYOS PARA ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO EN FRÍO: CÁMARA CLIMÁTICA .....	54
3.1.1. Descripción general de la cámara .....	55
3.1.1.1. Disposición estructural .....	56
3.1.2. Instalaciones de la cámara .....	57
3.1.2.1. Sistema de frío .....	57
3.1.2.2. Características técnicas .....	59
3.2. BANCADA DEL MOTOR .....	61

3.3. FRENO DINAMOMÉTRICO .....	66
3.3.1. Descripción del freno .....	66
3.3.2. Circuito de refrigeración del freno .....	68
3.4. EL MOTOR .....	69
3.4.1. Descripción del motor .....	69
3.4.2. Características técnicas del motor .....	70
<b>Capítulo 4: PARÁMETROS A MEDIR Y SISTEMAS DE ADQUISICIÓN Y CONTROL DEL MOTOR EN LA SALA DE ENSAYOS .....</b>	<b>76</b>
4.1. LA SALA DE CONTROL .....	78
4.2. VARIABLES A MEDIR E INSTRUMENTACIÓN .....	79
4.2.1. Tensiones .....	81
4.2.2. Temperaturas .....	81
4.2.3. Intensidades .....	82
4.2.4. Régimen instantáneo .....	83
4.2.5. Tensión de los inyectores .....	86
4.2.6. Opacidad de los gases de escape .....	87
4.2.7. Presión en los cilindros .....	88
4.3. SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	92
4.3.1. Rack de control del banco de ensayos .....	92
4.3.2. Sistema de control del motor: INCA .....	93
4.3.2.1. Software de control.....	93
4.3.3. YokoGawa .....	94
4.3.4. Sistema de control de parámetros: SAMARUC .....	97
4.3.5. Sistema de adquisición de emisiones contaminantes: Horiba 6000 FTIR .....	101
4.3.6. Opacímetro.....	104
<b>Capítulo 5: EXPERIMENTACIÓN .....</b>	<b>106</b>
5.1. INTRODUCCIÓN .....	108
5.2. PLAN DE ENSAYOS .....	108
5.3. PROCESADO DE DATOS .....	113
<b>Capítulo 6: RESULTADOS .....</b>	<b>114</b>
6.1. INTRODUCCIÓN .....	116
6.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE REPETIBILIDAD .....	116
6.3. OPTIMIZACIÓN DE ESTRATEGIAS .....	119
6.4. EFECTO DE UNA POST-INYECCIÓN .....	126
<b>Capítulo 7: CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS .....</b>	<b>130</b>
7.1. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS .....	132



<b>DOCUMENTO II: PLIEGO DE CONDICIONES</b> .....	134
<b>Capítulo 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PLIEGO</b> .....	<b>138</b>
1.1. INTRODUCCIÓN .....	140
1.2. OBJETIVOS DEL PLIEGO .....	140
<b>Capítulo 2: DESCRIPCIÓN Y CONDICIONES GENERALES DEL PROYECTO</b> .....	<b>142</b>
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	144
2.2. CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS .....	144
2.2.1. Promotor.....	144
2.2.2. Obligaciones y derechos del proyectista .....	145
2.2.3. Facultades del promotor .....	145
2.2.4. Comienzo, ritmo y plazos .....	145
2.2.5. Funciones a desarrollar por el técnico de sala en el proyecto .....	145
2.2.6. Funciones a desarrollar por el ingeniero en la sala.....	146
2.2.7. Funciones a desarrollar por el ingeniero en el proyecto .....	146
2.3. CONDICIONES GENERALES .....	147
2.3.1. Rescisión del contrato .....	147
<b>Capítulo 3: CONDICIONES DE LA SALA DE ENSAYOS</b> .....	<b>148</b>
3.1. INTRODUCCIÓN .....	150
3.2. REQUISITOS GENERALES .....	150
3.2.1. Dimensiones y accesibilidad .....	150
3.2.2. Ventilación.....	150
3.2.3. Iluminación .....	151
3.2.4. Insonorización.....	151
3.2.5. Vibraciones .....	151
3.2.6. Otros requisitos.....	151
3.3. CONDUCTOS DE GASES .....	152
3.4. RUTINA DE ARRANQUE Y PARADA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO .....	152
<b>Capítulo 4: CONDICIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE</b> .....	<b>168</b>
4.1. INTRODUCCIÓN .....	170
4.2. CONDICIONES A CUMPLIR POR LA SALA .....	170
4.3. CONDICIONES DE LA INSTALACIÓN .....	171
4.4. NORMAS PARA LOS OPERADORES .....	171
4.5. RECOMENDACIONES S.A.E .....	172



**DOCUMENTO III: PRESUPUESTO ..... 174**

1.1. INTRODUCCIÓN .....	178
1.2. COSTE DE LA MANO DE OBRA .....	178
1.2.1. Ingeniero técnico industrial.....	179
1.2.2. Ingeniero industrial .....	179
1.2.3. Técnico especializado en mecanizado industrial .....	179
1.3. COSTE DEL MATERIAL ADQUIRIDO .....	179
1.4. COSTE DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS.....	180
1.5. DESGLOSE DEL PRESUPUESTO .....	180
1.5.1. Coste de la mano de obra empleada.....	180
1.5.2. Coste del material adquirido no amortizable .....	182
1.5.3. Coste de la amortización de equipos utilizados .....	183
1.6. PRESUPUESTO TOTAL.....	186

**ANEXOS (Formato electrónico)**

*ANEXO 1. Combustible*

*ANEXO 2. Refrigerante*

*ANEXO 3. Batería*

*ANEXO 4. Codificador angular*

*ANEXO 5. Pinza amperimétrica*

*ANEXO 6. Acondicionador de presión*

*ANEXO 7. Opacímetro*

**BIBLIOGRAFÍA..... 188**



# **DOCUMENTO I:** **MEMORIA**



<b>Capítulo 1: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	15
1.2. OBJETIVO DEL PROYECTO .....	15
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	17
1.4. VIABILIDAD .....	18
1.5. DESARROLLO .....	18
<b>Capítulo 2: PROCESOS DE COMBUSTIÓN EN MOTORES DIESEL. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL ARRANQUE EN FRÍO .....</b>	<b>20</b>
2.1. INTRODUCCIÓN .....	22
2.2. ASPECTOS RELEVANTES .....	22
2.2.1. Definición de tiempos de arranque .....	22
2.2.2. Tipos de fluidos .....	23
2.2.3. Importancia de la capacidad e intensidad máxima de la batería ....	25
2.3. PROCESO DE COMBUSTIÓN .....	25
2.3.1. Mezcla aire-combustible .....	26
2.3.2. Evolución de la presión y la temperatura de la mezcla aire-combustible .....	31
2.3.3. El autoencendido de la mezcla .....	37
2.3.3.1. Problemas para iniciar el autoencendido .....	41
2.3.3.2. Soluciones para iniciar el autoencendido .....	42
2.4. EMISIONES CONTAMINANTES .....	44
2.4.1. Humos .....	44
2.4.2. HC, CO y NO <sub>x</sub> .....	45
2.5. SISTEMAS DE AYUDA AL ARRANQUE .....	46
2.5.1. Medios de inflamación del carburante por incandescencia .....	46
2.5.2. Calentamiento del aire de admisión .....	50
<b>Capítulo 3: SALA DE ENSAYOS PARA ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO EN FRÍO E INSTALACIÓN DEL MOTOR EN LA SALA .....</b>	<b>52</b>
3.1. SALA DE ENSAYOS PARA ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO EN FRÍO: CÁMARA CLIMÁTICA .....	54
3.1.1. Descripción general de la cámara .....	55
3.1.1.1. Disposición estructural .....	56
3.1.2. Instalaciones de la cámara .....	57
3.1.2.1. Sistema de frío .....	57
3.1.2.2. Características técnicas .....	59
3.2. BANCADA DEL MOTOR .....	61
3.3. FRENO DINAMOMÉTRICO .....	66
3.3.1. Descripción del freno .....	66
3.3.2. Circuito de refrigeración del freno .....	68
3.4. EL MOTOR .....	69

3.4.1. Descripción del motor .....	69
3.4.2. Características técnicas del motor .....	70
<b>Capítulo 4: PARÁMETROS A MEDIR Y SISTEMAS DE ADQUISICIÓN Y CONTROL DEL MOTOR EN LA SALA DE ENSAYOS .....</b>	<b>76</b>
4.1. LA SALA DE CONTROL .....	78
4.2. VARIABLES A MEDIR E INSTRUMENTACIÓN .....	79
4.2.1. Tensiones .....	81
4.2.2. Temperaturas .....	81
4.2.3. Intensidades .....	82
4.2.4. Régimen instantáneo .....	83
4.2.5. Tensión de los inyectores .....	86
4.2.6. Opacidad de los gases de escape .....	87
4.2.7. Presión en los cilindros .....	88
4.3. SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	92
4.3.1. Rack de control del banco de ensayos .....	92
4.3.2. Sistema de control del motor: INCA .....	93
4.3.2.1. Software de control.....	93
4.3.3. YokoGawa .....	94
4.3.4. Sistema de control de parámetros: SAMARUC .....	97
4.3.5. Sistema de adquisición de emisiones contaminantes: Horiba 6000 FTIR .....	101
4.3.6. Opacímetro.....	104
<b>Capítulo 5: EXPERIMENTACIÓN .....</b>	<b>106</b>
5.1. INTRODUCCIÓN .....	108
5.2. PLAN DE ENSAYOS .....	108
5.3. PROCESADO DE DATOS .....	113
<b>Capítulo 6: RESULTADOS.....</b>	<b>114</b>
6.1. INTRODUCCIÓN .....	116
6.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE REPETIBILIDAD .....	116
6.3. OPTIMIZACIÓN DE ESTRATEGIAS .....	119
6.4. EFECTO DE UNA POST-INYECCIÓN .....	126
<b>Capítulo 7: CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS .....</b>	<b>130</b>
7.1. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS.....	132







## **Capítulo 1: INTRODUCCIÓN**

- 1.1. ANTECEDENTES
- 1.2. OBJETIVO DEL PROYECTO
- 1.3. JUSTIFICACIÓN
- 1.4. VIABILIDAD
- 1.5. DESARROLLO



## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

Se puede señalar un momento como un antes y un después del motor Diesel. Fue en el año 1989 donde una casa alemana, Audi AG dentro del grupo VW, presentó en el Salón Internacional del Automóvil de Frankfurt el motor que marcaría un nuevo camino y que abriría grandes expectativas tanto en la reducción de la contaminación acústica como en la mejora de las prestaciones de los motores Diesel manteniendo intacta la virtud de un reducido consumo. Éste fue el primer motor Diesel de inyección directa turboalimentado destinado a la automoción y bautizado con el nombre TDI (Turbo Direct Injection), también llamados genéricamente HSDI (High Speed Direct Injection Diesel Engines).

A partir de esta fecha, los desarrollos fueron produciéndose a una gran velocidad en lo referente a los motores Diesel de inyección directa. Gracias al gran avance que se produjo en los procesos de fabricación, nuevos materiales y electrónica, se pudo incorporar un nuevo sistema de inyección, el llamado Common Rail, y el inyector-bomba a este tipo de motores. Estos sistemas permiten lograr altas presiones de inyección facilitando la pulverización del chorro de carburante y mejorando el proceso de combustión. También podemos encontrar otros avances destacables, como la utilización de culatas multiválvulas, pipas de admisión que generan swirl (torbellino), utilización de turbocompresores de turbina variable, intercoolers, trampas de partículas, etc. Todo ello controlado por una electrónica compleja denominada técnicamente ECU (Electronic Control Unit).

Después de éste breve recorrido por la historia, el presente trabajo final de grado se centra en el estudio de uno de los problemas más importante y problemáticos en lo que al funcionamiento del motor se refiere, que es el **arranque y funcionamiento posterior al mismo en frío**, a temperaturas muy bajas ( $-10^{\circ}\text{C}$ ).

Para realizar este estudio se ha utilizado un motor diesel con  $1500\text{ cm}^3$  y sistema de inyección directa common rail. Dicho motor pertenece al fabricante francés RENAULT y se denomina K9K. El proyecto incluye desde el montaje del mismo en una bancada, su instrumentación, y finalmente realización de ensayos de repetibilidad para comprobar el correcto funcionamiento del mismo, y la mejora del funcionamiento del motor tras producirse el arranque mediante la optimización de la estrategia de inyección.

## 1.1. ANTECEDENTES

El presente trabajo se ha realizado en el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, perteneciente a la Universidad Politécnica de Valencia, ubicado en el II edificio de investigación (ver fig.1.1).



*Fig. 1.1: II Edificio de investigación.*

El concepto de arranque en frío se viene tratando en el departamento desde hace más de 13 años mediante convenios de investigación con una empresa española y dos empresas francesas constructoras de automóviles.

Sobre este tema concretamente se han realizado doce PFC y dos tesis doctorales.

## 1.2. OBJETIVO DEL TRABAJO

La tendencia actual de los fabricantes de automóviles es crear motores Diesel de reducida cilindrada y bajas relaciones de compresión. Ello provoca, como se explicara más adelante, una mejora en la reducción del ruido de combustión, suavidad durante su funcionamiento y un aumento de potencia, pues se puede inyectar más cantidad de carburante. Pero por el contrario, esto genera un aumento de la problemática del arranque en frío debido a la bajada de la relación de compresión.

El uso de estrategias de inyección múltiple en los motores Diesel de baja relación de compresión amplía las posibilidades para mejorar el equilibrio entre las emisiones del motor, el ruido y el consumo de combustible, además permite

mejorar factores de funcionamiento tales como la estabilidad en el motor o el tiempo de arranque. La inyección múltiple nos permitiría mejorar la distribución espacial del combustible en la cámara y mejorar la vaporización del combustible, la cual reduce a nivel local y global la temperatura del gas en la cámara, lo que permite aumentar el retardo del encendido y por tanto una mezcla aire-combustible más homogénea. Ambos efectos provocarían la reducción de la formación de partículas. Por último, las estrategias de inyección múltiple permiten dividir el proceso de liberación de calor, lo que permite una reducción de la velocidad de variación de la presión en el cilindro, de modo que la velocidad pico de la combustión se reduce, y en consecuencia el ruido de la combustión se puede reducir también. Generalmente se utilizan pre-inyecciones o inyecciones pilotos fundamentalmente para reducir el ruido producido por la fase de combustión premezclada y post-inyecciones para reducir las emisiones contaminantes (oxidación de partículas).

Estas características traerán más posibilidades a los motores diesel para cumplir con las normas de emisión más restrictivas en un futuro próximo.

El objetivo principal de este trabajo se centra en la evaluación del potencial de las estrategias de inyección múltiple para mejorar la capacidad de funcionamiento del motor K9K E5 Diesel después del arranque en frío a temperatura ambiente bajo cero controlando las emisiones contaminantes del mismo y su estabilidad.

Es preciso considerar que un proyecto de instalación de este tipo exige que se cumplan los siguientes requisitos:

### **Fiabilidad**

Debido a que el periodo de ensayos sobre el motor se llevará a cabo en un prolongado periodo de tiempo, es necesario que el diseño de todos los elementos sea altamente fiable y seguro, ya que, cualquier sustitución posterior en la instalación puede cambiar el comportamiento del motor y esto puede afectar a la repetibilidad de los ensayos, así como incurrir en los planes de trabajo.

### **Seguridad**

Los M.C.I.A. son máquinas que funcionan a altas revoluciones con carburante inflamable donde además sus elementos auxiliares giran también a alta velocidad, por lo que conllevan un factor de riesgo laboral a considerar. Por ello, y con el fin de conseguir mayor seguridad, todas las piezas móviles deben ser protegidas mediante carcasas que impidan el contacto accidental. Además, se

debe automatizar totalmente la instalación de modo que todos los elementos podrán accionarse desde el exterior de la sala mediante control eléctrico o neumático, no haciendo falta la entrada del técnico a la sala mientras el motor esté en funcionamiento. Todas las operaciones, así como la comprobación del comportamiento del motor son vigiladas a través de la ventana, especialmente preparada, que posee la sala de ensayos.

### **Precisión**

Para obtener un grado elevado de precisión que redunde en unos resultados satisfactorios, debe cuidarse la elección y montaje de los distintos equipos de medida. La correcta calibración de todos los transductores deberá estar muy controlada, debido a su influencia en la toma de datos experimentales.

### **Repetibilidad**

Cualidad necesaria en todo proceso de medida para hacer comparaciones fiables de los resultados. Se considerarán repetitivos los ensayos cuando se consiga al menos tres ciclos consecutivos con resultados similares.

### **Controlabilidad**

No sólo es importante en todo momento conocer el valor y la situación de los distintos parámetros por medio de la instrumentación necesaria, sino que además, es preciso tener un control sobre las variables que intervienen en el ensayo; todo esto es posible gracias a la regulación por medio del equipo de instrumentación empleado.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

La justificación en lo que a la realización del trabajo se refiere viene dada por dos motivos, el primero de ellos por motivo científico o de investigación; y el otro por motivo meramente académico.

Referente al motivo académico, dicho trabajo tiene por objeto concluir los estudios de grado en Tecnologías Industriales de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales en la Universidad Politécnica de Valencia.

Por otro lado, el motivo científico viene dado por el interés de la empresa contratante del proyecto en implantar una estrategia de inyección nueva que mejore la estabilidad en condiciones climáticas adversas (temperaturas menores de 0°C) y; a su vez, reduzca las emisiones contaminantes.

## 1.4. VIABILIDAD

El Departamento de Máquinas y Motores Térmicos cuenta con la suficiente experiencia para la realización de la instalación experimental que, implica entre otras cosas, el montaje de un motor de automóvil con todos sus elementos auxiliares y de control. Además la línea de Investigación permite la realización de las medidas experimentales necesarias aplicando diferentes técnicas: medida de presiones instantáneas, temperaturas en diferentes puntos, emisiones de gases, etc...

Para que un trabajo de este tipo pueda efectuarse con éxito, es necesaria la conjunción de tres factores:

- Un grupo humano con experiencia en este tipo de instalaciones, tanto en la realización de los ensayos como en el procesado posterior de la información medida.
- Un laboratorio con tecnología avanzada.
- Un fondo económico que respalde todos estos gastos.

Los recursos humanos son posibles gracias al grupo que compone el Departamento, que cuenta con personal formado en diversas disciplinas, todos ellos trabajando en su área de conocimientos para la consecución de los resultados.

La disposición de herramientas y equipos son fruto de más de 25 años de trabajo en la investigación de los motores térmicos, de la continua inversión en material especializado y de última generación para el estudio de este campo de la ingeniería, así como del material puesto a disposición de los trabajos por las diversas empresas que lo contratan.

La viabilidad económica se debe a la unión de recursos del Departamento de Maquinas y Motores Térmicos y al convenio establecido con la empresa francesa, fabricante de automóviles, Renault, para el desarrollo del presente proyecto.

## 1.5. DESARROLLO

En este apartado se describen las distintas partes del trabajo final de grado a realizar. En primer lugar se muestran los documentos que lo componen: Memoria, pliego de condiciones y presupuesto.

En el primero de estos documentos, los capítulos están colocados de forma que proporcionan una estructura perfectamente ordenada, desde la introducción, hasta los ensayos realizados y conclusiones extraídas de los mismos.



Dentro de la memoria, el primer capítulo nos sitúa en la temática a tratar; mostrando la importancia de este trabajo dentro del departamento como parte de un largo proceso de investigación.

El segundo capítulo pretende ofrecer una pequeña introducción a aspectos importantes del funcionamiento en frío.

Ya realizada una pequeña introducción al funcionamiento en frío, en el capítulo tres se describe la sala de ensayo, la instalación del motor en la misma y el propio motor.

En el cuarto capítulo se describe la sala de control, se muestran las variables a medir e instrumentar y los sistemas de adquisición de datos que se utilizan.

En el capítulo quinto se describe el plan de ensayos a realizar y se presenta la forma de procesar los datos que se utilizará a lo largo del proyecto; y en el sexto, se analizan los distintos resultados obtenidos en los mismos.

Por último, se muestran las conclusiones obtenidas y se presentan posibles desarrollos futuros que podrían realizarse a partir de este proyecto.

En cuanto al pliego de condiciones, es un documento independiente en el que se fijan las condiciones requeridas, tanto para la instalación de los componentes, como para los ensayos y demás actividades que conlleva la realización de este trabajo.

Por último, se presenta el presupuesto del coste que supone la realización de este proyecto.



## **Capítulo 2: PROCESOS DE COMBUSTIÓN EN MOTORES DIESEL. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL ARRANQUE EN FRÍO**

### **2.1. INTRODUCCIÓN**

### **2.2. ASPECTOS RELEVANTES**

2.2.1. Definición de tiempos de arranque

2.2.2. Tipos de fluidos

2.2.3. Importancia de la capacidad e intensidad máxima de la batería.

### **2.3. PROCESO DE COMBUSTIÓN**

2.3.1. Mezcla aire-combustible

2.3.2. Evolución de la presión y la temperatura de la mezcla aire-combustible

2.3.3. El autoencendido de la mezcla

2.3.3.1. Problemas para iniciar el autoencendido

2.3.3.2. Soluciones para iniciar el autoencendido

### **2.4. EMISIONES CONTAMINANTES**

2.4.1. Humos

2.4.2. HC, CO y NO<sub>x</sub>

### **2.5. SISTEMAS DE AYUDA AL ARRANQUE**

2.5.1. Medios de inflamación del carburante por incandescencia

2.5.2. Calentamiento del aire de admisión



## **CAPÍTULO 2: PROCESO DE COMBUSTIÓN EN MOTORES DIESEL. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL ARRANQUE EN FRÍO.**

### **2.1. INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se caracterizan las particularidades del arranque en frío para motores Diesel. Para ello, nos centraremos en aquellos puntos de mayor importancia.

Por otro lado, en este capítulo se muestra el proceso de combustión en la secuencia del arranque, las emisiones contaminantes más perjudiciales, y finalmente, los distintos sistemas de ayuda para el arranque en frío de motores diesel que hoy en día se utilizan.

Aunque el arranque en frío en sí, no es el objetivo principal de este trabajo, se ha considerado relevante comentar ciertos aspectos de éste ya que el ciclo a estudiar sí que incluye el arranque en frío del motor.

### **2.2. ASPECTOS RELEVANTES**

#### **2.2.1. Definición de los tiempos de arranque.**

El tiempo de arranque lo podemos dividir en cinco subetapas que son las siguientes:

##### **a) Tiempo de precalentamiento:**

Se corresponde con el tiempo necesario para que los calentadores consigan la temperatura necesaria en la cámara de combustión para iniciar el autoencendido de la mezcla.

##### **b) Tiempo de arrastre:**

Es el tiempo comprendido entre el momento en el que el motor de arranque se pone en funcionamiento arrastrando el motor, hasta el instante en el que se produce una elevación del régimen de giro que se corresponde con la presencia de la primera combustión.

##### **c) Tiempo de fallo:**

Este periodo puede existir o no en los arranques. Su presencia se debe a fallos de combustión, como por ejemplo algún cilindro que no queme, que hacen que el régimen de giro del motor vuelva a situarse en valores típicos del régimen de giro del motor de arranque. Dicha situación puede ser repetitiva provocando sucesivos aumentos de régimen que caen a régimen de arrastre.

**d) Tiempo de aceleración:**

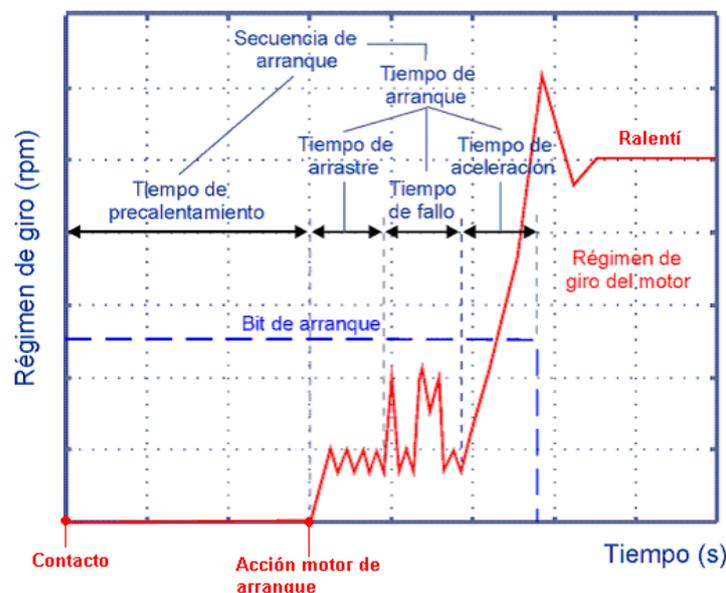
Es el tiempo que tarda el motor en pasar de régimen de arrastre a estado de ralentí estable. Está determinado por la ECU con la variable bit de arranque.

**e) Tiempo de arranque:**

Éste es igual a la suma de los tiempos de arrastre, de fallo y de aceleración. El tiempo de arranque ha de ser el menor posible y no debe haber tiempo de fallo para considerarse que el arranque es aceptable.

**f) Secuencia de arranque:**

Se corresponde con la suma del tiempo precalentamiento más el tiempo de arranque.



**Fig. 2.1: Terminología de las diferentes partes de un arranque genérico.**

**2.2.2. Tipo de fluidos.**

En este apartado se tratará la importancia que llegan a tener los diferentes tipos de fluidos en el arranque en frío como son, el aceite del motor, el combustible y el líquido refrigerante.

En lo referente al **aceite del motor**, éste es de suma importancia debido a que la baja temperatura origina un aumento de la viscosidad del aceite. Debido a dicho aumento de la viscosidad existe un serio problema para garantizar durante el funcionamiento en frío la alimentación continua de aceite en todos los puntos de fricción del motor, es decir, la capacidad de bombeo del aceite será limitada. Los parámetros clave para lograr una buena capacidad de bombeo son la composición, concentración y morfología del aceite. Como curiosidad decir que a través de varios estudios realizados se llegó a la conclusión de que el desgaste

de los segmentos durante el arranque en frío es 45 veces mayor que en condiciones de operación estable.

Una solución al problema de la lubricación durante el funcionamiento a baja temperatura es la disminución de la viscosidad del aceite, con lo que se consigue mejorar el régimen de giro del motor y el bombeo de aceite, sobre todo con la utilización de aceites sintéticos.

Las características técnicas del aceite utilizado durante el proyecto son las siguientes:

### FLAGSHIP - ACEITES LUBRICANTES PARA MOTORES DE COCHES

---

#### FLAGSHIP C2 0W-30

---

##### DESCRIPCION

Lubricante 100% sintético de alta calidad, especialmente diseñado para cumplir la norma ACEA C2, de bajo contenido de azufre, fósforo y cenizas sulfatadas (Mfd SAPS).

##### PRESENTACION

1000 / 200 / 50 / 25 / 20 / 5 / 1 litros.

##### NIVEL DE CALIDAD

API SN/CF      ACEA C2



Otro fluido con gran importancia en dicho trabajo es, por supuesto, el **combustible** utilizado en el motor para la realización de los distintos ensayos.

Distintas características del combustible como la volatilidad, el índice de cetano, la viscosidad y el punto de enturbiamiento (la temperatura a la cual aparecen los primeros cristales de parafina que enturbian el combustible) afectan directamente sobre la autoinflamación de la mezcla aire-combustible en el arranque en frío. Se puede decir que lo más importante es el número de cetano, el cual está relacionado con la volatilidad del combustible. De hecho, un combustible con mayor número de cetano reduce el tiempo de retraso y hace que las presiones en el cilindro sean superiores al mejorar las tasas de la autoignición exotérmica y las reacciones de combustión. Con ello, se consigue que el arranque del motor en frío sea mejor y más limpio.

Para la realización de los ensayos se ha utilizado gasoil suministrado por **Total del tipo D-E-107** especial para bajas temperaturas, las características se detallan en el anexo nº 1.

Otro fluido de suma importancia es el **líquido refrigerante**, éste es el encargado de mantener una temperatura estable en el motor. Cabe destacar que muchas de las cartografías de la ECU sufren modificaciones según la temperatura del refrigerante, es por ello que el fabricante recomienda un elevado porcentaje de etilenglicol en su composición para el funcionamiento en frío.

Para la realización de los ensayos se ha utilizado el líquido refrigerante **Anticongelante – refrigerante 50% SERCA Long-life**. Sus características se detallan en el anexo nº 2.

Este tipo de refrigerante está preparado a base de etilenglicol y un paquete de inhibidores de corrosión especialmente diseñado para proteger los metales del circuito de refrigeración de motores de combustión interna.

### 2.2.3. Importancia de la capacidad e intensidad máxima de la batería.

Comenzamos diciendo que la batería utilizada durante el trabajo tiene las siguientes características:

MARCA: VARTA, E39

CAPACIDAD MÁXIMA: 70Ah

INTENSIDAD MÁXIMA DE SUMINISTRO: 760 A

Para ver las características completas de la batería ir al anexo nº 3.

La importancia de la capacidad e intensidad viene dada debido a que la batería es la encargada de suministrar la energía eléctrica necesaria para mover el motor de arranque y que el motor se ponga en marcha; y además, por otro lado, también sirve energía al equipo eléctrico del vehículo cuando no tiene suficiente con la que es capaz de generar el alternador. En nuestro caso, el total de la potencia demanda, es asumida por la batería, ya que en el arranque y el ciclo realizado después, el alternador está desconectado para evitar que influya la potencia mecánica absorbida por éste.

Algo importante y que se debe destacar es que si la temperatura es baja, disminuirá la intensidad ofrecida por la batería y en consecuencia también el régimen de arrastre, por lo que la potencia del motor de arranque se verá afectada por una caída importante a bajas temperaturas.

## 2.3. PROCESO DE COMBUSTIÓN

El motor Diesel presenta un gran problema durante el arranque cuando no se encuentra a su temperatura óptima de funcionamiento. Éste problema se da en la mayoría de los motores actuales de automóvil con pequeña cilindrada y se debe al propio proceso de combustión, ya que la temperatura máxima que se

consigue en la fase de compresión depende fuertemente de la transmisión de calor desde el gas hacia las paredes del cilindro. Si la temperatura de admisión es baja y el motor está frío, el aire que entra en los cilindros se enfría al estar en contacto con las paredes del motor durante la fase de admisión, calentándose luego durante la etapa de compresión. Sin embargo, puede darse el caso de que la temperatura alcanzada por el aire al final de la compresión no sea lo suficientemente alta para que se autoinflame la mezcla al ser inyectado el combustible. Por ello, el arranque en frío de estos motores requiere de la ayuda de sistemas auxiliares que le permita conseguir las condiciones de autoencendido de la mezcla en condiciones críticas.

En este apartado se expone, en primer lugar, la problemática general de la mezcla aire-combustible y los procesos que intervienen en la formación de la mezcla. En segundo lugar, se analiza la evolución de la presión y temperatura en el interior del cilindro durante la compresión, así como algunos ejemplos del análisis de las condiciones de presión y temperatura necesarias para que se produzca la combustión. Por último, se incluye un apartado que trata de la combustión y de su dependencia con el tiempo de retraso asociado al combustible, y se analizan los problemas particulares para iniciar la combustión cuando el motor se encuentra en condiciones de baja temperatura, explicando las soluciones actuales.

### 2.3.1. Mezcla aire-combustible

La inyección de combustible en un motor Diesel se realiza sobre una determinada cantidad de aire a una cierta presión y temperatura, formándose una mezcla aire-combustible. La cantidad de aire que admite el motor referida a 1 kg de combustible es siempre mayor que la teóricamente necesaria. Cuanto más perfectos sean los procesos de formación de la mezcla y de combustión en el motor Diesel, tanto menor será la diferencia entre la masa de aire real admitida por el motor y la teórica. La relación entre la masa de combustible inyectada en el cilindro y la de aire se denomina dosado ( $F$ ). Cabe destacar que la proporción estequiométrica gasoil-aire para una combustión completa recibe el nombre de dosado estequiométrico ( $F_e$ ) que da lugar al concepto de dosado relativo ( $F_R$ ) que es con el que se suele trabajar en ingeniería.

$$F = \frac{m_f}{m_a} \quad (2.1)$$

$$F_e = \frac{m_{f\_estequiomarico}}{m_{a\_estequimerico}} \approx \frac{1}{14.5} \quad (2.2)$$

$$F_R = \frac{F}{F_e} \quad (2.3)$$

En los motores Diesel la magnitud del dosado relativo ( $F_R$ ) depende no sólo del grado de perfección de los procesos de formación de la mezcla y de combustión, sino también de las condiciones de funcionamiento.

Así, para el caso de condiciones de carga pequeñas próximas a las de ralentí,  $F_R \leq 0,1$ . Sin embargo, para el caso del arranque en frío a baja temperatura,  $F_r$  está en valores muy superiores a los que se utilizan cuando el motor está en las condiciones óptimas de funcionamiento, llegando a estar en valores próximos a 2. En este caso, no existe un exceso de aire sino, más bien, un defecto del mismo como consecuencia de una gran cantidad de combustible inyectado para que haya más probabilidades de que se inicie la combustión.

Pese a una perfección considerable de los métodos de formación de la mezcla y de una elección más correcta del combustible, en los motores Diesel todavía no están eliminados los siguientes inconvenientes: la marcha dura (gradiente de presión elevado), la formación de humos (sobre todo a cargas elevadas) y el aprovechamiento insuficiente del aire que entra en el motor (valores de  $FR < 1$ ) y, por consiguiente, menores valores de la potencia por litro de cilindrada.

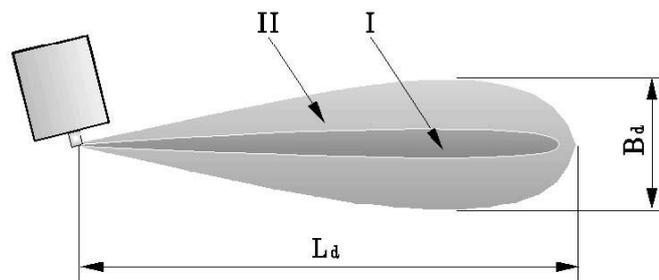
Obviamente, en cualquier condición se pretende conseguir una mezcla del aire-combustible homogénea. Sin embargo, existen multitud de condicionantes que hacen que dicha homogeneidad no se consiga. Entre otros, se pueden destacar: la inyección del combustible al cilindro, el movimiento del aire en el cilindro, las condiciones ambientales, las condiciones de funcionamiento, el tiempo disponible para realizar la mezcla, etc ... En el caso del arranque en frío, la mezcla del carburante es aún más compleja ya que a pesar de disponer de mayor tiempo, la baja turbulencia del aire, la baja presión de inyección, la baja temperatura, el estado inicial de parada, la gran cantidad de combustible inyectado, etc..., hacen que se complique el proceso.

En términos generales, la inyección del combustible en la cámara de combustión empieza unos grados de cigüeñal antes del PMS, cuya cantidad varía en función de la carga y del régimen de giro. La presión de inyección puede variar entre 180 bar (mínimo para que se pueda inyectar) y no se sobrepasan los 1500 bar, provocando que la inyección del carburante transcurra a gran velocidad a través de la tobera del inyector.

El combustible que sale del agujero de la tobera al espacio ocupado por el aire comprimido se atomiza en gotas ínfimas con diámetros del orden de 5 a 60  $\mu\text{m}$ . A esta atomización, que se inicia en el mismo agujero de la tobera, contribuyen, principalmente, la fricción del combustible contra las paredes del

canal de la tobera, la viscosidad del combustible, la turbulencia de su movimiento, el diámetro de la tobera, el tarado del inyector y la presión de inyección. El proceso de atomización es importante puesto que favorece el proceso físico de mezcla entre el gas ambiente y el combustible (englobamiento de aire), ya que aumenta fuertemente la superficie de contacto entre ambos. Es precisamente ese englobamiento de aire caliente fruto de la compresión en el cilindro previo a la inyección lo que lleva a la evaporación del combustible, constituyendo la concatenación de todos estos fenómenos el retraso físico previo al proceso de combustión.

La acumulación de gotas de combustible que se forman a la salida del canal de la tobera, se llama dardo de combustible. Se puede ver un esquema del mismo en la (figura 2.2).



**Fig. 2.2: Esquema de un dardo de combustible.**

Este chorro tiene una parte central denominada el núcleo (I), que se trata del núcleo que contiene las gotas más grandes, y una capa externa (II) formada por gotas más pequeñas de dimensiones diferentes. En el núcleo, las gotas tienen energía y velocidad elevadas, y con el tránsito hacia la periferia del chorro la velocidad de las gotas decrecen.

La forma del dardo de combustible se caracteriza por su longitud, ancho y velocidad de propagación del frente. Se llama longitud del dardo ( $L_d$ ), a la distancia, medida por su eje, desde la sección de salida del orificio de la tobera hasta el punto más alejado de la cima del dardo. Como ancho del dardo ( $B_d$ ) se considera su magnitud máxima. La velocidad de propagación ( $w_d$ ) del frente del dardo se determina como la velocidad de su cima. Evidentemente, estas dimensiones varían durante la inyección del combustible.

La longitud del dardo y la velocidad de propagación del frente se caracterizan porque:

- Dependen sobre todo de la presión de inyección. Al aumentar la presión de inyección y disminuir el diámetro del canal de la tobera crece la finura de pulverización del combustible en el dardo.
- Crecen con el aumento de la presión de los muelles del inyector, lo cual se debe al crecimiento de la presión de inyección del combustible e incremento de su velocidad de salida.
- Decrecen al aumentar la densidad del medio al que se inyecta el combustible, y crecen, con el incremento de la densidad del combustible.

En el primer caso, esto está vinculado al incremento de la resistencia aerodinámica del medio, y en segundo, al acrecentamiento de la energía cinética del chorro del combustible inyectado

El movimiento de la carga de aire ejerce una influencia sustancial sobre la distribución del combustible pulverizado en la cámara de combustión.

Por otra parte, las gotas del combustible inyectado en la cámara de combustión durante la etapa de compresión del aire se calientan, y en parte, se evaporan. El calentamiento de las gotas ocurre desde su superficie hasta su centro. Como consecuencia de ello, las capas exteriores tienen una temperatura más alta que las interiores. Estas gotas de combustible se calientan y se evaporan cada vez más rápido cuanto menores son sus dimensiones y más alta la temperatura del aire en la cámara.

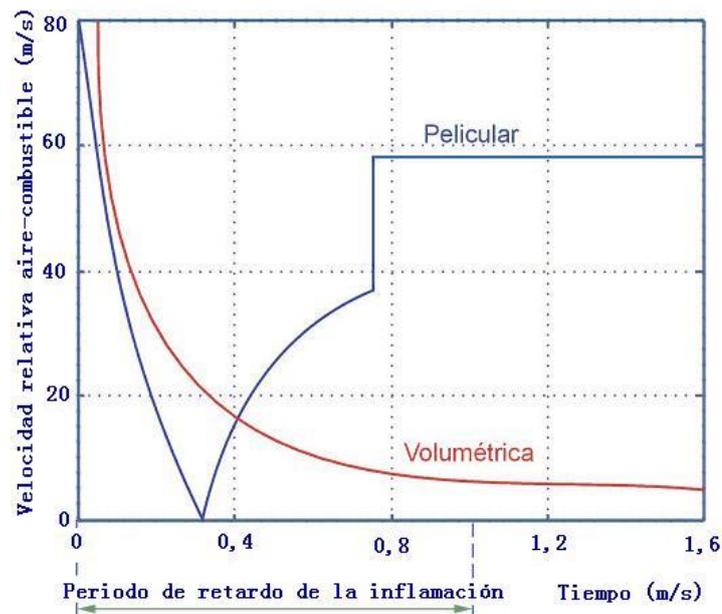
Los vapores del combustible que se desprenden de la superficie de la gota se difunden hacia el medio circulante. De este modo, alrededor de cada gota en dirección del radio se forma una mezcla de vapores de combustible y aire con una variación paulatina de la concentración. El proceso de formación de la mezcla aire-combustible descrito se le denomina formación volumétrica de la mezcla. Este proceso de formación de la mezcla es típico de los motores Diesel con cilindros de gran volumen útil y, por consiguiente, con cámaras de combustión de dimensiones grandes.

Otro mecanismo de formación de la mezcla de aire-combustible es el denominado pelicular, en cuyo caso el combustible se evapora de las paredes de la cámara de combustión, a las cuales llega por medio del núcleo del dardo.

En el núcleo se concentran las gotas grandes que no logran evaporarse durante la disgregación desde el borde del canal de la tobera del inyector hasta la pared de la cámara de combustión, en donde forman una capa uniforme de combustible en fase líquida o simplemente una película fina de combustible.

El combustible, calentado en parte durante el desplazamiento de las gotas y en parte con el calor de la pared de la cámara de combustión (no es el caso del

arranque en frío), se evapora en un intervalo más corto de tiempo que en el caso de formación de la mezcla volumétrica. Cuanto más intenso es el movimiento del aire caliente en la proximidad de la película fina, tanto más rápidamente se producirá la evaporación. Este hecho se debe al incremento de la velocidad relativa entre el combustible inmóvil, el aire en movimiento y al aumento de la temperatura del flujo gaseoso que pasa junto a la película. (Figura 2.3)



**Fig. 2.3: Cambio de velocidad relativa entre el combustible y el aire que se mueve durante la formación de la mezcla: Pelicular y Volumétrica.**

Las ventajas que ofrece la formación pelicular de la mezcla en comparación con la volumétrica consisten en la posibilidad de utilizar combustibles con menor índice de cetano y combustibles ligeros, así como la reducción del ruido de combustión. Sin embargo, no es posible la formación pelicular de la mezcla de manera única, sin que tenga lugar, en parte, la formación volumétrica, puesto que al aplicar el combustible sobre la pared de la cámara, parte de éste se evapora inevitablemente en la carga de aire.

Prácticamente en todas las cámaras de combustión utilizadas en los motores Diesel rápidos tienen lugar ambos tipos de evaporación del combustible: desde la superficie de la gota del combustible pulverizado que se desplaza a lo largo de la cámara de combustión y desde la superficie de la película fina de combustible formada en la pared de la cámara. En este caso la formación de la mezcla se llama volumétrico-pelicular. Sin embargo, en el arranque en frío, la mezcla es mayoritariamente volumétrica, ya que la formación pelicular requiere

una temperatura elevada en las paredes del cilindro para evaporar el combustible y así formar la mezcla aire-combustible.

### 2.3.2. Evolución de la presión y la temperatura de la mezcla aire-combustible.

Inicialmente, durante la primera compresión del aire, la temperatura de los elementos que forman la cámara de combustión permanece aproximadamente invariable. Al comienzo de la compresión, el aire tiene una temperatura menor o igual a la de las superficies de la cámara (dependiendo del retraso del cierre de la admisión). No obstante, a causa del proceso de compresión la temperatura del aire comienza a superar a la de las piezas que lo rodean. Por lo tanto, existe un intercambio térmico que define las características del proceso de compresión, el cual se puede estudiar como politrópico según la ecuación 2.4.

$$PV^k = \text{Constante}$$

**Ecuación 2.4.**

Donde:

- P = Presión en el interior del cilindro. [Pa]
- V = Volumen desplazado en el interior del cilindro. [m<sup>3</sup>]
- k' = Exponente politrópico del proceso de compresión. [-]

El exponente politrópico (k') depende de la transmisión de calor durante el proceso de compresión.

Los diagramas del indicador en los motores muestran que es posible sustituir, con una precisión suficiente, una curva politrópica con exponente variable por una curva politrópica con cierto exponente constante. El valor aproximado del exponente politrópico medio es del orden de:

$$k' = 1,25 \dots 1,38$$

El exponente k' depende fundamentalmente de los siguientes factores:

- Régimen de giro.
- Relación carrera-diámetro del cilindro.
- Material del émbolo y culata.
- Blow-by.

El régimen de giro ejerce la mayor influencia sobre el exponente k', ya que al aumentar el régimen de giro, k' también crece, puesto que se reduce el tiempo de intercambio térmico entre el aire y las superficies que la rodean. Además, al

aumentar el régimen de giro, se reducen las fugas de aire a través de los huecos de los segmentos del émbolo.

En la gama de regímenes de giro desde 600 a 2500 rpm puede emplearse de forma aproximada la expresión siguiente:

$$k' = 1,41 - \frac{110}{n}$$

Donde:

- $k'$  = Exponente politrópico del proceso de compresión. [-]
- $n$  = régimen de giro. [rpm]

Al aumentar el diámetro del cilindro, permaneciendo invariable el recorrido del pistón, el exponente  $k'$  crece, puesto que se reduce la relación entre la superficie del cilindro y el volumen, entonces la transmisión de calor desde el aire disminuye.

La reducción del recorrido del pistón, permaneciendo el diámetro del cilindro invariable, aumenta la transmisión de calor del aire al cilindro y el exponente  $k'$  decrece.

La utilización de aleaciones de aluminio en vez de hierro fundido para fabricar los pistones y las culatas, reduce el exponente  $k'$  a consecuencia de la menor conductividad térmica de las aleaciones de aluminio.

La temperatura y la presión al final de la compresión, suponiendo un gas perfecto y considerando la ecuación 2.4, son:

$$T_c = T_a \cdot r_c^{k'-1} \qquad P_c = P_a \cdot r_c^{k'}$$

**Ecuaciones 2.5 y 2.6**

Donde:

- $T_c$  = Temperatura al final de la compresión. [K]
- $T_a$  = Temperatura en el inicio de la compresión. [K]
- $P_c$  = Presión al final de la compresión. [Pa]
- $P_a$  = Presión en el inicio de la compresión. [Pa]
- $r_c$  = Relación de compresión. [-]

Al calcular la presión y la temperatura al final de la compresión según las ecuaciones (2.5) y (2.6) se está suponiendo que estos valores se alcanzan en el PMS. En realidad, esto no es así. La presión máxima tiene lugar antes de llegar al PMS, ya que el blow-by en dicho punto es muy elevado, y la temperatura máxima también tiene lugar también antes de llegar al PMS. Generalmente, se puede decir que la temperatura máxima se alcanza antes que la presión máxima y las

dos antes de llegar al PMS. El valor de la temperatura máxima en el interior del cilindro es el que define el proceso de la combustión.

Sin embargo, para que dé lugar tal combustión es necesario determinar la temperatura mínima requerida al inicio de la compresión. Esta temperatura se puede determinar a partir de ensayos experimentales, teniendo en cuenta que la combustión depende principalmente del tipo de combustible empleado (índice de cetano), del dosado y de la presión a la que se encuentra la mezcla. No obstante, este ensayo es costoso y bastante difícil de controlar. Además, la extrapolación al caso del arranque del motor no es directa, ya que por ejemplo, la temperatura del aire en el momento de inyección es función del régimen de giro, de la temperatura exterior, del blow-by, etc...

Actualmente, los motores HSDI utilizan bujías de precalentamiento como sistema de ayuda al arranque en frío del motor. Ello se debe a la necesidad de un aporte energético extra para poder iniciar el autoencendido de la mezcla. La justificación de esta necesidad es la siguiente: Suponiendo que el punto de máxima temperatura se da en el PMS se puede estimar, a través de la ecuación 2.5, para un motor de HSDI de  $r_c=15,6$  que la temperatura al final de la compresión es  $T_c = T_a \cdot 2,62$  suponiendo un exponente politrópico medio constante ( $k'= 1,35$ ). Luego por cada grado que aumente la temperatura en el inicio de la compresión, la temperatura aumenta 2,62 grados al final de la compresión. Para el caso del arranque en frío a  $-25^\circ\text{C}=248\text{ K}$  al inicio del arranque, la temperatura al final de la compresión debería ser de  $376^\circ\text{C} = 649.76\text{ K}$ . Si esta temperatura es inferior a la mínima para autoencender del combustible, sería imposible iniciar la combustión, necesitando de algún aporte de energía externo para conseguirlo, como las actualmente utilizadas bujías de precalentamiento.

Cabe tener en cuenta que para bajas velocidades de arrastre del motor como las que se dan durante el arranque en frío, se requiere la presencia de combustibles más volátiles, la ayuda de algún sistema extra de energía como el uso de calentadores (bujías de precalentamiento) y la inyección del combustible con chorros finos bien atomizados (tamaños de gota grandes requieren temperaturas más altas para el autoencendido) para favorecer el autoencendido de la mezcla y poder así iniciar la combustión. Además, otros de los factores que se han de tener en cuenta por su efecto sobre el autoencendido del combustible son:

- La velocidad del swirl dentro de la cámara de combustión. Por una parte, mejora la mezcla aire-combustible, aunque durante el arranque en frío el swirl es muy bajo, y por otra parte incrementa la

transferencia de calor en la pared de la cámara de combustión, disminuyendo la temperatura máxima de compresión.

- La turbulencia.
- La localización de las bujías de precalentamiento y sus características.
- La relación aire-combustible en la zona de autoencendido.

El funcionamiento del motor Diesel durante el arranque tiene una serie de particularidades en comparación con el funcionamiento normal. Durante el arranque, la velocidad del flujo de aire en la admisión es baja y el retardo en el cierre de la válvula de admisión después del PMI provoca un reflujo de una parte de la carga y una cierta pérdida de gasto másico.

Esto conlleva a una reducción del grado real de compresión del cilindro, y por lo tanto, a peores condiciones para el arranque. Luego, el aumento del ángulo de retardo en el cierre de la válvula de admisión empeora las condiciones de arranque del motor.

La pérdida de la carrera de compresión del motor se evalúa mediante el coeficiente del volumen perdido ( $\Psi$ ), el cual se define como la relación entre el volumen del cilindro desde el PMI hasta el momento en que se cierra la válvula de admisión y el volumen total del cilindro.

Durante el arranque del motor el proceso de compresión se acompaña de grandes fugas de carga de aire, debido a la alta viscosidad del aceite y a la baja velocidad de rotación durante el arrastre del motor. Esto es consecuencia de la falta de estanqueidad entre las paredes de los cilindros y los segmentos de los pistones. La magnitud de fugas del gas durante el proceso de compresión se estima por medio del coeficiente de conservación de la carga:

$$b_{\text{low}} - b_y = 1 - \beta$$

**Ecuación 2.7**

Definido como:

$$\beta = \frac{m_c}{m_a}$$

**Ecuación 2.8**

Donde:

- $m_c$ = Masa de aire cuando el émbolo está en el PMS del cilindro. [kg]
- $m_a$ = Masa de aire al cierre de la válvula de admisión. [kg]

El coeficiente de conservación de la carga ( $\beta$ ) depende de la relación de compresión geométrica propia de cada motor, del diagrama de distribución y de

las condiciones de funcionamiento (principalmente, temperatura ambiente y régimen de giro). Por ejemplo, la dependencia del coeficiente de conservación de la carga ( $\beta$ ) con respecto al régimen de giro y a la relación de compresión para una determinada temperatura se muestra en la figura 2.4.

La tendencia del coeficiente de conservación de la carga, para un motor dado, se puede obtener de forma general en función del régimen de giro y de la relación de compresión según la ecuación 2.9

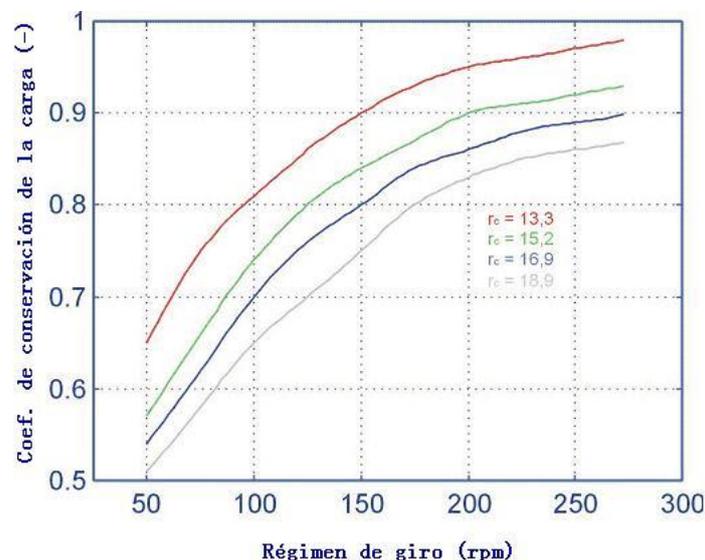
$$\beta = \frac{n^{0,32}}{r_c^{0,65}}$$

**Ecuación 2.9**

Donde:

- $n$  = Régimen de giro. [rpm]
- $r_c$  = Relación de compresión geométrica. [-]

El coeficiente de conservación de la carga es un factor muy importante en el arranque en frío, ya que afecta notablemente a la temperatura del gas en el interior del cilindro para bajo régimen de giro.



**Fig. 2.4:** Dependencia entre el coeficiente de conservación de la carga del aire y el régimen de giro del cigüeñal de un motor Diesel, para varios grados de compresión geométricos.

Debido al bajo régimen de giro del motor durante el arrastre del mismo, la duración del proceso de compresión es elevada, lo cual conduce a mayores

pérdidas de calor que se deben de valorar con la ayuda del exponente medio de la curva politrópica ( $k'$ ). El cálculo aproximado de  $k'$  puede realizarse según la fórmula empírica (2.10) que es válida para los regímenes de arranque en frío del motor Diesel.

$$K' = 1,24 \cdot n^{0,015}$$

**Ecuación 2.10**

A partir de las ecuaciones 2.8, 2.9, 2.10, y la ecuación característica de una evolución politrópica se puede obtener una buena aproximación de la presión y la temperatura al final de la compresión durante el arranque en frío de motores Diesel a través de:

$$P_c = P_a \cdot [r_c \cdot (1 - \psi)]^{1,24 \cdot n^{0,015}}$$

**Ecuación 2.11**

$$T_c = T_a \cdot \beta^{-1} \cdot [r_c \cdot (1 - \psi)]^{1,24 \cdot n^{(0,015-1)}}$$

**Ecuación 2.12**

Donde:

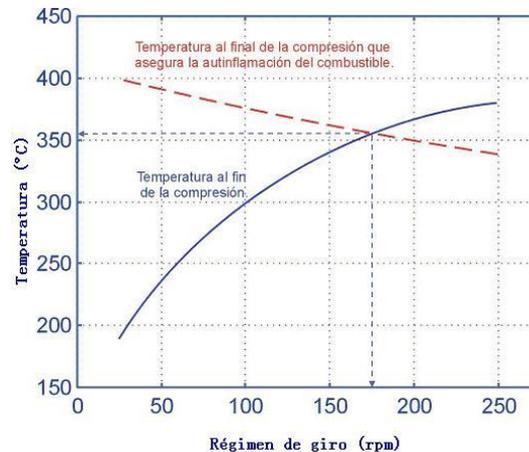
- $P_c$ : Presión al final de la carrera de compresión en arrastre [Pa]
- $T_c$ : Temperatura al final de la compresión [K]
- $P_a$ : Presión en el inicio de la compresión [Pa]
- $T_a$ : Temperatura en el inicio de la compresión [K]
- $\beta$ : Coeficiente de conservación de la carga [-]
- $n$ : Régimen de giro [rpm]
- $r_c$ : Relación de compresión geométrica [-]
- $\Psi$ : Coeficiente del volumen perdido [-]

Al calcular el proceso de compresión la  $T_a$  y la  $P_a$  pueden suponerse iguales a las de las condiciones ambientales; por lo tanto, la temperatura al final de la etapa de compresión se puede relacionar con el régimen de giro, tal como se observa en la ecuación 2.11 de forma teórica. El régimen de giro del cigüeñal necesario para crear las condiciones de autoinflamación del gasoil de un motor Diesel de inyección directa de 1 litro de cilindrada unitaria se muestra en la figura 2.5.

Cuando se calcula el régimen de giro necesario para el arranque, conviene tomar en consideración el nivel tecnológico de fabricación de los motores Diesel, su cilindrada unitaria y las temperaturas extremas de trabajo. Ello determina la variación en los resultados de presión y temperatura al final de la compresión.

Se puede concluir diciendo que un aumento del régimen de giro y/o un incremento de la cilindrada unitaria del motor hacen que la temperatura al final de

la compresión sea más elevada, y por tanto, se favorezca el autoencendido de la mezcla aire-combustible.



**Figura 2.5:** Determinación de la frecuencia de giro del cigüeñal, suficiente para asegurar la inflamación del carburante en la cámara de combustión durante la secuencia de arranque.

### 2.3.3. El autoencendido de la mezcla.

En motores de diferentes tipos, pese a las diferencias, hay también rasgos comunes en los procesos de combustión. Durante las colisiones que sufren las moléculas del combustible con las moléculas de oxígeno del aire, tiene lugar la oxidación primaria y la formación de centros activos. La cadena de reacciones intermedias que sigue a este proceso, con la formación de aldehídos, cetonas y otros compuestos, concluye con la obtención de productos finales, entre los que figuran  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ , hidrocarburos sin quemar (HC), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), en el caso de una combustión incompleta monóxido de carbono (CO). En determinados casos hasta se obtiene hollín. A temperaturas altas (2000 K) obtenidas al final de la combustión, una parte insignificante de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  se disocia, formando de nuevo al bajar la temperatura,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{O}_2$ . Además, antes de la combustión algunas moléculas de carburante se desintegran.

Para que se dé comienzo a la cadena de reacciones de las moléculas en el momento de sus colisiones, éstas han de tener una energía suficiente para destruir las uniones intramoleculares (energía de activación). La cadena de reacciones ya iniciada, puede romperse a consecuencia del choque de una molécula del compuesto intermedio contra una molécula cualquiera inactiva o como resultado de la adsorción de moléculas activas por las paredes de la cámara de combustión. El aumento considerable de la temperatura y de la presión de los gases en el motor Diesel llega sólo cierto tiempo después de la inyección

del carburante. Durante este período, el carburante sufre cambios físicos tales como: calentamiento, evaporación, difusión; y cambios químicos como la desintegración de algunas moléculas y oxidaciones primarias. Estos cambios se superponen mutuamente, introduciendo complicaciones adicionales en la investigación del proceso. Como consecuencia, hasta el momento, no existe un punto de vista único sobre el mecanismo de autoinflamación del carburante en el motor Diesel.

El coeficiente de exceso de aire influye sobre el proceso de combustión en todas sus etapas. Cuando se hacen comparaciones entre diferentes coeficientes de aire, el ángulo de giro mínimo durante el cual tiene lugar la combustión de todo el carburante corresponde al valor máximo de exceso de aire. Esto da a entender que existe una dependencia entre la duración de la combustión y el coeficiente de exceso de aire. Se sabe por la realización de diversos ensayos que para magnitudes pequeñas del coeficiente de exceso de aire, el proceso de combustión se prolonga considerablemente. Esto empeora el rendimiento del motor Diesel y provoca formación de humos, además de aumentar la temperatura de las válvulas de escape.

Las cualidades de una buena combustión son las siguientes:

- Debería ser instantánea: Comenzar en el momento de la inyección.
- Debería ser regular y progresiva: Sin elevados gradientes de presión bruscos.
- Debería ser completa: El carburante ha de proporcionar todo el calor que potencialmente contiene, sin residuos contaminantes.

En el caso de una mezcla homogénea, el tiempo de combustión se determina, fundamentalmente, por la cinética química, es decir, por la velocidad con que se desarrollan las reacciones químicas. A esta combustión se le llama combustión cinética.

Existe la suposición de que para una mezcla heterogénea que se forma al inyectar el combustible en la cámara de combustión, el tiempo de combustión depende principalmente del tiempo en el que se produce la mezcla por difusión, ya que a una elevada temperatura del aire en el motor, la velocidad de las reacciones supera muchas veces la velocidad de evaporación. Tal combustión se llama combustión difusiva. Ambos nombres (combustión cinética y combustión difusiva) son convencionales e indican sólo que uno de los procesos tiene influencia dominante.

Se supone que durante el proceso de difusión, la combustión empieza en las zonas con coeficiente de exceso de aire óptimo; en las que se encuentran

pequeñas nubes de vapores que aparecen como resultado de la evaporación parcial de una gota de carburante.

En opinión de algunos investigadores, durante la inflamación espontánea del carburante prevalece la influencia del factor químico. Otros autores consideran que el proceso de evaporación del carburante en el motor Diesel, en general, no puede tener lugar a causa de las propiedades físico-químicas del mismo, puesto que éste se somete al proceso de termólisis que se desarrolla a una temperatura más baja que la de evaporación, y a una presión en la cámara de combustión correspondiente al momento de la inyección del carburante. Además, la velocidad del proceso de termólisis supera muchas veces la velocidad de evaporación.

Al período que transcurre desde el comienzo de la inyección hasta el inicio visible de la combustión, caracterizado en el diagrama de presión-ángulo por el momento en que la línea de combustión se separa de la de compresión pura, se denomina tiempo de retraso. Éste se reduce al aumentar la temperatura y la presión en el cilindro en el momento de la inyección (al aumentar el grado de compresión en el caso de sobrealimentación y reducción del ángulo de avance a la inyección), al acrecentar la turbulencia del aire y el porcentaje en él de gotitas de carburante en el chorro pulverizado, etc... Además, depende de la ley de suministro de combustible, del proceso de formación de la mezcla y de las propiedades químicas del combustible, es decir, de la facilidad con que éste se inflama.

El proceso de combustión de un motor Diesel se divide, básicamente, en tres etapas o fases:

- La primera fase se corresponde con el **tiempo de retraso**, que debe ser lo suficientemente largo para que, cuando se produzca la autoinflamación, haya un volumen apreciable de carburante gasificado y bien mezclado con el aire.
- La segunda fase es el período de combustión rápida (**combustión premezclada**), durante el que se quema la mayor parte de combustible gasificado y mezclado con el aire que haya sido inyectado en el tiempo de retraso. En esta fase tiene lugar un incremento rápido de la temperatura y de la presión debido a la inflamación de una gran masa de combustible que ha entrado al cilindro durante la primera fase. Cuanto más duradero sea el tiempo de retraso, mayor cantidad de calor se desprendería en un periodo pequeño de tiempo durante el proceso de combustión.

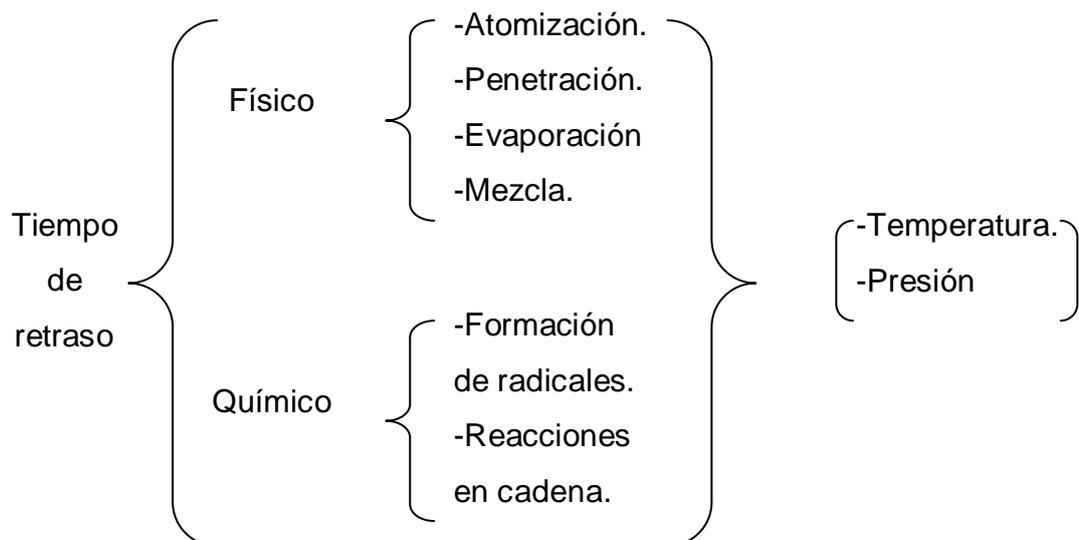
- Finalmente, el carburante que todavía no se ha quemado, junto con el posteriormente inyectado, se quema con una velocidad que será función del oxígeno disponible para su combustión. Este período es la fase final de combustión o **combustión por difusión** en la cual el frente de llama se ha consolidado.

De entre los procesos de combustión definidos, el tiempo de retraso es la fase de la que depende el inicio de la combustión. Si éste es muy elevado, la carrera de expansión comenzará antes de que se inicie la combustión, como ocurre durante el arranque en frío, debido a que las reacciones químicas son lentas.

El tiempo de retraso está caracterizado por dos fenómenos distintos y yuxtapuestos, los cuales dependen de la presión y de la temperatura:

- El retraso físico, que a su vez está integrado por los siguientes procesos:
  - La atomización del chorro de carburante líquido.
  - La penetración de las gotas de combustible.
  - La evaporación de las gotas.
  - La formación de la mezcla gasificada aire-combustible
- El retraso químico, que es el tiempo requerido para que las reacciones químicas entre el aire y el carburante inicien el proceso de combustión.

De forma esquemática, el tiempo de retraso se podría expresar de esta forma:



Si bien el tiempo de retraso depende también de varios factores tales como: presión de inyección, geometría del inyector y la cámara de combustión o el patrón de flujo; básicamente se puede afirmar que los parámetros que en mayor medida definen el tiempo de retraso son la composición de carburante, la presión y la temperatura en el interior de la cámara de combustión. Así, analizados estos tres parámetros, se obtiene que para un determinado combustible, el tiempo de retraso es función casi exclusivamente de la temperatura; puesto que la influencia de la presión es relativamente pequeña en comparación a los otros dos parámetros, para los valores habituales en los MCIA.

Por tanto, el encendido de la mezcla aire-combustible depende principalmente de la temperatura máxima conseguida durante la etapa de compresión. Es por ello, el uso de un sistema auxiliar de calentamiento (actualmente, bujías de precalentamiento) para asegurar el autoencendido en condiciones de arranque en frío.

### **2.3.3.1. Problemas para iniciar el autoencendido.**

En general, durante el arranque en frío a 0°C para los motores HSDI, la combustión ocurre continuamente, con un tiempo de retraso largo y una combustión suave. Sin embargo, a más bajas temperaturas, es frecuente la existencia de ciclos sin combustión y ciclos con combustión, observándose que la presión al final de la compresión es más alta durante el ciclo con combustión. Por ello la combustión es intermitente, siendo el tiempo de retraso corto y la combustión rápida. Esto es debido a que el encendido del combustible residual del ciclo anterior sin combustión es evaporado durante la compresión, provocándose una reacción de llama fría (proceso químico lento) que da lugar a una combustión rápida.

En la mezcla del aire-combustible, algunas reacciones químicas tienen lugar, generándose una atmósfera activa en la cámara de combustión antes de la inyección principal. Cuando el combustible es inyectado en dicha atmósfera activa, el autoencendido es iniciado (promovido) por la reacción de una llama fría, ocurriendo dicho encendido de forma rápida. Por lo tanto, si se pudiera formar la reacción de llama fría en cada ciclo se facilitaría en autoencendido.

Con ello se obtiene la idea de que una inyección múltiple (pre-inyección + inyección principal) sería lo apropiado, ya que se podría conseguir dicho fenómeno, y por tanto, mejorar así el arranque en frío del motor.

Por otro lado, en motores de varios cilindros existe una variación en las relaciones de compresión de los distintos cilindros, lo cual es un factor a tener en

cuenta para el arranque en frío. Esto causa un problema grave para conseguir las condiciones de autoencendido en todos los cilindros. Sin embargo, si en un cilindro comienza la combustión, esto es suficiente para que en los demás cilindros también empiece a quemar el combustible, aunque esta afirmación en algunos casos sería muy discutible.

Según se ha establecido en el apartado anterior, debido a que el inicio del proceso de combustión en el arranque en frío viene determinado principalmente por la temperatura máxima en el interior del cilindro al final de la carrera de compresión, la temperatura ambiental afectaría al inicio de la combustión, ya que de ella depende:

- La disminución de las propiedades viscosas del aceite, lo cual implica, por un lado, la disminución de la velocidad de giro proporcionada por el motor de arranque debido al incremento de las pérdidas por fricción; y por otro, el aumento de las pérdidas de la masa atrapada en el cilindro por blow-by como consecuencia del menor régimen de giro del motor y la escasez de la película de aceite que sella la cámara de combustión.
- El rendimiento de la batería disminuye a bajas temperaturas, por lo que, dispositivos eléctricos adicionales conectados a la misma reducen la cantidad de energía disponible para el arrastre del motor.
- Los bajos regímenes de giro registrados durante el proceso de arranque reducen la generación de turbulencia en el interior del cilindro, dificultando el proceso de mezcla aire-combustible.
- Las pérdidas de calor del aire durante la etapa de compresión aumentan con las bajas temperaturas de las paredes del motor y el bajo régimen de giro.

### **2.3.3.2. Soluciones para iniciar el autoencendido.**

Algunas de las soluciones adoptadas para mejorar las condiciones de arranque en frío del motor son la inyección de una gran cantidad de combustible, la disminución del ángulo de avance a la inyección o la instalación de sistemas que faciliten un mejor control sobre el proceso de inyección de combustible (por ejemplo, el sistema common rail), adoptando leyes de inyección múltiple que mejoren el proceso.

La introducción en el interior del cilindro de gran cantidad de combustible incrementa la probabilidad del inicio de la combustión.

La disminución del ángulo de avance de la inyección implica que el combustible es introducido en el cilindro cuando la presión y la temperatura en el

interior del mismo son más elevadas, y por lo tanto, en mejores condiciones para que se produzca rápidamente la autoinflamación. Sin embargo, otros autores apuestan por el incremento del avance de la inyección, ya que favorece la evaporación del combustible, con lo que se facilita el inicio de la combustión. Aún así, estas soluciones no suelen ser suficientes para conseguir que el arranque del motor, a muy bajas temperaturas ( $-10^{\circ}\text{C}$ ), se realice en un tiempo aceptable, por lo que se requiere la instalación de dispositivos auxiliares de arranque en frío.

Para mejorar el arranque en frío es imprescindible la reducción del tiempo de retraso, lo cual se puede conseguir con la utilización de la inyección múltiple. En concreto, con el sistema de inyección common rail el tiempo de retraso se reduce debido a la presencia de las pre-inyecciones, ya que éstas hacen que se produzca un pequeño aumento de la compresión (respecto a la del arrastre), creándose una atmósfera activa que mejora el encendido de la inyección principal. Las pre-inyecciones y la inyección principal son fácilmente controlables con el sistema common rail, pudiéndose regular tanto la cantidad de combustible, como el momento de la inyección de dicho combustible. La optimización de las pre-inyecciones se basa en conseguir un avance adecuado para facilitar el arranque del motor, llegando a una solución de compromiso con el avance de las pre-inyecciones entre las emisiones de  $\text{NO}_x$  y el ruido por un lado; y a un cierto límite de combustible por otro, de tal forma que no se eleve indiscriminadamente la emisión de humo blanco.

Para cada combinación de temperatura ambiente y régimen de giro, existe un punto de avance de la inyección crítico, a partir del cual, no se inicia la combustión. Por lo tanto, es posible extraer una relación entre el avance de la inyección frente al régimen de giro en donde se diferencie la zona de no combustión de la zona de combustión. No obstante, es necesario tener en cuenta que la duración de la combustión inestable depende de muchos factores, tales como la temperatura ambiente, la cantidad de combustible inyectada y la estrategia de la inyección durante el arranque en frío.

Aparte del control del sistema de inyección, las otras medidas que se pueden realizar para mejorar el inicio de la combustión durante el arranque en frío son, principalmente, las siguientes:

- El aumento de la relación de compresión, consiguiendo aumentar así la presión en cilindro y la temperatura del aire en la compresión.
- La ayuda al arranque a través de las bujías de precalentamiento (solución actual para los motores HSDI), calentadores en el

conducto de admisión (solución actual para los motores Diesel de mediana y gran cilindrada).

- Aumentar la temperatura del combustible, esto hace que aumente la vaporización previa del combustible, así como el calor liberado.
- Aumentar el régimen de giro en el arrastre del motor.
- Utilizar lubricantes menos viscosos a bajas temperaturas, de tal forma que se asegure la bombeabilidad del lubricante en el arranque, reduciéndose así el blow-by.
- Calentar la batería para así disponer de una mayor tensión de alimentación.
- Aumentar el índice de cetano del combustible, lo cual proporcionará un arranque más rápido y una reducción de la emisión de humo blanco.

## 2.4. EMISIONES CONTAMINANTES

### 2.4.1. Humos

En primer lugar hablar de los humos. Uno de los componentes del humo son las partículas, las cuales oscilan en tamaño entre un  $0,005 \mu\text{m}$  y  $30 \mu\text{m}$ , es decir, desde una magnitud molecular hasta magnitudes visibles. Se definen como cualquier materia presente en los gases de salida que se encuentre en estado líquido o sólido en condiciones aproximadamente ambientales. Generalmente, el tamaño medio de las partículas crece a lo largo de la evolución que sufren desde el cilindro hasta la atmósfera por agregación y aglomeración. Conviene distinguir entre los fenómenos de agregación y aglomeración. La agregación es la unión de partículas por medio de fuerzas cohesivas atómicas o moleculares, formando agregados de gran estabilidad. La aglomeración es la unión de partículas por medio de fuerzas cohesivas débiles, como tensión superficial, formando aglomerados de pequeña estabilidad. A medida que la temperatura de los gases de escape va disminuyendo, el primero de los procesos va perdiendo importancia frente al segundo.

Como consecuencia directa de su definición, a la hora de analizar las emisiones de partículas es imprescindible estudiar el proceso de dilución del escape con el aire ambiente. La medida de las partículas se basa en reproducir las condiciones en las que los gases de escape se encuentran al ser expulsados a la atmósfera, esto se puede hacer a través de túneles de dilución (dilución total

de los gases de escape), minitúneles de dilución (dilución parcial de los gases de escape) o a través de sondas de dilución y muestreo.

Estos procesos de dilución nos obligan a distinguir entre partículas primarias, aquellas que se forman directamente como producto del proceso de combustión y se miden justo a la salida del cilindro, y partículas secundarias, resultantes de algún proceso atmosférico, como sedimentación, evaporación, condensación, crecimiento por colisión, procesos fotoquímicos, etc..., tanto en el escape como ya directamente en la atmósfera. Son precisamente estas partículas secundarias aquellas que son limitadas en las diferentes normativas mundiales.

#### 2.4.2. HC, NO<sub>x</sub> y CO.

HC, NO<sub>x</sub> y CO son tres de las emisiones contaminantes de mayor relevancia en motores diesel.

En primer lugar el monóxido de carbono (CO), es un paso intermedio fundamental en la oxidación de un hidrocarburo y está íntimamente ligado con el dosado. En motores diesel existen varias fuentes principales de formación de CO:

- La disociación de las moléculas de CO<sub>2</sub>, teniendo ésta lugar a temperaturas elevadas.
- Zonas excesivamente pobres que no son capaces de soportar una rápida combustión, pues la llama no puede propagarse a través de ella y se forman productos procedentes de la pirólisis y oxidación parcial del combustible (importante a bajas cargas cuando el exceso de aire es elevado).
- Zonas excesivamente ricas que no son capaces de mezclarse con suficiente cantidad de aire para producir la oxidación completa del combustible.

En segundo lugar, los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), mayoritariamente NO y NO<sub>2</sub>. Se generan por la reacción del oxígeno y del nitrógeno bajo condiciones de alta presión y temperatura en el interior del cilindro y sus efectos principales bioquímicos y fisiológicos son:

- Los NO<sub>x</sub> son uno de los principales responsables de la lluvia ácida y potencialmente productores de *smog* fotoquímico.
- El dióxido de nitrógeno puede irritar los pulmones y reducir su resistencia a enfermedades infecciosas si el nivel excede de 600 mg/m<sup>3</sup>.

- El monóxido de nitrógeno participa en la reducción de ozono en la estratosfera facilitando así el paso de la radiación solar ultravioleta hasta la superficie terrestre.

Por último, los hidrocarburos (HC) sin quemar. Éstos se emiten como consecuencia de la combustión incompleta del combustible. El irregular proceso de combustión que conduce a la formación de hidrocarburos puede producirse por varios motivos, como por ejemplo, apagado de llama por efecto pared, insuficiente evaporación del combustible, fugas de escape, cortocircuito de la mezcla fresca, combustible atrapado en pequeños volúmenes, dosados locales extremos y otras causas menos comunes.

Aunque actualmente las normativas que limitan las emisiones en los motores de automoción sólo regulan la cantidad total de hidrocarburos emitidos, es de esperar que, debido a la diferente toxicidad (principalmente por los hidrocarburos aromáticos policíclicos) y reactividad atmosférica (aldehídos y cetonas) de estos compuestos, las futuras normativas anticontaminantes regulen también el tipo de hidrocarburo emitido.

Es por ello que en el presente proyecto, se haya demandado el estudio de formaldehídos, acetaldehídos y acetona. Estos compuestos no están presentes en el combustible pero aparecen en etapas intermedias de la combustión y son muy importantes debido a su potencial para la formación de ozono y otros compuestos altamente oxidantes en capas bajas de la atmósfera, *smog* fotoquímico.

## **2.5. SISTEMAS DE AYUDA AL ARRANQUE UTILIZADOS ACTUALMENTE.**

### **2.5.1. Medios de inflamación del combustible por incandescencia.**

Los principales criterios que definen las características solicitadas a las bujías de precalentamiento se pueden resumir de la siguiente forma:

- Gran resistencia a las altas temperaturas.
- Buen comportamiento frente a los efectos del choque térmico.
- Buen comportamiento frente a las presiones de combustión.
- Garantía de estanqueidad de los gases.
- Estabilidad de la resistencia.
- Resistencia a sobretensiones.
- Resistencia a la corrosión.

- Gran conductividad térmica.
- Geometría adaptada a las culatas actuales.
- Gran fiabilidad.
- Gran duración.
- Bajos costes de producción.
- Fácil montaje en el motor.

En la siguiente figura (2.6) podemos ver las bujías en cuestión:



**Figura 2.6: Bujías de precalentamiento.**

El principio de funcionamiento de las actuales bujías de precalentamiento está basado en el hecho de que la bujía debe de ser simple de construir y debe llegar rápidamente a su temperatura de incandescencia, siendo necesario que se presente la incandescencia para poder inflamar la mezcla aire-carburante que existe, ya que para lograr la autoinflamación de la mezcla se necesita un cierto nivel de temperatura.

Por lo tanto, para cumplir con todos los requisitos que se le solicitan a la bujía de precalentamiento, la misma está constituida en su interior por dos filamentos que se encuentran montados en serie. El primer filamento, llamado de calentamiento, se compone de una aleación ferrítica con cromo y aluminio. El segundo filamento, llamado filamento de regulación, está soldado al filamento de calentamiento por láser, y está compuesto por níquel puro. Estos dos filamentos se encuentran en el interior de una carcasa cerámica que los recubre, siendo ésta la que está en contacto directo con el chorro de carburante en el interior de la cámara de combustión. El filamento de regulación tiene un coeficiente de resistividad más alto que el filamento de calentamiento.

Cuando se cierra el circuito de una bujía de precalentamiento autorregulada, circula una corriente de alimentación por los filamentos que hacen que la bujía se enrojezca. La incandescencia ocurre en el orden de un par de segundos, como se observa en la figura 2.6. Esto afecta también al filamento de

regulación, modificándose el valor del coeficiente de resistividad (se acerca al nivel de temperatura máxima), el cual hace que se reduzca el paso de la intensidad. De esta forma, no es posible que suceda un sobrecalentamiento en la bujía.

Por otro lado, por el hecho de situarse las bujías de precalentamiento en la cámara de combustión poseen una serie de problemas y dificultades debido a tres conceptos:

- Sometimiento a cargas térmicas y mecánicas elevadas.
- Dificultad de ubicación, al emplearse cada vez más de forma generalizada el concepto de cuatro válvulas por cilindro en motores. Esta solución deja un escaso margen de maniobra para la localización de las bujías, teniendo en cuenta que la ubicación debe de asegurar su interacción con el chorro de combustible, permitir una accesibilidad desde el exterior y garantizar un diseño térmico y mecánico de la culata adecuado. Este problema puede agravarse con la demanda de mayores potencias específicas y la reducción simultánea de los niveles de emisiones contaminantes.
- Influencia en el proceso de combustión, al permanecer la bujía una vez realizado el arranque en frío, como obstáculo en la cámara de combustión, ya que uno de los chorros del inyector se dirige a la propia bujía de precalentamiento, provocando problemas durante la combustión asociados al choque de carburante con una superficie fría. Esto dificulta el proceso de mezcla y posterior combustión del carburante, repercutiendo en las prestaciones del motor.

Otra de las características de las bujías de precalentamiento son las diferentes fases de su funcionamiento en el motor, es decir, la fase de precalentamiento, el tiempo de espera y la fase de postcalentamiento, las cuales se comentan a continuación:

- **Fase de precalentamiento:**

La fase o tiempo de precalentamiento es la característica más importante que influye sobre la rapidez del arranque y asegura el confort al usuario. Se define como el tiempo necesario para conseguir, desde la temperatura ambiente, la temperatura de incandescencia en la punta de la bujía.

- **Fase de espera:**

La fase o tiempo de espera se corresponde con el tiempo transcurrido desde que el usuario observa a través de una señal óptica que el tiempo de precalentamiento se ha finalizado y el momento en el que el motor arranca, es decir, el instante en el que el motor alcanza el régimen de ralentí. Este tiempo suele ser a lo sumo de 5 segundos aproximadamente. Si finaliza la fase de espera sin accionar el motor de arranque las bujías de precalentamiento dejan de ser alimentadas. En esta fase la tensión de alimentación es menor que en la fase de precalentamiento debido a que en el momento en el que se acciona el motor de arranque la batería suministra energía a las bujías y al motor de arranque simultáneamente.

- **Fase de postcalentamiento:**

La fase o tiempo de postcalentamiento se define como el período en el que la bujía se encuentra bajo tensión después del arranque del motor, el cual se utiliza durante el calentamiento del motor para reducir las emisiones contaminantes y el ruido de combustión.

El control de la tensión de alimentación de la bujía es realizado por la Unidad Electrónica de Control (ECU) del motor con el objetivo de conseguir un arranque y calentamiento óptimo tanto en tiempo de arranque como en emisiones contaminantes. Este control se lleva a cabo teniendo en cuenta las siguientes variables de entrada:

- Temperatura del refrigerante.
- Tensión de alimentación.
- Régimen de giro.
- Grado de carga.

La temperatura del refrigerante y la tensión de la batería afectan directamente sobre el tiempo de precalentamiento, mientras que la temperatura del refrigerante, el régimen de giro y el grado de carga, afectan directamente sobre el postcalentamiento.

### 2.5.2. Calentamiento del aire de admisión

Las bujías de precalentamiento dejan de ser efectivas para cámaras de combustión grandes por el pequeño volumen relativo al que afecta el aumento de temperatura de estas bujías. Esto se debe a que el arranque de los motores con cámaras de combustión grandes se basa en la relación favorable superficie/volumen que los hace más adiabáticos y con menor tasa de blow-by.

Actualmente además de las citadas bujías de precalentamiento se utiliza otro sistema de ayuda al arranque, el calentador de aire de admisión. Éste no es objeto de estudio en el presente trabajo.



*Figura 2.7: Ejemplo calentador de aire de admisión*





## **Capítulo 3: SALA DE ENSAYOS PARA ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO EN FRÍO E INSTALACIÓN DEL MOTOR EN LA SALA**

### **3.1. SALA DE ENSAYOS PARA ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO EN FRÍO: CÁMARA CLIMÁTICA**

#### **3.1.1. Descripción general de la cámara**

##### **3.1.1.1. Disposición estructural**

#### **3.1.2. Instalaciones de la cámara**

##### **3.1.2.1. Sistema de frío**

##### **3.1.2.2. Características técnicas**

### **3.2. BANCADA DEL MOTOR**

### **3.3. FRENO DINAMOMÉTRICO**

#### **3.3.1. Descripción del freno**

#### **3.3.2. Circuito de refrigeración del freno**

### **3.4. EL MOTOR**

#### **3.4.1. Descripción del motor**

#### **3.4.2. Características técnicas del motor**



## **CAPÍTULO 3: SALA DE ENSAYOS PARA ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO EN FRÍO E INSTALACIÓN DEL MOTOR EN LA SALA.**

El presente capítulo se divide en dos partes diferenciadas. En primer lugar se describe la sala de ensayos utilizada en el trabajo y más tarde se presenta una descripción del tipo de motor que se va utilizar para los ciclos de funcionamiento en frío, citando las características esenciales del mismo, la bancada donde va montado y el freno utilizado para la realización de los ensayos.

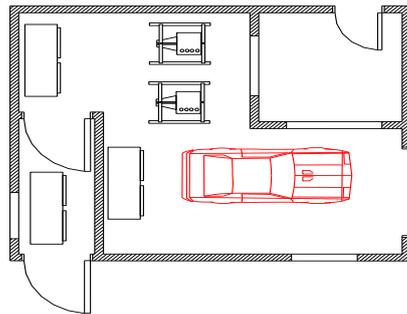
### **3.1. SALA DE ENSAYOS PARA ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO EN FRÍO: CÁMARA CLIMÁTICA.**

A continuación se realiza una descripción del recinto en el que se va a montar el motor para la realización de los ensayos, indicando los componentes necesarios para las medidas experimentales y el modo de funcionamiento del mismo.



*Figura 3.1: Cámara climática.*

Para poder realizar los ciclos de funcionamiento en frío es necesaria la construcción de un recinto que permita disponer en todo momento de las condiciones ambientales requeridas perfectamente controladas. En la figura 3.2 está representada la vista en planta de esta sala de ensayos, que se ha denominado “cámara climática” junto con la sala de control.



**Figura 3.2: Vista en Planta cámara climática**

### 3.1.1. Descripción general de la cámara.

El recinto está dividido en dos cámaras panelables. La primera de ellas, una antecámara o cámara pulmón; y la segunda la denominada cámara principal.

El aire por el que estará rodeado el motor en la sala sigue un trayecto definido. En primer lugar pasa por la cámara pulmón donde se preacondiciona. En la misma se deshumidifica y se le da un primer enfriamiento. Luego, pasa mediante un conducto que comunica ambos recintos a la cámara principal. En ella el aire termina de secarse y enfriarse hasta la temperatura requerida para realizar el ensayo. Como característica importante destacar que el rango de temperaturas a las que permite trabajar este recinto está entre los  $-30^{\circ}\text{C}$  y  $10^{\circ}\text{C}$ , tanto para la cámara principal como para la antecámara.

La temperatura mínima considerada hoy de forma generalizada entre todos los fabricantes de motores, para el arranque en frío de un motor, está alrededor de  $-23^{\circ}\text{C}$ . Este valor no es exacto, ya que dependerá de los estándares establecidos por los diferentes fabricantes de motores.

Por otro lado, y aunque no sea relevante para este estudio, la cámara de ensayos está preparada hacer una depresión absoluta de 700 mbar para simular altitud realizando una depresión en la cámara mediante bombas de vacío. Esto es equivalente a 3000 metros de altitud. Esto supone una carga uniformemente repartida en las seis caras de la cámara de  $4.000\text{ kg/m}^2$ .

### 3.1.1.1. Disposición estructural.

Como se ha dicho anteriormente las cámaras soportan una fuerte diferencia de presiones a causa de la depresión que se produce en su interior, por lo que se ha hecho necesario el cálculo estructural correspondiente. Para que la estructura no colapse y cumpliendo con la normativa de seguridad se han utilizado los siguientes perfiles:

Pilares, suelo y forjado	HEB-240.
Entre forjado	HEB-200
Elementos de rigidez	UPN-80

En la Figura 3.3 3.3 se puede observar la distribución los perfiles instalados en la construcción de la cámara.



**Figura 3.3: Estructura sala de ensayos**

Otros elementos estructurales instalados son:

- Panel de poliuretano tipo sándwich de junta integrada de 150 mm de espesor,  $40 \text{ kg/m}^3$  y un coeficiente de transmisión térmica de  $0.12 \text{ Kcal/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , con chapa de acero nervada de 0.5 mm de espesor y lacado por ambas caras del panel, tipo PIR.
- Suelo aislado con losa de hormigón y estructura metálica, con barrera de vapor compuesta de tela asfáltica y material aislante.

- Puertas pivotantes para el uso del personal de la sala y una corredera de 2600x2500 mm<sup>2</sup> para la entrada de vehículos o de los motores de ensayo.
- Ventanas con doble cristal especial para temperatura negativa y capaz de soportar grandes presiones (cristal de “impacto”).

### 3.1.2. Instalaciones de la cámara.

La sala de ensayos tiene principalmente tres instalaciones fundamentales con sus respectivos sistemas de control:

- Sistema de producción de frío.
- Sistema de producción de vacío.
- Control de humedad.

Los sistemas de producción de vacío y control de humedad no se describen a continuación ya que no se utilizan en el presente trabajo.

#### 3.1.2.1. Sistema de frío.

Los cuatro elementos básicos que componen una máquina que funciona según el ciclo de frío a compresión de vapor son los siguientes:

- Compresor.
- Condensador.
- Válvula de expansión.
- Evaporador.

Una vez enumerados tales elementos que forman la instalación, se realiza una pequeña descripción de cada uno de ellos.

#### **Compresor:**

Éste es el más importante de todos los elementos que forman la máquina de frío. Su función dentro del ciclo es recoger el refrigerante procedente del evaporador que se encuentra a baja presión y enviarlo al condensador a presión elevada. Para que tal efecto se cumpla se necesita energía en forma trabajo (W) que es aportada por el motor eléctrico que lo mueve.

#### **Condensador:**

Después del compresor, y siguiendo el ciclo de refrigeración por orden de recorrido del fluido refrigerante, se encuentra el condensador. Este se encarga de convertir el vapor sobrecalentado procedente del compresor en líquido saturado o

sub-enfriado. Este efecto solo se puede lograr mediante la cesión de calor del refrigerante a un medio a menor temperatura, en este caso el aire ambiente.

### Válvula de expansión:

A continuación el fluido se expande en una válvula de laminación, que se encarga de realizar un elevado descenso de la presión del refrigerante isoentálpicamente, ya que no existe ni cesión ni aporte de energía, con el fin de conseguir que a la salida de ésta se tenga el líquido procedente del condensador convertido en una mezcla de vapor-líquido a baja presión.

### Evaporador:

Por último, el fluido refrigerante pasa por el evaporador. Éste se encarga de enfriar el medio que le rodea con la aportación de energía al refrigerante. Dicha energía proviene de la conversión de la mezcla de líquido-vapor, procedente de la válvula, totalmente en vapor. Teniendo en cuenta que la energía calorífica se desplaza de un foco frío a un foco caliente, se observa entonces que la temperatura del recinto a enfriar siempre tendrá que ser superior a la temperatura constante a la que se produce el proceso de evaporación.

Un esquema del proceso anteriormente descrito se puede ver en la Figura 3.4 3.4.

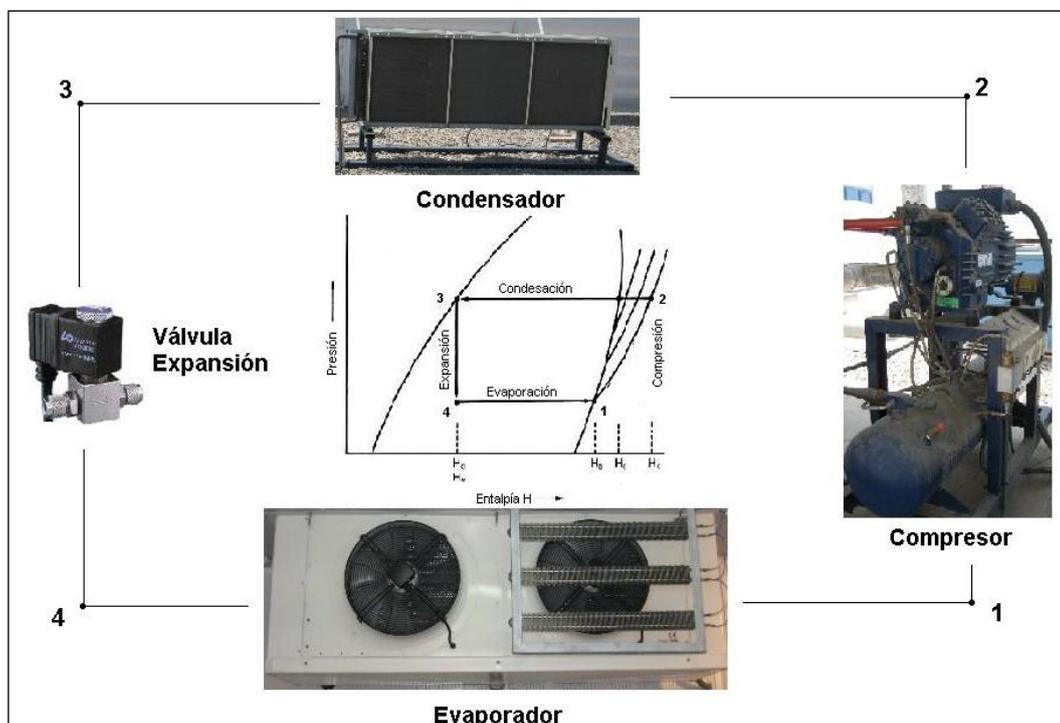


Figura 3.4: Componentes del ciclo de refrigeración.

Para satisfacer las necesidades frigoríficas de la instalación se han instalado dos máquinas con compresores semi-herméticos montados en bancada junto con los condensadores, calderines, válvulas, presostatos y el resto de medidas de seguridad necesarias. La condensación se efectuará por medio de dos condensadores de tiro forzado.

En cuanto a los evaporadores se ha optado por tres unidades, una en la precámara y dos en la cámara principal. Estos serán de tiro forzado en media velocidad especialmente diseñado para trabajar en temperaturas negativas.

El cuadro eléctrico está equipado con todas las medidas de seguridad, protección y control de la maquinaria necesarias, tal como se puede observar en la Figura 3.5 3.5.



**Figura 3.5: Controles del equipo de frío y cuadro eléctrico.**

### **3.1.2.2. Características técnicas.**

A continuación se detallan los elementos, marcas, modelos y características técnicas del sistema de refrigeración:

- Compresor de tipo semi-hermético refrigerado por el propio refrigerante para congelado. Características:
  - Marca: BOCK.
  - Modelo: HGX/4-555-4s y HGX/6-1240-4s.
  - Tª Evaporación: -35°C.
  - Tª Condensación: +40°C.
  - Capacidad frigorífica: 7.181 y 15.996 (Frig/h)
  - Potencia del motor: 15 y 35 (CV)
  - Voltaje: 380V.

- Nº Cilindros: 4 y 4.
- Disposición: en V.
- Dos condensadores de aire remoto vertical industrial. Baterías condensadoras de alto rendimiento por su especial diseño y construcción con tubo de cobre y aletas de aluminio engarzadas a collarines auto-separantes diseñados para una máxima transmisión térmica y un bajo nivel de ruido, con ventiladores separados para permitir una perfecta regulación de capacidad para el buen funcionamiento del compresor, estos condensadores están preparados para ser instalados a la intemperie en posición horizontal o vertical indistintamente. Características:
  - Marca: FRIMETAL.
  - Modelo: CBS-43 y 86 (L)
  - Superficie: 121 y 181 (m<sup>2</sup>)
  - Nº de ventiladores: 3x500 y 3x500 (mm)
  - Caudal de aire: 9.750 y 18.900 (m<sup>3</sup>/h)
  - Capacidad frigorífica: 45,2 y 89,9 (kW)
- Tres evaporadores de tipo cúbico de techo industrial, equipado con doble bandeja de desagüe para evitar condensaciones y distribuidor de refrigerante líquido de efecto “Venturi” de flujo laminar, para garantizar un perfecto reparto de líquido al evaporar entre todos los circuitos. Características:
  - Marca: FRIMETAL.
  - Modelo: FRL/1.160E.
  - Superficie: 74 m<sup>2</sup>
  - Caudal de aire: 13.400 m<sup>3</sup>/h.
  - Nº de ventiladores: 2x500 mm.
  - Capacidad: 13.660 W
  - Proyección aire: 20 m.
- Automatismos y otros accesorios:
  - 3 Válvulas de expansión termostáticas DANFOS para R-404-A.
  - 2 Válvulas solenoides de líquido CASTEL.
  - 3 Termostatos de seguridad, para las resistencias de desescarche KP/61.
  - 2 Filtros deshidratadores antiácido CASTEL.

- Tubería entre evaporadores, maquinaria, condensadores y demás elementos de la instalación en cobre soldado a alta temperatura con aleación de cobre.
- Tubería de aspiración aislada en su exterior por medio de coquillas de poliuretano vulcanizado ARMSTRONG AF-ARMAFLEX de 19 mm de espesor nominal para evitar pérdidas frigoríficas y condensaciones sobre los tubos.
- Aceite anticongelante SUNISO-3GS.
- Refrigerante R-404-A.
- 6 Válvulas igualadoras de presión.
- Sistema de alarma con batería ALKO.

### 3.2. BANCADA DEL MOTOR.

Para la realización de los estudios es imprescindible disponer de una estructura independiente que además de soportar el peso del conjunto formado por el motor-freno, sea capaz de absorber las posibles vibraciones que pueda provocar este conjunto durante su funcionamiento sin sufrir deformaciones o roturas a causa del propio peso del conjunto o por los esfuerzos generados en el funcionamiento del mismo

Es necesario resaltar que existen dos bancadas superpuestas en la instalación. Por un lado contamos con una bancada principal (figura 3.6), cuya misión es:

- Mecanismo de aislamiento de vibraciones.
- Sujeción del freno, motor y todos los componentes necesarios para su correcto funcionamiento.
- Ya que no poseemos de una bancada móvil que sería lo ideal para toda instalación, disponemos de un ranurado a lo largo de toda la bancada que nos servirá de guía para desplazar dentro de un límite el conjunto motor-freno, para el acople adecuado de todo tipo de componentes.

Por otro lado contamos con una segunda bancada soporte del motor (figura 3.7) que debe:

- Permitir el acople-desacople del motor al freno.
- La posibilidad de regulación en altura y posición para alinear correctamente la transmisión.
- Resistencia del material empleado para la sujeción del motor.



**Figura 3.6: Bancada principal.**



**Figura 3.7: Bancada principal con bancada soporte del motor.**

La bancada principal está formada por perfiles UPN 120 formando un rectángulo de dimensiones 2100 x 824 mm. En sus extremos se han dispuesto cuatro soportes para los silentblocks (figura 3.8). Unos espárragos permiten bajar los silentblocks dejando que apoyen en el suelo. De esta forma se ancla toda la bancada y se aísla de vibraciones.



**Figura 3.8: Silentblock.**

En el interior de esta estructura se han colocado a su vez otros cuatro silentblocks que sujetan dos largueros longitudinales compuestos por perfiles UPN 120 de longitud 2600 mm. Los perfiles UPN se han dispuesto enfrentados y separados 30 mm, se les ha soldado una pletina de dimensiones 100x140x10mm a cada extremo del perfil para unir estos, de forma que la bancada del motor se pueda sujetar mediante un conjunto tornillo-pletina-tuerca. De esta manera desliza el motor sobre estos largueros permitiendo regular la distancia y el ángulo de inclinación necesario para alinear la transmisión al volante de inercia del motor.

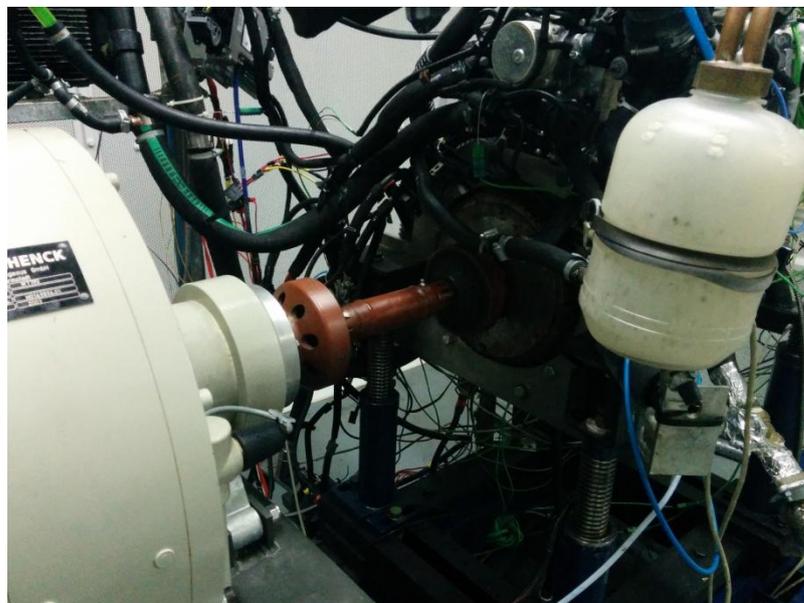
La bancada del motor está también constituida por perfiles UPN 100 y encima de la bancada motor (figura 3.7), en las cuatro esquinas se han colocado cuatro columnas de diámetro 70 mm que albergan en su interior un tornillo de potencia de métrica 50mm con rosca trapecial. De esta forma se permite la regulación en altura del motor y el ángulo de cabeceo para una mejor alineación de la transmisión. Además hay otra columna de menor altura pero con las mismas características en cuanto a diámetro y rosca, que junto a un pequeño soporte metálico diseñado y realizado por el técnico de la sala y situado en el soporte lateral del motor, consigue evitar el vuelco de este cuando empieza a girar.

Dos de las columnas situadas en las cuatro esquinas de la bancada motor, en este caso las situadas al lado de la correa de la distribución, estarán unidas mediante dos tornillos a un triángulo metálico construido con perfiles redondos (figura 3.9), el cual, en su extremo más elevado llevara un acople con amortiguamiento para evitar las vibraciones del motor, encargado de acoplar con los apoyos del motor para sujetar éste.



**Figura 3.9: Triángulo metálico.**

Las otras dos columnas situadas en la parte de la transmisión, estarán unidas mediante dos tornillos a una especie de placa que sujeta al motor por esta parte cuando la transmisión está colocada (figura 3.10).



**Figura 3.10: Sujeción de la parte de la transmisión del motor.**



Los silentblocks encargados de la sujeción del motor a los perfiles tendrán la misión de reducir las vibraciones.

Como ya hemos dicho anteriormente, este tipo de soporte de estructura elegido nos permite una regulación exacta de la posición del motor. Es de suma importancia obtener una horizontalidad del motor así como una alineación precisa entre el cigüeñal de éste y el eje del freno. Aun así la transmisión, elemento de unión del freno dinamométrico con el motor a ensayar, va a permitir, además de unir los dos elementos citados, absorber una parte del desalineamiento que se produzca debido a imperfecciones, gracias a su flexibilidad.

La elección del soporte motor, se ha basado en criterios de simplificación y montaje, y no en cálculos estructurales, ya que considerando las pequeñas luces y esfuerzos a que están sometidos estos elementos, se ve claramente que resultan sobredimensionados. A pesar de ello el coste de la instalación no resulta penalizado, y sin embargo se consigue de esta manera un ahorro de tiempo en cálculos y sencillo montaje. Cuando se diseñó esta bancada uno de los factores que también se tuvo en cuenta fue el de la posible utilización en un futuro como bancada en otro motor, por lo que se sobredimensionó para poder acoplar otros tipos de motores.

Para comprobar que el montaje del motor en la bancada ha sido realizado de forma correcta se realizan ensayos de repetibilidad, analizados en el capítulo 6, donde se debe observar que los ensayos salen repetitivos.

### 3.3. FRENO DINAMOMÉTRICO

#### 3.3.1. Descripción del freno

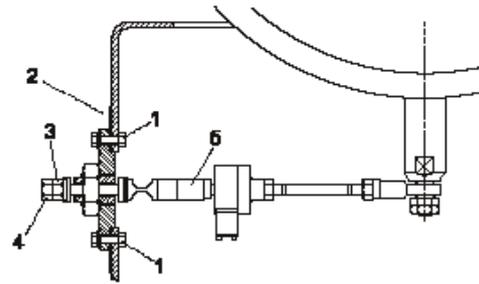
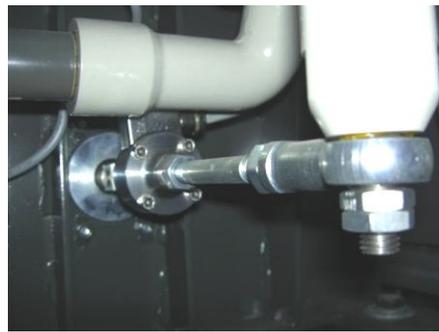
Se describirá a continuación, y de forma general, las características del freno, elemento imprescindible para la disipación de la potencia y medida del par. En la figura 3.11 se muestra una imagen del freno a instalar.



*Figura 3.11: Freno de corriente de Foucault*

Es un freno a corrientes de Foucault, marca SCHENCK, modelo WT190 con nº de serie MO149896.01, fabricado el año 2003, el cual puede trabajar a un par máximo de 750 Nm siendo su régimen máximo de 10.000 rpm.

Aprovechando que la carcasa del freno está montada de manera oscilante, por medio de una galga extensiométrica se puede medir el par de giro frenado, manifestándose éste como una fuerza referida a un brazo de fuerza. Dicha galga extensiométrica, también llamada célula de carga, tiene la particularidad de variar la resistencia de un conductor o semiconductor cuando es sometida a un esfuerzo mecánico. Conociendo este cambio de resistencia del material en función de su deformación, se podrán conocer los esfuerzos aplicados que, multiplicados por el brazo de palanca, darán directamente el par que pretendemos medir. En la figura 3.12 se observa la colocación de la célula de carga entre la carcasa oscilante del freno y el bastidor fijo del mismo.



1. Tornillo
2. Disco ranurado
3. Tuerca
4. Contratuerca
5. Primavera enfadada formada

**Figura 3.12: Detalle de la célula de carga**

Para determinar la potencia, se mide, además del par de giro, el número de revoluciones. Una rueda dentada de 60 polos en el extremo del árbol del freno dinámico genera impulsos de tensión en un captador de revoluciones. Estos impulsos se convierten en una tensión dependiendo del número de revoluciones.

El freno lleva incorporado un relé de electrodos cuya misión es la de detectar el caudal mínimo de agua refrigerante y actuar en su caso, deteniéndolo, para evitar así un sobrecalentamiento del mismo. También dispone de un termistor que controla la temperatura de salida del refrigerante cortando la alimentación del freno si ésta supera los 60°C.

A través del panel de control, y en función de la forma de trabajo que se desee adoptar, se puede trabajar, bien a régimen constante, bien a un par constante. El método de trabajo empleado, en este caso, es a régimen constante. De esa forma, se indica mediante una consigna en el panel de mandos el régimen.

Este freno es controlado desde la sala de control con el módulo HORIBA SCHENCK SPARC (figura 3.13).

SPARC



**Figura 3.13: HORIBA SCHENCK SPARC**

El límite tanto inferior como superior de vueltas, es función, en este caso, de los límites a los que trabaja el motor, ya que el intervalo de trabajo del freno es superior al del motor.

### 3.3.2. Circuito de refrigeración del freno

En las especificaciones del freno utilizado aparece que éste ha de disponer de refrigerante a una presión entre 0,6 y 4 bar y un caudal entre 10 y 40 l/min (0,6-2,4 m<sup>3</sup>/h) durante su funcionamiento. Por ello se tuvo que montar un circuito de refrigeración del freno (figura 3.14) en la sala para su utilización.



**Figura 3.14: Circuito de refrigeración del freno**

El funcionamiento del mismo es muy sencillo. Una bomba centrífuga vertical multicelular bombea el refrigerante desde un depósito de 200 litros hasta el freno. El refrigerante pasa a través del freno enfriando al mismo y vuelve hacia el depósito. Antes de llegar a éste se le hace pasar por un radiador de automóvil, en el cual, y con la ayuda de un ventilador el refrigerante se enfría de nuevo. Todo el control de la instalación se realiza desde la sala de control.

La bomba tiene las siguientes características:

## Verticales Multicelulares Inoxidable. AISI 304

### Serie "VX"

Tipo Type	Con. $\mu$ F	Potencia		"A"			Caudal $m^3/h$ / Flow $m^3/h$							Diámetro		
		HP	KW	II	III	III	0	0,8	2,4	3,6	4,8	6	6,6	7,2	ASP.	IMP.
				230	230	400	Altura m.c.a. / Height w.c.m.									
VX-A 4-40 M / T	25	1	0,75	5,2	3,3	1,9	39	38	36	33	29	25	22	18	1 1/4"	1 1/4"

## 3.4. EL MOTOR

### 3.4.1. Descripción del motor.

Este estudio se enmarca en el innovador proyecto AERO2 realizado por Renault para preparar los motores diesel que deben cumplir la normativa Euro 7. Con este propósito se utiliza el motor diesel K9K Gen5 Euro 5 que utiliza Renault para la motorización diesel de sus vehículos en los modelos "clio", "megane", "escenic" y "modus".



Figura 3.15: Imagen del motor K9K 1,5 dci

### 3.4.2. Características técnicas del motor.

A continuación se detallan las características técnicas más relevantes del motor:

Carburante	Gasóleo
Potencia máxima (CV – kW)	110 - 82
Par máximo (Nm)	260
Número de cilindros	4 en línea
Material del bloque / culata	Acero / aluminio
Diámetro x carrera (mm)	76 x 80.5
Cilindrada (cm <sup>3</sup> )	1461
Relación de compresión	15,6
Distribución	2 válvulas por cilindro. Un árbol de levas en la culata.
Alimentación	Inyección directa. Common rail esférico. Turbo compresor.
Sistema de inyección de combustible	Bosch CRI2-18
Bujías de precalentamiento	BERU fast metallic
Estándar de emisiones	Euro5

Si hablamos un poco de las características constructivas del motor podemos decir:

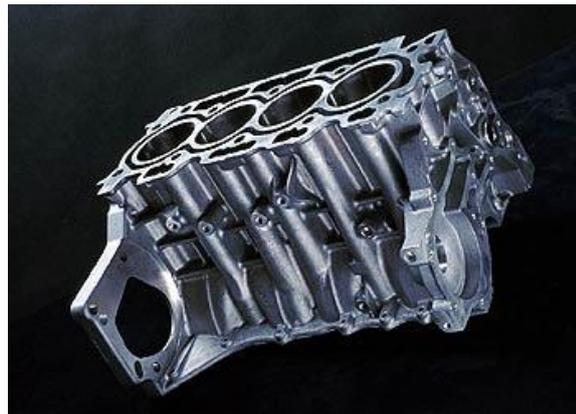
El bloque está realizado en acero y la culata en aluminio.

Las levas mueven las válvulas a través de balancines de rodillos; lo que disminuye tanto la fricción, que baja en consumo del motor entre un 1,5% y un 2% (según el régimen).

En cuanto al vencimiento de inercias que tiene que superar el motor en estado de funcionamiento, se puede nombrar un elemento que se encarga exactamente de vencer esas inercias y que se denomina árbol contrarrotante.

Pesa 98 Kg, no es poco con relación a un motor de gasolina de igual cilindrada y bloque de aluminio, pero unos 50 Kg menos que el motor 1,9 litros de inyección indirecta al que reemplaza.

La tendencia actual es hacia motores modulares, es decir, que todos los motores que pertenecen a esta familia tienen en común muchas piezas: bloque, cigüeñal, bielas, cojinetes, bomba de aceite y de agua.



*Figura 3.16: Modelado del bloque motor.*



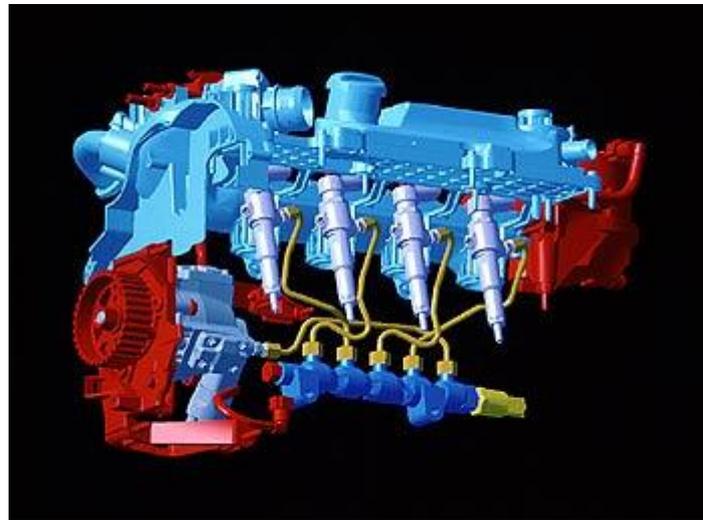
*Figura 3.17: Modelado despiece del bloque motor – tapa de balancines.*

En lo referente al sistema de alimentación de carburante se trata de un sistema por conducto común de última generación, de la marca BOSCH.

Los inyectores tienen seis orificios muy pequeños, lo que facilita la mezcla del carburante. Cuanto más pequeño es el orificio, más finamente se atomiza el carburante, pero también más lento es el proceso de inyección. Es una de las ventajas de un sistema de alta presión.

El motor va provisto de un turbocompresor de geometría variable de última generación, puede alcanzar un régimen máximo de 280.000 rpm.

En la siguiente figura se puede observar con detalle el sistema de alimentación:



*Figura 3.18: Reproducción del sistema de alimentación de carburante.*

- **Unidad de control electrónico (ECU).**

La unidad de control electrónico se encarga de analizar los datos procedentes de los sensores del motor y controla muchos de los parámetros de control del motor, los cuales pueden ser modificados según requieran los ensayos sin sobrepasar los límites ya que esta ECU es especial, puesto que se pueden modificar a conciencia todos los parámetros del motor, es decir, se trata de una ECU abierta.



*Figura 3.19: Unidad de control electrónico*



La unidad de control electrónico es un modelo de BOSCH, al igual que nuestro sistema de inyección.

Al comienzo de este apartado nos hemos referido a la unidad de control electrónico abierta. Todas o la mayoría de las unidades de control electrónico que existen en el mercado son cerradas, como las que posee cualquier vehículo. Se dice que una ECU es cerrada cuando no es posible modificar datos de ésta, aunque en realidad existe comunicación, pero una comunicación que solo y únicamente sirve para realizar tests de comprobación de errores de funcionamiento, es decir, fallos en el funcionamiento del motor. Esta comunicación de transmisión de dato se realiza mediante una conexión rápida.

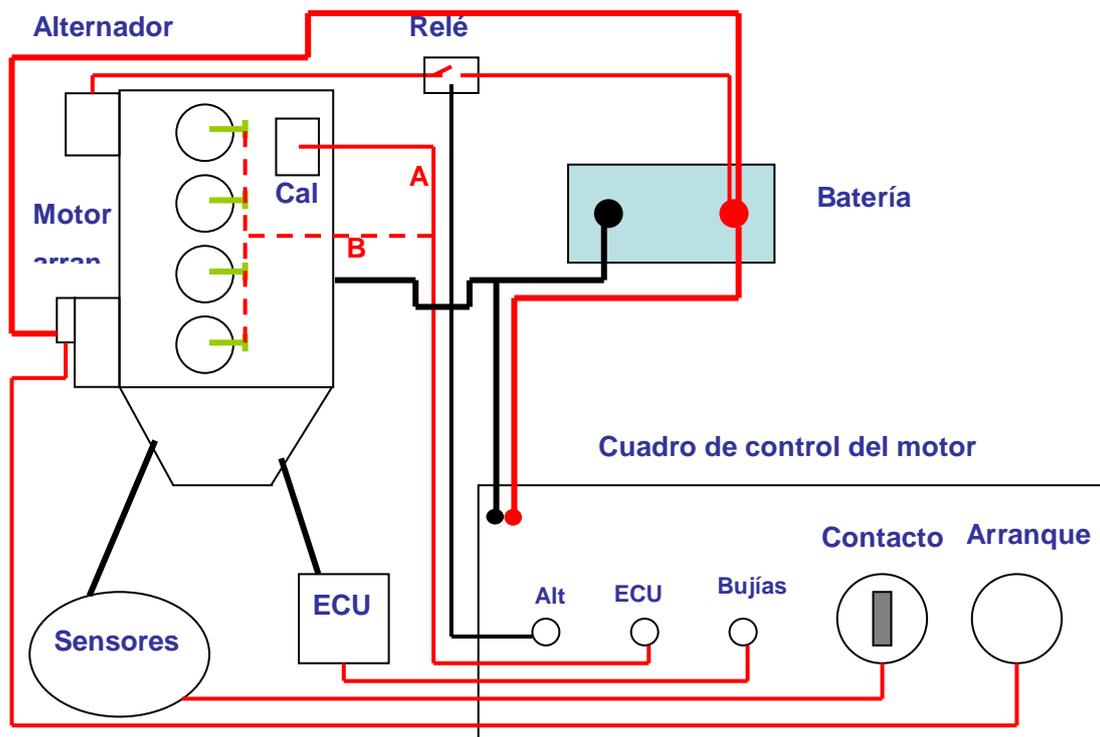
Por lo tanto diremos que una ECU es abierta cuando se puede comunicar con ella y a la vez se puede modificar parámetros de control “casi” sin límite, decir casi es debido a que existen unos límites del sistema de control electrónico que al ser sobrepasados puede llevar al motor a una situación crítica, tal situación puede llevar a este a la rotura de varios de sus componentes y a una situación de riesgo para las personas que están operando con el mismo.

La tarea fundamental de la ECU consiste en recibir evaluar las señales de los sensores externos y traducir esta información para que el motor funcione correctamente a la demanda del usuario.

- **Circuito eléctrico.**

El motor se recibe con el cableado original del mismo. Para poder realizar los ensayos de arranque en frío dentro de la cámara climática es necesario poder controlar el motor desde el exterior de la cámara. Por ello se necesita modificar el cableado para poder alimentar el motor desde el interior de la cámara y controlarlo desde el exterior.

A continuación se muestra el esquema eléctrico realizado:



*Figura 3.20: Esquema eléctrico.*

- **Línea de escape.**

Al instalar el motor dentro de la cámara se necesita realizar la extracción de los gases de escape al exterior; para ello se diseña una línea de escape, la cual une la salida de la turbina del turbocompresor con el exterior, donde se encuentra un extractor de gases, el que se encarga de suministrar la energía suficiente para contrarrestar la caída de presión de todos los elementos de la línea de escape diferentes a la línea original e impulsar los gases al exterior de la sala de control.

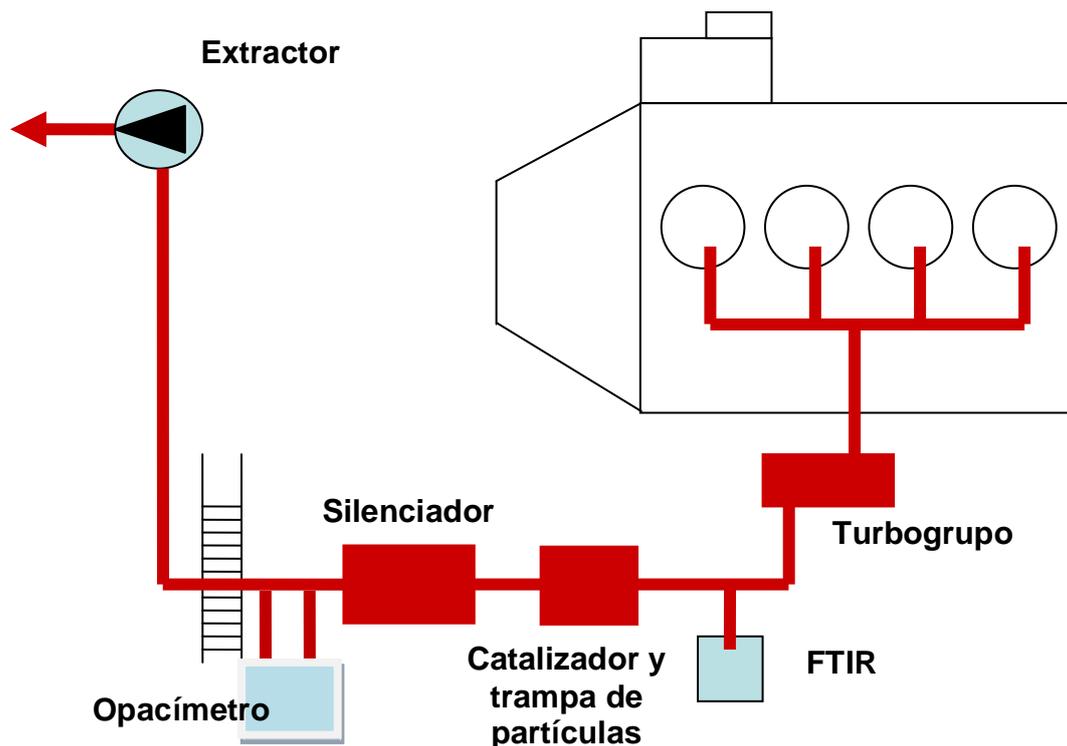


Figura 3.21: Esquema de la línea de escape.

- **Línea de carburante.**

Para el estudio del arranque en frío es necesario que tanto el motor como todos los fluidos que éste contiene se encuentren a la temperatura deseada. Para ello en el caso del carburante se ha de instalar un sistema que suministre el carburante, en este caso gasoil, al motor.

Por ello se alimenta desde un depósito, con una bomba de baja presión, que consta de un by-pass, controlado por una válvula, mediante la cual se regula la presión que recibe la bomba de alta. El sistema posee una red de retorno por la que se devuelve al depósito el exceso de combustible aportado por la bomba. El esquema de la instalación es el siguiente:

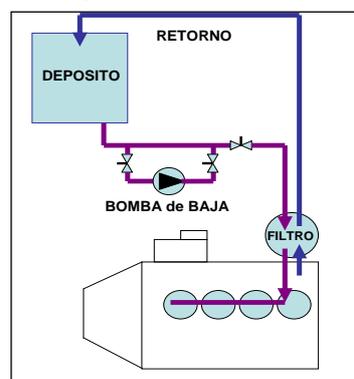


Figura 3.22: Esquema línea de alimentación

## **Capítulo 4: PARÁMETROS A MEDIR Y SISTEMAS DE ADQUISICIÓN Y CONTROL DEL MOTOR EN LA SALA DE ENSAYOS**

### 4.1. LA SALA DE CONTROL

### 4.2. VARIABLES A MEDIR E INSTRUMENTACIÓN

4.2.1. Tensiones

4.2.2. Temperaturas

4.2.3. Intensidades

4.2.4. Régimen instantáneo

4.2.5. Tensión de los inyectores

4.2.6. Opacidad de los gases de escape

4.2.7. Presión en los cilindros

### 4.3. SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

4.3.1. Rack de control del banco de ensayos

4.3.2. Sistema de adquisición y control del motor: INCA

4.3.2.1. Software de control

4.3.3. YokoGawa

4.3.4. Sistema de control de parámetros: SAMARUC

4.3.5. Sistema de adquisición de emisiones contaminantes:  
Horiba 6000 FTIR

4.3.6. Opacímetro



## **CAPÍTULO 4: PARÁMETROS A MEDIR Y SISTEMAS DE ADQUISICIÓN Y CONTROL DEL MOTOR EN LA SALA DE ENSAYOS**

### **4.1. LA SALA DE CONTROL**

La sala de control es contigua a la cámara climática principal. Está compuesta por dos mesas. En una de ellas hay dos ordenadores con los sistemas de adquisición de datos; y en la otra mesa, hay otro ordenador y la YokoGawa. También se encuentran en el interior de dicha sala los cuadros de control del sistema de refrigeración de la cámara principal y la cámara pulmón, así como los de control de humedad y de las bombas de vacío.

Desde la sala de control se puede ver el interior de la cámara a través de las ventanas especialmente calefactadas (Figura 4.1).



*Figura 4.1: Vista general de la sala de control*

El ordenador de la derecha en la mesa de los dos ordenadores se encarga del control del motor mediante el programa INCA y del opacímetro. El otro ordenador se encarga de la obtención de las medidas de temperaturas y presión medias realizadas por el sistema de adquisición SAMARUC. El ordenador de la mesa de la izquierda, es el encargado del control de la cadena de medida YOKOGAWA.

En la parte derecha de la sala se encuentran los cuadros de control de las cámaras. Desde ellos se regula la temperatura, presión y humedad del interior de éstas para alcanzar las condiciones óptimas de ensayo. (Figuras 4.2, 4.3 y 4.4)



**Figura 4.2:** Vista del cuadro de control de temperaturas cámara principal y pulmón.



**Figura 4.3:** Vista del cuadro de control de humedad.



**Figura 4.4:** Vista del cuadro de control del sistema de vacío

## 4.2. VARIABLES A MEDIR E INSTRUMENTACIÓN

El motor que se recibe de RENAULT (similar al producido en una cadena de montaje) se debe instrumentar, ya que la información que nos proporciona sin instrumentar es a través de la ECU. En este caso la ECU es abierta, es decir, que permite el acceso a ella a través de un software. El software utilizado es el INCA 6.2 y mediante él es posible controlar y manipular a conveniencia los diferentes settings para el arranque y la realización de los ciclos. La información obtenida del INCA se encuentra en forma de valores consigna y medidos, como por ejemplo la

presión en raíl que nos da un valor consigna ( $V_{xx\_rps\_rail\_prs\_sp}$ ) y otro medido ( $V_{xx\_rail\_prs}$ ).

Debido a que la ECU no mide todos los parámetros que se necesitan para el estudio se decide instrumentar el motor a través de distintos elementos de medida, como puede ser los termopares tipo K, pinzas amperimétricas, etc; de los que se hablará más en detalle en el próximo punto.

En la tabla siguiente se muestra los parámetros más relevantes que se miden en los ensayos, así como los instrumentos utilizados para realizar estas mediciones:

Parámetros a medir	Instrumento utilizado
Temperatura Escape.	Termopar K Cabeza cubierta $\varnothing 1.5\text{mm}$ .
Temperatura Pipas de admisión.	Termopar K Cabeza cubierta $\varnothing 1.5\text{mm}$ .
Temperatura Líquido refrigerante del motor.	Termopar K Cabeza cubierta $\varnothing 1.5\text{mm}$ .
Temperatura Líquido lubricante del motor.	Termopar K Cabeza cubierta $\varnothing 1.5\text{mm}$ .
Temperatura Combustible.	Termopar K Cabeza cubierta $\varnothing 1.5\text{mm}$ .
Temperatura Ambiente.	Termopar K Cabeza descubierta $\varnothing 1.5\text{mm}$ .
Presión en la cámara de combustión.	Acondicionador (Kistler 5011B10).
Presión interior de la cámara combustión.	Captador de presión (AVL GU21D).
Referencia de giro del motor.	Codificador angular (AVL 365).
Intensidad bujías.	Pinza amperimétrica LEM HEME PR1030.
Intensidad motor de arranque.	Pinza amperimétrica LEM HEME PR1030.
Tensión inyectores.	Cadena de medida YOKOGAWA.
Tensión bujías.	Cadena de medida YOKOGAWA.
Tensión batería.	Cadena de medida YOKOGAWA.
Tensión motor de arranque.	Cadena de medida YOKOGAWA.

**Tabla 4.1.**

Estos instrumentos han de estar en buenas condiciones de funcionamiento, ya que estas mediciones se analizan posteriormente para conocer el funcionamiento del motor en distintas posibilidades de uso. Por lo que si estuviesen en mal estado darían mediciones erróneas y no se conocerían las prestaciones reales.

Una vez conocidas todas las variables necesarias, y hecha una selección de los elementos que se utilizarán para instrumentar el motor, pasaremos a hablar de cada uno de los parámetros a medir.

#### 4.2.1. Tensiones

Se miden directamente mediante la cadena de adquisición de datos YokoGawa. Las diferentes tensiones registradas son:

- Tensión en las bujías de precalentamiento.
- Tensión en el motor de arranque.
- Tensión en inyectores.
- Tensión en la batería.

#### 4.2.2. Temperaturas

Como se ha visto en la tabla 4.1, los elementos utilizados para la medición de temperatura son termopares Tipo “K”.

Respecto al termopar Tipo K, ver figuras 4.5 y 4.6; decir que se trata de un elemento de medida provisto de dos filamentos soldados en su extremo, uno de níquel y otro de cromo, de modo que estos dos materiales al paso del fluido sufren distinta deformación generando fuerzas electromotrices dependientes del gradiente de temperaturas (efecto Seebeck). Esta diferencia de deformación nos da una medida de tensión.



*Figura 4.3: Termopar Tipo k de cabeza descubierta.*



**Figura 4.4: Termopar Tipo k de cabeza cubierta.**

Se caracteriza por su amplio rango de medida debido a que es utilizado para medir fluidos a diferentes temperaturas y también por ser un elemento que nos da una respuesta muy rápida pero menos precisa que la termorresistencia. En el mercado se pueden encontrar dos tipos de termopares Tipo K, de cabeza cubierta y de cabeza descubierta.

En este caso se utilizan termopares Tipo K de cabeza descubierta para medir temperatura en el conducto de admisión, porque la respuesta es más rápida que los de cabeza cubierta y el fluido a medir es aire “limpio” y, en el caso de los líquidos, la medida de la temperatura se realiza con termopares de cabeza cubierta.

Todas estas medidas de temperatura se registran en el SAMARUC.

#### 4.2.3. Intensidades

Las pinzas amperimétricas se utilizan para medir la intensidad de corriente demandada por el motor de arranque y para medir la intensidad de corriente consumida por las bujías durante el calentamiento. Esto, además, nos permite controlar el buen funcionamiento de las bujías que es algo muy importante a bajas temperaturas, ya que de ello depende directamente el arranque del motor.

La pinza utilizada para las medidas de la intensidad de corriente, tiene entre otras, las siguientes características:

- Marca: LEM.
- Modelo: PR 1030.
- Rangos de corriente: 100A o 1000A.
- Señal de salida: 10mV/A o 1mV/A.
- Tiempo de subida o bajada: 4 $\mu$ s.
- Peso: 295g.
- Cable de salida: 2m.



**Figura 4.5: Pinza Amperimétrica  
PR 1030**

Para ver más características, anexo 5.

Los datos medidos por ambas se recogen en la cadena de medida YOKOGAWA, de la cual se hablará en el apartado 4.3.3.

#### 4.2.4. Régimen instantáneo

Para medir el régimen de giro se ha elegido, en este caso particular, un codificador óptico o encoder incremental; mostrado en la figura 4.8. Estos constan, en su forma más simple, de un disco transparente con una serie de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes entre sí. Además tienen un elemento fotorreceptor y un sistema de iluminación en el que la luz es colimada de forma adecuada. El eje cuya posición se quiere medir va acoplado al disco transparente.

Con esta disposición, a medida que el eje gira, se van generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviese alguna de las marcas opacas. De este modo, llevando una cuenta de estos pulsos, es posible conocer la posición del eje.

Existe, sin embargo, el problema del desconocimiento en un momento dado de sí se está realizando un giro en un sentido o en el opuesto. Esto tiene el peligro de que no cuente adecuadamente. Una solución a este problema consiste en disponer de otra franja de marcas, desplazada de la anterior, de manera que el tren de pulsos que con ella se genere esté desplazado  $90^\circ$  eléctricos con respecto al generado por la primera franja. De esta manera, con un circuito relativamente sencillo, es posible obtener una señal adicional que indique cuál es el sentido de giro y que actúe sobre el contador correspondiente indicándole que incremente o reduzca la cuenta que se está realizando.

Es necesario además disponer de una marca de referencia sobre el disco que indique que se ha dado una vuelta completa y que, por tanto, se ha de empezar la cuenta de nuevo. Esta marca sirve también para poder comenzar a contar tras recuperarse de una caída de tensión.

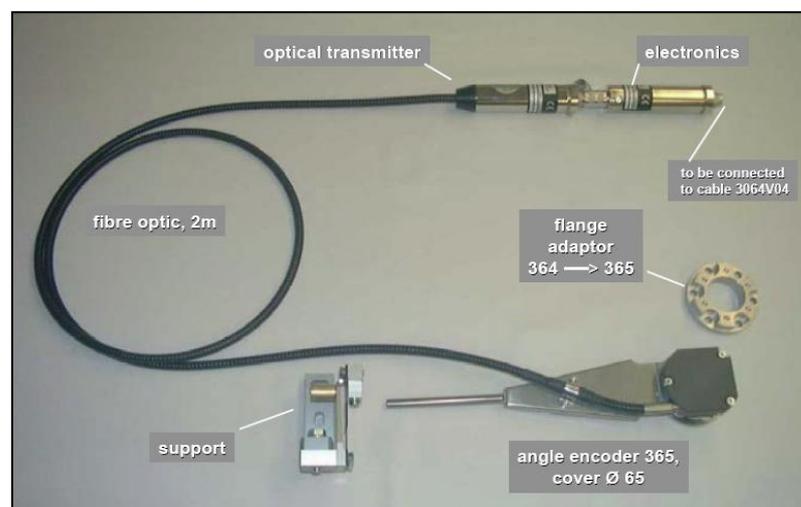


Figura 4.8: Componentes del codificador angular AVL 365.

La resolución de este tipo de sensores depende directamente del número de marcas que se pueden poner físicamente en el disco. Un método relativamente sencillo para aumentar esta resolución es, no solamente contabilizar los flancos de subida de los trenes de pulsos, sino contabilizar también los de bajada. Así se incrementa la resolución del captador pudiéndose llegar, con ayuda de circuitos adicionales, hasta 100.000 pulsos por vuelta.

El funcionamiento básico de los codificadores absolutos es similar al de los incrementales. Se tiene una fuente de luz con las lentes de adaptación correspondientes, un disco graduado y unos fotorreceptores.

En este caso, el disco transparente se divide en un número determinado de sectores que es potencia de 2, codificándose cada uno de ellos según un código binario cíclico (normalmente código de Gray) que queda representado por zonas transparentes y opacas dispuestas radialmente. No es necesario ahora ningún contador o electrónica adicional para detectar el sentido del giro, pues cada posición (sector) es codificado de forma absoluta. Su resolución es fija, y vendrá dada por el número de anillos que posea el disco graduado. Las resoluciones habituales van desde 28 a 219 bits (desde 256 a 524288 posiciones distintas).

Normalmente los sensores de posición se acoplan al eje del motor.

En algunos encoders absolutos se utiliza otro encoder absoluto más pequeño conectado por un engranaje reductor al principal, de manera que cuando éste gire una vuelta completa, el codificado adicional avanzará una posición. Son los denominados encoder absolutos multivuelta.

Esta misma circunstancia originará que, en el caso de los codificadores incrementales, la señal de referencia o marca de cero sea insuficiente para detectar el punto origen para la cuenta de pulsos. Pues habría N posibles puntos de referencia para un giro completo de la articulación. Para distinguir cuál de ellos es el correcto se suele utilizar un detector de presencia denominado sincronismo, acoplado directamente al eslabón del robot que se considere. Cuando se conecta el robot desde una situación de apagado, es preciso, ejecutar un procedimiento de búsqueda de referencias para los sensores (sincronizado).

Durante su ejecución se leen los detectores de sincronismo que detectan la presencia o ausencia de eslabón del robot. Cuando se detecta la presencia o ausencia de pieza, o viceversa, se atiende al encoder incremental, tomándose como posición de origen la correspondiente al primer pulso de marca de cero que este genere.

La contaminación ambiental puede ser una fuente de interferencias en la transmisión óptica. Son dispositivos particularmente sensibles a golpes y

vibraciones, estando su margen de temperatura de trabajo limitado por la presencia de componentes electrónicos. En el caso de la temperatura, se utiliza como aislante una pieza de celotex que se acopla entre el codificador y la salida del árbol cigüeñal.

Algunas de las características del codificador angular utilizado son las siguientes, ampliadas en el anexo nº 4:

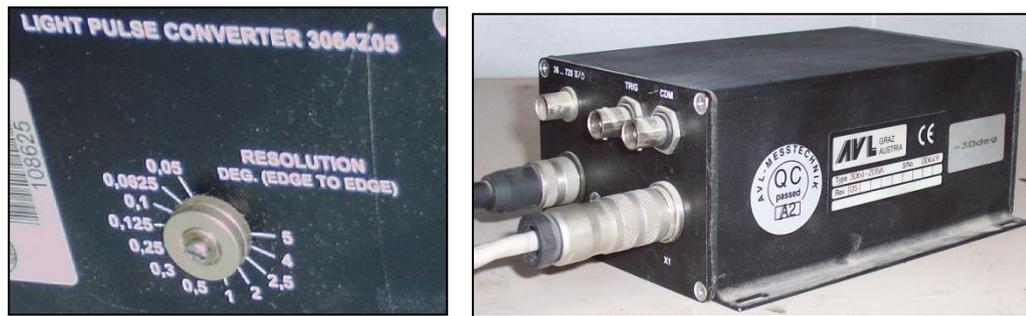
- Codificador angular: AVL 365.
- Rango de velocidades: Desde 1 rpm, hasta 20000 rpm.
- Rango de temperatura de trabajo: Desde -30°C, hasta 60°C.
- Rango de Temperatura de las superficies de montaje: Desde -30°C, hasta 100°C.
- Vida útil: Un mínimo de 10 millones de revoluciones, con las máximas vibraciones permitidas.

El montaje del codificador angular en el motor se resume en la figura 4.9.



**Figura 4.9: Montaje en el motor del codificador angular.**

Con el codificador angular podemos obtener dos medidas. Una es la llamada “uno por vuelta” (1/Vuelta); y a la otra se le denomina “n por vuelta” (n/Vuelta). La diferencia entre ellas está en el número de pulsos que emite por cada vuelta o giro del cigüeñal. En el caso del (1/Vuelta), el codificador emite un pulso por cada giro de 360° del cigüeñal. En cambio, con el (n/Vuelta) el número de pulsos a emitir puede variar, en dependencia de la resolución del convertidor de pulsos (Fig. 4.10). En nuestro caso trabajamos con pulsos cada 0,2°. La señal es enviada a la cadena de medida Yokogawa en forma de voltaje, y nos permite conocer la posición del cigüeñal en determinado momento. Esto facilita el cálculo del régimen de giro, necesario para la obtención de otros parámetros.



*Figura 4.60: Convertidor de pulsos luminosos.*

#### 4.2.5. Tensión de los inyectores

Para poder controlar dónde y cómo se realiza la inyección, se ha decidido medir los pulsos eléctricos que manda la ECU a los inyectores. Estos son del orden de los 180 voltios y se mantienen durante la inyección. La medida de esta tensión se obtiene pinchando los cables que llegan al inyector e introduciéndolos a la cadena de medida YOKOGAWA (Fig. 4.11). El uso de este equipo de adquisición se debe a que la corta duración de la inyección exige una frecuencia de muestreo muy elevada.



*Figura 4.71: Conexionado para la medida de tensión en los inyectores.*

#### 4.2.6. Opacidad de los gases de escape

Para la medición de la opacidad de los gases de escape utilizaremos el opacímetro AVL 439. Las características de éste se pueden ver en el anexo 7.



*Fig 4.12: Opacímetro AVL 439.*

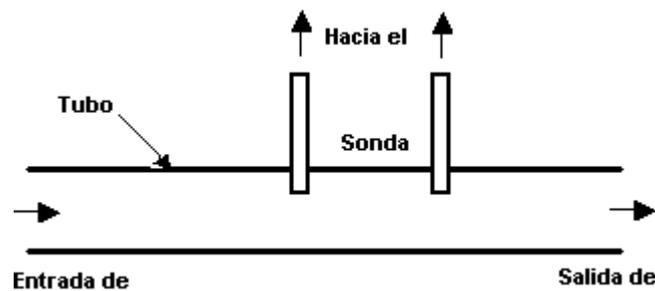
El opacímetro AVL 439 está compuesto por una carcasa donde integra la totalidad de sus elementos con toda la electrónica de control, el sistema de análisis de opacidad y las diferentes entradas de las sondas de medida y de las mangueras de aire para purgar el circuito.

Cuenta con:

- Dos sondas de recogida de gases unidas a dos mangueras de recirculación de gases que los mandan hacia el opacímetro.
- Otra manguera unida al sistema de aire comprimido de la sala para realizar la purga del sistema después de la realización del ensayo.
- Una serie de filtros para evitar la entrada de partículas nocivas para el funcionamiento del opacímetro.

El opacímetro funciona a través de una interfaz conectado con un PC externo a la sala (PC de la derecha en la mesa de la derecha) y un software especial programado para el control del funcionamiento del opacímetro.

Al abrir el programa de control del opacímetro, éste comienza a calentarse, una vez calentado el sistema está preparado para recoger muestras de gases de escape. La medida se inicia desde el software y el opacímetro comienza a recoger humos durante el tiempo impuesto por el operario de sala, con la particularidad de que se ve la opacidad de los humos en tiempo real.



**Fig. 4.13: Esquema de recogida de gases del opacímetro AVL 439.**

Cuando nuestro tiempo de medida ha finalizado se da la orden de parar la recogida de gases desde el programa y se pone el equipo a purgar mediante el aire comprimido para mantenimiento. Las medidas se pueden obtener en varias magnitudes, usando generalmente la de tanto por cien y realizando posteriormente la conversión a la magnitud que interese para posteriores trabajos con opacidades.

#### **4.2.7. Presión en los cilindros**

Para obtener un valor de la presión en la cámara de combustión se han instalado captadores de presión activos. Estos proporcionan una señal de voltaje ante la variación del parámetro que miden. Su principio de funcionamiento se basa en el fenómeno piezoeléctrico, que consiste en la aparición de cargas eléctricas en determinadas zonas de una lámina de cuarzo, como respuesta a la deformación provocada por la aplicación de una fuerza. El uso de elementos de cuarzo, asegura medidas uniformes ante altas cargas mecánicas y su sensibilidad permanece constante desde  $-50$  a  $400^{\circ}\text{C}$ .

Los captadores piezoeléctricos tienen como inconvenientes, la falta de presión de referencia, con un nivel cero variable; su sensibilidad a los parásitos eléctricos debido a su alta impedancia de salida, así como también una cierta sensibilidad a las aceleraciones y a los cambios de temperatura.

Como ventajas podemos citar la casi linealidad de su respuesta, su alto rango dinámico, su excelente comportamiento desde las medias hasta las altas frecuencias, su tamaño reducido, su robustez y su elevada resistencia térmica.

Las características del captador de presión empleado en el motor son las siguientes:

- Marca: AVL
- Modelo: GU21D
- Rango de medida: 0-250 bar.
- Sensibilidad: 35 pC/bar.
- Rango de temperatura de trabajo:  $\leq 400^{\circ}\text{C}$

El transductor convierte la variable mecánica a medir, en este caso presión, en una carga eléctrica de salida proporcional a la variable que se mide. Esta carga eléctrica es transformada en tensión en los acondicionadores de señal (Fig. 4.14 y Fig. 4.15) antes de entrar en la cadena de medida, que registra de forma continua y durante un intervalo de tiempo fijado por el usuario, los cambios de tensión producidos por las variaciones de presión. Estas variaciones de presión pueden ser visualizadas mediante el programa de adquisición "YOKO".

Haciendo referencia a los acondicionadores de señal se puede decir que se trata de un Kistler 5011, del cual podemos ver una vista posterior en la Figura 4.14. Para ver las características técnicas del acondicionador ir al anexo 6.



**Figura 4.84: Vista posterior del acondicionador de señal.**

Lo primero que se debe hacer es conectar el cable de alimentación en POWER y encender el acondicionador. Se conecta a continuación, en CHARGE, el conductor de carga proveniente del transductor (cable verde); y la salida de la señal ya amplificada (conexión coaxial) se recoge en OUTPUT conectándola al módulo de entrada INPUT MODULE que corresponda del sistema de adquisición

YOKOGAWA. Para un perfecto funcionamiento es necesario tenerlo en modo operativo al menos una hora antes de su utilización.

La parte delantera se puede observar en la Figura 4.15.



**Figura 4.15: Vista delantera del acondicionador de señal.**

Una vez alimentado el amplificador, se acciona el interruptor de On/Off y se enciende el led operate. Éste realiza un autotest para comprobar su buen funcionamiento.

Todas las operaciones a realizar se seleccionan por medio del botón “Menú”, que es de color azul, moviéndonos entre las diferentes opciones al presionar repetidamente dicha tecla y variando los valores de ellos con las teclas “selección de parámetros” (flecha arriba para aumentar el valor seleccionado y flecha abajo para disminuirlo). Durante todas las operaciones que se realicen a continuación, el amplificador debe estar alimentado pero en modo no operativo.

Las operaciones a realizar son:

- Ajuste de la sensibilidad (T) (Transducer Sensitivity):

La sensibilidad viene dada en pC/Unidad Mecánica (pC/MU) y se debe ajustar normalmente al valor dado por el fabricante o bien al obtenido en el proceso de calibración.

- Elección de la escala de amplificación (S):

Expresada en Mechanical Units / Volt, (MU/V), al valor deseado. Realizando esto se obtiene la tensión de salida del amplificador en función de la carga eléctrica generada por el cristal, como:

$$\frac{pC}{MU} * \frac{MU}{V} = \frac{pC}{V}$$

Esta escala se debe escoger considerando la amplitud pico de la magnitud mecánica a medir, el rango de tensión máxima de entrada a los módulos del sistema de adquisición de datos y la tensión máxima de salida del amplificador, que es  $\pm 10$  V.

- Menú filtro paso bajo LP:

En este menú solo se puede activar o desactivar ON/OFF. Se trabajara sin filtro paso bajo, OFF, por la pérdida de información que puede conllevar el activarlo.

- Selección de la constante de tiempo (TC):

La que mejor se adapte al tipo de medida que se está realizando. El modo de trabajo que se ajusta en este caso es MEDIUM, registrando un pulso de presión perfectamente definido. Si el tiempo de descarga de los condensadores fuese LONG, no se visualizaran variaciones repentinas de presión, en la que el perfil del pulso no está bien definido. En el modo SHORT se registrarían por exceso las variaciones del pulso.



**Figura 4.16: Captador de presión para cámara de combustión.**

Estos modelos de sensores son los indicados para medidas termodinámicas en motores de combustión, donde no hay espacio disponible para montar otro tipo de sensor. Está instalado en el alojamiento de la bujía de precalentamiento. La alta resistencia al choque térmico y la excelente estabilidad, asegura unos resultados bastante fiables. Además, la excelente linealidad en todo su rango de medida permite medir con mucha exactitud.

Esta señal de baja amplitud y muy sensible a los ruidos eléctricos llega mediante un cable especial, con una determinada resistencia, hasta el acondicionador de señal. Este dispositivo la convierte en una señal analógica en voltios que es conducida a la cadena de medida Yokogawa a través de un cable BNC. El cable que va desde el captador de presión hasta el acondicionador, se llama cable de carga. Es muy delicado, sensible a la humedad y a los dobleces,

ya que estos factores atentan contra el valor de su resistencia; pudiendo dar durante los ensayos una medida poco fiable. Es por ello por lo que se debe manejar con precaución y comprobarlo periódicamente.

### 4.3. SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

#### 4.3.1. Rack de control del banco de ensayos

El rack de control del motor se encuentra situado entre las dos mesas. Con él se pueden controlar un máximo de dos motores simultáneamente.



*Figura 4.17: Vista del cuadro de control del motor.*

En el panel de control encontramos los siguientes dispositivos:

- Llave de alimentación fuentes.
- Pulsador de seguridad, parada de emergencia.
- Interruptor Bomba de baja.
- Leds de estado de la ECU (ON/OFF).
- Interruptor contacto.
- Pulsador de arranque.
- Interruptor alternador.
- Leds de estado del alternador (ON/OFF).
- Interruptor bujías.
- Leds de estado bujías (ON/OFF)
- Interruptor circuito de refrigeración.

Para medir las variables con los distintos equipos es necesario que el cableado de los instrumentos de medida así como de sistemas auxiliares, estén conectados en el motor y comunicados con la sala de control.

#### **4.3.2. Sistema de adquisición y control del motor: INCA**

El comportamiento total de un vehículo está determinado por una gran variedad de factores físicos que originan un gran número de parámetros de control en el software de la unidad de control. Estos parámetros pueden visualizarse y modificarse, debido a que la ECU utilizada es abierta, mediante el programa INCA.

##### **4.3.2.1. Software de control**

El programa INCA (Integrated Calibration and Application Tools), permite obtener datos del motor (temperaturas, voltajes, etc...) medidos en la unidad de control y en paralelo. También nos da la posibilidad de variar la configuración de distintos componentes del motor para su optimización.

La configuración modular de INCA hace la adaptación a exigencias específicas de posibles clientes. El software básico proporciona el marco externo que puede ser ampliado usando exactamente los módulos necesarios adicionales.

Para poder comunicar con el motor es necesario: Un sistema de comunicación ETK que extrae la información de la ECU, un cable de comunicación LAN que va a parar al módulo ETAS modelo ES690.1 que está conectado a través de otro cable con el PC .

Las propiedades más destacables del software de aplicación INCA son las siguientes:

- Ejecutable sobre un ordenador personal Pentium con RAM recomendada de 64 MB.
- Sistema operativo: WINDOWS XP Profesional SP2.
- Hardware y software modular.
- Comercializable como proyecto y como uso.
- Permite encajar unidades de control de alta calidad y económicas.
- Puede integrarse en el proceso de desarrollo para software de unidades de control.

### 4.3.3. Yokogawa

La cadena de adquisición de datos utilizada durante el proyecto es una Yokogawa de 16 canales, modelo DL716. (Fig. 4.18).



**Figura 4.18: Yokogawa DL716.**

Sólo permite medir señales que vengan expresadas en forma de tensión eléctrica. Estas medidas son directas en algunos casos como por ejemplo:

- Tensión en las bujías.
- Tensión en el motor de arranque.
- Tensión en inyectores.
- Tensión en las baterías.

Y en otros casos son indirectas:

- Intensidad de corriente en las bujías.
- Presión en la cámara de combustión.
- Intensidad de corriente en el motor de arranque.
- Régimen de giro. (Utilizada como TRIGGER de la cadena de medida).

Para ambos tipos de medida es necesario configurar antes, en el menú GENERAL, la frecuencia de muestreo del equipo, la memoria del canal y el número de bloques. La frecuencia de muestreo puede elegirse entre los valores de 10Hz hasta 10MHz.

Si el ensayo realizado es un arranque, los resultados obtenidos son medidos en tiempo. Por el contrario si el ensayo realizado es un ciclo, los resultados obtenidos son medidos en función del ángulo.

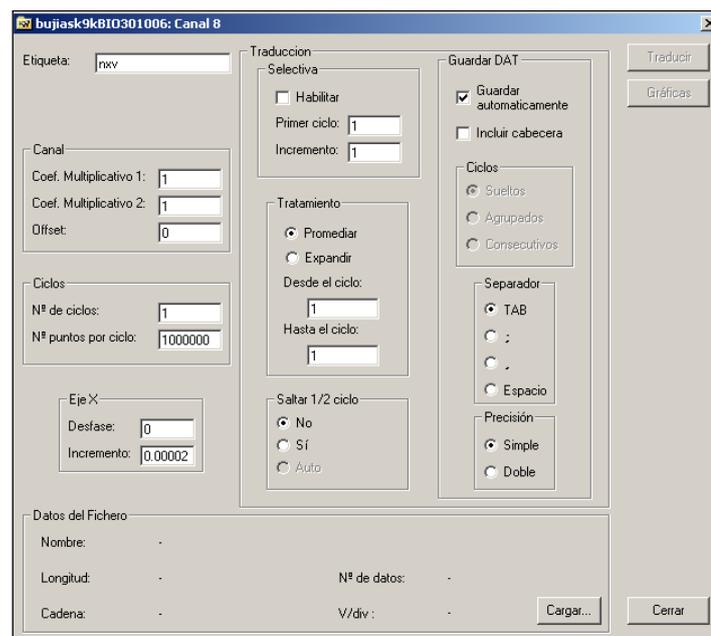
Para los ensayos de arranque, el valor con que trabajamos fue 50kHz. La memoria del canal permite valores desde los 1.000 puntos hasta los 16.000.000

de puntos siendo, en nuestro caso 1.000.000 de puntos. De esta manera, el tiempo de grabación del equipo es de:

$$\frac{1.000.000}{50.000} = 20s$$

Para los ensayos de ciclos, se medían 400.000 puntos cada 0,2º de giro del motor. Por tanto se acababan midiendo 111 ciclos ya que cada ciclo del motor son 720º al ser un motor 4T.

Otro menú a configurar es el de los CANALES. Aquí se pueden variar el rango de cada canal, así como el modo en que medirá el mismo. El rango a elegir varía discretamente entre los 200mV y los 800 V; pudiendo medirse en los modos AC (Corriente alterna), DC (Corriente directa o continua), o TEMP (Tiempo). En la pestaña de “DETALLES” de cada canal se pueden modificar otros parámetros del canal. Estos parámetros tienen como objetivo adecuar las medidas según nos interese en cada caso. (Figuras 4.19 y 4.20)



**Figura 4.19: Pantalla de configuración del canal 8.**

Por último está el menú TRIGGER. Aquí se selecciona el canal que queremos que actúe como disparador de la grabación de la medida (Tipo de trigger); y el modo de trigger que puede ser NORMAL, AUTO o ALEVEL. La grabación de datos en la cadena YokoGawa se realiza con un retardo o DELAY de 2 segundos, para que de ese modo se pueda apreciar con claridad todas las medidas desde el principio.

bujiask9k8IO301006

START STOP REC LOCAL

Nombre del Ensayo:  Número de Orden:

General Canales Trigger

Cadena de Medida: DL716

Frec. de Muestreo: 50KHz

Memoria de Canal: 1000000

Número de Bloques: 1

Cadena detenida

bujiask9k8IO301006

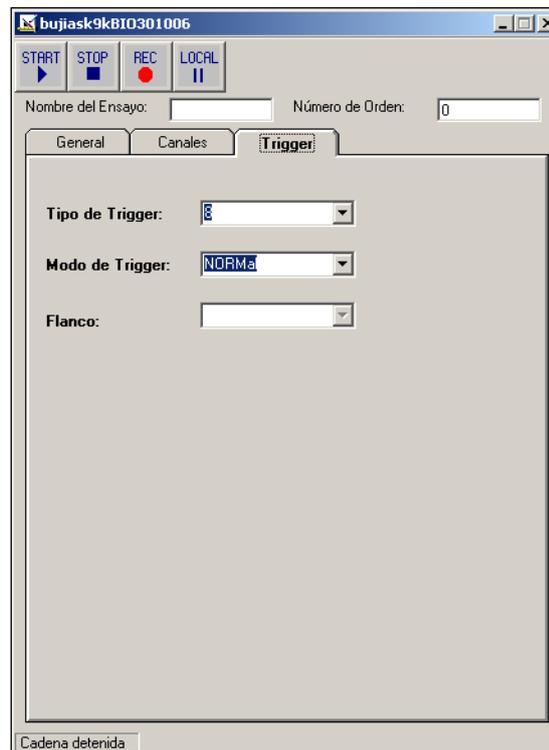
START STOP REC LOCAL

Nombre del Ensayo:  Número de Orden:

General Canales Trigger

	Modo	Rango	
Canal 1	DC	400V	Detalles
Canal 2	DC	400V	Detalles
Canal 3	DC	400V	Detalles
Canal 4	DC	400V	Detalles
Canal 5	DC	20V	Detalles
Canal 6	DC	20V	Detalles
Canal 7	DC	20V	Detalles
Canal 8	DC	8V	Detalles
Canal 9	DC	8V	Detalles
Canal 10	OFF		Detalles
Canal 11	DC	8V	Detalles
Canal 12	DC	20V	Detalles
Canal 13	DC	2V	Detalles
Canal 14	OFF		Detalles
Canal 15	OFF		Detalles
Canal 16	OFF		Detalles

Cadena detenida



**Figura 4.20:** Menús de configuración de la cadena de medida YOKOGAWA.

#### 4.3.4. Sistema de control de parámetros: SAMARUC

Para registrar las temperaturas y las presiones, debido a la gran importancia de éstas durante el proyecto, se ha desarrollado en la CMT una aplicación en LabView, la cual nos permite registrar estas variables. Dicha aplicación recibe el nombre de Samaruc.

El Samaruc nos permite obtener un Display en tiempo real de un gran número de parámetros, como pueden ser temperaturas, presiones, intensidades, etc...

Además, puede ser modificado para mejorarlo y adecuarlo a las condiciones de cada proyecto.

Una vez explicado la función del Samaruc, se va a pasar a explicar el hardware del cual consta el sistema de adquisición. El hardware es comercial y se puede obtener directamente de la empresa National Instruments.

En nuestro caso, el hardware del sistema de adquisición consta de:

- Dos módulos encargados de medir las temperaturas recibidas de los Termopares, descritos anteriormente (TC 2095).



**Figura 4.21: Módulos TC y BNC 2095**

Éste módulo consta de 32 entradas de termopar, lo cual permite medir 32 temperaturas distintas donde se crea necesario. Contiene además una conexión directa (situada en la parte posterior) que conecta el frontal con el módulo SCXI, el cual será explicado posteriormente, y que permite procesar y obtener los datos recibidos.

- Un módulo de alta velocidad encargado de obtener la señal de los cables coaxiales finalizado con un terminal BNC, encargados de transportar las señales analógicas de bajo voltaje, denominado BNC 2095.
- Un módulo encargado de registrar los datos procedentes de los canales conectados mediante terminales BNC denominado BNC 2090. El cual consta de 22 salidas de conector BNC, preparadas tanto para señal digital como analógica.



**Figura 4.22: Módulo BNC 2090**

- Toda la información registrada por los módulos anteriormente vistos, pasa directamente a un módulo PXI, encargado de obtener la información y transportarla directamente al ordenador de adquisición.



Figura 4.23: Módulo PXI

Gracias a todas estos módulos de medida podemos obtener un Display con las medidas que se desea controlar en tiempo real, también nos permite crear alarmas en caso de que, por ejemplo, la presión de aceite baje por debajo de un nivel crítico, etc.

En el ordenador de adquisición podemos ver el siguiente Display:

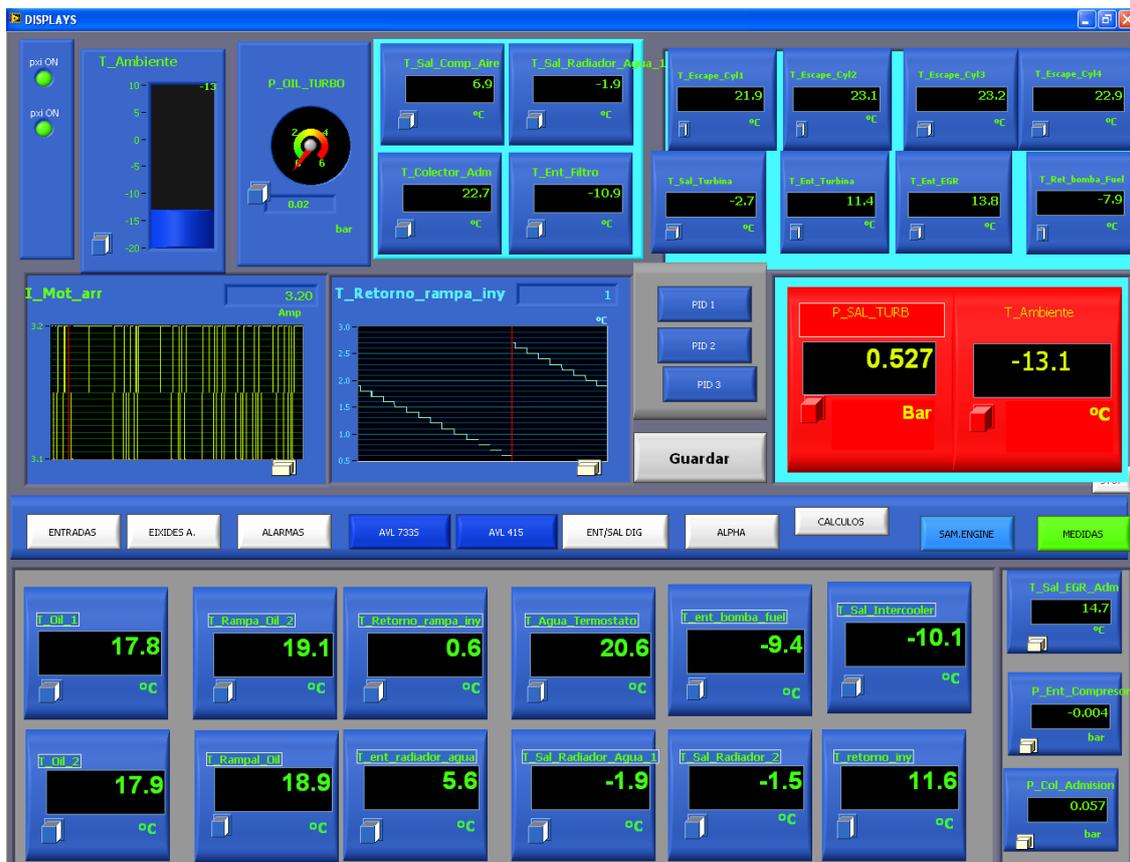


Figura 4.24: Display Samaruc

Dentro del Samaruc se pueden ver también diversas aplicaciones. Una de ellas recibe el nombre de *registrador* y, como su propio nombre indica, es la aplicación encargada de registrar las medidas seleccionadas para su posterior procesado:

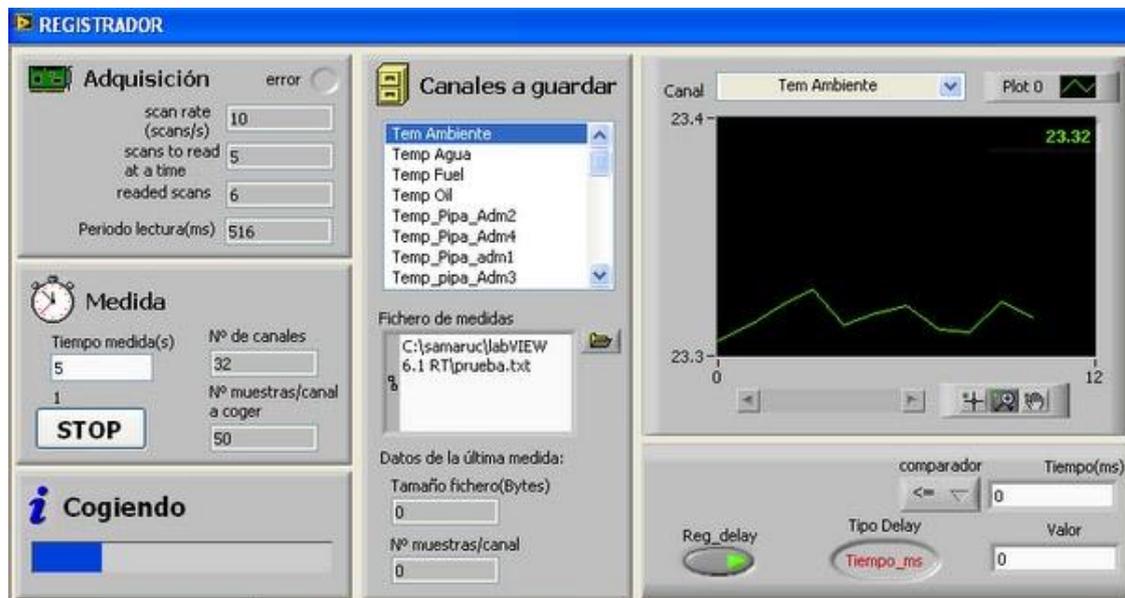


Figura 4.25: Registrador

Como podemos ver en la imagen inmediatamente superior, en dicha aplicación podemos seleccionar tanto el tiempo que se desea medir, como el nombre, código del ensayo y dirección donde éste va a ser almacenado. Además, permite visualizar las medidas que van a ser registradas, que han sido previamente definidas, independientemente de las que se muestren en el Display anteriormente explicado.

En la parte superior izquierda de la imagen se puede observar la información referente a la frecuencia de muestreo a la cual se va a realizar el ensayo, que también ha debido ser previamente definida.

Una vez comprobados todos los parámetros, se procede a darle al botón inferior de START/STOP para que el sistema comience a registrar las medidas seleccionadas.

Otro de las aplicaciones de SAMARUC que es muy importante es la llamada *Alpha/N*. Con esta aplicación se puede controlar el pedal de aceleración del motor, bien por rampa donde se introduce el porcentaje de pedal deseado, bien por ciclo guardado en un fichero como se realiza en los ensayos estudiados en

este trabajo. La orden de pedal se manda al motor en forma de tensión a través del módulo BNC 2090.

#### **4.3.5. Sistema de adquisición de emisiones contaminantes: Horiba 6000 FTIR**

Los motores de combustión interna están sujetos a una normativa, cada vez más restrictiva, de emisiones contaminantes, por lo que uno de los objetos obligados de este proyecto, es la medición de las mismas, para cerciorarse, que con la configuración más óptima seleccionada de inyección múltiple, se cumple la norma.

Para ello se procede a la instalación del equipo de medida Horiba 6000 FTIR.

Horiba 6000 es un equipo desarrollado para medir emisiones contaminantes, lo que consigue gracias a una técnica llamada FTIR, (espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier). Es capaz de medir emisiones contaminantes en motores gasolina, diesel y etanol.

Este equipo es una potente herramienta para el desarrollo de motores, tratamiento de gases y combustibles. Es versátil, analiza gases en tiempo real y simultáneamente realiza múltiples mediciones de componentes gaseosos. Mide gases que no son tan típicos en equipos de emisiones contaminantes, como  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCHO}$ , y  $\text{CH}_3\text{OH}$ .

Es un equipo que no necesita técnicos experimentados en FTIR, siendo muy fácil su uso y mantenimiento.

#### **Principio de funcionamiento:**

La técnica FTIR, es la combinación de la espectroscopia infrarroja (IR) y la transformada de Fourier (FT).

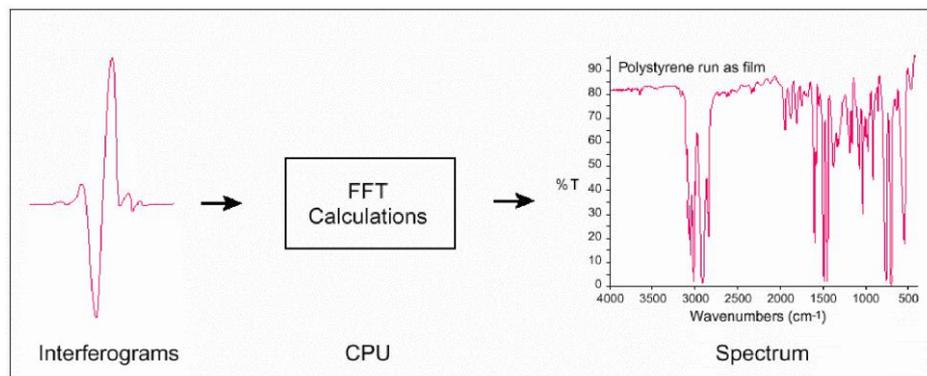
El método de los espectrómetros dispersivos es una solución para los detectores de infrarrojo, que no son capaces de seguir las frecuencias ópticas. Imaginemos que se pudiera construir un transductor que transformase las frecuencias ópticas en frecuencias de audio, donde los detectores y la electrónica son capaces de seguir tanto las variaciones de intensidad como las de frecuencia. Este transductor sería el fundamento de un espectrómetro mucho más sensible, preciso y fiable. Esta idea constituye la base de la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (Fourier Transform InfraRed (FTIR) Spectroscopy).

- **Interferómetro de Michelson:**

El interferómetro de Michelson constituye el corazón de los espectrómetros FTIR, y sustituye a la red de difracción como elemento seleccionador de frecuencias. Un interferómetro de Michelson está constituido por un divisor de haz (beamsplitter), un espejo fijo y un espejo móvil.

El divisor de haz (normalmente se trata de una película delgada de germanio) genera dos ondas en fase viajando en direcciones diferentes, hacia los espejos. Una vez reflejados en éstos, las dos ondas se recombinan nuevamente en el divisor de haz, produciéndose una interferencia entre ambas. Una vez recombinadas, el detector registrará una intensidad que dependerá de la diferencia de camino impuesta por la posición de los espejos.

La señal que recibe el detector en el interferómetro de Michelson corresponde a la transformada de Fourier de la distribución espectral de la fuente infrarroja en estudio. Esta señal recibe el nombre de interferograma.



**Figura 4.26: Interferograma y espectro.**

Una vez que se conoce el interferograma por medida directa, se obtiene la distribución espectral de irradiancia de la fuente infrarroja sin más que calcular la transformada de Fourier inversa.

### **Ventajas de la espectroscopía FTIR:**

Un interferómetro de Michelson presenta una serie de ventajas frente a los sistemas dispersivos:

- 1.- Simplicidad mecánica: sólo existe un componente en movimiento (el espejo móvil).
- 2.- Elevada sensibilidad y velocidad (ventaja de Felguett). Todas las frecuencias se miden simultáneamente. Un espectro completo se puede obtener en un espacio de tiempo muy corto, pudiéndose tomar muchos barridos para realizar promedios y reducir el ruido.
- 3.- Mayor flujo de energía (ventaja de Jacquinet)
- 4.- Utiliza un láser como referencia interna (ventaja de Connes). La calibración en frecuencias del interferómetro es muy precisa y estable, al utilizar un láser de He-Ne
- 5.- Elimina la luz difusa. Debido a cómo el interferómetro modula cada frecuencia, no hay equivalente en un FTIR a la luz difusa en los sistemas dispersivos.
- 6.- Resolución constante a todas las frecuencias.
- 7.- Ausencia de discontinuidades en el espectro, al no haber cambios de red de difracción.
- 8.- No hay contribuciones debidas a la reemisión de la muestra, al encontrarse ésta detrás del interferómetro y su emisión no ser modulada por éste.

#### 4.3.6. Opacímetro

Es el encargado de medir la opacidad de los gases de escape, está instalado en paralelo con la línea de escape y realiza muestras para las que determina la cantidad de partículas que contienen los humos, es decir, la opacidad. Éste es controlado por una aplicación instalada en el ordenador de la derecha en la mesa de la derecha, la Pc439.

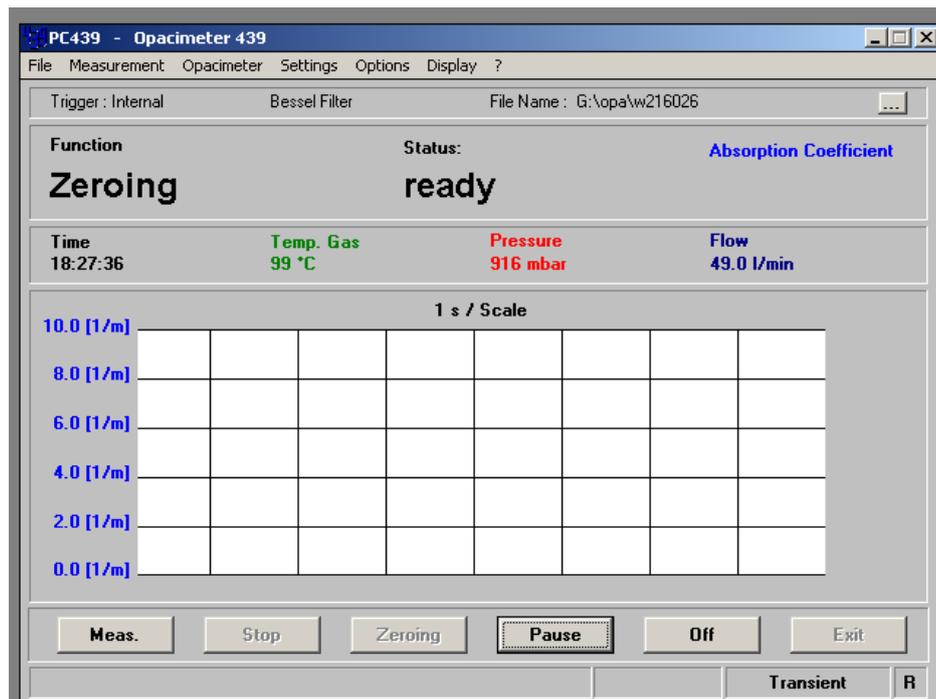


Figura 4.27: Vista programa Pc439

Dicha aplicación se encarga de mandar las órdenes al opacímetro, las más utilizadas son: Zeroing (calentamiento), Pause, Purging (purgado), Off (apagar).

También se encarga de recibir la señal desde el opacímetro que según el tipo de medida será de diferente forma.

El opacímetro también tiene una salida analógica, con más resolución, la cual es medida en la cadena de medida YokoGawa y que en este caso es igual a la señal que recibe directamente la aplicación del opacímetro.





## **Capítulo 5: EXPERIMENTACIÓN**

5.1. INTRODUCCIÓN

5.2. PLAN DE ENSAYO

5.3. PROCESADO DE DATOS



## **CAPÍTULO 5: EXPERIMENTACIÓN**

### **5.1. INTRODUCCIÓN**

El proyecto encargado por Renault tiene como objetivo la evaluación del potencial de estrategias de inyección múltiple para mejorar el arranque en frío del motor a  $-25^{\circ}\text{C}$  y su estabilidad después de arrancar a  $-10^{\circ}\text{C}$ . Con este propósito se ha realizado una optimización de estrategia de inyección del motor para reducir la inestabilidad y emisiones del motor después de arrancar a  $-10^{\circ}\text{C}$ ; y mejorar el arranque del mismo a  $-25^{\circ}\text{C}$ .

Aunque el trabajo sólo se centra en el estudio de los ciclos a  $-10^{\circ}\text{C}$ , en este apartado se van a describir las dos metodologías de ensayos, ciclos a  $-10^{\circ}\text{C}$  y arranques a  $-25^{\circ}\text{C}$ , centrándonos después únicamente en el plan de ensayos para lograr los objetivos del trabajo. Y en el último apartado de este capítulo, se explica la forma de procesar los datos que se utiliza para el posterior estudio de los mismos.

### **5.2. PLAN DE ENSAYOS**

#### **Metodología:**

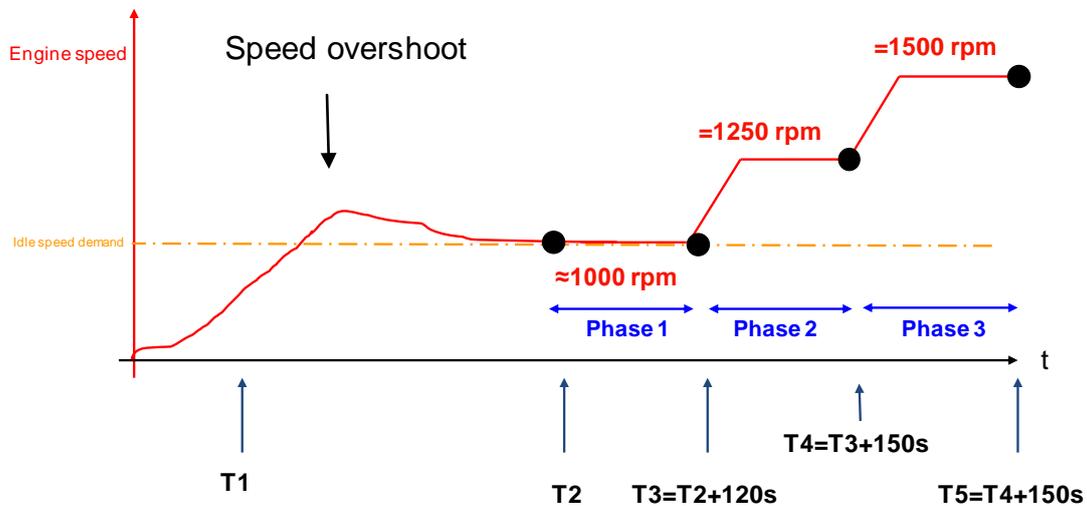
Con el propósito de cumplir el objetivo del estudio dos tipos de ensayos han sido establecidos:

- **Ensayo tipo A: Funcionamiento constante a  $-10^{\circ}\text{C}$ .**

En este tipo de ensayo una secuencia de series de 3 puntos de funcionamiento constantes (velocidad / presión media efectiva) a ralentí, 1250rpm/ 2 bar y 1500rpm/ 3 bar han sido realizadas. Como la presión media efectiva es proporcional al par, medida que da directamente el freno, en vez de fijar la presión en 2 y 3 bar, se fija el par en 23 y 35 Nm respectivamente.

El tiempo de los distintos intervalos en el que estas condiciones se mantienen antes de un cambio se pueden observar en la figura 5.1. Al llegar a T5, la secuencia de tres fases definida en la figura será repetida de nuevo. Además, una fase adicional (Phase 0) previa a la fase 1 será también considerada en el estudio. La fase 0 comienza 10 segundos después del máximo de la velocidad producido en el arranque.

Para este tipo de ensayo, el sistema refrigerante del motor se mantiene como en una situación real para que el coche se caliente como en un modo real de operación.



**Figura 5.1: Ciclo de funcionamiento constante.**

Este ensayo está principalmente centrado en la evaluación de la estabilidad del motor y las emisiones después del arranque a  $-10^{\circ}\text{C}$ . Para esta evaluación, la evolución temporal de las variables del motor que afectan a la combustión y a la emisión de gases (HC y aldehídos) ha sido analizada.

Para dar estos ensayos como válidos y analizarlos se deben realizar tres de ellos consecutivos, tomando el valor medio de los tres si éstos salen repetitivos.

- **Ensayo tipo B: Arranque en frío a  $-25^{\circ}\text{C}$ .**

En este caso, un ensayo estándar (cumpliendo con las especificaciones de Renault) para caracterizar el arranque en frío del motor a muy baja temperatura ambiente fue considerado. Este ensayo está principalmente centrado en la evaluación del comportamiento del motor durante las primeras etapas del periodo de arranque hasta que la velocidad del motor alcanza los 600 rpm.

Para evaluar los resultados principales del proceso de combustión durante dicha operación transitoria se han utilizado medidores de presión en la cámara de combustión de los cuatro cilindros.

Como ya se comentó, este tipo de ensayo ya ha sido estudiado y analizado en otro proyecto final de carrera y no será estudiado en el presente trabajo.

**Plan de ensayos tipo A:**

El presente trabajo, por tanto, se basa únicamente en el estudio de los ensayos realizados de tipo A, es decir, después de arrancar a  $-10^{\circ}\text{C}$ .

De este tipo de ensayo podríamos diferenciar tres fases de estudio realizadas en el mismo:

- En primer lugar, se ha realizado un **análisis de repetibilidad** de los ensayos con la estrategia de inyección base del motor para comprobar que el montaje y la unión del freno con el motor se ha efectuado de forma correcta y no influye en los distintos resultados obtenidos. Consideraremos que el montaje es correcto cuando obtengamos tres ensayos repetitivos.
- Una vez se sabe que los ensayos salen repetitivos se procede a buscar una **optimización de la estrategia de inyección**. Una estrategia óptima con inyecciones múltiples que reduce inestabilidades y emisiones (principalmente HC y aldehídos) del motor, en comparación con la estrategia base, ha sido determinada.
- Por último, se estudia el **efecto de la introducción de una post-inyección**.

#### **Optimización de la estrategia de inyección:**

Con el propósito de encontrar la estrategia de inyección óptima ha sido considerado un Plackett-Burman DoE con 6 factores (la masa de fuel inyectada y la separación en tiempo de las tres pilotos) y dos niveles de variación. Con ello, y por medio de una ANOVA, la calibración óptima del motor respecto a su estabilidad y su reducción de emisiones fue realizada.

#### **Matriz de ensayos**

Ya que durante el ciclo, el motor opera en cuatro condiciones distintas de velocidad y carga, la matriz de ensayos contiene ajustes de cada una de estas condiciones de funcionamiento. Los niveles de variación de los distintos factores para definir la inyección fueron determinados acorde a los siguientes criterios:

- **Masa de combustible inyectada en las pilotos.** Para este caso el nivel de variación más bajo corresponde con la mínima cantidad de combustible que puede ser inyectada por el sistema de inyección. En acuerdo con Renault, este valor fue fijado en 0,8 mg/stk. El nivel más alto de variación fue definido de las siguientes formas:
  - Fase 0: La masa total inyectada durante las dos pilotos en la estrategia base será repartida en tres pilotos. Por tanto, 1,3 mg/stk será el máximo para esta fase.

- Ralentí (fase 1 y 4): Para estas condiciones, la máxima cantidad de combustible inyectada en cada piloto fue determinada teniendo en cuenta que la cantidad de combustible en la principal no puede ser menor de 0,8 mg/stk. De acuerdo a esto la máxima cantidad fue de 1,1 mg/stk.
- 1250 (fase 2 y 5): Para estas condiciones, la máxima cantidad fue de 1,2 mg/stk. Corresponde con un 50% más de masa que el mínimo inyectado.
- 1500 (fase 3 y 6): Como para las condiciones anteriores, 1,2 mg/stk fue considerada para estas condiciones.
  
- **Separación de las pilotos.** Para estas condiciones, la separación mínima en tiempo fue determinada como la misma separación en ángulo que la fase 6 en la estrategia base. Entonces los dos niveles quedan así:
  - Fase 0: 500 y 700  $\mu$ s. El valor más alto es el mismo que en la estrategia base.
  - Ralentí (fase 1 y 4): 825 y 1650  $\mu$ s. Ambos valores son determinados para mantener la separación en ángulo entre máximo y mínimo como el funcionamiento a 1500 rpm.
  - 1250 (fase 2 y 5): 600 y 1200  $\mu$ s. Ambos valores también son determinados para mantener la separación en ángulo como el funcionamiento a 1500 rpm.
  - 1500 (fase 3 y 6): 500 y 1000  $\mu$ s. El nivel más alto fue elegido para evitar las inyecciones demasiado pronto cuando las máximas cantidades de combustible son inyectadas.

A partir de estos valores se obtienen las dos matrices de ensayos que se muestran a continuación (tablas 5.1 y 5.2).

Test	Cold			Idle			1250			1500		
	q1	q2	q3	q1	q2	q3	q1	q2	q3	q1	q2	q3
C1	BASELINE											
C2	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
C3	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
C4	0.8	0.8	1.3	0.8	0.8	1.1	0.8	0.8	1.2	0.8	0.8	1.2
C5	0.8	1.3	0.8	0.8	1.1	0.8	0.8	1.2	0.8	0.8	1.2	0.8
C6	0.8	1.3	1.3	0.8	1.1	1.1	0.8	1.2	1.2	0.8	1.2	1.2
C7	0.8	1.3	1.3	0.8	1.1	1.1	0.8	1.2	1.2	0.8	1.2	1.2
C8	1.3	0.8	0.8	1.1	0.8	0.8	1.2	0.8	0.8	1.2	0.8	0.8
C9	1.3	0.8	1.3	1.1	0.8	1.1	1.2	0.8	1.2	1.2	0.8	1.2
C10	1.3	0.8	1.3	1.1	0.8	1.1	1.2	0.8	1.2	1.2	0.8	1.2
C11	1.3	1.3	0.8	1.1	1.1	0.8	1.2	1.2	0.8	1.2	1.2	0.8
C12	1.3	1.3	0.8	1.1	1.1	0.8	1.2	1.2	0.8	1.2	1.2	0.8
C13	1.3	1.3	1.3	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
C14	1.15	1.15	1.15	0.95	0.95	0.95	1	1	1	1	1	1

**Tabla 5.1: Matriz de ensayos para optimización de masa de combustible inyectada durante las pilotos en mg/stk.**

Test	Cold			Idle			1250			1500		
	Dw1	Dw2	Dw3	Dw1	Dw2	Dw3	Dw1	Dw2	Dw3	Dw1	Dw2	Dw3
C1	BASELINE											
C2	500	500	500	825	825	825	600	600	600	500	500	500
C3	700	700	700	1650	1650	1650	1200	1200	1200	1000	1000	1000
C4	700	700	500	1650	1650	825	1200	1200	600	1000	1000	500
C5	500	500	700	825	825	1650	600	600	1200	500	500	1000
C6	500	700	500	825	1650	825	600	1200	600	500	1000	500
C7	700	500	700	1650	825	1650	1200	600	1200	1000	500	1000
C8	500	700	700	825	1650	1650	600	1200	1200	500	1000	1000
C9	500	500	500	825	825	825	600	600	600	500	500	500
C10	700	500	700	1650	825	1650	1200	600	1200	1000	500	1000
C11	700	500	500	1650	825	825	1200	600	600	1000	500	500
C12	700	700	500	1650	1650	825	1200	1200	600	1000	1000	500
C13	500	700	700	825	1650	1650	600	1200	1200	500	1000	1000
C14	600	600	600	1237.5	1237.5	1237.5	900	900	900	750	750	750

**Tabla 5.2: Matriz de ensayos para optimización de la separación de las pilotos en tiempo ( $\mu$ s).**



A partir de estas dos matrices y mediante una ANOVA se llega a la estrategia óptima de inyección.

Todos estos resultados serán analizados con detalle en el capítulo 6.

### **5.3. PROCESADO DE DATOS**

El procesado de los datos se realiza mayoritariamente mediante el programa Matlab 13.0, mediante unos programas desarrollados que se encargan de cargar todos los datos medidos en un ensayo y los procesa obteniendo los resultados y las gráficas necesarias para el estudio del arranque en frío.

Se desarrolla un código para el procesado de los datos de la cadena de media YokoGawa y temperaturas. Con éste se obtienen todas las gráficas con las variables medidas, además calcula el valor de la pmi.



## **Capítulo 6: RESULTADOS**

- 6.1. INTRODUCCIÓN
- 6.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE REPETIBILIDAD
- 6.3. OPTIMIZACIÓN DE ESTRATEGIAS
- 6.4. EFECTO DE UNA POST-INYECCIÓN



## **CAPÍTULO 6: RESULTADOS**

### **6.1. INTRODUCCIÓN**

Una vez finalizado la realización de los ensayos del presente trabajo, se analizan los distintos resultados obtenidos.

En primer lugar, en este capítulo se analizan los ensayos de repetibilidad ya comentados anteriormente, con la estrategia base de inyección, con el objetivo de observar que el montaje de la unión freno y motor no afecta a los resultados que se obtienen

Posteriormente, en segundo lugar, se analizan los resultados obtenidos después de realizar la optimización de estrategias de inyección. Se recuerda que el objetivo de ésta era mejorar la estabilidad y las emisiones, especialmente humos, HC y aldehídos, después de arrancar a  $-10^{\circ}\text{C}$ .

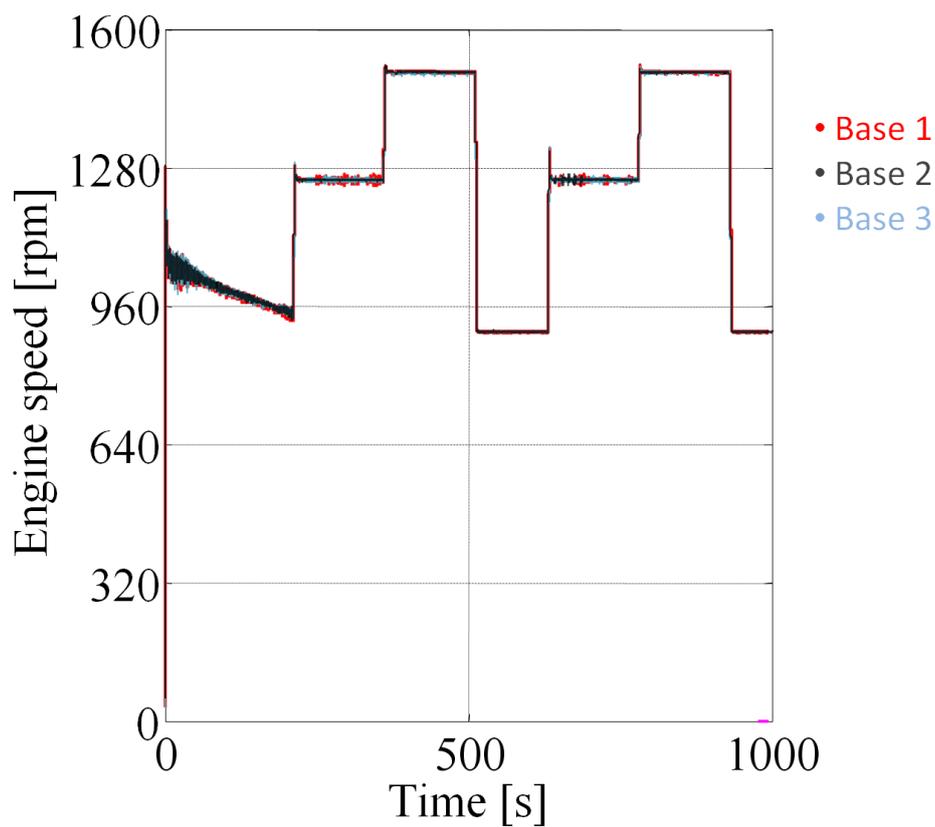
Por último, se analiza el efecto que tiene en los resultados estudiados el añadir una post-inyección.

### **6.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE REPETIBILIDAD**

Para el análisis de la repetibilidad se han elegido dos parámetros del motor, a través de los cuales puede observarse claramente si los ensayos realizados salen o no repetitivos.

En primer lugar se analiza el régimen de giro de los tres ensayos. En la figura 6.1 pueden observarse la evolución de la velocidad en los tres ensayos. En ella puede observarse claramente el ciclo realizado: ralentí, 1250rpm, 1500 rpm, ralentí, 1250rpm, 1500rpm y ralentí.

Se puede ver que los tres ciclos salen bastante parecidos en cuanto a su evolución en régimen de giro.

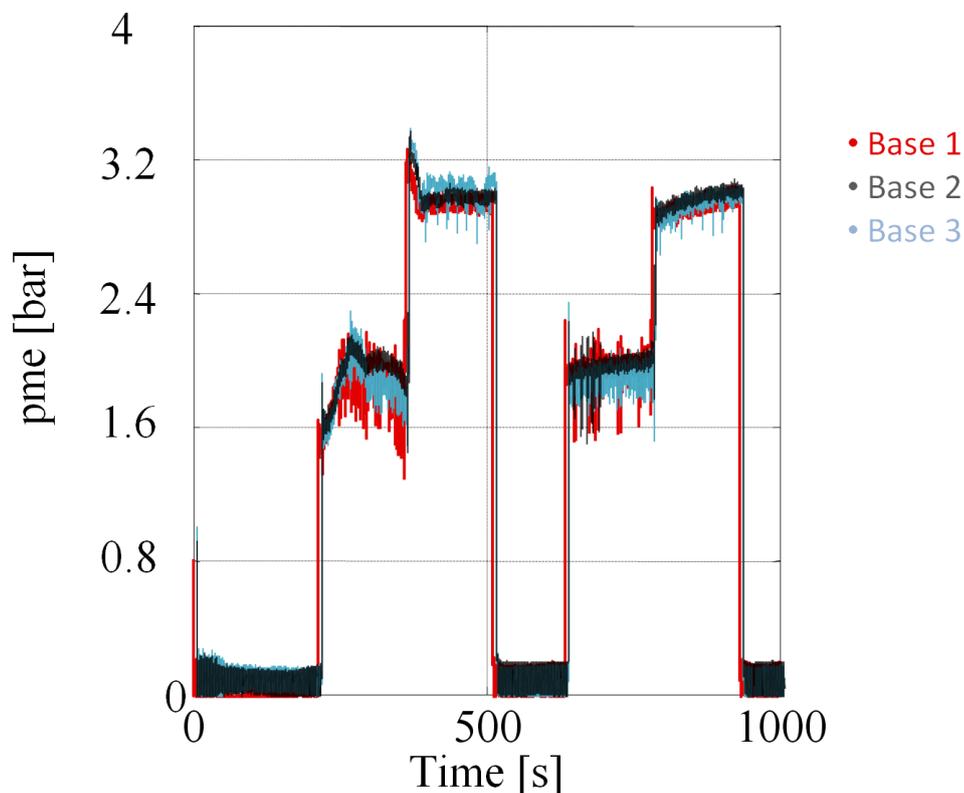


**Figura 6.1:** Gráfica del régimen de giro de los tres ensayos.

En segundo lugar se analiza la evolución de la presión media efectiva en los tres ensayos. En la figura 6.2 puede observarse la evolución de la misma.

En este caso la repetibilidad de los tres ensayos no se ve tan clara ya que en algunos ensayos la pme no se encuentra muy estable. Esto es debido a que a régimen constante limitado por el freno, se ajusta el par que se debe obtener (23 Nm a 1250 rpm y 35 Nm a 1500 rpm) mediante el pedal del motor. Este ajuste se realiza a través del SAMARUC y en ocasiones no se logra que el pedal se mantenga constante. Es por ello la inestabilidad que se puede observar en el ciclo Base 1 y en el Base 3.

Por ello se puede decir que, despreciando esa inestabilidad, los tres ciclos salen bastante parecidos.



**Figura 6.2: Gráfica de la presión media efectiva en los tres ensayos.**

Por tanto, a partir de estos dos parámetros analizados, se puede concluir que los ensayos salen repetitivos y, por tanto, que el acople freno y motor ha sido realizado de forma correcta y no presenta grandes desviaciones.

### 6.3. OPTIMIZACIÓN DE ESTRATEGIAS

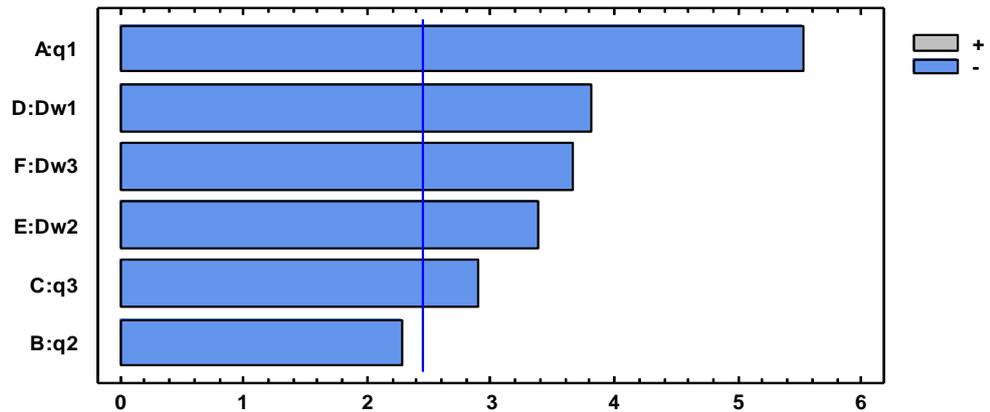
En este apartado se va a realizar una síntesis de los resultados que han sido obtenidos en la optimización de estrategias de inyección para mejorar la estabilidad del motor y sus emisiones después de arrancar a  $-10^{\circ}\text{C}$ . Para ello se han establecido los siguientes objetivos:

- Evaluar la idoneidad de una estrategia con tres pilotos (el ensayo con estrategia base son dos pilotos) para mejorar la estabilidad y emisiones durante el ciclo tipo A.
- Desarrollar una matriz definida acorde a Plackett-Burman DoE con 6 factores y dos niveles de variación (matriz de ensayos del capítulo 5).
- Analizar los resultados para evaluar el potencial de las estrategias de inyección múltiple para cumplir el objetivo principal.
- Determinar la estrategia óptima para mejorar la estabilidad del motor y reducir las emisiones sin empeorar el consumo de combustible.

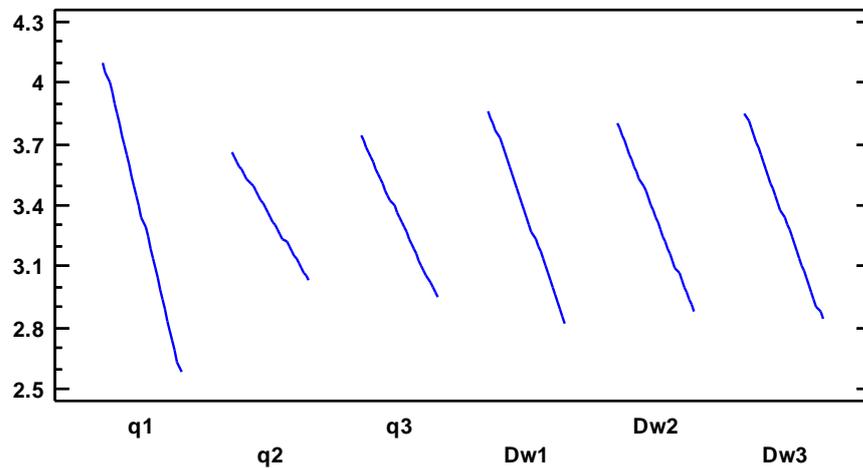
#### Análisis de los resultados

Para determinar la estrategia óptima que mejore la estabilidad y reduzca las emisiones contaminantes, el análisis se ha centrado en las cinco primeras fases ya que éstas son las de mayor inestabilidad y contaminantes. Una ANOVA ha sido desarrollada para cada fase para identificar la relevancia de las distintas variables y determinar el valor óptimo. Ha sido determinada, por tanto, una estrategia óptima para cada fase individualmente.

La figura 6.3 y 6.4 muestra los resultados obtenidos por la ANOVA de la estabilidad del régimen en la fase 1. En la figura 6.3 se pueden visualizar los parámetros más influyentes en la estabilidad del motor para la fase 1. Este gráfico indica que hay cinco variables influyentes y que la variable que más influye es la masa de combustible inyectada en la piloto 1 (piloto justo antes de la inyección principal). También se puede observar que la variable de inyección de la piloto 2 no es relevante para la estabilidad del motor en la fase 1. La figura 6.4 es una representación de la influencia de cada factor en la variable a mejorar, en este caso la estabilidad del motor. Estos resultados muestran que en todos los casos, un incremento del factor produce una reducción de la variable de respuesta.



**Figura 6.3: Ejemplo de la ANOVA obtenida para la estabilidad del motor durante la fase 1.**



**Figura 6.4: Ejemplo de la ANOVA obtenida para la estabilidad del motor durante la fase 1.**

La estrategia óptima para reducir la inestabilidad y contaminantes determinada para cada fase por medio del procedimiento indicado son las resumidas en la tabla 6.1.

Parameter	Phase 0	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
q1 (mg/stk)	0.8	1.1	1.2	1.2	1.0
q2 (mg/stk)	1.3	0.8	0.8	0.9	0.8
q3 (mg/stk)	1.3	0.8	0.8	0.8	0.8
Dw1 ( $\mu$ s)	700	1650	600	500	825
Dw2 ( $\mu$ s)	500	1650	600	500	825
Dw3 ( $\mu$ s)	700	1650	915	500	825

**Tabla 6.1: Estrategia óptima determinada para cada fase.**

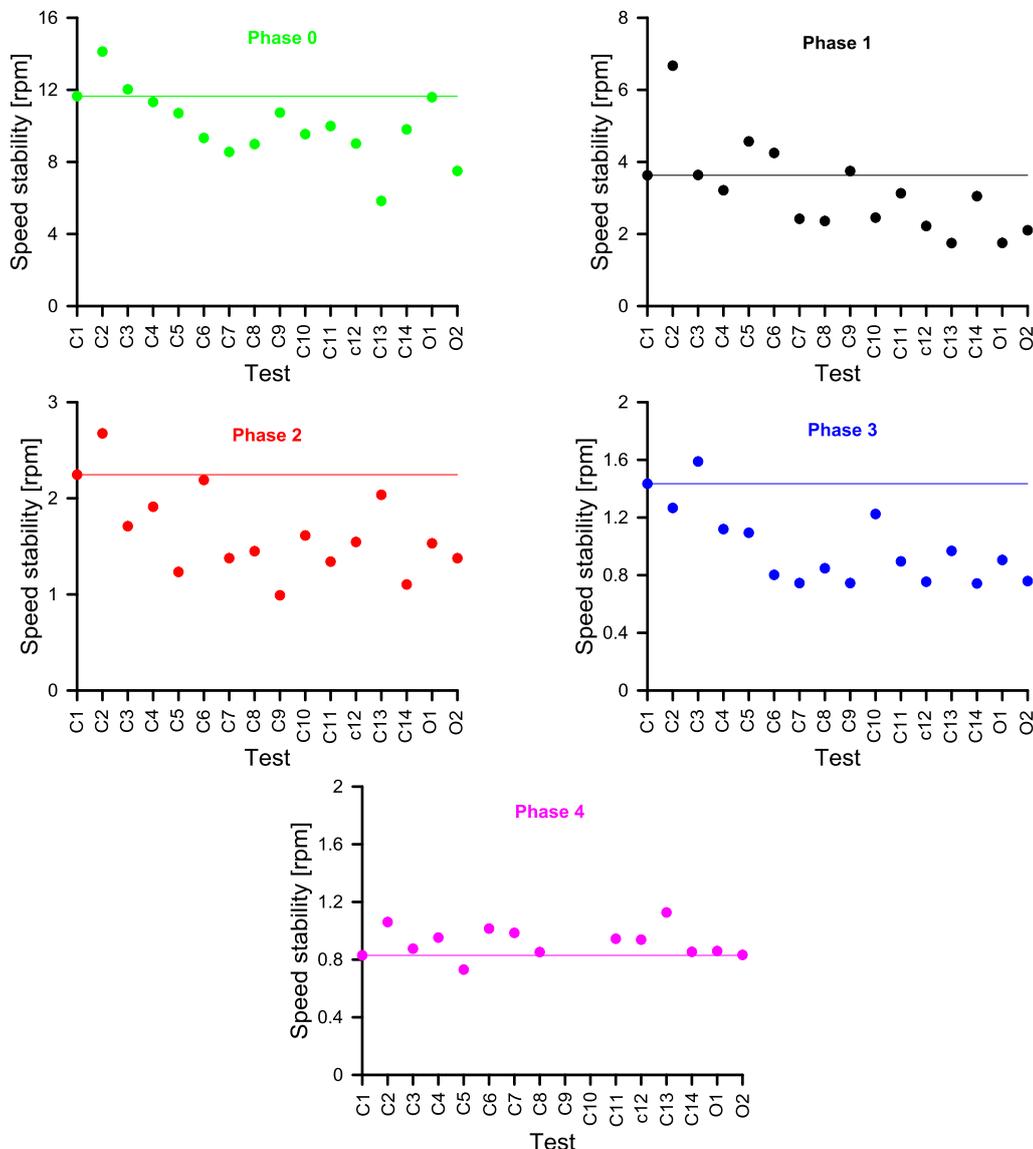


Para cuantificar el potencial de las estrategias de inyección múltiple para mejorar la estabilidad del motor y reducir las emisiones se efectuaron ensayos de validación con los ajustes óptimos determinados para las cinco fases individualmente. Para analizar el resultado de estos ensayos hemos de analizar en primer lugar un aspecto importante del motor. Dentro del control del motor se definen diferentes mapas en función de la temperatura del refrigerante, éstos son frío, medio y caliente. Ya que los ajustes optimizados de la fase 0 y 1 pueden ser utilizados ambos para la fase fría y sólo puede utilizarse uno, las siguientes dos estrategias óptimas fueron testadas:

- O1, en la cual la estrategia óptima obtenida para la fase 1 fue usada en la fase fría.
- O2, en la cual la estrategia óptima obtenida para la fase 0 fue usada en la fase fría.

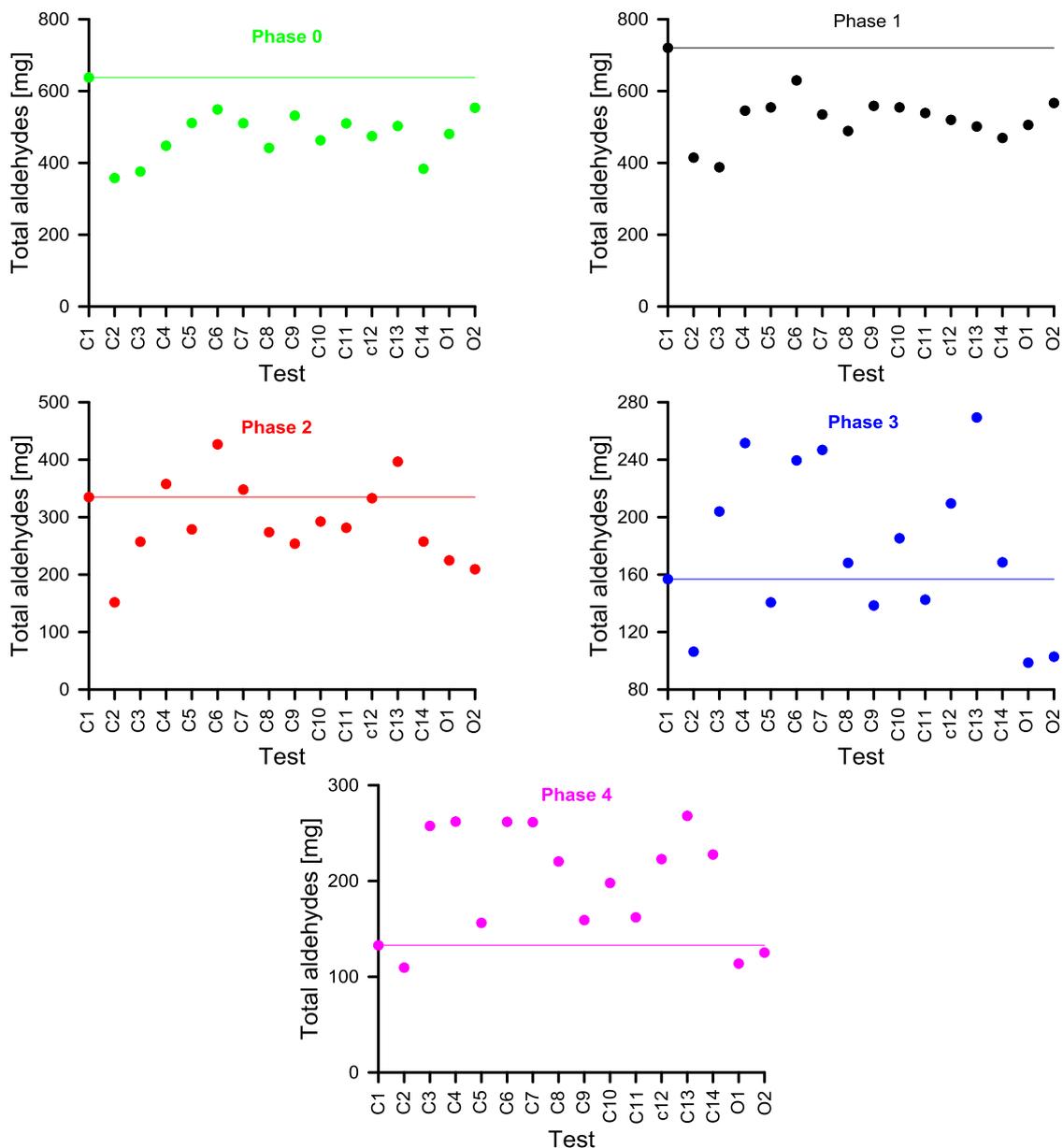
En la figura 6.5 se muestra la estabilidad del motor medida para las fases 0 a 4 con los 13 ajustes diferentes definidos por el DoE y con los ajustes optimizados O1 y O2 en comparación con el obtenido con la estrategia base (C1). Estos resultados evidencian que la estabilidad del motor puede ser mejorada durante las cuatro primeras fases con la mayoría de las estrategias de tres pilotos consideradas.

Como esperábamos, la fase 0 es mejorada con la estrategia O2, mientras que la estrategia O1 permite la mejor estabilidad de la fase 1. Como el motor, a partir de la fase 4 está caliente, no se ve prácticamente ningún impacto del uso de la estrategia O1 u O2 con respecto a la estrategia base.



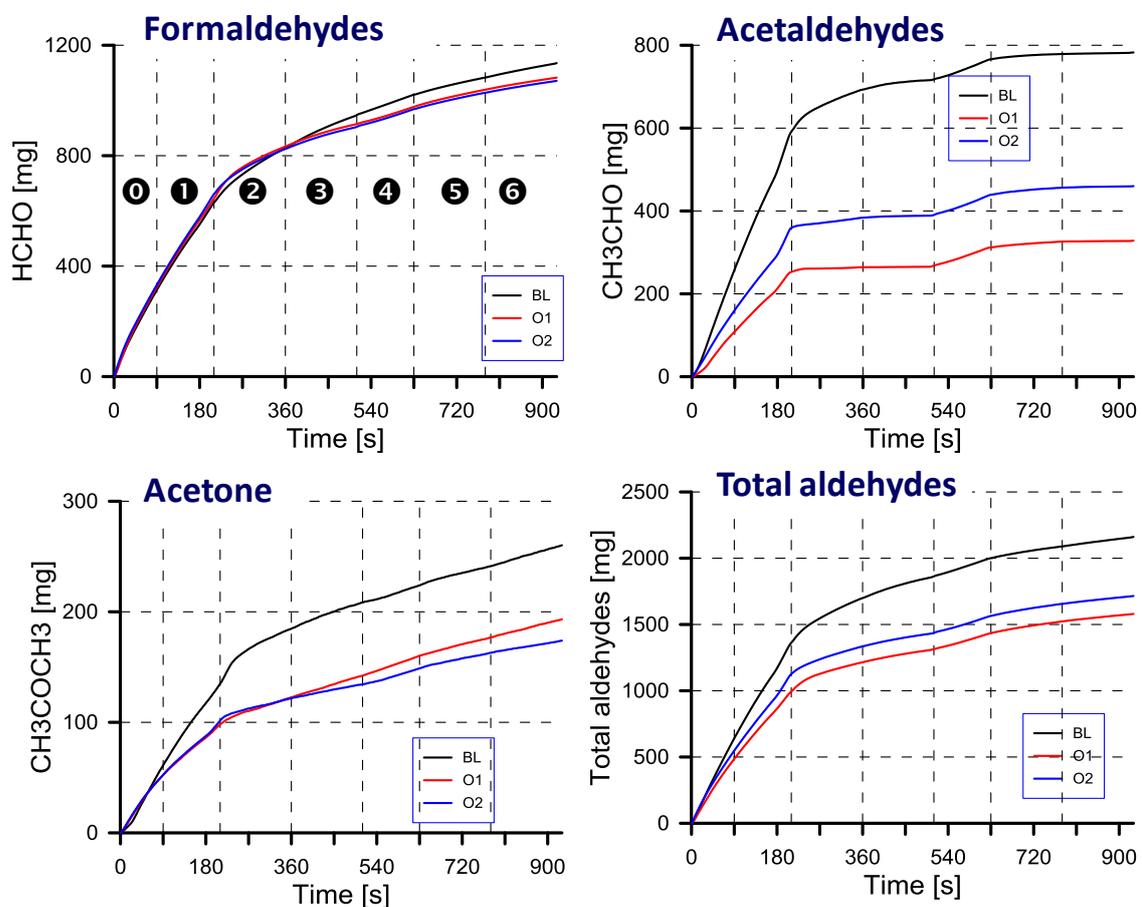
**Figura 6.5: Estabilidad del motor obtenida en las cinco primeras fases con los ajustes considerados.**

La emisión del total de aldehídos durante las cinco primeras fases con los ajustes ensayados se muestra en la figura 6.6. Como la estabilidad del motor, estos resultados evidencian el potencial de las estrategias de multi-inyección con 3 pilotos para reducir las emisiones de aldehídos y por lo tanto, los olores. La ganancia más importante que permite la estrategia con 3 inyecciones en cuanto a la emisión de aldehídos se observa durante las fases 1 y 0. Además con las estrategias optimizadas, O1 y O2, se reducen también los aldehídos en el resto de fases.



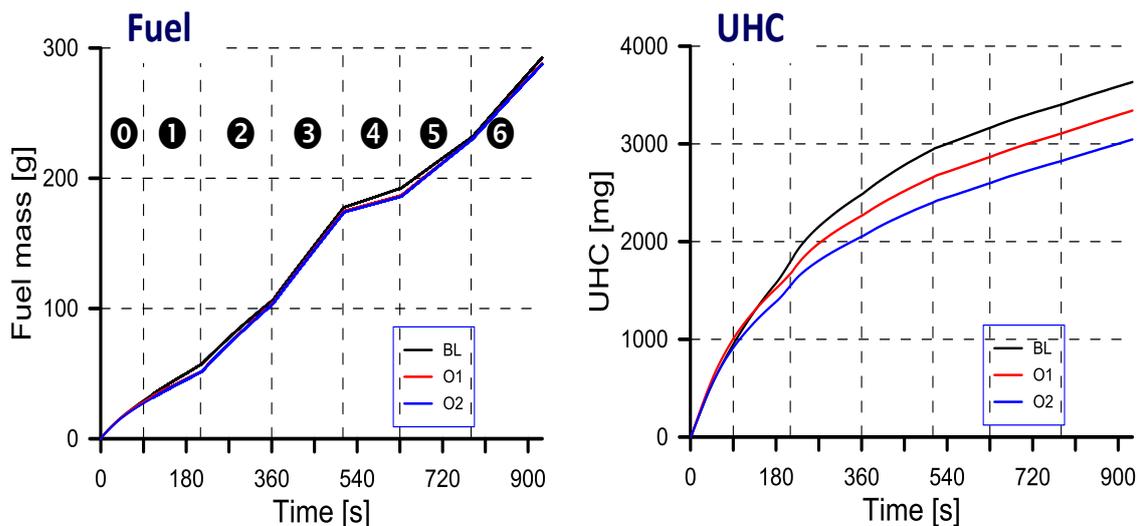
**Figura 6.6: Total de aldehídos medidos en las cinco primeras fases con los ajustes considerados.**

La figura 6.9 muestra los valores acumulados de los aldehídos medidos durante el ciclo completo (de la fase 0 a la fase 6) con las dos estrategias de 3 pilotos optimizadas, O1 y O2, en comparación con los aldehídos emitidos con la estrategia base. Estas figuras muestran que la mayoría de las emisiones de aldehídos son producidas durante las fases frías (fases 0 y 1). Además, la mayor ganancia que puede obtenerse con las estrategias optimizadas es precisamente en estas fases. La estrategia óptima O1 permite una reducción mayor de aldehídos que O2.



**Figura 6.7: Comparación entre el total de aldehídos medidos con la estrategia base y los medidos con las estrategias óptimas.**

En la figura 6.8 se muestran el consumo de masa de combustible acumulado y los hidrocarburos sin quemar (UHC) obtenidos con las dos estrategias óptimas y la estrategia base. Los resultados indican que el consumo de combustible no se deteriora con el uso de estrategias de inyecciones de 3 pilotos y que se puede observar alguna reducción de los hidrocarburos sin quemar con estas estrategias.



**Figura 6.8: Comparación de los valores acumulados de consumo de combustible y UHC entre la estrategia base y las estrategias optimizadas.**

La reducción en porcentaje de las emisiones y del consumo de combustible medidos en las dos estrategias optimizadas frente a los medidos en la estrategia base se resumen en la tabla 6.2. La incertidumbre de estas medidas, que también se muestra en esta tabla, ha sido estimada de la dispersión obtenida en las medidas de tres ensayos consecutivos.

Setting	Form-aldehydes	Acet-aldehydes	Acetone	Total aldehydes	UHC	Fuel consumption
O1	4	58	26	27	7	1.4
O2	6	41	33	21	14	1.6
Uncertainty	±3	±4	±5	±1.3	±2	±1.3

**Tabla 6.2: Reducción de emisiones y consumo de fuel obtenido con la optimización en % respecto a los obtenidos con la estrategia base.**

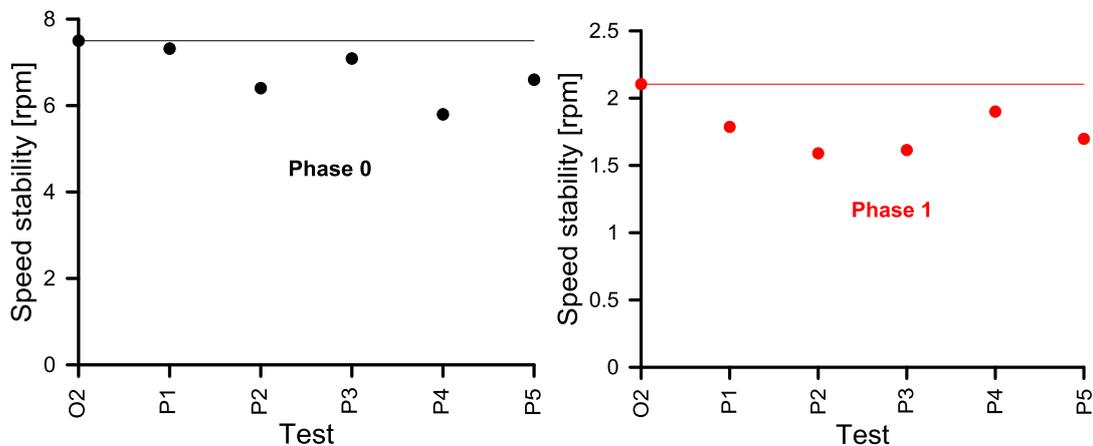
## 6.4. EFECTO DE UNA POST-INYECCIÓN

De acuerdo a la metodología empleada, el efecto de una post-inyección en emisiones y estabilidad en la fase 0 y 1 ha sido analizado haciendo uso de una estrategia óptima determinada previamente. De acuerdo con Renault, las estrategia considerada ha sido O2 con el propósito de que ésta mejora más la estabilidad después del arranque, durante la fase 0. Para hacer este análisis solamente un DoE de dos niveles ha sido definido. Estos dos niveles son la masa inyectada de combustible y la separación de la post respecto a la inyección principal (tabla 6.3).

Test	Mass (mg/stk)	Dwell ( $\mu$ s)
P1	0.8	1000
P2	1.3	500
P3	0.8	500
P4	1.3	1000
P5	1.05	750

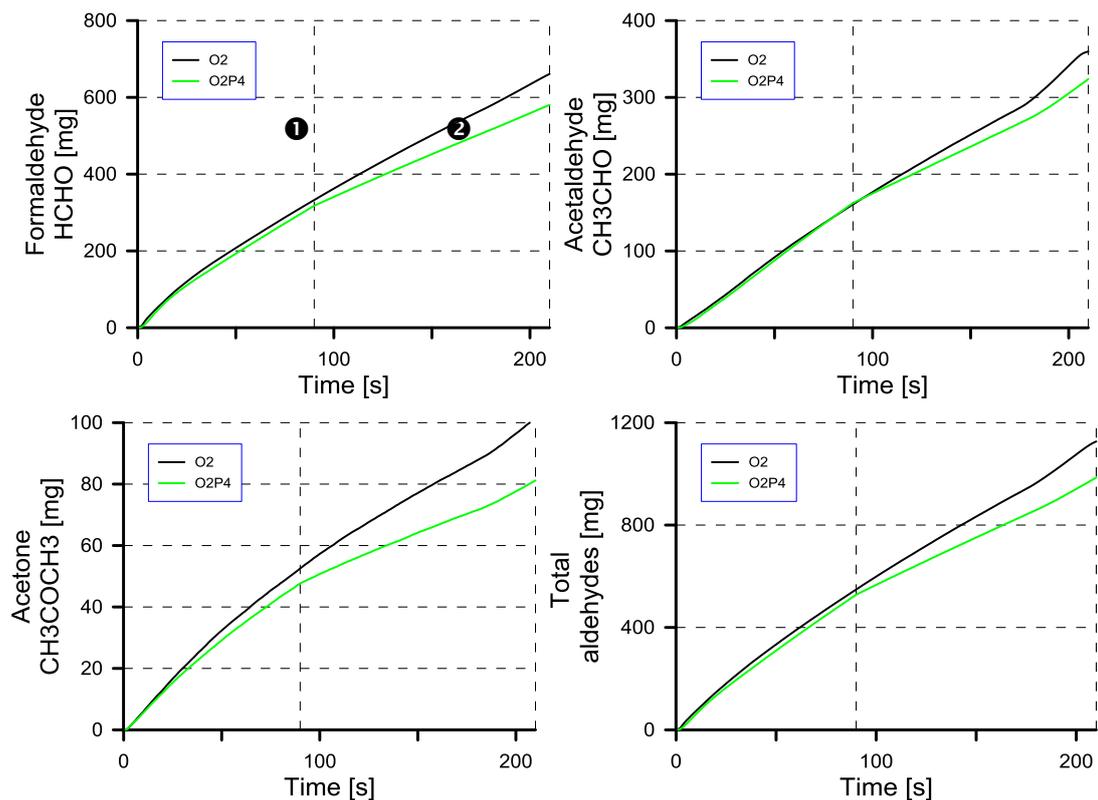
**Tabla 6.3: Variación de los factores considerada en la DoE para evaluar el efecto de la post-inyección en emisiones y estabilidad.**

En la figura 6.9 se observa la estabilidad obtenida en las fases 0 y 1 con los ajustes de post-inyección considerados en la DoE comparado con la estabilidad de O2. Esta gráfica muestra que la estabilidad del motor se mejora añadiendo una post-inyección. La mayor ganancia de estabilidad se obtuvo con el ajuste P4.



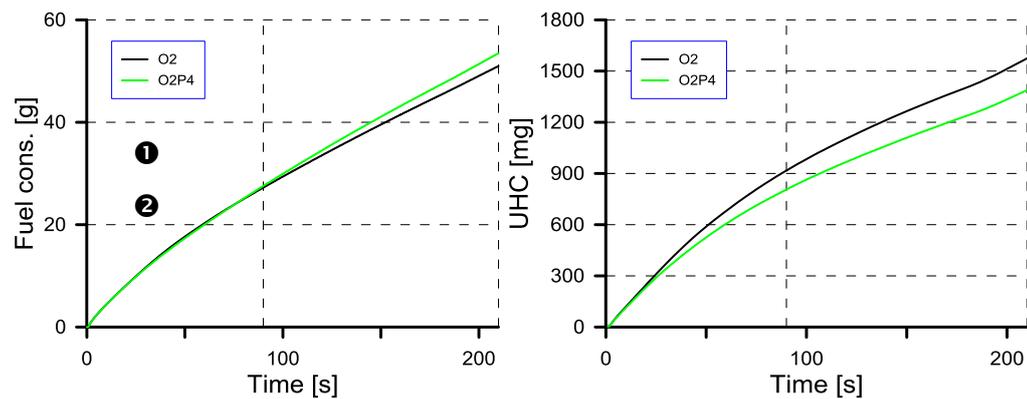
**Figura 6.9: Estabilidad del motor con los ajustes considerados de post-inyección.**

La figura 6.10 muestra una comparación entre los valores acumulados de aldehídos medidos durante las fases 0 y 1 entre al óptimo O2 sin y con post-inyección. Esta figura muestra que las más importantes reducciones de emisiones de aldehídos con estrategias con post-inyección ocurren durante la fase 1. Además, de estos resultados también se puede extraer la conclusión de que a partir de la fase 1 los efectos de la post-inyección no son despreciables.



**Figura 6.10: Comparación entre aldehídos acumulados durante las fases 0 y 1 con la estrategia O2 con y sin post-inyección.**

Por último, la figura 6.11 muestra que el consumo de combustible acumulado con post-inyección es aproximadamente un 5% mayor que la estrategia optimizada sin post-inyección. A pesar de que el consumo de combustible es empeorado con una post-inyección, las emisiones de UHC mejoran sobre un 12%.



**Figura 6.11: Comparación entre el consumo de combustible y UHC medidos durante las fases 0 y 1 con la estrategia óptima O2 con y sin post-inyección.**





## **Capítulo 7: CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS**

### **7.1. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS**



## **CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS**

### **7.1. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS**

Las principales conclusiones que se pueden sacar de este proyecto son:

- Los resultados confirman el gran potencial de las estrategias de inyección con tres pilotos para reducir las emisiones de aldehídos durante las fases frías (0 y 1) del ciclo de calentamiento considerado a  $-10^{\circ}\text{C}$ .
- La estabilidad puede ser también mejorada con estas estrategias principalmente en las fases cuando la temperatura del refrigerante está por debajo de  $45^{\circ}\text{C}$  (fase 0 y 1). A más altas temperaturas el efecto es casi despreciable.
- Una reducción de UHC (total) fue también obtenida con las dos estrategias optimizadas O1 y O2.
- La idoneidad de la estrategia óptima O2 ha sido experimentalmente verificada, obteniendo los siguientes resultados en comparación con la estrategia base:
  - 35% en mejora de estabilidad (fase 0).
  - 41% en acetaldehídos, 6 % en formaldehidos, 33% en acetona y 14% en UHC.
- Los resultados también confirmaron la idoneidad de una estrategia con post-inyección para mejorar la estabilidad del motor durante las fases frías (fases 0 y 1).
- La post-inyección también ha mejorado las emisiones (aldehídos) durante la fase 1.
- La idoneidad de esta estrategia óptima con post-inyección ha sido verificada experimentalmente con ensayos, obteniendo las siguientes reducciones en comparación con la estrategia óptima sin post-inyección (O2).
  - 25% y 16% en mejora de estabilidad en la fase 0 y 1, respectivamente.
  - Entre un 10% y un 20% en las emisiones de aldehídos acumulados y un 12% en UHC.
- Debido a la caída de par inducida por la estrategia con post-inyección, el consumo de fuel puede ser incrementado en un 5%.



Para finalizar y como valoración personal he de decir que el realizar el trabajo final de grado en el Departamento Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politècnica de Valencia, me ha permitido formarme en el campo de la investigación de motores durante este tiempo, tanto a nivel teórico como experimental y en primer plano, la satisfacción personal de realizar un trabajo real con un equipo de investigadores altamente implicados y cualificados. Durante este tiempo he asumido con total responsabilidad todas las labores encomendadas, desde el montaje de la unión freno y motor, decisión de estrategias, procesado, estudio de los ensayos, hasta la colaboración en otros proyectos del departamento.

Realizar el TFG en dicho departamento me ha brindado la oportunidad de poder conocer líneas de investigación con un alto nivel de desarrollo, equipos de medida técnicamente avanzados e instalaciones con versatilidad para futuros proyectos.

Por último hablar un poco de desarrollos futuros posibles de este proyecto. Esta rama de investigación tiene una gran importancia en la actualidad. Esto es debido a que las diferentes normativas de emisiones que se introducen cada vez son más estrictas y los fabricantes han de investigar para buscar nuevas mejoras de reducción que permita cumplir con esas normativas.

Posibles desarrollos de este proyecto podría ser, por ejemplo, continuar con el estudio del efecto de las post-inyecciones, incorporando alguna más y variando los retrasos de las mismas. Además se podría continuar con el estudio de los ciclos pero disminuyendo aún más la temperatura ( $-23^{\circ}\text{C}$  o  $-25^{\circ}\text{C}$ ).



**DOCUMENTO II:**  
**PLIEGO DE**  
**CONDICIONES**



<b>Capítulo 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PLIEGO .....</b>	<b>138</b>
1.1. INTRODUCCIÓN .....	140
1.2. OBJETIVOS DEL PLIEGO .....	140
<b>Capítulo 2: DESCRIPCIÓN Y CONDICIONES GENERALES DEL PROYECTO.....</b>	<b>142</b>
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	144
2.2. CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS .....	144
2.2.1. Promotor.....	144
2.2.2. Obligaciones y derechos del proyectista .....	145
2.2.3. Facultades del promotor .....	145
2.2.4. Comienzo, ritmo y plazos .....	145
2.2.5. Funciones a desarrollar por el técnico de sala en el proyecto .....	145
2.2.6. Funciones a desarrollar por el ingeniero en la sala.....	146
2.2.7. Funciones a desarrollar por el ingeniero en el proyecto .....	146
2.3. CONDICIONES GENERALES .....	147
2.3.1. Rescisión del contrato .....	147
<b>Capítulo 3: CONDICIONES DE LA SALA DE ENSAYOS .....</b>	<b>148</b>
3.1. INTRODUCCIÓN .....	150
3.2. REQUISITOS GENERALES .....	150
3.2.1. Dimensiones y accesibilidad .....	150
3.2.2. Ventilación.....	150
3.2.3. Iluminación .....	151
3.2.4. Insonorización.....	151
3.2.5. Vibraciones .....	151
3.2.6. Otros requisitos.....	151
3.3. CONDUCTOS DE GASES .....	152
3.4. RUTINA DE ARRANQUE Y PARADA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO .....	152
<b>Capítulo 4: CONDICIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE .....</b>	<b>168</b>
4.1. INTRODUCCIÓN .....	170
4.2. CONDICIONES A CUMPLIR POR LA SALA .....	170
4.3. CONDICIONES DE LA INSTALACIÓN .....	171
4.4. NORMAS PARA LOS OPERADORES .....	171
4.5. RECOMENDACIONES S.A.E .....	172





## **Capítulo 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PLIEGO**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

### **1.2. OBJETIVOS DEL PLIEGO**



## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PLIEGO**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

El documento “Pliego de Condiciones”, que se presenta a continuación, establece las directrices de la forma en que deben realizarse cada una de las actividades derivadas del proyecto para preservar la seguridad tanto de los usuarios como de las instalaciones y para obtener en cada una de esas actividades, unos resultados satisfactorios.

Las condiciones técnicas, que a continuación se desarrollan, se deberán tener en cuenta de forma muy estricta, la omisión o incorrección en alguna de las siguientes especificaciones, podría ocasionar riesgos tanto para la seguridad de los operarios como para la fiabilidad de los resultados.

### **1.2. OBJETIVO DEL PLIEGO DE CONDICIONES**

Este documento tiene como objetivo el establecimiento de las normas que puedan asegurar el éxito de todos los procedimientos necesarios para la realización de los ensayos y el resto de actividades derivadas del trabajo. Con ello, se pretende hacer cumplir los siguientes requisitos:

- **Fiabilidad:**

Cuando se lleva a cabo el montaje de una instalación para realizar en ella ensayos destinados a la investigación, es fundamental la seguridad y el correcto funcionamiento de la misma, ya que en caso contrario, podrían aparecer incertidumbres que unidas a las incertidumbres de cualquier investigación, harían muy difícil la interpretación de los resultados. Por ello, se cuidará al máximo la calidad de los materiales y se exigirá un elevado rigor en los métodos empleados en el montaje de los mismos.

- **Precisión:**

La precisión es una característica necesaria en los resultados obtenidos. Para obtener esa precisión en los resultados es necesaria, una precisión todavía mayor en el montaje y calibración de los elementos que componen la instalación. Además se necesita un elevado rigor a la hora de elegir los parámetros y variables a medir, la correspondiente instrumentación y su calibrado.

- **Seguridad:**

Para evitar riesgos de cualquier tipo de accidentes conviene seguir ciertas normas de seguridad.

- **Repetitividad:**

Para poder realizar una interpretación basada en la comparación de los resultados de los distintos ensayos, es muy importante asegurar la repetitividad de las condiciones en que se realizan éstos. Con ese fin, debe mantener un control riguroso sobre dichas condiciones, de manera que se puedan asegurar idénticos resultados para idénticas condiciones de ensayo. Cuando se habla de condiciones de ensayo, se tiene en cuenta tanto las condiciones ambientales, las de funcionamiento del motor y las de los elementos de medida.

- **Controlabilidad:**

Para asegurar la repetitividad en algunas condiciones y para obtener medidas correctas, hay que tener un elevado control de los parámetros que intervienen en los ensayos. Dicho control se puede llevar a cabo gracias a la automatización y regulación de los procedimientos y elementos de medida.

- **Accesibilidad de elementos:**

Debido a la gran variedad de ensayos que se pueden llegar a requerir en una instalación, es imposible determinar a priori, los elementos que puedan necesitarse a lo largo de la vida de una instalación. Por ello, se debe garantizar la accesibilidad a los distintos elementos de la instalación asegurando así una rápida actuación sobre ellos y una fácil sustitución.

- **Mantenimiento:**

Después de considerar todos los puntos anteriores, referidos básicamente a la instalación y a las medidas, se deben contemplar algunos aspectos que procuren un adecuado mantenimiento periódico de los elementos, que deberá ser sencillo a la vez que eficaz. Si no se observan estos aspectos, la instalación puede sufrir un progresivo deterioro que desemboque en una falta de fiabilidad en los resultados e incluso en una falta de operatividad de la instalación.



## **Capítulo 2: DESCRIPCIÓN Y CONDICIONES GENERALES DEL PROYECTO**

### **2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **2.2. CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS**

2.2.1.Promotor

2.2.2.Obligaciones y derechos del proyectista

2.2.3.Facultades del promotor

2.2.4.Comienzo, ritmo y plazos

2.2.5.Funciones a desarrollar por el técnico de sala en el proyecto

2.2.6.Funciones a desarrollar por el ingeniero en la sala

2.2.7.Funciones a desarrollar por el ingeniero en el proyecto

### **2.3. CONDICIONES GENERALES**

2.3.1.Rescisión del contrato



## **CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN Y CONDICIONES GENERALES DEL PROYECTO**

En el presente capítulo se van a tratar por una parte una breve descripción del proyecto y seguidamente aquellas condiciones generales que se deberán de cumplir para la perfecta ejecución del mismo.

### **2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El documento aquí presente nos dará a conocer el trabajo de desarrollo desde el momento en que se recibe el motor en el centro de estudio e investigación, el cual corresponde al Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia hasta llegar a unos estudios de desarrollo determinados y delimitados por el convenio firmado por el departamento y la firma automovilística correspondiente.

El objetivo al que se pretende llegar es el de prestar apoyo al desarrollo para el estudio de las estrategias multi-inyección de un motor de inyección directa en un ciclo en frío, reduciendo emisiones contaminantes y a su vez mejorando la estabilidad del motor, así como también prestar apoyo a posteriores investigaciones.

El proyecto queda definido por los distintos documentos que lo forman:

1. Memoria.
2. Pliego de condiciones.
3. Presupuesto.

### **2.2. CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS**

La finalidad del presente capítulo es regular la ejecución del proyecto, delimitando las funciones que corresponden a cada una de las figuras que intervendrán en su realización: técnicos de laboratorio, ingenieros, etc., así como las relaciones entre ellos.

#### **2.2.1. Promotor**

El promotor del presente proyecto es el grupo automovilístico francés Renault.

## 2.2.2. Obligaciones y derechos del proyectista

### Obligaciones:

- Conocer el proyecto en todas sus partes.
- Poner los medios adecuados para la realización del proyecto.
- No iniciar la instalación de ningún elemento del sistema de registro y análisis sin la autorización de su Director de Proyecto.

### Derechos:

- Exigir un ejemplar completo del proyecto.
- Que le sean suministrados los materiales y equipos que le sean necesarios para el correcto funcionamiento del proyecto.
- Recibir solución técnica a los problemas técnicos no previstos en el proyecto que aparezcan durante la ejecución del mismo.

## 2.2.3. Facultades del promotor

Es misión específica del promotor del presente proyecto la dirección y vigilancia de los trabajos que se realicen. El promotor también tiene la facultad de exigir la modificación o agregación de nuevos elementos al sistema, siempre que ello no constituya una variación excesiva sobre el proyecto inicial.

## 2.2.4. Comienzo, ritmo y plazo

El promotor será el que marque el comienzo, ritmo de ejecución y plazo de entrega del proyecto.

## 2.2.5. Funciones a desarrollar por el técnico de sala en el proyecto

El técnico de sala realizará las siguientes funciones:

- Se encargará de las labores de montaje y desmontaje de las partes de la instalación que sean necesarias, bajo las directrices del ingeniero encargado del proyecto.
- Se ocupará también, cada día que vayan a realizar ensayos en el motor, de preparar la instalación en los momentos previos al comienzo de los

ensayos. Durante la realización de ensayos realizará las funciones que el ingeniero le encomiende.

- Seguirá las instrucciones de los manuales de uso existentes para los diversos sistemas y equipos de la instalación.
- Atenderá en todo momento las órdenes del ingeniero, tanto en los momentos en que se están realizando trabajos con la instalación parada, como durante los ensayos. Ayudando en la medida de lo posible en la resolución de problemas, aportando sus conocimientos y experiencia.

#### **2.2.6. Funciones a desarrollar por el ingeniero en la sala**

El ingeniero tiene, entre otras, las siguientes funciones:

- Es el responsable de la instalación y del motor. Deberá tomar, basándose en sus conocimientos, las decisiones relativas a cambios a realizar en la instalación para solucionar los posibles problemas que surjan.
- Es el encargado de la realización de los ensayos. Manejará el motor a través del sistema SAMARUC, y se ayudará de los técnicos siempre que sea necesario, para que los ensayos sean realizados en las condiciones pertinentes óptimas.
- Deberá velar por la integridad de las personas en la sala de ensayos, y también por la de la instalación, en especial por el motor. Por ello, deberá estar seguro de los efectos de las acciones que realice sobre la instalación, y vigilará especialmente aquellos parámetros que resulten ser más críticos.

#### **2.2.7. Funciones a desarrollar por el ingeniero en el proyecto**

Las funciones a realizar por el ingeniero fuera de la sala son:

- Principalmente planificará el plan de ensayos a seguir, decidiendo cuántos ensayos de cada tipo se van a realizar, en qué condiciones, qué rangos de variación de los parámetros se van a tomar, siempre y cuando estos parámetros no hayan sido fijados por la empresa que ha encargado el proyecto.
- Tratará como corresponda en cada caso, los datos obtenidos de los ensayos, sirviéndose de las herramientas disponibles.
- Analizará los resultados obtenidos de los ensayos extrayendo las conclusiones pertinentes, para tratar de cumplir los objetivos del proyecto.



## 2.3. CONDICIONES GENERALES LEGALES

### 2.3.1. Rescisión del contrato

Se consideran causas suficientes de rescisión de contrato las que a continuación se señalan:

- La modificación del proyecto en forma tal, que represente alteraciones fundamentales del mismo.
- Quedará rescindido el contrato por incumplimiento del proyectista de las condiciones estipuladas en este pliego de condiciones, quedando sin derechos de reclamación alguna.
- La falta de observancia de las órdenes recibidas.
- La insubordinación.
- La interpretación de cuantas otras causas de rescisión que pudieran presentarse corresponderá al director de proyecto, a cuyas instrucciones deberá someterse el proyectista.



## **Capítulo 3: CONDICIONES DE LA SALA DE ENSAYOS**

### **3.1. INTRODUCCIÓN**

### **3.2. REQUISITOS GENERALES**

#### **3.2.1. Dimensiones y accesibilidad**

#### **3.2.2. Ventilación**

#### **3.2.3. Iluminación**

#### **3.2.4. Insonorización**

#### **3.2.5. Vibraciones**

#### **3.2.6. Otros requisitos**

### **3.3. CONDUCTOS DE GASES**

### **3.4. RUTINA DE ARRANQUE Y PARADA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO**



## **CAPÍTULO 3: CONDICIONES DE LA SALA DE ENSAYOS**

### **3.1. INTRODUCCIÓN**

En este apartado se pretenden definir las condiciones particulares que ha de cumplir la sala de ensayo de motores, y sus instalaciones auxiliares.

Para ello se define primeramente la sala de ensayo como el recinto en el que se encuentra situado el motor durante el desarrollo de las pruebas y ensayos.

### **3.2. REQUISITOS GENERALES**

#### **3.2.1. Dimensiones y accesibilidad**

La sala de ensayos ha de tener las dimensiones necesarias para permitir en todo momento la ejecución de los trabajos de montaje, mantenimiento e inspección que sean necesarios, sin peligro para las personas ni para la instalación. Para ello se situará el motor de forma que la mayoría de sus partes resulten accesibles, siendo recomendable su situación en el centro de la sala. La distancia mínima libre alrededor del motor será de 1 m. La zona de acceso para mantenimiento y conducción de la instalación deben disponer de una altura mínima libre de maniobra, respecto al suelo, de 2 m.

El acceso a la sala se realizará a través de una puerta de considerable espesor, de al menos 1 metro de ancho para permitir el paso de los equipos, y con apertura hacia el exterior de la sala. Para su apertura, ha de bastar en la medida de lo posible con tirar de la puerta levemente.

Las salas de motores delimitadas por paredes y muros deben disponer al menos de una salida directa y lo más corta posible hacia un área abierta, estando ésta perfectamente identificada.

#### **3.2.2. Ventilación**

El local ha de estar permanentemente ventilado, cuando el motor esté en funcionamiento, con llegada continua de aire, tanto para su renovación como para su combustión. Además se asegurará una correcta conducción de los gases de escape al exterior.

### 3.2.3. Iluminación

Siguiendo las recomendaciones de la norma DIN 5035, deberá disponerse en la sala de los elementos de iluminación necesarios para asegurar un nivel de iluminancia (750 lux), intermedio entre el correspondiente a “Tareas visuales normales y detalles de tamaño medio con contrastes reducidos” y el correspondiente a “Tareas visuales muy difíciles, pequeños detalles con contrastes reducidos”.

### 3.2.4. Insonorización

La sala de ensayos ha de estar insonorizada para evitar la transmisión del ruido a recintos adyacentes, así como la sala de control.

### 3.2.5. Vibraciones

El motor y otras partes susceptibles de sufrir movimientos deben estar perfectamente anclados para evitar vibraciones indeseadas.

### 3.2.6. Otros requisitos

Toda sala de ensayo de motores ha de estar libre de polvo, gases o vapores inflamables, para evitar riesgos eléctricos o de explosión. Por ello, no deberá existir conexión directa a través de puertas, ventanas o cualquier otro tipo de aberturas, entre la sala de ensayos y otros locales contiguos, que puedan contener sustancias susceptibles de inflamarse o explotar. Los pasos de tubos a través de paredes o techos han de ser estancos.

En la sala de ensayos solo podrán instalarse las máquinas y aparatos necesarios para su servicio, así como los elementos productores o impulsores de los fluidos necesarios para el funcionamiento.

El puesto de las personas encargadas de la realización de los ensayos y del manejo de los equipos de adquisición de datos, ha de situarse en el exterior de la sala. Sin embargo, es necesario colocar una ventana de control acristalada, suficientemente grande, para permitir ver el interior de la sala y detectar posibles problemas durante el funcionamiento del motor.

### 3.3. CONDUCTOS DE GASES

Los conductos de combustibles deben ser completamente estancos y deben instalarse de forma tal que no puedan perjudicar ni entorpecer el entorno de la sala.

Las partes de los conductos de gases, tales como la línea de escape del motor de combustión, normalmente accesibles al personal de servicio, deberán disponer de material térmico de protección.

### 3.4. RUTINA DE ARRANQUE Y PARADA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYO

- Rutina de arranque

1. Conectar el interruptor magnetotérmico para calentar la línea interior del FTIR.



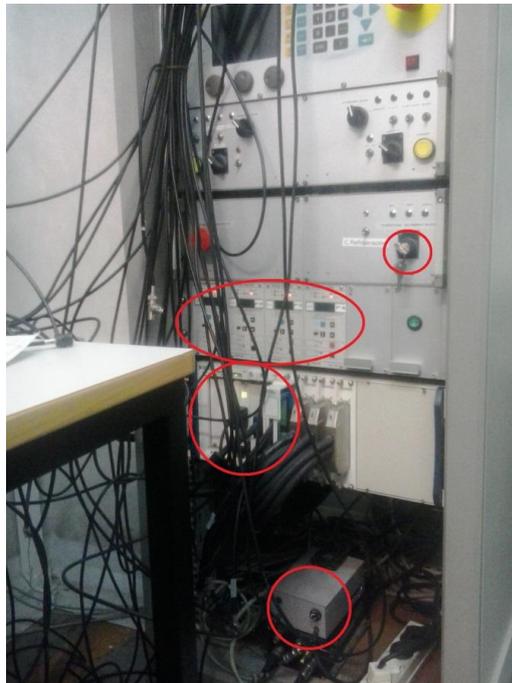
*Foto localización y posición del cuadro e interruptor magnetotérmico.*

2. Para calentar las líneas encender el interruptor SHS Heater que se encuentra en el FTIR.



**Foto localización SHS Heater.**

3. Girar la llave para encender la fuente de alimentación, poner los amplificadores de presión en cilindro en operación y encender el codificador angular.



**Foto rack de control (De arriba abajo: llave de alimentación, amplificadores, PXI y codificador angular).**

- **Puesta en funcionamiento FTIR (si hay alguna duda se puede realizar la consulta del manual del FTIR que puede encontrarse en el equipo):**

4. Abrir la botella de nitrógeno que se encuentra detrás del FTIR.
5. Generar el archivo de ensayos del día que corresponda dentro de CONDITIONSETUP en DATTALOGGING e introducimos el nombre. Para ciclos el nombre es c1060514 (el c1 representa el número del ensayo en el día y 060514 es la fecha del día).  
Para arranques es k1060514\_25 (el k1 representa el número del ensayo en el día, 060514 es la fecha del día y \_25 la terminación).
6. Ponemos a purgar el interferómetro. Dentro de SYSTEMUTILITY seleccionamos INTERFEROMETERPURGE e introducimos 20 min de tiempo.
7. Durante los 20 min de purgado del interferómetro podemos echar el nitrógeno líquido.

- **Puesta en funcionamiento opacómetro:**

8. Abrimos el programa en el PC del INCA (439 Opacimeter).
9. Direccionamos el archivo con el nombre del día correspondiente. (Ej: c1060514 para ciclos o k1060514\_25 para arranques).

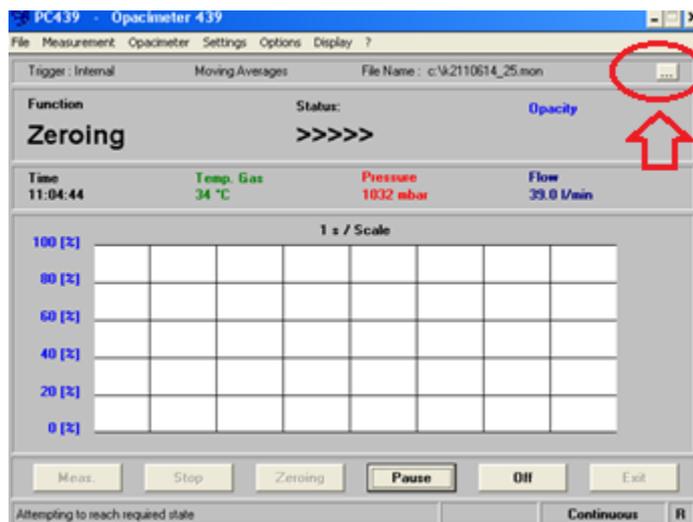


Foto programa 439 Opacimeter.

10. OPACIMETER → ACTIVATE.

11. El programa se pondrá en modo ZEROING y tendremos que esperar hasta que llegue al modo READY.

- **Puesta de funcionamiento YOKOGAWA:**

12. Abrimos el programa YokoSADI en el PC de la Yoko.

13. Archivo → Establecer directorio de trabajo → Seleccionas la carpeta del día (C\ → Cámara Climática → K9K → Carpeta del día).

14. Cargar configuración. Archivo → Abrir, abrimos la configuración deseada (.cfy). Dependiendo si es ensayo de arranque o ciclo la configuración varía (el arranque se mide en tiempo y el ciclo en ángulo).

15. Dar el nombre al fichero en nombre de ensayo. (Ej: c1060514 o k1060514\_25).

16. Transferir configuración a la Yoko.

17. START. La Yoko se podrá en modo WaitingforTrigger, esperando la señal del codificador angular. (Atención a que los ceros de las medidas estén correctos en la Yoko y a que siga en Waitingfortrigger cuando vayamos a arrancar).

- **Puesta en funcionamiento SAMARUC:**

18. Primero de todo, si el ordenador está apagado es importante fijarse que el PXI está encendido antes de arrancar el PC, ya que éste debe estar encendido antes de encender el PC o el programa no funcionará.

19. Si el ordenador no se encendiese, puede ser debido a que ha saltado el diferencial del cuadro de fuera de la sala.



*Foto con posición del diferencial.*

20. Abrimos LABVIEW.

21. Open SAMARUC → RUN → INICIARSAMARUC → DAQ mx → Config.  
Max. → Elegimos CamClim 07 → Salir sin guardar.

22. Dentro de Schenck X-Act elegimos COM1 y pulsamos configurado.

23. Ventanas → Display.

24. Para abrir el registrador. Sala → Medidas → Instantáneas → Registrador.

25. Cuando registrador abierto le damos a REGDELAY y a TIPO DELAY, y colocamos el tiempo en 1500 segundos.

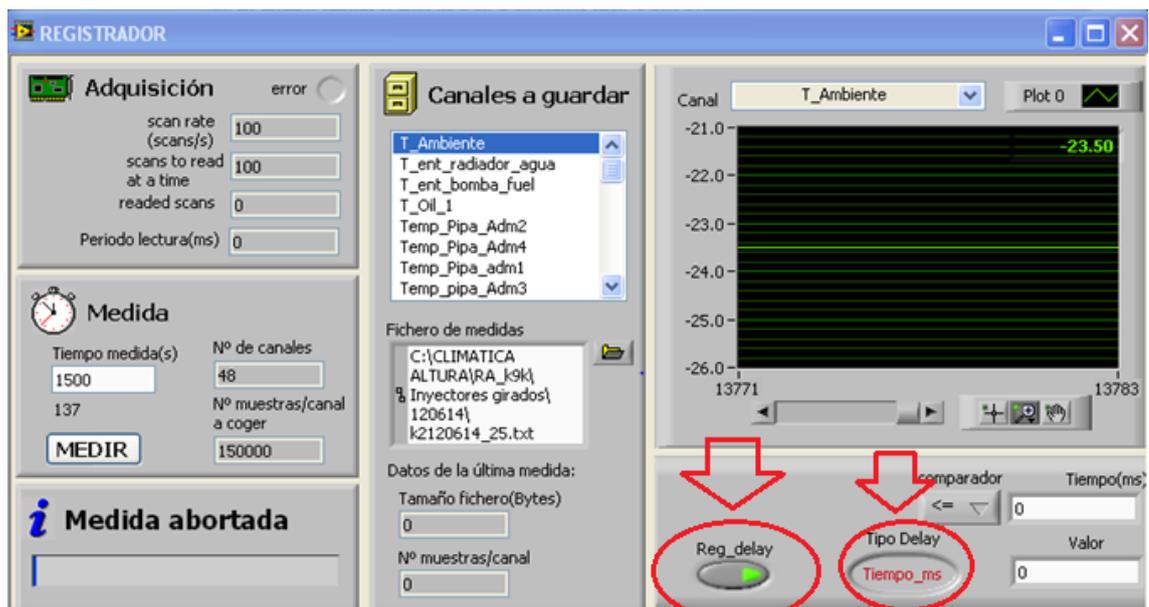


Foto del Registrador de SAMARUC

26. Por último seleccionamos la carpeta del día donde queremos guardarlo con su nombre. (Ej: c1060514 o k1060514\_25).

- **Puesta en funcionamiento freno dinamométrico:**

27. Encendemos el equipo.

28. En el control electrónico del freno pulsamos 0.

29. Aparecerá una contraseña demandada, introducimos 003 y pulsamos Enter.

30. Pulsamos el botón EXT/INT y en la pantalla ha de aparecer el punto dentro del cuadro.



Foto de control electrónico del freno (EXT/INT).

31. Pulsamos el botón de control → Quitamos la cruz de prevención de arranque del motor →Volvemos a mesure.



*Foto de control electrónico del freno (De arriba abajo, CONTROL Y CALIBRAR).*

32. Para quitar el offset: CALIBRAR → Captador de fuerza → Offset → Enter (se va a 0) → Escape→ Guardar.
33. Volvemos a pasarlo a externo pulsando el botón EXT/INT y comprobamos que en la pantalla del sistema electrónico el punto está fuera del cuadrado.

- **Puesta en funcionamiento freno en SAMARUC:**

34. En la pantalla de display del SAMARUC pulsamos: Sala → Equipos especiales →SCHENCK→DYNOCROLLER X-ACT.
35. Cuando se abre la pantalla de control del freno en SAMARUC pulsamos: ACCES→ON/OFF (Nos fijamos que en la pantalla del sistema de control electrónico del freno ha quitado los asteriscos y pone Ralentí)→IGNI.
36. El freno ya está preparado, para iniciar el ciclo entraremos en SAMARUC en la aplicación Alpha/N y seleccionaremos el ciclo correspondiente.

- **Puesta en funcionamiento INCA:**

37. Abrimos en el PC del INCA, INCA V6.2.
38. A la primera pantalla emergente que sale le damos a Sí.

39. Doble clic al workspace dentro de la carpeta K9K\_bugcorregido.
40. Mensaje que sale le decimos que no.
41. Con el motor parado y el INCA en WP (modo escritura), ponemos la cartografía que deseamos.



*Foto para selección modo escritura.*

42. Para guardar las medidas donde corresponden. MEASUREMENT → OPEN RECORDERCONFIGURATION → Seleccionamos la carpeta del día, le ponemos el nombre al archivo (c1060514 o k1060514\_25) y en descripción hacemos una breve descripción del ensayo que vamos a realizar diciendo también la batería que vamos utilizar y la tensión que tiene dicha batería.
- **FTIR:**
    43. Cuando haya acabado de purgar el interferómetro pulsamos PURGE en la pantalla principal. (Lo dejamos purgando 10 minutos mínimo o un poco más hasta que se quiten las alarmas de calentamiento).
    44. Comprobamos que se han ido las alarmas, sino es así y continúa DATA TRANSFER tenemos que reiniciar el equipo, para ello:
      - a. RESET y EXIT.
      - b. INICIO y APAGAR EQUIPO.
      - c. Cuando el ordenador se haya apagado, lo desconectamos de la alimentación mediante el interruptor de su parte posterior, esperamos unos segundos y volvemos a conectarlo.
      - d. Volvemos a encender el ordenador y abrimos el analizador.

e. Comprobamos que se ha ido esa alarma y sólo queda BGUPDATEREQUEST.

45. Si la única alarma que queda es BGUPDATEREQUEST, pulsamos STAND-BY, esperamos unos segundos y pulsamos CALIBRAR.

- **Preparación para el arranque:**

46. Cuando tengamos todo lo anterior hecho, la sala climática a la temperatura a ensayar y los componentes del motor a la temperatura del ensayo; paramos las solenoides en el cuadro de control de la sala y entramos a la sala climática a poner la batería. (Siempre que entremos es importante realizar una inspección visual del motor y del suelo de debajo del mismo por si hubiese alguna pérdida de aceite, combustible, etc... que pudiese afectar al funcionamiento correcto del mismo).

47. De nuevo en la sala de control, ponemos contacto con bujías y bomba de baja paradas, y dentro del INCA pulsamos HARDWARE → INITIALIZE HARDWARE → Cancelamos la primera pantalla de carga de variables y cuando se abra la pestaña MANAGEMEMORYPAGES pulsamos DO IT.

48. Pulsamos PLAY → Dentro de errores cambiamos la variable Result ECU a 1, esperamos unos segundos y la ponemos de nuevo a 0 → Quitamos contacto.

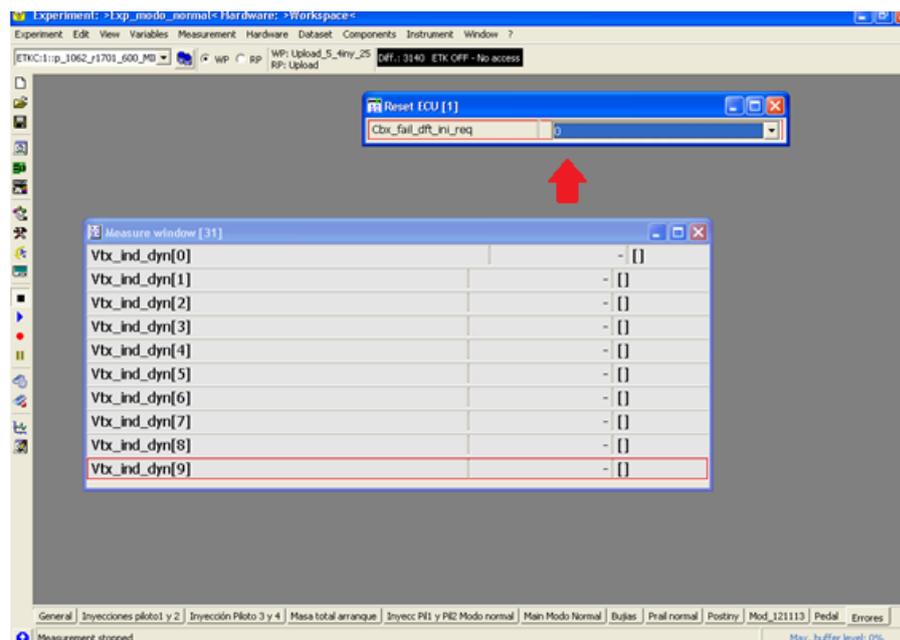


Foto pestaña de errores INCA.

49. Cuando ECU en RESET, subimos el interruptor de las bujías, abrimos las válvulas de aspiración 1 y 2, y ponemos en marcha el extractor de humos (Aspiración) en el cuadro de control de la sala.



*Foto localización de las válvulas de aspiración y extractor de humos en el cuadro de control.*

- **Circuito de refrigeración del freno:**

50. Antes de arrancar si vamos a hacer un ciclo encendemos en el rack de control el circuito de refrigeración del freno.

- **FTIR y opacímetro:**

51. Ponemos ambos en MEASURE.

52. Le damos a la vez en ambos a comenzar la medida. En el caso del FTIR pulsamos LOGGINGON y, en el caso del opacímetro, START.

- **INCA y SAMARUC:**

53. Le damos a ambos a la vez a comenzar la medida. Pulsamos REC en el INCA y a MEDIR en el SAMARUC.
54. Arranque del motor: (Fijarse que Yoko sigue en WaitingforTrigger y no ha pasado a STOP)
55. Por último, activamos la bomba de baja (ECU ON) → Ponemos contacto → Cuando pase la fase de precalentamiento que vemos en el INCA, pulsamos ARRANQUE.



*Foto rack de control del motor.*

- **Ensayo de ciclos:**

56. Si lo ensayado son ciclos dentro del SAMARUC abrimos ALPHA.
57. Dentro de ALPHA para elegir el ciclo seleccionamos Alpha/N, le indicamos que los datos del ciclo vienen desde fichero, activamos el ciclo y cogemos el ciclo que deseamos realizar.

- **Tiempo de medida transcurrido, paro de medición:**

58. En el caso de la Yoko, graba cierto tiempo (20 segundos) y ella misma se pone en STOP de modo automático. En el caso de querer medir el arranque sólo medimos los primeros 20 segundos a 50 KHz, y en el caso de querer medir los ciclos, 400000 puntos a 0,2° cada punto, en cada cambio de régimen. Dependiendo también si medimos arranque o ciclo, la medida la realizamos en tiempo y ángulo respectivamente.

59. En el caso del FTIR, pulsamos LOGGING OFF y ponemos el equipo a purgar hasta que paremos el motor (PURGE fuera de SYSTEMUTILITY). En el caso de arranque el FTIR mide durante dos minutos y en el caso de ciclos durante todo su tiempo de duración.

60. En el INCA, pulsamos STOP y después SAVE. En el caso de arranque el INCA mide durante dos minutos y en el caso de ciclos durante todo su tiempo de duración.

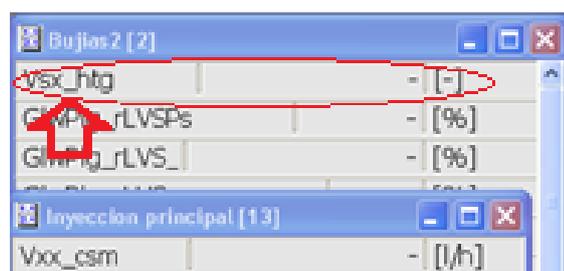
61. En el SAMARUC pulsamos STOP. En el caso de arranque el SAMARUC mide durante dos minutos y en el caso de ciclos durante todo su tiempo de duración.

62. En el opacímetro, pulsamos PAUSE; y lo purgamos varias veces. En el caso de arranque el opacímetro mide durante dos minutos y en el caso de ciclos durante todo su tiempo de duración.

63. Si en la purga del opacímetro nos aparece la alarma de OVERFLOW se ha de reiniciar el programa.

- **Calentamiento y mantenimiento del motor:**

64. Cuando el motor ya está encendido y ha cogido un poco de temperatura (no preheating en la variable *Vsx\_htg* del INCA), podemos quitar las bujías.



*Foto variable *Vsx\_htg* dentro del programa INCA.*

65. Cuando la temperatura del agua se encuentra sobre unos 10 °C, encendemos el alternador para que cargue la batería. Para que el alternador se active, además de encender su interruptor, tenemos que entrar dentro del SAMARUC en ALPHA, darle un 10 % de rampa en aproximadamente 1 segundo y volver a poner la rampa al 0 %. Para comprobar que el alternador carga correctamente nos fijamos en su pantalla de tensión en el INCA que tiene que estar en un valor en torno a 13,5 V y 14,5 V.

Vxx_wb	- [°C]
Vxx_tia	- [°C]
Vxx_maf	- [mg/stk]
Vxx_spg	- [hPa]
Vxx_amp	- [hPa]
Vxx_boil	- [°C]
Vxx_fuel_temp	- [deg C]
Vxx_vb	- [V]
Coeng_tStart	- [ms]
Coeng_tStrtDly	- [ms]
Vxx_maf_kgh	- [kg/h]

**Foto variable Vxx\_vb dentro del programa INCA.**

66. Por último, cuando el tiempo de medida ha finalizado se realiza el calentamiento del motor. Para ello seguimos las distintas secuencias que se nos detallan a continuación dependiendo si el ensayo realizado es de arranque o ciclos:

- **Arranque:**

67. Mantener a ralentí hasta que la temperatura del agua alcance los 20°C.

68. Subir a 1500 rpm hasta que la temperatura del agua alcance los 40°C.

69. Subir a 2000 rpm hasta que la temperatura del agua alcance los 60°C.

70. Mantener a 2500 rpm hasta que el termostato abra.

71. Subir a 2800 rpm durante 5 min.

72. Por último realizamos tres veces el ciclo de aceleración. Para seleccionarlos dentro del SAMARUC entramos en ALPHA-N. Le decimos

que queremos ciclos y que le damos los datos por tabla. Pulsamos activar ciclo y seleccionamos el ciclo del directorio donde se encuentre.

- **Ciclos:**

73. Subimos a 2000 rpm y 28% de pedal hasta que el agua o el aceite alcancen una temperatura de 85°C.

- **Parada del motor:**

74. Con ya toda la secuencia de calentamiento realizada se puede proceder a la parada del motor.

75. Para ello: Quitamos alternador → Quitamos contacto → Quitamos bomba de baja (ECU ON).

76. Se puede proceder a quitar la batería e inspección visual del motor.

77. En el caso de estar midiendo un arranque, cargamos en el Measure Data Analyzer el régimen y el Vsx\_eng (bit de estado motor) para obtener el tiempo de arranque.

- **FTIR:**

78. Pulsamos RESET para quitar al FTIR de purgar.

79. Cerramos la botella de nitrógeno.

- **Extracción de la información FTIR:**

80. Para obtener las medidas del FTIR, entramos en el disco local C del equipo → carpeta HORIBA → MEXA → LOG, dentro de esta carpeta tenemos el archivo .txt que nos ha generado el FTIR con sus medidas.

81. Es recomendable configurar aquí el nombre del archivo para la próxima medición como se ha explicado anteriormente.

- **Extracción de la información del opacímetro:**

82. La medida del opacímetro se genera en C\ en forma de archivo .MON. La copiamos y la pegamos en la misma carpeta que los archivos del INCA.

- **Extracción de la información del INCA:**

83. Para generar el .ASCII (tipo de archivo que utilizamos para procesar las medidas del INCA) abrimos el Measure Data Analyzer → OPEN CONFIGURATION → Seleccionamos el ensayo que queremos y pulsamos SELECT ALL para seleccionar todas las variables → FILE → GENERATE MEASURE FILE → en SETTING ponemos el tipo de archivo el cual queremos generar (.ASCII), la carpeta en la cual queremos generarlo y el nombre que se le quiere dar al archivo.

84. Una vez generado el ASCII es recomendable cambiar el direccionamiento y nombre del ensayo y configurarlo para el siguiente como se ha explicado anteriormente.

- **Extracción de la información YOKOGAWA:**

85. Cuando el equipo de medida pasa a STOP podemos pulsar REC para guardar lo obtenido.

86. Una vez guardada toda la información, la podemos encontrar dentro de la carpeta del día en la cual la hemos guardado en forma de archivos .txt y .bin.

87. Recomendable, de nuevo, cambiar el nombre y establecer el directorio de trabajo para el siguiente ensayo como se ha explicado anteriormente.

- **Vuelta a enfriar la sala**

88. Volvemos a activar las solenoides y cerramos las válvulas de aspiración y extracción de humos.





## **Capítulo 4: CONDICIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE**

### 4.1. INTRODUCCIÓN

### 4.2. CONDICIONES A CUMPLIR POR LA SALA

### 4.3. CONDICIONES DE LA INSTALACIÓN

### 4.4. NORMAS PARA LOS OPERADORES

### 4.5. RECOMENDACIONES S.A.E



## **CAPÍTULO 4: CONDICIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE**

### **4.1. INTRODUCCIÓN**

En este apartado se va intentar dar unas normas básicas para la realización de los ensayos, de forma que no presenten ningún peligro para la integridad física, ni puedan afectar a la salud de los operadores de la instalación.

La sala de ensayos es un lugar potencialmente peligroso y esto debe ser considerado tanto a la hora de diseñarla como al trabajar en ella.

Además el motor instalado no ha sido previsto para su instalación en una sala de ensayos sino para instalarlo en un automóvil. Tampoco ha sido diseñado con vistas a posibles roturas mecánicas, como a veces ocurre bajo condiciones de ensayo en las que se exprime al máximo el acople de transmisión, e incluso el freno puede fallar.

Las normas que a continuación se van a citar se dividirán en tres grupos: aquellas que deba cumplir la sala, la instalación y las que deban tener presentes los operadores de la misma.

### **4.2. CONDICIONES A CUMPLIR POR LA SALA**

- Estructura de la sala independiente de la del resto del edificio, de tal forma que no transmita vibraciones
- Deberá estar provista de un sistema de extracción de gases nocivos producidos por el motor.
- Sistema de seguridad de detección de incendio, atmósfera explosiva y de CO.
- Insonorización acústica de la sala con el exterior, para amortiguar el ruido generado. Dicha insonorización debe incluir la puerta de acceso y la ventana de control.
- Instalación contra incendios, compuesta por extintores adecuados para fuegos producidos por hidrocarburos o por fallos eléctricos. Estos extintores deberán estar situados en lugares de fácil acceso para asegurar una rápida actuación en caso de incendio.
- Depósito de combustible separado del motor.
- Control exterior de la instalación.
- Suelo antideslizante.
- Iluminación suficiente, y que los materiales de las paredes o la pintura que las cubra no reflejen la luz.

### 4.3. CONDICIONES A CUMPLIR POR LA INSTALACIÓN

- La transmisión de potencia al freno debe estar protegida con un elemento suficientemente rígido para evitar que algún elemento de la transmisión pueda salir despedido en caso de rotura fortuita de la misma o que se produzca la proyección de algunos de sus elementos de anclaje.
- El volante de inercia del motor debe de estar protegido adecuadamente, para evitar la salida del mismo o de alguna de sus partes de anclaje, en caso de avería durante el funcionamiento del motor.
- La instalación eléctrica debe poseer suficientes elementos de seguridad contra sobrecargas o fugas a tierra. Además, todos los elementos del sistema eléctrico, o aparatos eléctricos de la instalación, deben tener su conexión a tierra, para evitar el peligro de posibles derivaciones de los aparatos eléctricos de la instalación.
- Todos los componentes de la instalación han de estar accesibles sin peligro de lesión por interferencia de otras piezas. Se ha de asegurar una accesibilidad mecánica rápida y segura.

### 4.4. NORMAS PARA LOS OPERADORES

- Para ensayar en la instalación se deberá seguir la rutina de arranque y parada, que se encontrará disponible en todo momento en la sala de control.
- Conectar la extracción de la sala siempre antes de empezar los ensayos. En caso de que este sistema no funcione, no se debe de arrancar el motor hasta que el problema sea subsanado.
- Evitar el derrame de aceite y combustible. Limpiarlos inmediatamente en caso de que se produzca este hecho.
- Ensayar siempre con la puerta de la sala cerrada.
- Queda terminantemente prohibido el acceso a la sala durante el desarrollo de un ensayo.
- Las operaciones que puedan conllevar algún tipo de peligro en su realización, deberán ser ejecutadas por personal especializado y dotado de los medios de protección oportunos al trabajo a realizar (guantes, gafas de protección ocular).
- En el laboratorio existen medios necesarios para afrontar pequeñas lesiones. En caso de lesiones de mayor envergadura se deberá acudir a los servicios sanitarios de la Universidad o al centro médico más cercano.

#### 4.5. RECOMENDACIONES S.A.E

Las siguientes recomendaciones se han obtenido de las publicaciones SAE (Society of Automotive Engineers), recogiendo únicamente aquellas que afectan directamente o pueden estar relacionadas con la práctica de ensayos de motores en banco de pruebas. Se han obtenido de la norma SAE J153, “Consideraciones de seguridad para operadores”.

Estas recomendaciones son:

- Perfecto conocimiento, por parte de los operadores, de las funciones de todos los controles antes de comenzar las operaciones.
- Asegurarse de verificar todos los controles en el área de seguridad, antes de comenzar el trabajo.
- El personal deberá despojarse de las prendas de abrigo y utilizar ropas adecuadas.
- Conocimiento del equipo de seguridad requerido por la máquina y asegurar la perfecta utilización del mismo.
- Corregir los defectos de la máquina antes de comenzar su período de funcionamiento normal.
- Recoger todos los objetos y herramientas abandonados cerca o sobre la superficie de la máquina.
- Poner especial atención si se trata de una máquina con la que normalmente no se ha operado.
- No realizar apresuradamente las operaciones de montaje y desmontaje de la máquina.
- Nunca desatender la máquina mientras ésta, se encuentra en funcionamiento.
- Comprobar el perfecto funcionamiento de los elementos de alarma, luces de emergencia, etc.
- Tener constancia de cualquier efecto que surja en la máquina durante el funcionamiento de la misma.
- Observar los instrumentos frecuentemente.
- Mantener la máquina bajo el control de sus limitaciones y no apresurarse en la realización de los ensayos.
- No realizar manipulaciones manuales sobre la máquina en funcionamiento.
- Descargar toda la presión mientras se trabaja en sistemas que posean acumuladores de presión.
- No intentar reparar lo que no se entiende.





# **DOCUMENTO III:** **PRESUPUESTO**





1.1. INTRODUCCIÓN .....	178
1.2. COSTE DE LA MANO DE OBRA .....	178
1.2.1. Ingeniero técnico industrial.....	179
1.2.2. Ingeniero industrial .....	179
1.2.3. Técnico especializado en mecanizado industrial .....	179
1.3. COSTE DEL MATERIAL ADQUIRIDO .....	179
1.4. COSTE DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS.....	180
1.5. DESGLOSE DEL PRESUPUESTO .....	180
1.5.1. Coste de la mano de obra empleada .....	180
1.5.2. Coste del material adquirido no amortizable .....	182
1.5.3. Coste de la amortización de equipos utilizados .....	183
1.6. PRESUPUESTO TOTAL.....	186



## 1.1. INTRODUCCIÓN

En este documento se estima el coste total de la puesta en marcha de una instalación, para el estudio de la influencia de la inyección múltiple sobre el funcionamiento en un ciclo de un motor diesel, de pequeña cilindrada, a una temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Dicho documento está dividido en diversos presupuestos parciales de los que se extrae un presupuesto total.

Para la elaboración de este presupuesto se ha tenido en cuenta los materiales empleados, equipos instalados, instrumentación necesaria, sistemas de adquisición y control utilizados y mano de obra necesaria para su realización en horas de trabajo de cada especialista.

No se ha tenido en cuenta el valor de los componentes y accesorios, pertenecientes a la empresa automovilística Renault ya que es cedido por el fabricante para que se realicen las tareas fijadas en el convenio de colaboración firmado con el DMMT (Departamento de Máquinas y Motores Térmicos), que en este caso son el motor, sistema de admisión, sistema de refrigeración, sistema de alimentación de combustible, sistema de escape, sistema completo de gestión del motor. En definitiva, el motor y sus sistemas auxiliares. Indicar también que los captadores de presión en cilindro utilizados no se presupuestan, ya que los proporciona el fabricante.

Los precios reflejados en cada uno de los capítulos se corresponden con las tarifas legales y vigentes, y todos ellos vienen expuestos sin el impuesto del valor añadido (IVA), cuyo importe es del 21% y que se considerará en el presupuesto total

La unidad monetaria empleada es el euro (€).

## 1.2. COSTE DE LA MANO DE OBRA

Los datos necesarios para los cálculos aquí descritos, han sido extraídos del manual de procedimiento para la contratación de personal del instituto de investigación CMT aportados por el jefe de personal y gerente del mismo. Estos salarios están regulados por la Conselleria de Empleo, Industria y Comercio en su Área de Trabajo y se pueden consultar en el Boletín Oficial de la Provincia de Valencia.

Para disponer el precio por hora de los operarios que van a participar en el trabajo se dispone del siguiente cálculo:

### 1.2.1. Ingeniero técnico industrial:

- Horas trabajadas al año =  $[52 \text{ semanas/año} - (4 \text{ semanas de vacaciones} / \text{año} + 2 \text{ semanas días festivos} / \text{año})] * 40 \text{ horas} / \text{semana} = 1.840 \text{ horas} / \text{año}.$
- Salario Anual = 28.373,48 euros
- Seguridad Social = 32 % Salario Anual = 9.079,51 euros / año.
- Salario Bruto = 28.373,48 + 9.079,51 = 37.453 euros / año.
- Precio de hora trabajada =  $37.453 / 1.840 = 20,35 \text{ euros} / \text{hora}.$

### 1.2.2. Ingeniero industrial:

- Horas trabajadas al año =  $[52 \text{ semanas/año} - (4 \text{ semanas de vacaciones} / \text{año} + 2 \text{ semanas días festivos/año})] * 40 \text{ horas} / \text{semana} = 1840 \text{ horas/año}.$
- Salario Anual = 40.865,9 euros
- Seguridad Social = 32 % Salario Anual = 13.077,09 euros / año.
- Salario Bruto = 40.865,9 + 13.077,09 = 53.943 euros / año.
- Precio de hora trabajada =  $53.943 / 1840 = 29,31 \text{ euros} / \text{hora}.$

### 1.2.3. Técnico especialista en mecanizado industrial

- Horas trabajadas al año =  $[52 \text{ semanas/año} - (4 \text{ semanas de vacaciones/año} + 2 \text{ semanas días festivos/año})] * 40 \text{ horas} / \text{semana} = 1.840 \text{ horas/año}.$
- Salario Anual = 22.902,27 euros.
- Seguridad Social = 32 % Salario Anual = 7.328,72 euros / año.
- Salario Bruto = 22.902,27 + 7.328,72 = 30.231 euros / año.
- Precio de hora trabajada =  $30.231 / 1.840 = 16,43 \text{ euros} / \text{hora}.$

## 1.3. COSTE DEL MATERIAL ADQUIRIDO

Este bloque de costes está formado por el material que se ha adquirido y utilizado a lo largo del trabajo y por el uso que se les ha dado, no son amortizables. Por esta razón se les imputa su valor de coste de adquisición según los precios establecidos por las empresas suministradoras de dichos productos.

## 1.4. COSTE DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

En este bloque se incluyen los costes de los equipos que pueden ser amortizados, como por ejemplo los equipos de medida. Dicho coste es calculado para cada uno de los equipos utilizados de la siguiente forma:

$$A = C/H * h$$

Donde:

- **A**: amortización.
- **C**: coste anual de amortización.
- **H**: horas de funcionamiento anual.
- **h**: horas de funcionamiento para la sala.

El tiempo fijado para la amortización de estos equipos es de 10 años, es decir, 120 meses.

## 1.5. DESGLOSE DEL PRESUPUESTO

### 1.5.1. Coste de la mano de obra empleada

- **Montaje e instrumentado del motor y el freno en la bancada:**

El tiempo empleado para el montaje e instrumentado es de 6 días. Cada ingeniero técnico trabaja 8 horas en esos 6 días, lo que hacen un total de 48 horas por cada uno. Además hemos de añadir 5 horas de un técnico especialista en mecanizado para la realización de varias soldaduras.

CONCEPTO	UNIDADES	COSTE UNITARIO	IMPORTE
2 Ingenieros técnicos	48 horas	20,35 €/hora	1.953,6 €
Técnico especializado en mecanizado industrial	5 horas	16,43 €/hora	82,15 €
		<b>Total</b>	<b>2,035,75 €</b>

- **Unión del motor y el freno:**

El tiempo empleado para la unión del freno y el motor es de 3 días. Cada ingeniero técnico trabaja 8 horas en esos 3 días, lo que hace un total de 24 horas cada uno. Además hemos de añadir 10 horas de un técnico especialista en mecanizado para la realización de un acople.

CONCEPTO	UNIDADES	COSTE UNITARIO	IMPORTE
2 Ingenieros técnicos	24 horas	20,35 €/hora	976,8 €
Técnico especialista en mecanizado industrial	10 horas	16,43 €/hora	164,3 €
<b>Total</b>			<b>1.141,1 €</b>

- **Realización y procesado de ensayos:**

Todo el plan de ensayos, sumando los ensayos de repetibilidad, los de optimización del ciclo a -10°C y los ciclos de estudio de las post-inyecciones; suman un total de 66 ensayos. Si cada ensayo se realiza en un día, esto hace un total de 66 días.

El tiempo empleado de un ingeniero técnico cada uno de estos días es de 5 horas y el de un ingeniero industrial de 3 horas. Esto multiplicado por los 66 días de ensayos hace un total de 330 horas y 198 horas respectivamente.

CONCEPTO	UNIDADES	COSTE UNITARIO	IMPORTE
Ingeniero industrial	198 horas	29,31 €/hora	5.803,38 €
Ingeniero técnico	330 horas	20,35 €/hora	6.715,5 €
<b>Total</b>			<b>12.518,88 €</b>

**Por tanto, el coste total de la mano de obra es de 15.695,73 €.**

### 1.5.2. Coste del material adquirido

- Elementos diversos:

Cantidad	Nombre	Precio de unidad	Total
-	Material soldadura	-	117,32 €
-	Accesorios tornillería	-	65,60 €
3	Garrafa 5 l aceite 0W30	34,50 €	103,50 €
-	Materiales diversos (Tubos de goma, juntas tóricas, tubo de acero inoxidable)	-	398,7 €
-	Depósito 200 l de combustible	1.200 €	1.200 €
		<b>Total</b>	<b>1.885,12 €</b>

Por tanto, el coste total del material adquirido es de 1.885,12 €.

### 1.5.3. Coste de la amortización de los equipos utilizados

- **Instrumentación:**

Cantidad	Nombre	Precio de unidad	Total
20	Termopar K, fichas de conexión y cableado	26,5 €	530 €
1	Codificador angular (AVL 365)	5.400 €	5.400 €
15	Cables BNC 3m	3,77 €	56,55 €
4	Acondicionador de señal para captador de presión piezoeléctrico (Kistler 5011B10)	3.147 €	12.588€
2	Pinza amperimétrica (PR 1030)	220 €	440 €
<b>Total</b>			<b>19.014,55 €</b>

Amortización de la instrumentación:

- Coste total: 19.014,55 €
- Coste anual si se amortiza en diez años:  $19.014,55 / 10 = 1.901,46$  €/año
- Coste semanal:  $1.901,46 / 46 = 41,34$  €/semana
- Coste amortización para una duración del proyecto de 10 semanas:  $41,34 \times 10 = 413,4$  €

**Coste total del instrumentado: 413,4 €**

- **Bancada del motor:**

Cantidad	Nombre	Precio de unidad	Total
1	Conjunto bancada del motor	2.000 €	2.000 €
<b>Total</b>			<b>2.000 €</b>

Amortización de la bancada:

- Coste total: 2.000 €
- Coste anual si se amortiza en diez años:  $2.000 / 10 = 200$  €/año
- Coste semanal:  $200 / 46 = 4,35$  €/semana
- Coste amortización para una duración del proyecto de 10 semanas:  $4,35 \times 10 = 43,5$  €

**Coste total bancada: 43,5 €**

- **Freno dinamométrico y circuito de refrigeración:**

Cantidad	Nombre	Precio de unidad	Total
1	Conjunto freno dinamométrico más control de la electrónica	85.000€	85.000 €
1	Bomba vertical multicelular para refrigeración del freno	786 €	786 €
1	200 Litros agua refrigerante (glicol 50%)	525 €	525 €
1	Fungible para circuito de refrigeración	800 €	800 €
		<b>Total</b>	<b>87.111 €</b>

Amortización del freno:

- Coste total: 87.111 €
- Coste anual si se amortiza en diez años:  $87.111 / 10 = 8.711,1$  €/año
- Coste semanal:  $8.711,1 / 46 = 189,37$  €/semana
- Coste amortización para una duración del proyecto de 10 semanas:  $189,37 \times 10 = 1.893,71$  €

**Coste total freno dinamométrico y circuito de refrigeración: 1.893,71€**

- **Sistema de control y adquisición de datos:**

Cantidad	Nombre	Precio de unidad	Total
1	Hardware INCA	5.400 €	5.400 €
1	Software INCA	7.458,56 €	7.458,56 €
3	Ordenador	1.202,2 €	3.606,6 €
1	NI PXI-1025	2077,7 €	2077,7 €
1	NI SCXI-1327	371,3 €	371,3 €
1	BNC-2095-32 Canales conector de BNC	478 €	478 €
1	TC-2095-32 Canales conector termopar	478 €	478 €
1	BNC-2090 Conector de BNC	422 €	422 €
1	Software Samaruc	38.347 €	38.347 €
1	Yokogawa DL716	45.230 €	45.230 €
1	Analizador de gases de escape HORIBA FTIR	198.352 €	198.352 €
1	Opacímetro AVL 439	14.063,68 €	14.063,68 €
		<b>Total</b>	<b>316.284,84 €</b>

Amortización del sistema de control y adquisición de datos:

- Coste total: 316.284,84 €
- Coste anual si se amortiza en diez años:  $316.284,8 / 10 = 31.628,48$  €/año
- Coste semanal:  $31.628,48 / 46 = 687,58$  €
- Coste amortización para una duración del proyecto de 10 semanas:  $687,58 \times 10 = 6.875,8$  €

**Coste total sistema de control y adquisición de datos: 6.875,8 €**

- **Coste del equipo de frío:**

La cámara frigorífica junto con el equipo de frío es construida por una empresa externa al departamento, con lo cual el precio total de la obra sin IVA será de 200.000 €.

Amortización del equipo de frío:

- Coste total: 200.000 €
- Coste anual si se amortiza en diez años:  $200.000/10=20.000$  €/año
- Coste semanal:  $20.000/46=434,78$  €/semana
- Coste amortización para una duración del proyecto de 10 semanas:  $434,78 \times 10= 4.347,83$  €

**Coste total equipo de frío: 4.347,83€**

**Por tanto, el coste total de los equipos amortizables es de 13.574,24 €.**

## 1.6. PRESUPUESTO TOTAL

Nombre	Total
COSTE MANO DE OBRA	15.695,73 €
COSTE MATERIAL ADQUIRIDO NO AMORTIZABLE	1.885,12 €
COSTE AMORTIZACIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS	13.574,24 €
IVA 21 %	6.542,57 €
<b>TOTAL</b>	<b>37.697,66 €</b>

Por lo tanto, el coste total del proyecto es de:

**Treinta y siete mil seiscientos noventa y siete coma sesenta y seis Euros.**





## **BIBLIOGRAFÍA**

- J. Arrègle, J. Galindo, J.V. Pastor, J. R. Serrano, J. A. Broatch, J. M. Luján, R. Payri y A. J. Torregrosa (2002). *Procesos y tecnología de máquinas y motores térmicos*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- F. Payri y J.M. Desantes (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- [http://www.iessierradeguara.com/documentos/departamentos/automocion/circuitos\\_auxiliares/DIESEL/01\\_motor\\_diesel.pdf](http://www.iessierradeguara.com/documentos/departamentos/automocion/circuitos_auxiliares/DIESEL/01_motor_diesel.pdf)
- <http://www.powertrain.renault.com/our-range/powertrain-units-of-our-range/1.5-dcik9k>

# **ANEXO 1**

Proyecto RA K9K 2013


**TOTAL**
**TOTAL ADDITIFS ET CARBURANTS SPECIAUX**

 Place du Bassin - 69700 Givors- France  
 Tél: +33 4 72 49 84 10 - Fax: +33 4 72 49 84 20

APPELLATION : GAZOLE D-E-107		Référence analyse : 21973		
Num. de lot : P1231060U		Date : 08/01/13		
CERTIFICAT DE CONFORMITE <input checked="" type="checkbox"/>		BULLETIN D'ANALYSES <input type="checkbox"/>		
GAZOLE	UNITE	RESULTATS	METHODES	
<b>DONNEES PHYSIQUES</b>				
Masse volumique 15°C	kg/m3	826,8	NF EN ISO 12185	
Viscosité à 40°C	cSt	1,93	ASTM D 445	
<b>DISTILLATION</b>				
PI	°C	189,1	ASTM D 86	
5 % Vol	°C	199,1	ASTM D 86	
10 % Vol	°C	202,6	ASTM D 86	
20 % Vol	°C	209,7	ASTM D 86	
30 % Vol	°C	218,4	ASTM D 86	
40 % Vol	°C	227,6	ASTM D 86	
50 % Vol	°C	236,7	ASTM D 86	
60 % Vol	°C	245,6	ASTM D 86	
70 % Vol	°C	256,1	ASTM D 86	
80 % Vol	°C	274,2	ASTM D 86	
90 % Vol	°C	308,9	ASTM D 86	
95 % Vol	°C	328,3	ASTM D 86	
PF	°C	337,4	ASTM D 86	
E 250 °C	%Vol	65,0	ASTM D 86	
E 350 °C	%v/v	>98,0	ASTM D 86	
E 370 °C	%Vol	>98	ASTM D 86	
<b>INDICE DE CETANE</b>				
Cétane calculé	index	48,8	ISO 4264	
Cétane mesuré	index	50,2	ISO 5165-98	
Point Eclair	°C	74	NF EN ISO 2719	
<b>COMPOSITION</b>				
Aromatiques Totaux	%Mass	13,4	EN12916 = IP391	
Poly-Aromatiques	%Mass	<0,1	EN12916 = IP391	
<b>TENUE AU FROID</b>				
Point de trouble	°C	-31	ASTM D 97 / AFNOR T 60-105	
TLF	°C	-32	EN 116, NF M 07042	
<b>COMBUSTION</b>				
Pouvoir Calorifique Inférieur (G)	MJ/kg	43,03	ASTM D 4868	
%C, %H / %O	%Mass	85,2/13,6/1,2	ASTM D 5291 / ASTM D 5622 Calculated	
<b>DONNEES COMPLEMENTAIRES</b>				
Stabilité à l'Oxydation	g/m3	2	ISO 12205	
Corrosion Cuivre	merit	Certified/Conforme	ISO 2160 = ASTM D130	
Soufre	mg/kg	<3	ISO 8754	
Carbone conradson sur résidu 10% Vol	%m/m	<0,1	ISO 10370	
Teneur en cendres	%m/m	<0,01	ISO 6245	
Indice d'acide	mg KOH/g	0,01	NF ISO 6618	
Variation d'indice d'acide (DELTA TAN)	mg KOH/g	<0,01	ASTM D 974	
Teneur en sédiments	mg/kg	<6	ASTM D 2276	
Teneur en esters méthyliques d'acides gras	%v/v	9,4	EN14103	
Teneur en eau	mg/kg	46	EN ISO 12937	
Pouvoir Lubrifiant à 60°C	µm	178	ISO/DIS 12156	
Teneur en cuivre	mg/kg	<0,1	ICP / AES	
Stabilité à l'oxydation / Rancimat	heure	>40	modified EN 14112	
Teneur en Sodium (Na)	mg/kg	<0,1	ICP / AES	
Teneur en Calcium (Ca)	mg/kg	<0,1	ICP / AES	
Teneur en Cerium (Ce)	mg/kg	<0,1	ICP / AES	
Teneur en Silicium (Si)	mg/kg	<0,1	ICP / AES	
Teneur en Nickel (Ni)	mg/kg	<0,1	ICP / AES	
Teneur en Manganèse (Mn)	mg/kg	<0,1	ICP / AES	
Teneur en Fer (Fe)	mg/kg	<0,1	ICP / AES	
Teneur en Phosphore (P)	mg/kg	<0,1	ICP / AES	
Teneur en Potassium (K)	mg/kg	<0,1	ICP / AES	
Teneur en Magnesium (Mg)	mg/kg	<0,1	ICP / AES	
<b>TENEUR EN COMPOSES OXYGENES</b>				
Teneur en Peroxydes	mg/l	4	AIR3405/D annexe B	
<b>Observation :</b>				
Givors, le 18/01/13 Isabelle PROMONET		Document confidentiel. Diffusion extérieure soumise à l'accord de RM/SPE/ACS L'interprétation des résultats des mesures relève de la norme NF EN ISO 4259		
		Fiche de données de sécurité : 37985		
Date specs : 03/02/12 Rév: 4				

29/01/13

# **ANEXO 2**

**Anticongelante – refrigerante 50% SERCA Long-life**Revisión:1  
Junio-12**DESCRIPCIÓN PRODUCTO**

Anticongelante-Refrigerante de nueva formulación y larga duración. Especialmente indicado para uso directo en radiadores con circuito cerrado.

**CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO**

Formula completamente orgánica. No contiene nitritos, nitratos ni aminas. Exento de silicatos. No contiene fosfatos. Por todo esto, es menos peligroso para las personas y más respetuoso para el medio ambiente.

Descenso del punto de congelación (-37°C) y aumento del punto de ebullición para su correcto funcionamiento en un amplio rango de temperaturas.

Características superiores antiespumantes reducen la cavitación y la formación de espuma.

Gran capacidad para transmitir el exceso de calor a la atmósfera.

Protege contra la corrosión al radiador, a la bomba y a todo el circuito de refrigeración, especialmente en aquellos en que existan elementos de aluminio y aleaciones.

Al ser su formula orgánica se degrada más lentamente que los anticongelantes-refrigerantes convencionales, alargando su vida notablemente.

**DATOS TÉCNICOS**

<b>Descripción :</b>		Anticongelante – Refrigerante 50% Orgánico.
<b>Estado Físico :</b>		Líquido.
<b>Aspecto :</b>	<b>Visual</b>	Fluido brillante y transparente.
<b>Color :</b>	<b>Visual</b>	Amarillo
<b>Densidad (20°C) :</b>	<b>UNE 26-389</b>	1.062 / 1.072 g/ml
<b>pH</b>	<b>UNE 26-390</b>	7.5 / 9.0
<b>Reserva Alcalina</b>	<b>UNE 26-388</b>	0.6 / 2.6 ml HCl 0.1M
<b>Punto de Congelación</b>	<b>UNE 26-391</b>	-37 °C ± 1 °C
<b>Punto de Ebullición</b>	<b>UNE 26-375</b>	145°C

### Anticongelante – refrigerante 50% SERCA Long-life

#### APLICACIONES

En cualquier tipo de vehículo automóvil, autocares, camiones, tractores, maquinaria de obras públicas,... En general para refrigerar cualquier motor de combustión interna, incluidos los de aluminio y aleaciones, así como los demás elementos del sistema de refrigeración de estos metales, y en aquellos casos en que se requiera largos periodos de cambio de fluido.

#### MODO DE EMPLEO

No requiere ningún tipo de manipulación. Uso directo.

#### NIVELES DE CALIDAD

UNE 26-361-88  
ASTM D 3306-00  
ASTM D 4985-94  
VW TL 774D (G12)  
FORD WSS-M97B44D  
MB 325.0  
FIAT 9.55523  
SAE J 1034/91  
GENERAL MOTORS 6277M  
PSA PEUGEOT-CITROËN B71-5110  
RENAULT 41-01-001/Q type D  
NISSAN  
HONDA HES D2009-75  
FIAT NC 956-16  
BS 6580  
BMW

#### CONSERVACIÓN Y MANIPULACIÓN

Se conservará en su envase original. Aunque es miscible y compatible con la mayoría de los anticongelantes-refrigerantes existentes en el mercado, es aconsejable no mezclarlo con otros, ya que existe la posibilidad, de que se pierdan sus buenas propiedades anticorrosivas-protectivas del circuito de refrigeración.

Producto nocivo por ingestión. En caso de ingestión, acúdase inmediatamente al médico con el envase o la etiqueta. Manténgase fuera del alcance de los niños.

# **ANEXO 3**



## SILVER DYNAMIC AGM

### Principales ventajas

- Ciclo de vida más prolongado en comparación con una batería convencional
- Diseñada para vehículos con función Start-Stop con frenada regenerativa
- Tecnología AGM (Absorbent Glass Mat) de VARTA con un excelente rendimiento para motores potentes y coches con equipamiento de alta gama
- Proceso de fabricación limpio, utilizando un 20 % menos de energía y generando un 20 % menos de emisiones de gases de efecto invernadero. Circuito de reciclaje cerrado gracias a ecosteps®, para preservar los recursos naturales y proteger el medio ambiente
- Tecnología de rejilla PowerFrame® para una elevada potencia de arranque y un funcionamiento fiable
- Gracias a su diseño, esta batería no tendrá fugas ni siquiera en caso de rotura

Para más información, visite [www.varta-automotive.com](http://www.varta-automotive.com)

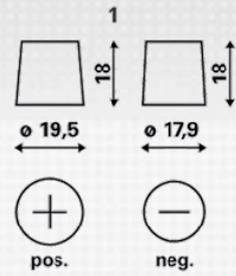
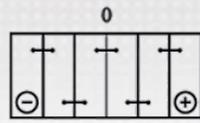
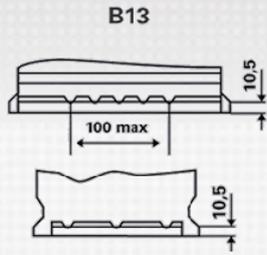
### INFORMACIÓN PARA PEDIDOS

Código Europeo (ETN):	570 901 076
N° artículo:	570 901 076 D85 2
Referencia Comercial:	E39
Código de barras:	4016987144503
Unidad de embalaje:	1
Unidades por palet:	48

### INFORMACIÓN TÉCNICA

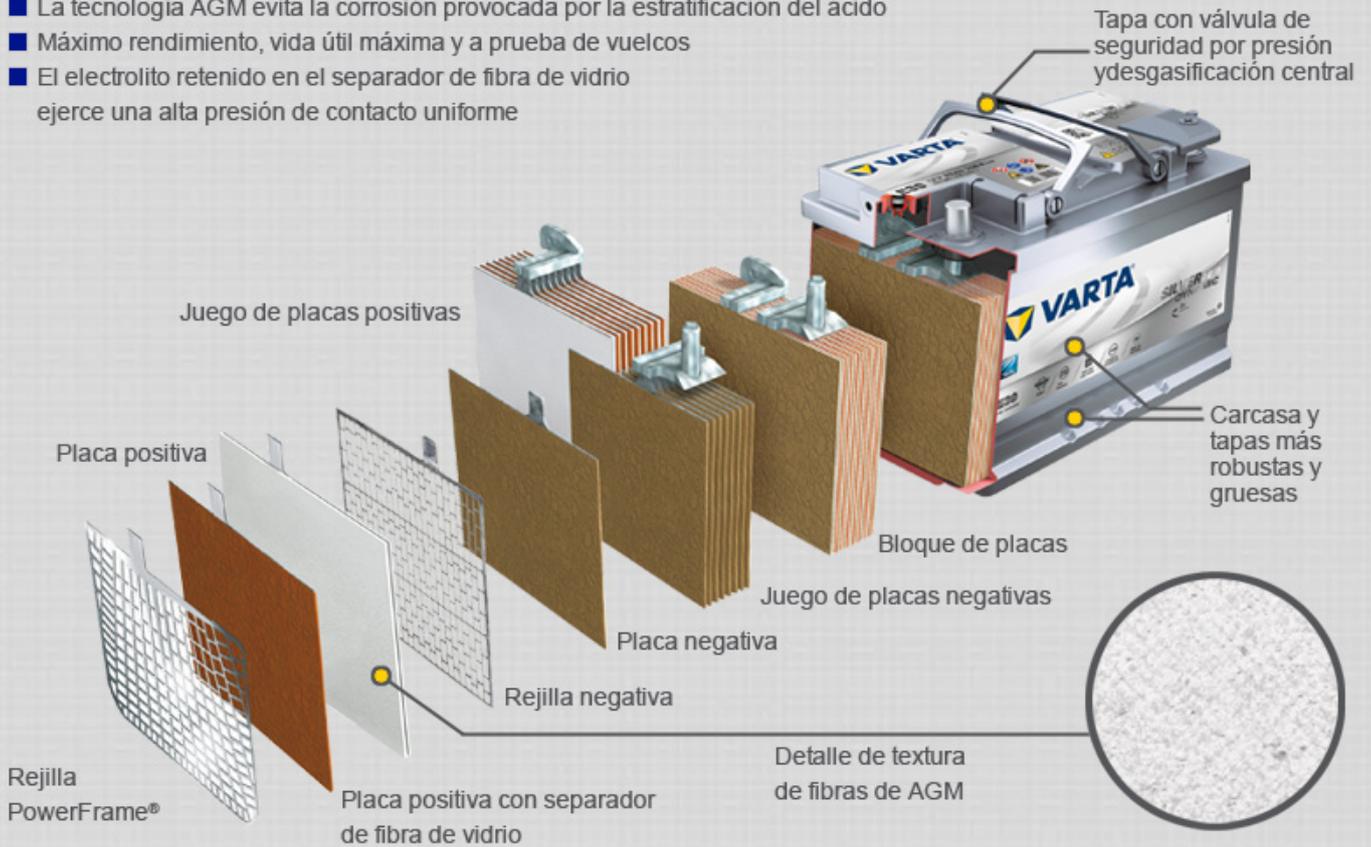
Tensión [V]:	12	Sujeción:	B13
Capacidad de batería [Ah]:	70	Esquema:	0
Corriente de prueba en frío, NE [A]:	760	Tipo de borne:	1
Longitud [mm]:	278	Tamaño de la carcasa:	H6/LN3
Ancho [mm]:	175	Peso llena y cargada (kg):	20,4
Altura [mm]:	190		

## PLANOS



## ESTRUCTURA DE LA BATERÍA VARTA SILVER DYNAMIC CON TECNOLOGÍA AGM

- Diseñada con tecnología AGM (Absorbent Glass Mat) avanzada
- La tecnología AGM evita la corrosión provocada por la estratificación del ácido
- Máximo rendimiento, vida útil máxima y a prueba de vuelcos
- El electrolito retenido en el separador de fibra de vidrio ejerce una alta presión de contacto uniforme





Características	<i>SILVER dynamic AGM</i>	<i>BLUE dynamic EFB</i>
<b>Número de tipos de batería</b>	5 tipos	5 tipos
<b>Función primaria</b>	Funcionalidad Start-Stop avanzada	Funcionalidad Start-Stop estándar
<b>Potencia de arranque en frío</b>	CCA 135 %*	CCA 115 %*
<b>Tecnología de batería</b>	AGM – Absorbent Glass Mat	EFB – Enhanced Flooded battery
<b>Rejilla positiva/Rejilla negativa</b>	PowerFrame® / Rejilla de metal fundido	PowerFrame® / Rejilla de metal expandido
<b>Calidad de primer equipo</b>	Cumple los requisitos para primeros equipos	Cumple los requisitos para primeros equipos
<b>Resistencia a los ciclos</b>	3x veces superior*	2x veces superior*
<b>Capacidad de descarga profunda</b>	Alta*	Media*

\* En comparación con las baterías convencionales

# **ANEXO 4**



## SENSORS AND SIGNAL CONDITIONING / SENSORS

### 365C ANGLE ENCODER SET

The 365C Angle Encoder Set is a high precision sensor for angle-related measurements mainly for indicating purposes.

The optical function is based on a slot mark disk and utilises the reflection light principle. It is the most commonly used system in engine indicating technology due to the high precision in extreme operating conditions. The angle mark resolution is 0.5 degree crank angle (up to 0.1 deg. CA by means of multiplication). The electronic components are mounted separately from the sensor (crank shaft) to minimise the influence of electric interference, temperature and vibration. There is one track on the marker disks with 720 pulses for the angle information which includes trigger pulse information per revolution too for synchronisation purposes.

The angle information is transmitted by light pulses from the encoder through an optical cable, length 2 m, to an emitter-receiver-electronic. The necessary power is supply by AVL indicating instruments.

#### Open Version:

For certain applications a special Encoder solution is provided by AVL – it can be mounted between the engine and the dyno. This is the customized solution 365X. The high tensile steel disk is manufactured to customer's specification.

### Current program:

The actual program is shown in the picture below. For use with Non-AVL-device an encoder set with external supply is available.

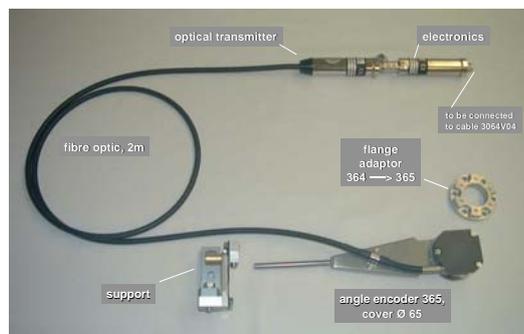


### Your Benefits at a Glance

- High precision
- High resolution
- High mechanical resistance, several hundred g
- High maximum speed up to 20.000 rpm
- Temperature range –400 C to +700 C (electronics)
- Temperature range –400 C to +1200 C (mechanics / optics)
- Rotary and torsional analysis
- Selectable output pulses per rev. 3600, 1800, 720, ... 36
- Second output 720 ... 36 pulses per rev.

### Areas of Usage

The angle encoder is suitable for both test bed and in-vehicle operation, for applications from small two-stroke engines to passenger cars, from commercial vehicles right up to track engines, from racing engines to large engines such as stationary or ship engines.



# **ANEXO 5**

## Current Probe Model PR1030

The PR1030 current probe is based on Hall Effect technology for use in measurement of both DC and AC current. The PR1030 may be used in conjunction with oscilloscopes and other suitable recording instruments for accurate non-intrusive current measurement.



## Electrical Characteristics

Current Ranges.....	: 100 A and 1000 A AC <sub>RMS</sub> or DC
Measuring Ranges.....	: ± 140 A and 1400 A
Output Sensitivity.....	: 10 mV/A (100 A)
.....	: 1 mV/A (1000 A)
Accuracy (at +25°C).....(100A range).....	: ± 1% of reading ± 100 mA
.....(1000A range).....	: ± 1% of reading ± 500 mA
Resolution.....	: ± 100 mA (100 A)
.....	: ± 200 mA (1000 A)
Load Impedance.....	: > 10 k Ohms and ≤ 100 pF
Conductor Position Sensitivity.....	: ± 1.5% relative to centre reading
Frequency Range.....(small signal).....	: DC to 20 kHz (- 2 dB)
Phase Shift below 2 kHz.....	: < 2 degrees
Power Supply.....	: 9 V Alkaline, MN1604/PP3
.....	: 40 Hours, low battery indicator
Temperature Coefficient.....	: ± 0.1% of reading per °C
Working Voltage (see Safety Standards section).....	: 300 V AC <sub>RMS</sub> or DC

## General Characteristics

Maximum Conductor Size.....	: 31 mm diameter
Output Connection.....	: safety BNC connector
Output Zero.....	: Manual adjust via thumbwheel
Cable Length.....	: 2 meters
Operating Temperature Range.....	: 0 to +50 °C
Storage Temperature Range (with battery removed).....	: -20 to +85 °C
Operating Humidity.....	: 15% to 85% (non condensing)
Weight.....	: 295 g

## Safety Standards

BSEN61010-1: 1993 and Amendment A2: July 1995

BSEN61010-2-032: 1995

BSEN61010-2-031: 1995

300 V<sub>RMS</sub>, Category III, Pollution Degree 2

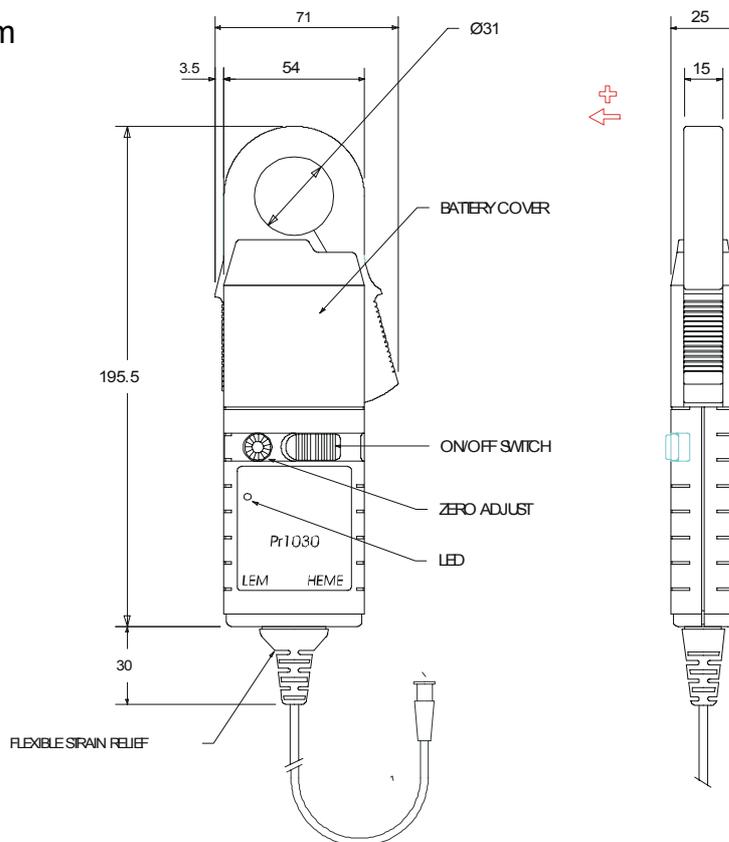
Use of the probe on **uninsulated conductors** is limited to 300 V AC<sub>RMS</sub> or DC and frequencies below 1 kHz.

## EMC Standards

EN61326 :1998

## Dimensions

in mm



PR1030\_DS\_E\_010703

Specifications subject to change without notice

# **ANEXO 6**

# Charge Amplifier

Type 5011B...

## Single-channel multi-range laboratory charge amplifier

The mains-operated, microprocessor controlled single-channel charge amplifier Type 5011B... converts the electrical charge produced by piezoelectric sensors into a proportional voltage signal.

- Large measuring range
- Wide frequency range
- Automatic zero correction
- Adjustable low-pass filter and time constant
- Various options and versions provide optimum adaptation to the measuring problem
- Conforming to CE

### Description

The main features of the instrument are its continuous measuring range adjustment range from  $\pm 10 \dots \pm 999\,000$  pC and convenient adjustment of the parameters with a two-line LC display. The values entered are retained in the event of an interruption in the power supply.

A built-in IEEE-488 parallel interface or a serial RS-232C interface is available as an option. This enables all set values to be entered or queried. Transmission of data measured is not possible.

The version ...Y50 additionally has a drift compensation and is used in engine measuring technology with uncooled sensors

### Application

This amplifier serves mainly to measure mechanical quantities, e.g. pressure, force or acceleration.

The instrument dimensions are DIN standardized and it can be supplied in a desktop or rack mount case.



The principle measurement without calculation:

- Set sensor sensitivity
- Select display scale
- Sensor sensitivity and scale are displayed
- Set the signal output of the data acquisition unit (recorder, oscilloscope...), for example to 1 V/unit (1 V/cm)
- The display appears directly in mechanical units according to the display scale selected

## Technical Data

### Basic unit

Measuring range for 10 V FS	pC	±10 ... ±999 000
Sensor sensitivity [T] (M.U. = Mechanical units)	pC/M.U.	±0,01 ... ±9 990
Scale [S]	M.U./V	0,001 ... 9'990'000
Output voltage	V	±10
Output current (short-circuit protected)	mA	±5
Output impedance	Ω	10
Frequency range (-3dB, Filter "OFF")	kHz	≈0 ... 200
Low-pass filter upper cutoff frequency -3dB Butterworth, 2 pin 8 stages (1, 3, 10 ...)	kHz (%)	0,01 ... 30 (±10)
Time constant [TC] (high pass filter)		
Long	s	>1 000 ... 100 000
Medium (T = R <sub>g</sub> ·C <sub>g</sub> )	s	1 ... 10 000
Short (T = R <sub>g</sub> ·C <sub>g</sub> )	s	0,01 ... 100
Error		
<±100 pC FS (max./typ.)	%	<±3/<±2
≥±100 pC FS (max./typ.)	%	<±1/<±0,5
Linearity	% FS	<±0,05
Noise	mV <sub>rms</sub>	<0,5 (<1,5)
9,99 pC/V (1 pC/V)	mV <sub>pp</sub>	<4 (<8)
Loss due to cable capacitance	pC <sub>rms</sub> /pF	<2·10 <sup>-5</sup>
Drift at 25 °C	pC/s	<±0,07

### General Data

Operating temperature range	°C	0 ... 50
Connections		
Measuring input/signal output	–	BNC negative
Remote control (Operate, Overload, ...)	–	Connector 6 pin DIN 45322
Power plug	–	IEC 320 C 14
Conformity to EC Directive		
Safety	–	EN 61010-1
EMC Interference Emission	–	EN 50081-1/EN 50081-2
EMC Interference Immunity	–	EN 50082-1/EN 50082-2
Power, switchable (Protection class I)	VAC (%) Hz (VA)	230/115 (-22/+15) 48 ... 62 (20)
Voltage between protection and measuring ground	V <sub>rms</sub>	<50
Dimensions		
with desktop case Type 5747A1	mm	94x141x195
for rack mounting	mm	71,12x128,7x169
Front panel according to DIN 41494 (Part 5)	HE (mm) TE (mm)	3 (128,7) 14 (71,12)
Weight (incl. IEEE-488 or RS-232C)	kg	≈2

### Version ...Y50, Drift compensation; at [TC] setting "Drco"

Time constant [TC] (High-pass filter)		
Long	s	>1 000 ... 100 000
Drco	–	Driftcompensation
Short (T = R <sub>g</sub> ·C <sub>g</sub> )	s	0,01 ... 100
Driftcompensation; at [TC] setting "Drco"		
Range for ±10 V FS	pC	±100 ... ±999 000
Zero point error	mV	<±20
Max. Error in signal repetition frequency range	%	<1
Signal repetition frequency range	Hz	5 ... in dependence of the selected low-pass filter

### Option: Parallel Interface IEEE-488 Type 5605A

Standardized interface with IEC 625-1 electrically compatible for remote control and checking of all parameters. Measured data are not transmitted.

Standard used	Type	IEEE-488-1978
Max. distance between 2 instruments	m	2
Max. bus length	m	20
Max. number of instruments on the bus	–	15
Address range	–	30
Functions	–	Listener, Talker

### Option: Serial Interface RS-232C Type 5611A

Standardized interface for remote control and checking of all parameters. Measured data not transmitted.

Standard used	Type	RS-232C resp. V24
Max. cable length	m (pF)	20 (2 500)
Baud rates	Baud	50, 110, 250, 300, 600, 1 200, 2 400, 4 800
Number of data bit	Bit	7 or 8
Number of stop bit	Bit	1 or 2
Parity	–	without, even or odd
Software protocol	XON/XOFF	not allowed

### Functional description

The charge signal to be measured (Charge Input) is fed to the inverting amplifier (OP1), which features high internal gain and extremely high input impedance (Fig. 2).  $C_g$  provides negative feedback and thus acts as an integrator for the charge to be measured. The  $C_g$  capacitance determines the charge measuring range according to the approximation formula  $Q = C_g \cdot U_1$ .

A voltage  $U_1$  then appears at the output of OP1 proportional to the charge and thus to the mechanical measurand.

When a purely dynamic measurement is involved, one of the two time constant resistors  $R_g$  can be connected in parallel with the range capacitor  $C_g$ . This avoids problems of drift such as can occur in quasi-static measurements.

A shorting switch in the negative feedback branch of OP1 is used to discharge the range capacitor  $C_g$  thereby preparing the instrument for a new measurement (Reset function,  $U_1 \rightarrow 0$ ).

Any remaining zero deviation is compensated by a special circuit (zero compensation) in the Reset condition. The voltage signal  $U$  is brought to the value calculated by the instrument with a digital voltage divider (12 bit DAC).

The adjustable 8-stage low-pass filter (LP filter) reduces in the upper frequency limit as required.

An 8 bit microprocessor circuit ( $\mu P$ ) controls and monitors the entire instrument. The software is stored in an EPROM; the set values in a battery-backed NOVRAM.

The following functions are available through the remote control connections (Remote Control) without optional interface:

- Reset/Operate switching
- Reset overload signal
- Display: Overload
- Display: Zero out of Limit

### Version ...Y50

The charge amplifier version ...Y50 additionally has a drift compensation and is used in engine measuring technology with uncooled sensors. The drift compensation detects drift as a slowly changing signal. This slow change in a positive and negative direction is compensated by means of a closed-loop control in the circuitry. This compensation keeps the reference line on zero (Fig. 1).

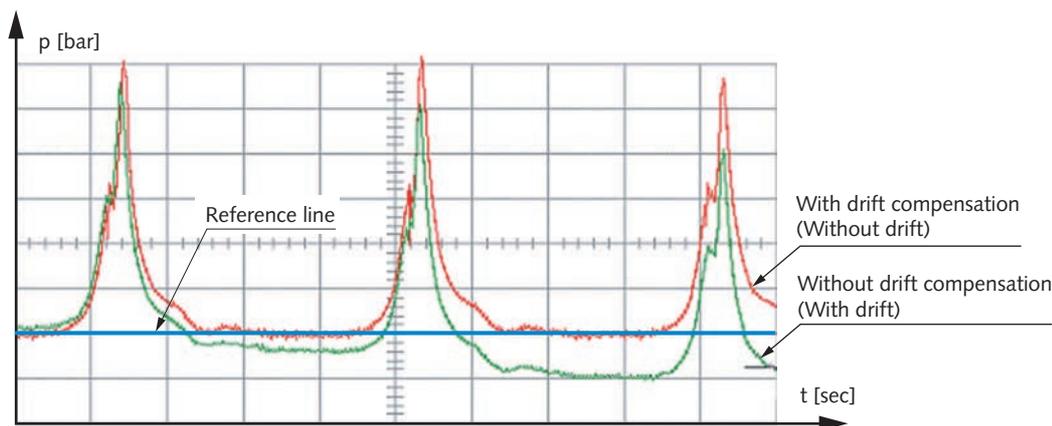


Fig. 1: Pressure measurement of the charge amplifier with and without drift compensation ...Y50

5011B\_000-296e-12.05

**Block diagram**

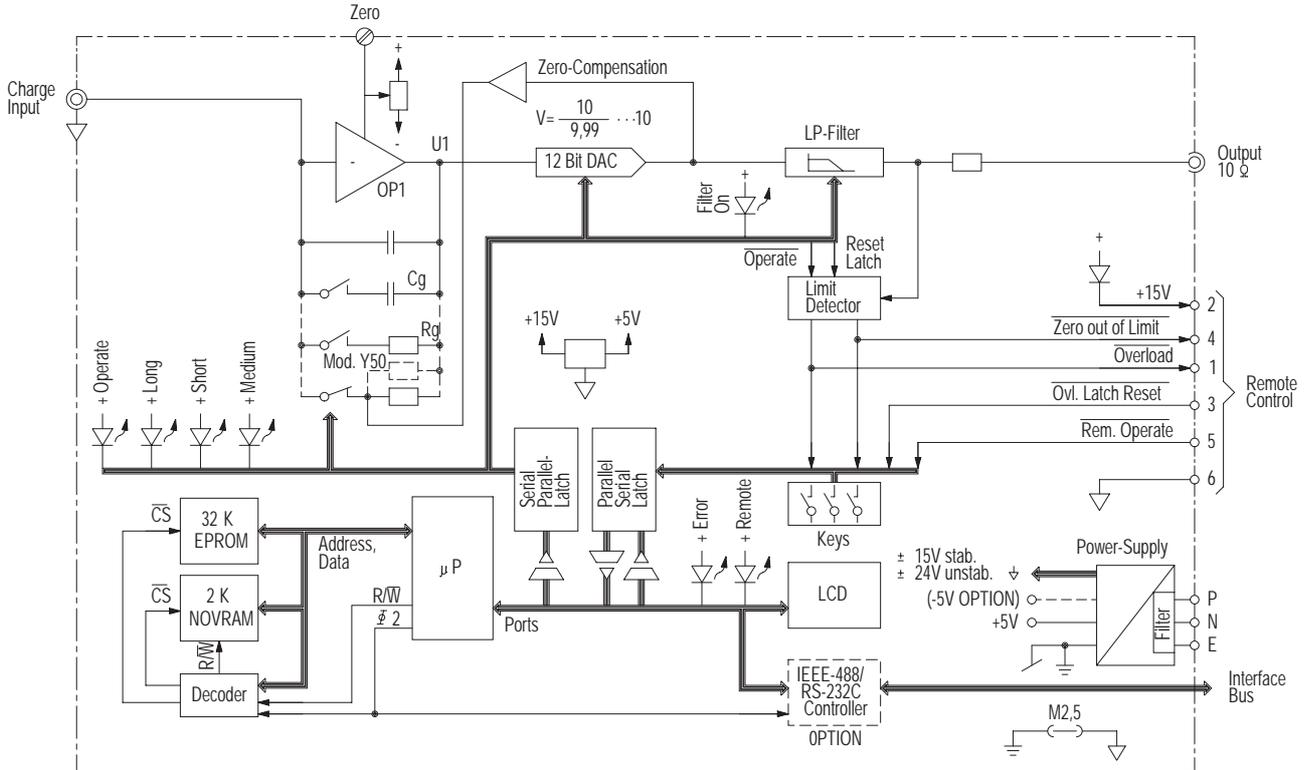


Fig. 2: Block diagram of charge amplifier Type 5011B...

**Cable wiring for the RS-232 C interface**

Without control signals for transmission up to 1200 baud  
(S = Socket, P = Plug)

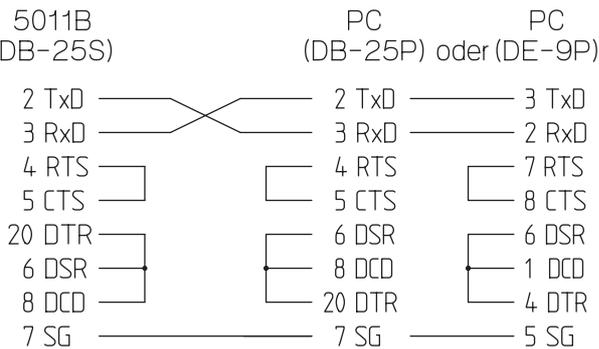


Fig. 3: Pin configuration for RS-232 C interface without control signals

With control signals for transmission up to 2 400 ... 4 800 baud  
(S = Socket, P = Plug)

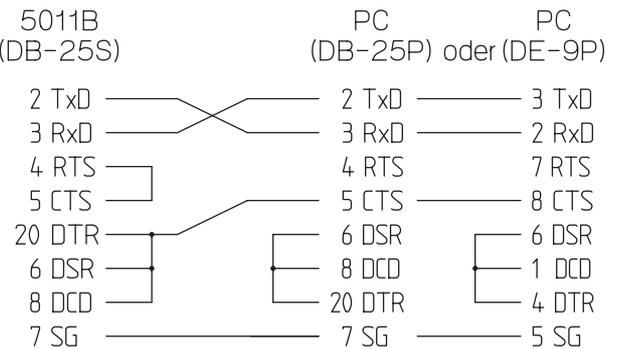


Fig. 4: Pin configuration for RS-232 C interface with control signals

5011B\_000-296e-12.05

**Dimensions**

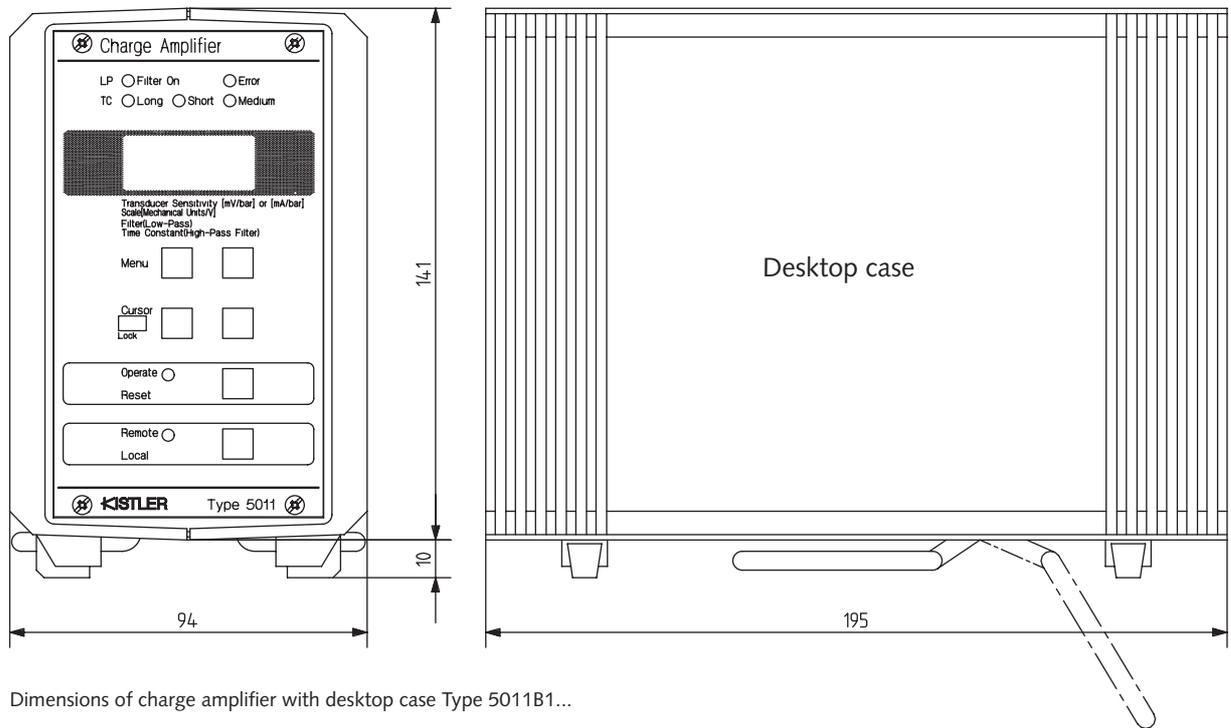


Fig. 5: Dimensions of charge amplifier with desktop case Type 5011B1...

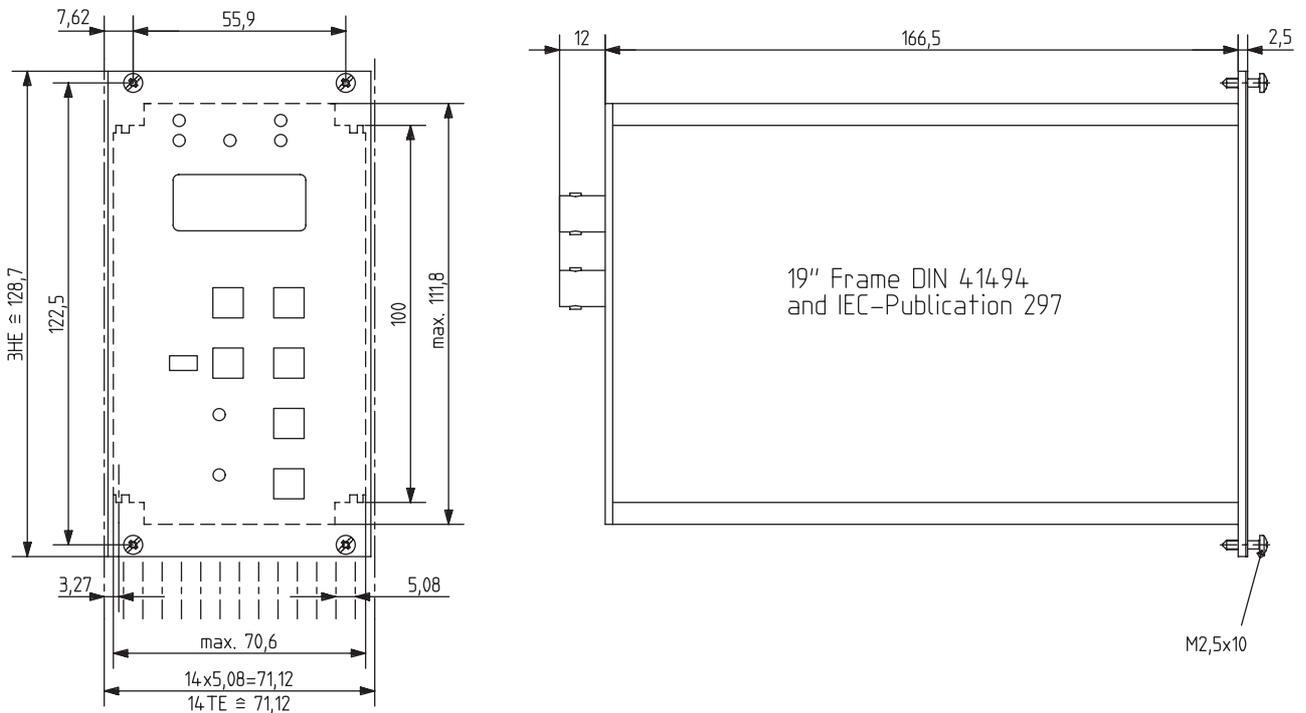


Fig. 6: Dimensions of charge amplifier for rack mounting Type 5011B0...

5011B\_000-296e-12.05

**Accessories Included**

- BNC/BNC cable
- Power cable

**Optional Accessories**

- Connecting cable for remote control length 5 m (Data sheet 000-349)
- Remote control box (Data sheet 000-339)
- Connector for remote control connection 6 pin per DIN 45322 (Data sheet 000-349)
- RS-232C cable, length 3 m, with Hardwired-Handshake DB-25 P/DB-9 S
- RS-232C adapter DB-9 P/DB-25 S

**Type/Art. No.**  
1601B

**Type/Art. No.**  
1455A5

5663

1564

1475A3

1469

**Ordering Key**

**Case**

For rack mounting	0
With desktop case	1

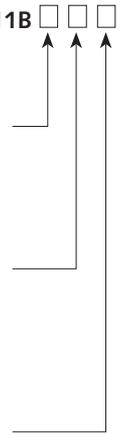
**Interface**

Without Interface	0
With parallel interface IEEE-488 (Type 5605A)	1
With serial interface RS-232C (Type 5611A)	2

**Version**

Charge amplifier set to 115 VAC power supply*	Y26
Charge amplifier with drift compensation	Y50

Type 5011B



\*Supply voltage setting can be changed at any time

**Ordering Example: Type 5011B10Y26Y50**

This is a charge amplifier of the basic Type 5011B... with desktop case, without integral interface, set to 115 VAC supply with drift compensation.

# **ANEXO 7**



## Emission Test Instruments

# AVL 439 Opacimeter

---

As the Opacimeter measurement value results from the attenuation of visible light in the measuring chamber, the smoke density value is in effect the result of black smoke ("C"), blue smoke (hydrocarbon vapor) and white smoke (water vapor). In addition to the well-known ECE R24 test procedure, the European Load Response (ELR), a part of the ECE R49 Heavy Duty Emission legislation, places much higher specifications on opacity measurement instruments than the ECE R24.

With its high accuracy, dynamics, reliability and user-friendly design for test cell applications, the AVL 439 Opacimeter is now eminently suitable for a number of statutory tests such as ECE R24 and ELR as well as for R&D purposes and engine production.

## Application Area

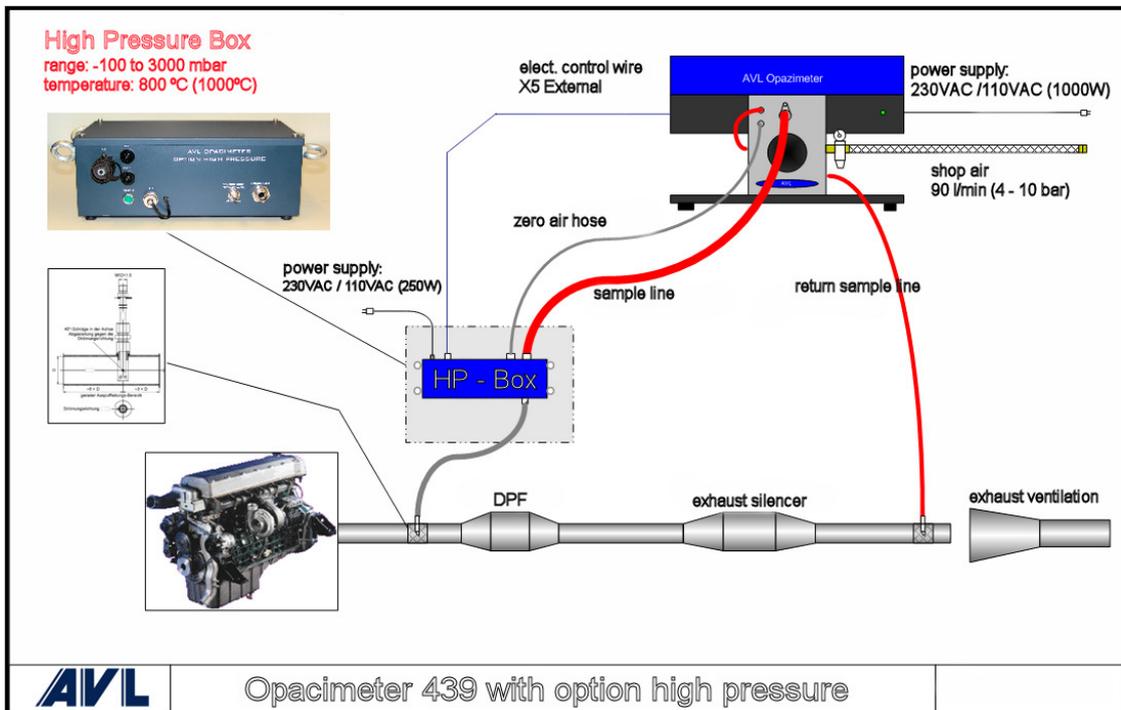
For engine test bed, chassis dynamometer, and on-board tests.

Statutory test runs for ECE-R 24 – EEC 72/306, HD EURO III, EURO IV and EURO V ELR Test, ISO 8178, and SAE J 1667.

As a partial-flow system for on-line measurement of exhaust gas opacity in diesel engines (also for gasoline engines like GDI engines) the AVL 439 Opacimeter is a unique system that satisfies not only the existing statutory standards but also reliably meets the new challenges embodied in the EURO IV. The AVL 439 Opacimeter is also perfect for meeting the demands of engine development and production. In addition, its actual application has been substantially simplified.

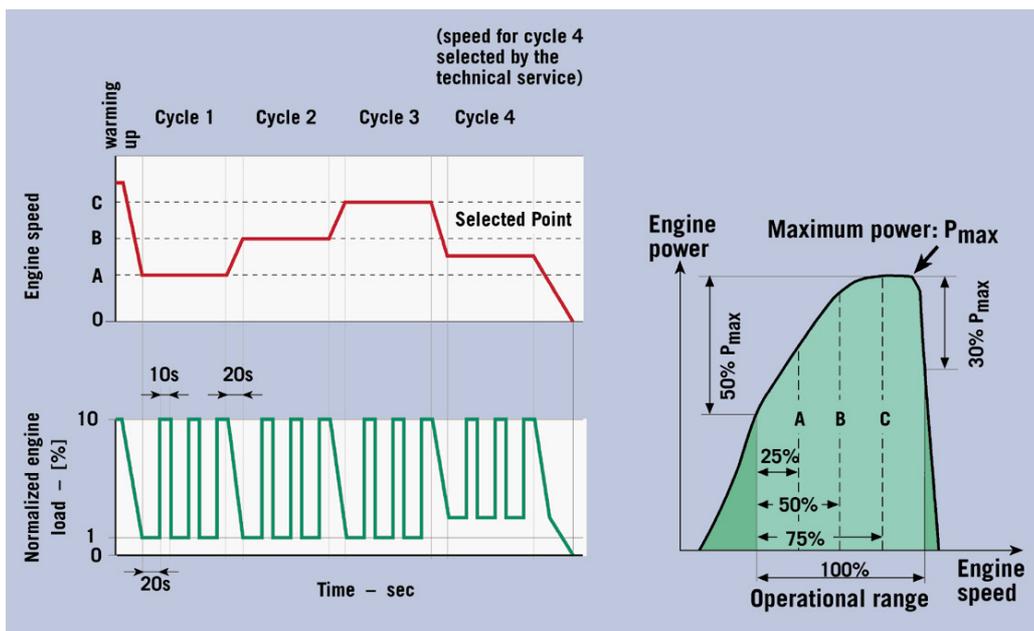
**Your Benefits at a Glance**

- State-of-the-art technology from AVL
- Reliable results
- High sensitivity
- High measurement dynamic permits even dynamic test runs
- Easy handling means quick installation, user-friendly operation and simple maintenance
- Sample probe conditioning
- Measurements up to 3000 mbar exhaust back pressure.



### Technical Features

- Partial flow opacimeter for a number of statutory tests
- Optical length of 430 mm and optimized sensitivity
- Diaphragm sampling pump guarantees constant filling of the measuring chamber
- Sample re-circulation
- Constant flow rate even at varying exhaust pressure
- Easy maintenance
- Heated windows protect optical components
- Time response: 0.1 sec
- Dynamic testing
- New statutory requirements
- Sensitivity:  $N = 0.1 \%$ ,  $k = 0.0025 \text{ m}^{-1}$
- Sample conditioning (100 °C)
- Signal stability
- Heat protection
- Opacity raw value analog + RS232 interface
- Predefined ECE R24 cycle
- Predefined ELR cycle
- Bessel filter
- Floating average (floating mean value)





## Technical Data 1

<b>Measurement value output:</b>	Opacity N [%] or absorption coefficient k [ $\text{m}^{-1}$ ]
<b>Measurement range:</b>	N = 0 ... 100 % or k = 0 ... 10 $\text{m}^{-1}$
<b>Measurement value resolution:</b>	0.01 % opacity or 0.0025 $\text{m}^{-1}$ (10 s mean value)
<b>Zero stability:</b>	{0.1 % or 0.0025 $\text{m}^{-1}$ } for 30 min
<b>Response time:</b>	0.1 s
<b>Inputs/outputs:</b>	Analog output 0 ... 10 V  Serial RS232C interface, 9600 baud Serial interface for connecting the optional AVL 4210 Instrument Controller  Digital input/output: 3 inputs, 3 outputs; potential separated by optocoupler
<b>Sampling rate for opacity signal:</b>	50 Hz
<b>Output rates:</b>	Serial interfaces: up to 2 Hz using the AK generic communication interface (required by protocol)  max. 10 Hz for ASCII transmission (required by interface)  Analog output (50 Hz)
<b>Electronic measurement value filter (parameterizable):</b>	Floating mean 0.02 ... 10 s  Bessel filter of 2 <sup>nd</sup> order (0.2, 0.5, 1.0, 1.077, 1.5, 2 s)  not filtered
<b>Exhaust gas temperature:</b>	0 ... 600 °C  0 ... 800 °C with option High Pressure
<b>Exhaust gas back pressure:</b> (incl. pulsation peaks)	-100 mbar ... + 400 mbar  0 mbar ... +3000 mbar relative pressure with option High Pressure
<b>Ambient temperature:</b>	5 ... 50 °C
<b>Power supply:</b>	230 V (100/115 V optional)
<b>Power consumption:</b>	1 kVA (max.)



## Technical Data 2

### Compressed air supply/consumption:

Required: max. 180  $\frac{1}{\text{min}}$ ,  
non-oiled, dry and filtered  
input pressure regulated to 4...10 bar

**Dimensions:** 650 x 420 x 450 mm (W x H x D)

**Weight:** 47 kg

## Options

- 100/115 V power supply
- Sampling line, special length 4m
- AVL 4210 Instrument Controller
- 19" mounting frame for AVL 4210 Instrument Controller
- 19" bench cabinet for AVL 4210 Instrument Controller
- Wall bracket
- Trolley
- Analog cable
- Digital cable hybrid interface
- PC Software
- Probe for open exhaust pipe (for chassis dyno and on-board testing)

## Accessories

- Calibration equipment
- Transmission filter 10 %
- Transmission filter 20 %
- Transmission filter 40 %
- Transmission filter 50 %
- Condensate trap

## Other Information

- TÜV certificate
- The 439 is designed as stand-alone unit as well as for integration into test cell automation systems, e.g. with AK generic communication protocol.