



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Estudio paramétrico en las prestaciones de un motor de
encendido provocado mediante el sintonizado del colector
a través de distintas configuraciones en la admisión

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Carles Mañez, Oscar Jose

Tutor/a: Ruiz Rosales, Santiago

Cotutor/a: Morena Borja, Joaquín de la

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

DESARROLLADO EN:



Estudio paramétrico en prestaciones de un MEP mediante el sintonizado del colector a través de distintas configuraciones en la admisión

AUTOR: ÓSCAR CARLES MÁÑEZ

TUTOR: SANTIAGO RUIZ ROSALES

COTUTOR: JOAQUÍN DE LA MORENA BORJA

CURSO ACADÉMICO 2021-2022

“Do something. If it works, do more of it.
If it doesn't, do something else.”
-Franklin D. Roosevelt-

[Traducción]
“Haz algo. Si funciona, haz más de lo mismo.
Si no es así, haz otra cosa”.
-Franklin D. Roosevelt-

Resumen

La alta demanda energética global que ha ido en constante crecimiento desde las últimas décadas está llegando a niveles tales que difícilmente podrán ser asegurados por la industria actual, lo que brinda a la sociedad un futuro un tanto incierto. Los combustibles fósiles a precios desorbitados y una reglamentación de emisiones cada vez más estricta está provocando que el sector automovilístico tenga que evolucionar de forma muy rápida y a veces casi imposible de cumplir en plazos.

Se prevé que para el año 2035, en territorio europeo se prohíba la venta de vehículos propulsados por motores de combustión, incluso híbridos. Aun así, hasta entonces, el motor de combustión con sus diversas variantes serán el principal medio de transporte hasta que se consiga implementar un parque móvil electrificado sostenible. Hasta que llegue el momento, la tendencia del mercado automovilístico está siendo la hibridación con el motor gasolina debido a la reglamentación de emisiones que cada vez más, limita los motores diésel.

Por todo lo expuesto, el desarrollo de nuevos modos y tecnologías de hibridación están a la orden del día y son unas de las soluciones más efectivas a corto-medio plazo ya que reduce los dos problemas principales en la actualidad, emisiones contaminantes químicas y consumo de combustibles fósiles. Siguiendo estas pautas, se han comenzado a desarrollar motores de gasolina de una menor cilindrada, promoviendo el downsizing con el objetivo de disminuir el consumo (y por tanto las emisiones contaminantes), además de minimizar las pérdidas por bombeo o fricción. Para compensar la pérdida de potencia que sufren estos motores debido a la reducción de su tamaño, se combina con una propulsión eléctrica. El hecho de hacer funcionar el motor eléctrico en cualquier punto de operación sin verse comprometido su rendimiento efectivo, ha llevado a darle más protagonismo en el reparto de potencia del conjunto híbrido, relegándose el motor de combustión a un segundo plano y operando solo en sus puntos óptimos, consiguiendo así el mayor rendimiento junto con el mínimo de consumo y emisiones, mientras que la parte eléctrica pasa a ser la principal propulsión del vehículo.

Por ello, el presente trabajo se centra en las modificaciones realizadas en un motor de encendido provocado modificado para funcionar en un conjunto híbrido, en el cual se ha eliminado el sistema de sobrealimentación y se ha realizado el estudio del comportamiento con distintos volúmenes en el colector de admisión, con el fin de obtener el mejor rendimiento volumétrico mediante el sintonizado del colector de admisión, permitiendo así conseguir el mayor par sin necesidad de utilizar un equipo de sobrealimentación tal como puede ser un turbo grupo, reduciendo costes de fabricación y complejidad del sistema.

Abstract

The high global energy demand that has been growing steadily since the last decades is reaching levels that can hardly be met by today's industry, giving society a somewhat uncertain future. Fossil fuels at exorbitant prices and increasingly stringent emissions regulations are causing the automotive sector to evolve very quickly and sometimes almost impossible to meet deadlines.

The sale of vehicles powered by combustion engines, including hybrids, is expected to be banned in Europe by 2035. Until then, however, the combustion engine and its various variants will remain the main mode of transport until a sustainable electrified vehicle fleet is implemented. Until that time, the trend in the automotive market is towards hybridization with the gasoline engine due to emissions regulations that increasingly limit diesel engines.

For all these reasons, the development of new hybridization modes and technologies are the order of the day and are one of the most effective solutions in the short to medium term as they reduce the two main problems at present, chemical pollutant emissions and fossil fuel consumption. Following these guidelines, gasoline engines of smaller displacement have begun to be developed, promoting downsizing with the aim of reducing consumption (and therefore polluting emissions), as well as minimizing losses due to pumping or friction. To compensate for the loss of power suffered by these engines due to downsizing, it is combined with an electric propulsion. The fact of making the electric motor work at any point of operation without compromising its effective performance, has led to give it more prominence in the power distribution of the hybrid set, relegating the combustion engine to the background and operating only in its optimal points, thus achieving the highest performance along with the minimum consumption and emissions, while the electric part becomes the main propulsion of the vehicle.

For this reason, the present work focuses on the modifications made to a provocative ignition engine modified to operate in a hybrid set, in which the supercharging system has been eliminated and the study of the behavior with different volumes in the intake manifold has been carried out, in order to obtain the best volumetric performance by tuning the intake manifold, thus allowing to achieve the highest torque without using a supercharging equipment such as a turbo group, reducing manufacturing costs and complexity of the system

Índice general

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
<u>DOCUMENTO 1: MEMORIA DESCRIPTIVA</u>	<u>6</u>
ÍNDICE	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
APÉNDICE DE SÍMBOLOS	12
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN GENERAL MCIA	23
CAPÍTULO 3: MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO ENSAYADO EN EL PROYECTO	31
CAPÍTULO 4: ENTORNO EXPERIMENTAL	38
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.....	85
CAPÍTULO 7: PRESUPUESTO	87
BIBLIOGRAFÍA	97
<u>DOCUMENTO 2: ANEXO 1 PLANOS.....</u>	<u>98</u>
<u>DOCUMENTO 3: ANEXO 2 PLIEGO DE CONDICIONES.....</u>	<u>99</u>

DOCUMENTO 1: MEMORIA DESCRIPTIVA

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 13

1.1. MARCO GLOBAL	14
1.2. ANTECEDENTES	15
1.3. OBJETIVOS	18
1.4. MOTIVACIÓN	18
1.5. ESTRUCTURA DEL TRABAJO	20
1.6. RESUMEN	22

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN GENERAL MCIA 23

2.1. MOTOR ENCENDIDO PROVOCADO (MEP)	24
2.1.1. ENCENDIDO DE LA MEZCLA.....	24
2.1.2. FORMACIÓN DE LA MEZCLA.....	24
2.1.3. REGULACIÓN DE LA CARGA. INYECCIÓN DIRECTA (DI)	24
2.1.4. REGULACIÓN DE LA CARGA. INYECCIÓN INDIRECTA (IDI).....	25
2.1.5. POTENCIA Y RENDIMIENTO	25
2.2. MOTOR ENCENDIDO POR COMPRESIÓN (MEC)	26
2.2.1. ENCENDIDO DE LA MEZCLA.....	26
2.2.2. FORMACIÓN DE LA MEZCLA.....	26
2.2.3. REGULACIÓN DE LA CARGA. INYECCIÓN DIRECTA (DI)	27
2.2.4. REGULACIÓN DE LA CARGA. INYECCIÓN INDIRECTA (IDI).....	27
2.2.5. POTENCIA Y RENDIMIENTO	28
2.3. MOTOR ATMOSFÉRICO	28
2.4. MOTOR SOBREALIMENTADO	29
2.5. 2 TIEMPOS	29
2.6. 4 TIEMPOS	30

CAPÍTULO 3: MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO ENSAYADO EN EL PROYECTO 31

3.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	32
3.2. SISTEMA DE SOBREALIMENTACIÓN	32
3.3. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE.....	33
3.4. TECNOLOGÍA MICROHÍBRIDA	34
3.5. CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN.....	35
3.6. MODIFICACIONES REALIZADAS	36

CAPÍTULO 4: ENTORNO EXPERIMENTAL..... 38

4.1. SENSORES Y SISTEMAS DE ADQUISICIÓN	39
4.1.1. SENSORES DE TEMPERATURA.....	39
4.1.2. MEDIDA DEL ÁNGULO DE GIRO DEL CIGÜEÑAL.....	41
4.1.3. SENSORES DE PRESIÓN	43
4.1.4. MEDIDA DEL COMBUSTIBLE.....	49
4.1.5. MEDIDA DEL CAUDAL DE AIRE.....	51
4.1.6. MEDIDA DE PAR Y RÉGIMEN DE GIRO DEL MOTOR	51
4.2. SISTEMAS DE MEDIDA Y CONTROL DURANTE LOS ENSAYOS.....	53
4.2.1. LECTURA DE SENSORES.....	53
4.2.2. CONTROL DE SISTEMAS DE LA SALA.....	56
4.2.3. LECTURA Y CONTROL DE PARÁMETROS DEL MOTOR.....	59
4.3. PREPARACIÓN DE LA BANCADA.....	61
4.3.1. REGULACIÓN.....	62
4.4. PREPARACIÓN DEL MOTOR.....	64

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS..... 73

5.1. ENSAYOS ESTACIONARIOS	74
5.1.1. OPTIMIZACIÓN VVT	74
5.1.2. RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO	76
5.1.3. AMPLITUD DE LA ONDA DE PRESIÓN.....	79
5.1.4. PRESIÓN DE ADMISIÓN DURANTE LA APERTURA DE VÁLVULAS.....	80

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES..... 85

CAPÍTULO 7: PRESUPUESTO..... 87

7.1. DESGLOSE DEL PRESUPUESTO.....	88
7.1.1. HORAS EFECTIVAS DE TRABAJO.....	88
7.1.2. INSTALACIÓN DEL MOTOR EN BANCO DE ENSAYOS	89
7.1.3. REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS.....	91
7.1.4. PROCESADO DE DATOS	93
7.2. PRESUPUESTO FINAL.....	94
7.2.1. PRECIOS ELEMENTALES.....	94
7.2.2. PRECIOS DESCOMPUESTOS	95
7.2.3. VALORACIÓN.....	96

BIBLIOGRAFÍA..... 97

Índice de figuras

Figura 1.1 Dibujo De La Patente De Nicolaus Otto Del Motor De Gas. Fuente: "Motores De Combustión Interna Alternativos" Prof. F. Payri, Prof. J. M. Desantes.....	14
Figura 1.2 Evolución De Las Normativas Euro.	19
Figura 3.1 Turbina De Geometría Variable. Fuente: "Apuntes Poliformat" Asignatura Motores Térmicos.	33
Figura 3.2 Sistema De Recirculación De Gases.....	34
Figura 3.3 Unión Colector Admisión Y Bloque Motor	36
Figura 3.4 Colector Admisión (Impresión 3d)	37
Figura 4.1 Encóder.....	42
Figura 4.2 Bujía Instrumentada (AVI).	46
Figura 4.3 Fenómeno Del Knocking. Fuente: "Apuntes Poliformat" Asignatura De Motores Térmicos.	47
Figura 4.4 Sensor Presión Absoluta Kistler Modelo 4007d.	48
Figura 4.5 Sensor Presión Absoluta Modelo 4049b.	49
Figura 4.6 Balanza De Combustible Avl.	50
Figura 4.7 Curvas Características De Par Y Potencia Del Freno	52
Figura 4.8 Ventana De Visualización De Variables Puma	54
Figura 4.9 Ventana De Control De La Balanza De Combustible Puma	57
Figura 4.10 Ventana De Control Del Freno Puma	58
Figura 4.11 Ventana De Control De Inca	59
Figura 4.12 Banco De Ensayos Freno-Motor Del Trabajo Del Proyecto Estudiado.	61
Figura 4.13 Tornillo De Potencia De Las Torretas.....	62
Figura 4.14 Rail Regulación Longitudinal De Las Torretas.....	63
Figura 4.15 Ranurado Base Torreta.	63

Figura 4.16 Planteamiento Del Motor En La Bancada.	64
Figura 4.17 Triángulo De Apoyo Motor-Torretas.	65
Figura 4.18 Plancha Soporte Posterior (Azul).....	66
Figura 4.19 Plato De Transmisión (Izquierda)-Volante Motor (Derecha).	67
Figura 4.20 Unión Plato Transmisión-Eje Del Freno.	68
Figura 4.21 Pieza Enlace Admisión (Gris)	69
Figura 4.22 Línea De Escape Incompleta (A Falta De Realizar El Codo).	70
Figura 4.23 Sistema De Refrigeración Serie-Paralelo.	71
Figura 5.1 Barrido Vvt.....	74
Figura 5.2 Optimización Vvt Para Configuración Corta-A Y Larga-B.....	75
Figura 5.3 Rendimiento Volumétrico Para Configuración Corta-A Y Larga-B.....	76
Figura 5.4 Par Motor (Torque) Para Configuración Corta-A Y Larga-B	78
Figura 5.5 Amplitud De La Onda De Presión En Los Runners.....	79
Figura 5.6 Amplitud De La Onda De Presión En El Colector De Admisión	80
Figura 5.7 Presión De Admisión A Régimen De 2000 Rpm.....	81
Figura 5.8 Presión De Admisión A Régimen De 3000 Rpm.....	82
Figura 5.9 Presión De Admisión A Régimen De 4000 Rpm.....	83
Figura 5.10 Presión De Admisión A Régimen De 5000 Rpm	84

Índice de tablas

tabla 3.1: Especificaciones Técnicas Hr12.....	32
Tabla 4.1: Medidas De Los Termopares.....	41
Tabla 4.2 Características Sensor Presión Media Kistler.	43
Tabla 4.3 Medidas De Las Presiones.....	44
Tabla 4.4 Características Del Freno Avl.....	51
Tabla 4.5 Variables Inca	60

Apéndice de símbolos

<i>MCIA</i>	→ Motor de combustión interna alternativo
<i>MEP</i>	→ Motor de encendido provocado
<i>MEC</i>	→ Motor de encendido por compresión
<i>ME</i>	→ Motor eléctrico
<i>DPF</i>	→ Diesel particulate filter o filtro de partículas diésel
<i>GPF</i>	→ Gasoline particulate filter o filtro de partículas gasolina
<i>EGR</i>	→ Sistema de recirculación de gases de escape
<i>TGV</i>	→ Turbina de geometría variable
<i>PMS</i>	→ Punto muerto superior
<i>PMI</i>	→ Punto muerto inferior
<i>DI</i>	→ Direct injection o inyección directa
<i>IDI</i>	→ Indirect injection o inyección indirecta
<i>CA50</i>	→ Ángulo en el cual se desprende el 50% del poder calorífico del combustible
<i>g</i>	→ Gramos
<i>Kg/s</i>	→ Unidad de medida de un gasto
<i>Spark</i>	→ Encendido de la bujía
<i>ECU</i>	→ Unidad de control del motor
<i>WCAC</i>	→ Water charge air cooler

Capítulo 1

Introducción

En este primer capítulo se tratará de exponer cuáles son los motivos por los que se realiza el proyecto, así como los objetivos que motivaron a iniciarlo. Además, se desarrollará un breve contexto en cuanto a motores de combustión interna alternativos (en adelante MCIA), aportando una visión global desde los inicios de los MCIA hasta la actualidad, comprendiendo así cuáles son los principales problemas y qué soluciones va a aportar la realización de este proyecto.

1.1. Marco Global

El inicio de los motores de combustión interna alternativos tal y como son conocidos actualmente nacen de la mano del alemán Nicolaus Otto, en el año 1876, cuando patentó el primer MCIA bajo el nombre de *gasmotor*.

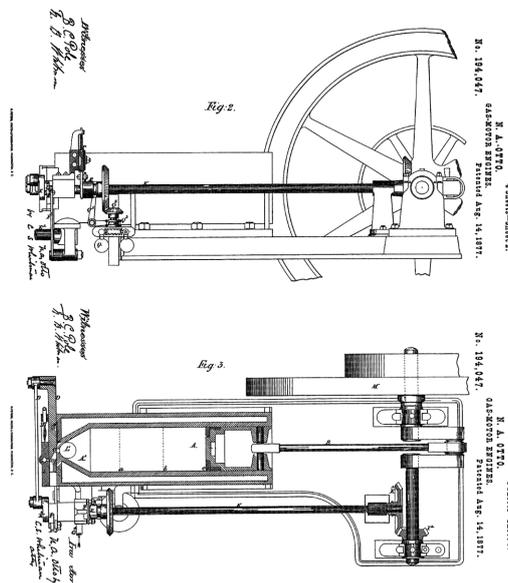


Figura 1.1 Dibujo de la patente de Nicolaus Otto del motor de gas. Fuente: "Motores de combustión interna alternativos" Prof. F. Payri, Prof. J. M. Desantes.

Consiguió desarrollar la primera máquina de combustión interna funcional e implementar el ciclo teórico de volumen constante de 4 tiempos donde se proponía una compresión de la carga previa a la combustión, idea que ya fue planteada por el francés Alphonse Eugène Beau de Rochas, pero que no fue llevada a la práctica.

El motor desarrollado por Otto, basado en evoluciones de antecesores como la máquina de vapor, asentó las bases de los motores de combustión interna alternativos (MCIA) tal y como son conocidos en la actualidad.

El posterior desarrollo de los MCIA, donde nacen los motores de encendido provocado (MEP) y motores de encendido por compresión (MEC), hicieron posible evolucionar los sistemas de transporte, tanto marítimos como terrestre durante los siglos XIX y XX.

Desde hace unos años, se está tratando desprestigiar a los MCIA intentando ser sustituidos por motores propulsados eléctricamente (ME), ya que existe una corriente de pensamientos que creen firmemente en que es la solución para los problemas de emisiones contaminantes en el planeta.

El MEC es el más criticado debido a sus elevadas emisiones en NOx y partículas, aunque actualmente mediante el uso de catalizadores y DPF (Diesel Particulate Filter), están casi solventados. A pesar de las críticas, el MEP se mantiene siendo la opción más viable a la hora de propulsar un vehículo, es por eso que a día de hoy cuando las marcas tratan de desarrollar motores híbridos, donde se utiliza propulsión eléctrica y térmica, se suele hacer uso de motores de encendido provocado.

Las redes de transporte actuales no están preparadas todavía para soportar un parque automóvil totalmente eléctrico por falta de la infraestructura necesaria, como por ejemplo los puntos de carga.

Es por ello que en un futuro cercano todavía seguirán existiendo motores de combustión y en concreto, motores de encendido provocado, los cuales siguen siendo objeto de estudio y de mejoras, cumpliendo con las normativas medioambientales y obteniendo a su vez las máximas prestaciones.

1.2. Antecedentes

El estudio sobre el cual se basa este trabajo de fin de grado forma parte de un proyecto donde trabajan conjuntamente la multinacional "Renault Group S.A." y el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos (CMT) de la Universitat Politècnica de València (UPV). El departamento cuenta con tres edificios y un cuarto finalizando su construcción.

En el departamento se realizan numerosísimos proyectos de investigación respecto a diversos campos de estudio relacionado con los MCIA.

Combustión

La actividad de esta línea está centrada fundamentalmente en la formación de sustancias químicas nocivas reguladas, consumo de combustibles y la reducción de CO₂ enfocándose en los procesos de combustión convencionales y nuevas tecnologías de la combustión, diversos modos de inyección y nuevos combustibles.

Gestión del aire

En esta línea se realiza el estudio de la renovación de la carga de las distintas configuraciones de motores, desde la entrada de aire limpio hasta la salida de gases de escape, haciendo hincapié en turbogrupos, post-tratamientos de gases de escape o la optimización del flujo de aire en motores de dos y cuatro tiempos, tanto de encendido provocado como por compresión.

Gestión térmica

Es la línea de investigación más extensa, donde se abordan toda la problemática relacionada con la transferencia de calor en el motor.

Sus proyectos abarcan desde nuevos conceptos y estrategias sobre los sistemas de refrigeración, hasta arranques en frío buscando reducir tiempos de calentamiento (temperatura agua-aceite óptimos), pasando por procesos para recuperar pérdidas de calor y aprovechándolas en nuevas tecnologías de vehículos híbridos, optimizando tiempos de uso de las baterías.

Control de ruido

En esta línea se estudian las fuentes de ruido provocadas en los MCIAs, procesos debidos a la existencia de movimiento o rozamiento entre partes que generen ruidos no deseados. Un ejemplo puede ser el ruido generado por el grupo de sobrealimentación formado por la turbina-compresor, o la admisión del aire, como también la atenuación del sonido de escape. Otras fuentes de ruido son provocadas en la combustión, niveles y calidad o la mejora de polímeros que absorban vibraciones y ruidos generados por el motor (Silent-blocks).

Cálculo científico (CFD)

Esta línea se centra en el modelado 3 dimensiones (3D) mediante "Computational Fluid Dynamics" la evolución de los fluidos en cualquier elemento del motor.

Flujos de aire en turbogrupos, aerodinámica externa o evolución de la combustión dentro del cilindro. Sobre todo, da soporte a muchas actividades experimentales dentro del grupo CMT.

Mantenimiento de máquinas

Se centran en la implementación de planes de mantenimiento efectivo sobre todo enfocados a grandes flotas de vehículos, como es el caso de la EMT.

Realizan análisis de lubricantes y combustibles y planifican las paradas para revisiones en función de lo obtenido en análisis, basándose en mantenimientos preventivos o predictivos.

E-Mobility

La última incorporación al departamento, donde se están buscando alternativas a la movilidad convencional.

En este caso se está apostando fuertemente en los motores alimentados por pila de hidrógeno, aunque será destinado a cualquier tipo de plantas propulsivas, siendo un edificio polivalente y que será inaugurado a lo largo del año 2022.

1.3. Objetivos

Los objetivos del presente estudio se recogen a continuación:

- Instrumentación, instalación y puesta en funcionamiento del modelo HR12 de la multinacional "Renault" en un banco de pruebas basado en un banco de ensayos dinámico y en una sala de ensayos con todos los parámetros completamente controlados.
- Analizar el comportamiento del motor con las nuevas propuestas de mejoras respecto al funcionamiento de la versión enviada por el fabricante, realizando la conversión de motor sobrealimentado a aspiración natural, con el fin de ser hibridado en un futuro.
- Estudio de distintas configuraciones del colector de admisión para la optimización del rendimiento del motor mediante el sintonizado y el cruce de válvulas del sistema de distribución.

1.4. Motivación

La motivación que ha llevado a la empresa a firmar un convenio de investigación en el que el autor ha participado activamente se exponen han sido los que se exponen a continuación:

1. En el mercado de turismos, año tras año, las normativas medioambientales van endureciéndose más, limitando o incluso restringiendo cierto tipo de emisiones. En Europa, los límites de sustancias químicas nocivas regladas están reguladas actualmente por las normativas EURO.

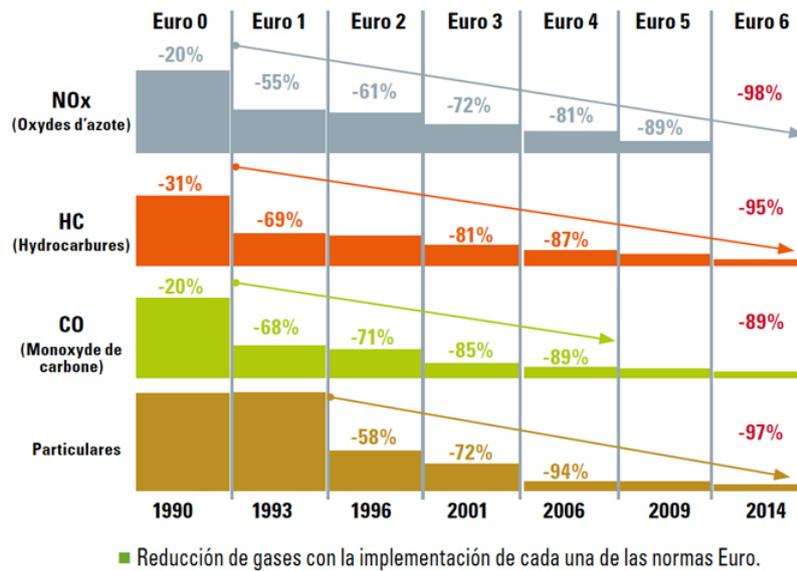


Figura 1.2 Evolución de las normativas EURO.

2. Tras la Euro 6, surgieron la Euro 6c (2018) y finalmente la Euro 6d (2019), actualmente en vigor y más restrictiva.
3. Las homologaciones de dichas emisiones solían medirse mediante procedimientos NEDC (New European Driving Cycle), donde se realizaban 4 modos de conducción en bancos de potencia. Desde el año 2018, entró en vigor el procedimiento WLTP (World Harmonized Light-duty Vehicle Test Procedure) y con la normativa de la EURO 6c. Este tipo de ensayos se realizan mientras el vehículo está circulando, por lo que se consiguen valores de medición muy próximos a la realidad.

1.5. Estructura del trabajo

Para comprender cómo estará organizado el trabajo, se ha desarrollado la siguiente estructura:

- Documento 1: Memoria descriptiva
- Documento 2: Anexo 1 Planos
- Documento 3: Anexo 2 Pliego de condiciones

Memoria

En la memoria se desarrollan los distintos puntos de interés que conforman el proyecto, estructurada en siete capítulos.

- En el **primer capítulo**, se realiza una introducción al trabajo, presentando y poniendo en situación al lector la descripción del proyecto. Comenzando por un marco global, donde se intenta hacer un barrido sobre la historia de los MCIA desde sus inicios hasta la actualidad. Seguido de antecedentes y objetivos, es decir, las razones por las cuales se realiza el proyecto de investigación y cuáles fueron sus motivaciones.
- En el **segundo capítulo**, se abordarán todos los conceptos teóricos para la completa comprensión sobre los MCIA. Diferenciando los motores de encendido por compresión (MEC) y de encendido provocado (MEP), además de los ciclos de dos tiempos y cuatro tiempos, los tipos de inyección o comentando conceptos básicos como la sobrealimentación.
- En el **tercer capítulo**, se realiza una descripción en profundidad sobre el MEP objeto del estudio. También se destacan las peculiaridades del mismo y se comentarán con todo detalle.

- En el **cuarto capítulo**, se hará una descripción exhaustiva sobre el entorno experimental, la sala de ensayos y diferentes dispositivos que los forman. Además, se comenta la instrumentación utilizada en el motor y los programas de control necesarios para realizar los ensayos. En la segunda parte del capítulo, se explican cuáles son los procedimientos a realizar a la hora de poner a punto la bancada de ensayos, antes de la colocación del motor. Por otra parte, también se explicará cómo se acopla un motor recién llegado del fabricante en un banco de pruebas "universal" así como las diversas modificaciones o adaptaciones que se han realizado.
- En el **quinto capítulo**, se expondrán todas las medidas y el análisis de los resultados y cálculos obtenidos de los ensayos, lo cual compone el capítulo más informativo de todo el proyecto, donde se observará realmente el funcionamiento en el modelo HR12.
- En el **sexto capítulo**, tras el análisis de los resultados experimentales, se exponen una serie de conclusiones resolutivas y concluyentes para, en este caso, la empresa Renault.
- En el **séptimo capítulo**, se realiza el presupuesto del proyecto donde se calculan y detallan los costes en mano de obra, equipos e instrumentación y material, necesarios para la realización exitosa del proyecto.

Anexos

En este apartado se adjuntan una serie de archivos que contienen información relevante para la ejecución del proyecto, pero que no están contemplados dentro del documentos anterior.

Se adjuntan los planos debidos a diseños de piezas necesarias para acoplar o adaptar el motor a la sala.

Por otra parte, se adjunta el pliego de condiciones correspondiente al proyecto.

1.6. Resumen

Este trabajo se ha realizado basándose en un gran proyecto, debido a la colaboración entre el IU CMT Motores Térmicos y la multinacional "Renault Group S.A." siendo su finalidad poner a punto el HR12 al que se le ha eliminado el sistema de sobrealimentación de serie, funcionando en aspiración natural y haciendo hincapié en la importancia del sintonizado de los colectores, buscando que el motor trabaje en sus puntos más óptimos, ya que se espera que en un futuro trabaje conjuntamente acoplado con un motor eléctrico que suplirá la deficiencia de par que pueda sufrir el motor de combustión a causa de eliminar el efecto de la sobrealimentación mediante el turbogrupo. Para ello, será necesario realizar un colector de admisión desde cero, en este caso se optó por la impresión 3D en poliamida.

Capítulo 2

Descripción General del MCIA

Este capítulo está enfocado a entender cuáles son las distintas configuraciones de motores de combustión interna alternativos existentes hasta el momento. Con el fin de definir cuáles son las diferencias básicas entre MEC/MEP, atmosférico/sobrealimentado o 2T/4T.

2.1. Motor encendido provocado (MEP)

2.1.1. Encendido de la mezcla

La característica fundamental se encuentra en el proceso de encendido de la mezcla aire-combustible y su posterior combustión.

A la hora de provocar la combustión de la mezcla homogénea aire-combustible, es necesario el aporte de energía externa en un punto de la cámara de combustión (normalmente en el centro) para que se inicie la propagación del frente de llama.

Cabe tener en cuenta los límites de inflamabilidad de la mezcla que se inyecta a lo largo de la carrera de admisión y no debe autoinflamarse hasta la llegada a las cercanías del punto muerto superior (PMS) de la carrera de compresión.

2.1.2. Formación de la mezcla

El inyector se puede colocar tanto en el colector de admisión o precámara, como en el cilindro. El tiempo que tiene para la formación de la mezcla cuando se inyecta en el colector de admisión es la duración de aproximadamente una vuelta de cigüeñal, es decir, durante la carrera de admisión y compresión. Mientras que cuando se inyecta directamente en la cámara de combustión durante la fase de admisión, el tiempo para formarse la mezcla es menor.

2.1.3. Regulación de la carga. Inyección directa (DI)

La inyección del combustible se realiza directamente en la cámara de combustión. La regulación de la carga depende del punto de funcionamiento del motor; variando entre sí está trabajando a plena carga o a carga parcial se buscará formar un tipo de mezcla homogénea o mezcla estratificada.

Cuando trabaja a plena carga, la inyección se realiza en la fase de admisión, dando tiempo a que se realice una mezcla homogénea de aire-combustible dentro de la cámara de combustión

Trabajando a carga parcial, se utiliza una mezcla estratificada. En este caso se realiza una mezcla que tenga un dosado rico local en la proximidad de la bujía y un dosado global pobre en toda la cámara de combustión. Este concepto es comúnmente conocido como regulación "cualitativa".

Para ello, influyen factores como la forma y duración del chorro, la posición del inyector o la forma de la cámara de combustión.

2.1.4. Regulación de la carga. Inyección indirecta (IDI)

En la inyección indirecta se busca una mezcla homogénea en toda la cámara de combustión con un dosado lo más próximo al estequiométrico en todo el volumen.

Para modificar la carga, se ha de modificar la masa de combustible y aire proporcionalmente, tratando de no modificar el dosado. Este concepto es comúnmente conocido como regulación "cuantitativa".

El volumen de aire admitido por el cilindro es aproximadamente el mismo, independientemente del régimen de giro del motor. Por lo tanto, la única forma de modificar el gasto de aire admitido es variando la densidad del aire, para ello se utiliza una válvula de estrangulamiento en la admisión, modificando así la presión de admisión.

2.1.5. Potencia y rendimiento

El proceso de formación de la mezcla y el hecho de trabajar en el dosado estequiométrico, es decir, toda la masa de aire es utilizada para quemar el combustible, se traduce en un gran trabajo por ciclo.

Los MEP son característicos por tener una elevada potencia específica (potencia por unidad de cilindrada) a pesar de que no tienen un gran rendimiento térmico, debido a las altas temperaturas con las que trabajan y sus elevadas pérdidas por transmisión de calor.

2.2. Motor encendido por compresión (MEC)

2.2.1. Encendido de la mezcla

Para el encendido de la mezcla, es necesario que el combustible esté mezclado con aire y además una elevada temperatura teniendo en cuenta que la combustión se produce por el autoencendido de la mezcla.

Para ello, se realiza la inyección en la cámara de combustión y se mezcla con el aire ya presente en las cercanías del PMS hacia el final de la carrera de compresión.

Esto implica un grado de dificultad extra para el sistema de inyección, por el corto período de tiempo para realizarse la mezcla de aire-combustible.

El proceso de formación de la mezcla permite realizar una regulación de la carga sencilla a través de la regulación del combustible inyectado independientemente del aire.

2.2.2. Formación de la mezcla

Para la formación de la mezcla, es necesaria la atomización y evaporización del combustible líquido y así facilitar la formación de la mezcla aire-combustible.

En los MEC la inyección del combustible se realiza a altas presiones, facilitando así el proceso comentado anteriormente.

Normalmente, el autoencendido de la mezcla suele suceder antes de que finalice la inyección, es decir, la combustión se realiza a la par que se aporta el combustible. Lo que significa que no se suele conseguir una mezcla completamente homogénea, de ahí que se utilice el tipo de mezcla estratificada, sobre todo en los motores de inyección directa.

2.2.3. Regulación de la carga. Inyección directa (DI)

Los MEC de inyección directa utilizan una presión de inyección del combustible muy elevada en comparación con los MEP. Esto es debido a que, al tener el inyector colocado directamente en la cámara de combustión, el tiempo para realizarse la mezcla es menor y por lo tanto es necesario acelerar este proceso, la solución se encuentra en atomizar el combustible.

A mayor presión de inyección, mayor atomización y velocidad de vaporización en partículas más pequeñas, lo que se traduce en una mayor rapidez en la mezcla con el aire presente en el cilindro.

Para provocar el autoencendido de la mezcla en el arranque del motor, sobre todo en situaciones extremas de frío, se hace uso de pre-calentadores. Los pre-calentadores son esencialmente unas resistencias térmicas colocadas en la dirección del chorro, facilitando así el calentamiento hasta el punto de ignición de la mezcla en la primera inyección y por lo consiguiente de la primera detonación.

2.2.4. Regulación de la carga. Inyección indirecta (IDI)

El funcionamiento de los MEC de inyección indirecta está basado principalmente en realizar la mezcla aire-combustible en una precámara, ubicada en la culata y conectada con el cilindro mediante un orificio diminuto, con el fin de acelerar el fluido en su entrada al cilindro.

El hecho de inyectar fuera de la cámara principal del cilindro facilita la formación de la mezcla combustible-aire debido a que tiene más tiempo para homogeneizarse la mezcla.

Normalmente, no necesitan de tan elevada presión de inyección como los DI.

2.2.5. Potencia y rendimiento

Debido al proceso de formación de la mezcla, los MEC no son capaces de trabajar en dosados globales altos o cercanos al estequiométrico.

El hecho de trabajar con dosados relativamente pobres, con exceso de aire, significa que durante la combustión no se utiliza toda la masa de aire en el proceso de combustión. Por lo tanto, a una misma masa de aire admitida y cilindrada que un MEP entregan menos potencia.

Por otra parte, debido a la capacidad de trabajar con relaciones de compresión más elevadas y dosados relativamente bajos, las temperaturas alcanzadas durante la combustión no son excesivamente altas. El realizar una combustión a temperaturas más reducidas en comparación a los MEP, suponen un incremento en el rendimiento térmico del ciclo superior.

2.3. Motor atmosférico

En los motores atmosféricos la presión de admisión y a su vez la densidad del aire, son del orden del atmosférico o de ambiente.

En este caso la configuración de la admisión del motor es sencilla. Estaría formado por filtro de aire, tobera de admisión y colector de admisión.

Debido a este hecho, la potencia de los motores se ve muy limitada ya que, llegados a un punto, no son capaces de admitir más masa de aire. Si el volumen del sistema de admisión es fijo y se necesita aumentar la masa de aire que entra en el cilindro, es necesario aumentar la densidad del propio aire. Para ello se utilizan sistemas de sobrealimentación.

2.4. Motor sobrealimentado

La sobrealimentación de un MCI se basa principalmente en el aumento de la densidad del aire de admisión a través del aumento de la presión de admisión. El aumento de la presión de admisión se realiza mediante el uso de un compresor, aumentando el gasto de aire que entra en el cilindro.

El hecho de aumentar el gasto másico del aire en la cámara de combustión permite el aumento de gasto de combustible y mantener el dosado, lo que se traduce en un aumento de potencia.

2.5. 2 Tiempos

Un motor es considerado de 2 tiempos cuando la secuencia de admisión, compresión, combustión-expansión y escape, se realizan en una vuelta de cigüeñal o dos carreras de pistón. Esto se consigue realizando en la carrera ascendente del pistón, simultáneamente la admisión y compresión. Por otro lado, la combustión-expansión y escape, durante la carrera descendente.

Realmente la distinción entre admisión y escape no está muy bien definida, puesto que al no existir válvulas que abran y cierren, al estar el pistón en el PMI, las dos lumbreras quedan al descubierto.

El uso de este tipo de motores está muy extendido sobre todo en maquinaria agrícola y ciclomotores, es decir, motores de baja cilindrada. Además, los barcos de gran tamaño también utilizan motores de dos tiempos.

2.6. 4 Tiempos

Cuando la secuencia de admisión, compresión, combustión-expansión y escape, se realizan en dos vueltas de cigüeñal o cuatro carreras de pistón, el motor es considerado de 4 tiempos. Es decir, durante la carrera descendente del pistón se realiza la admisión, hasta el PMI. A continuación, asciende realizándose el proceso de compresión, hasta el PMS. Después, desciende otra vez realizando el ciclo de combustión-expansión, hasta el PMI. Finalmente, vuelve a ascender realizando el proceso del escape, llegando al PMS.

La renovación de carga, tanto de admisión y escape, se regulan mediante válvulas que tienen las aperturas y cierres sincronizadas con el giro del cigüeñal mediante la distribución.

Estos motores actualmente son utilizados en la gran mayoría de vehículos motorizados, a excepción de la maquinaria agrícola y ciclomotores comentados anteriormente.

Capítulo 3

Motor de Encendido Provocado ensayado en el Proyecto

En este capítulo se definirán las especificaciones técnicas del motor sobre el cual se desarrollará el proyecto, en este caso el HR12. Además, se destacarán una serie de novedades o peculiaridades de este motor respecto a sus antecesores.

Con estos antecedentes, se revisarán los sistemas correspondientes al sistema de recirculación de gases (conocido comúnmente como "EGR") o montar un turbogruppo con TGV. También como novedad, este motor monta una batería de 48V para alimentar sistemas auxiliares y tiene un circuito de refrigeración un tanto complejo. Por otra parte, se comentarán los cambios realizados posteriormente para adaptar el motor a los requerimientos del ensayo, los cuales principalmente pasa por la eliminación del turbogruppo de sobrealimentación y el sistema de recirculación de gases, e instalar un nuevo colector en su lugar.

3.1. Especificaciones técnicas

El motor HR 12 es un modelo desarrollado por la compañía Renault Group S.A., el cual, a día de hoy continua en fase de experimentación, lo que significa que ningún vehículo en la actualidad lo monta.

Las especificaciones técnicas que conforman el HR 12 se muestran a continuación:

Características	Valores
Cilindrada	1199 cm ³
Nº cilindros	4
Potencia nominal	96kW / 130 Cv
Par	230 Nm
Régimen máximo	6500 rpm
Método de inyección	Directa
Combustible	Gasolina sin plomo 95

Tabla 3.1: Especificaciones técnicas HR12

Teniendo en cuenta que las curvas de par y potencia respecto al régimen de giro tienen sus máximos desplazados. El par alcanza su máximo a 1750 rpm y se mantiene hasta 3500 rpm, después empieza a caer de forma progresiva. A su vez, la potencia alcanza su máximo en 4750 rpm. Por lo tanto, nunca se obtiene un punto de funcionamiento en el cual se esté trabajando con par y potencia máxima.

3.2. Sistema de sobrealimentación

El HR12 dispone de un sistema de sobrealimentación. El turbogrupo que monta de serie en este caso es de la marca Garrett. La novedad en este sistema está en el uso de turbinas con geometría variable, TGV, sustituyendo al obsoleto sistema de wastegate.

La tecnología TGV permite una sencilla y precisa regulación de la velocidad de los gases de escape en la turbina. Abriendo o cerrando los álabes del estator, aceleramos o deceleramos el rotor y como consiguiente la acción del compresor. La regulación de la geometría del estator se realiza mediante el uso de un vástago accionado por un motor eléctrico y comandado por la ECU.

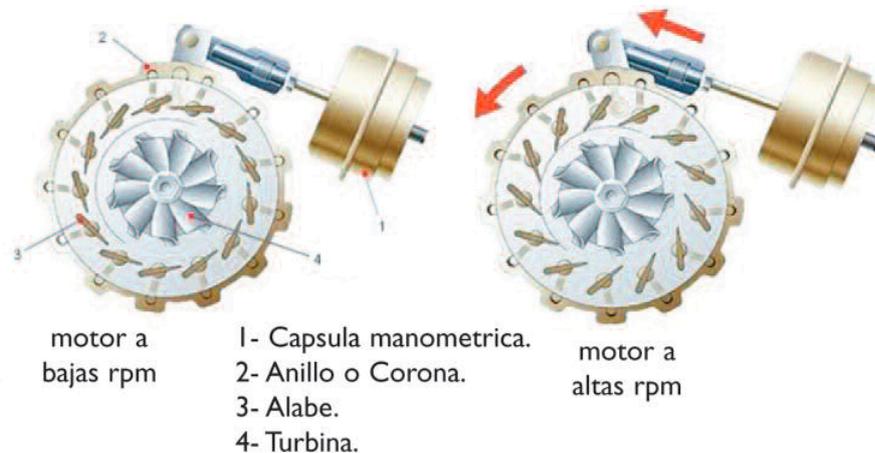


Figura 3.1 Turbina de geometría variable. Fuente: "Apuntes PoliformaT" Asignatura Motores Térmicos.

3.3. Sistema de recirculación de gases de escape

En este modelo se incorpora el sistema EGR de baja presión, donde se busca reducir las emisiones contaminantes, en concreto los NOx. El hecho de ser de baja presión significa que los gases de escape se recogen después del post-tratamiento y se recirculan antes del compresor, trabajando cerca de la presión atmosférica en todo momento. Mediante un intercambiador de carcasa-tubo, se hace circular agua refrigerante del motor con el fin de enfriar los gases de escape del sistema EGR para que lleguen a la admisión a una temperatura que no supere los 40 °C.

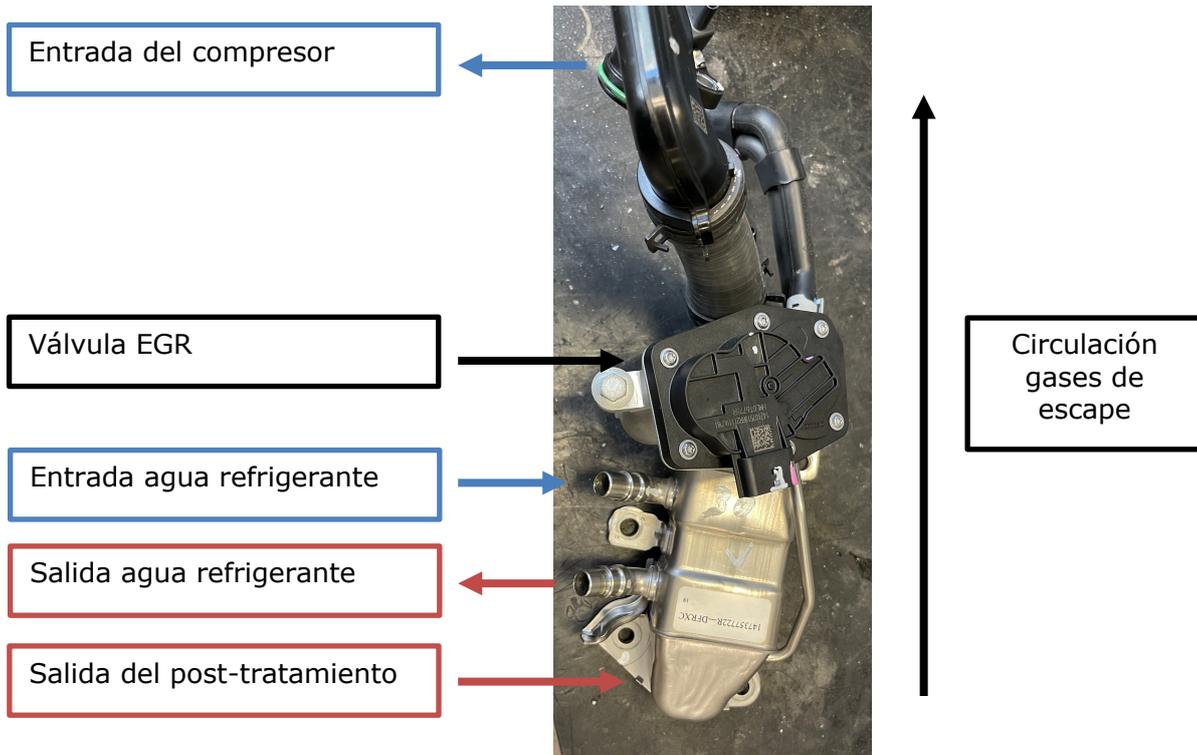


Figura 3.2 Sistema de recirculación de gases

3.4. Tecnología microhíbrida

Para cumplir con la actual normativa EURO y poder ser homologado para circular por la vía pública, el HR12 ha incorporado una batería de 48V recargada por un alternador-generador para accionar una serie de elementos auxiliares y que anteriormente eran accionados mediante el giro del motor, como es el caso de la bomba de agua. El HR12 de Renault pertenece a la categoría de motores microhíbridos que principalmente combinan motor de combustión y un segundo motor eléctrico.

El motor eléctrico incorporado se encuentra sustituyendo al motor de arranque tradicional, con más potencia y que entrará en funcionamiento en ciertos momentos puntuales. Este motor eléctrico aporta entre 10 y 20 CV más de potencia al conjunto del motor y consigue reducir el consumo de combustible y las emisiones NOx y de CO₂.

La diferencia principal diferencia de la tecnología microhíbrida respecto a la híbrida está en el modo de conducción. Un vehículo que instale un motor microhíbrido no puede funcionar únicamente con el motor eléctrico, necesita del motor de combustión funcionando constantemente. Es una hibridación ligera, pero ya dispone de la etiqueta de vehículo ECO emitida por la DGT, pudiendo disfrutas así de las ventajas de los vehículos eléctricos.

3.5. Circuito de refrigeración

El HR12 cuenta con 3 circuitos de refrigeración totalmente independientes. El primero de ellos, el circuito convencional que tiene como finalidad circular por el bloque, el intercambiador de calor de la válvula EGR y el calentador del aire acondicionado. Es cierto que también tiene un selector de línea para hacerla pasar por el WCAC, calentando el aire de admisión en situaciones de extremo frío. Para refrigerar el circuito se utiliza el radiador principal.

Por otra parte, el circuito de baja temperatura o "Low temperature circuit" se utiliza para refrigerar el alternador-generador y la otra línea del WCAC que enfría el aire de admisión. Para mantener este líquido refrigerante a una temperatura relativamente fría, se utiliza un radiador independiente al principal.

Por último, existe un tercer circuito que tiene como única función, circular a través de la batería de 48 V y el convertidor de tensión, ya que son elementos de elevado coste y muy delicados cuando trabajan a temperaturas elevadas.

3.6. Modificaciones realizadas

Para la realización del análisis, el cual tiene como propósito el estudio del sintonizado de los colectores de admisión, se tuvieron que realizar una serie de modificaciones que se exponen a continuación:

- Se eliminó el sistema de sobrealimentación, por lo que todo el sistema de admisión y escape fue modificado.
- Hizo falta diseñar y realizar una nueva unión del bloque al colector de admisión, a su vez instrumentada en la admisión al cilindro para las medidas de presión y temperatura de los gases circulantes para poder realizar balances energéticos.

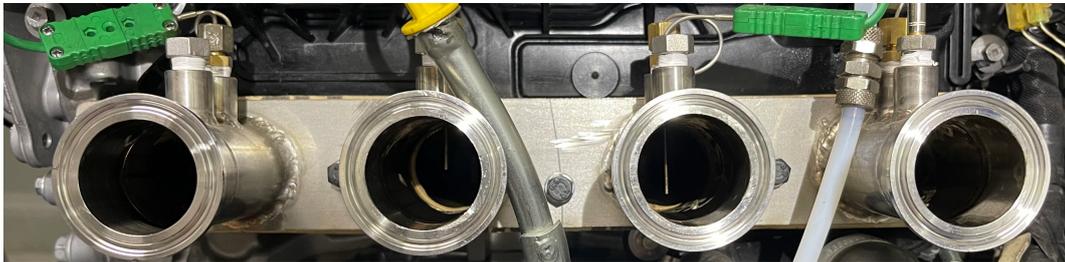


Figura 3.3 Unión colector admisión y bloque motor

- El sistema de escape también fue modificado, puesto que de origen partía del bloque motor y no de la salida de turbina, por lo que hizo falta realizar algo muy similar a la admisión.
- El sistema EGR, al tener una geometría muy limitada debido a que los motores originales montan todos los componentes de la forma más compacta posible, fue también objeto de modificación al tener que ser adaptada a la nueva configuración del motor.
- El sistema de refrigeración también sufrió modificaciones. La toma que hacían llegar el refrigerante al eje del turbocompresor fue anulada. Por otra parte, el WCAC fue eliminado puesto que, sin sobrealimentación, no era necesario refrigerar el aire de admisión y por lo tanto su respectivo circuito de baja temperatura también fue eliminado, manteniéndolo únicamente para el alternador. Finalmente, el tercer circuito mencionado en el apartado anterior que tenía como función principal refrigerar la

batería de 48V y su convertidor de tensión, no llegó a instalarse ya que la alimentación de los componentes proviene de una fuente de alimentación externa.

- Finalmente, el colector de admisión fue rediseñado por completo, tal y como se muestra en la figura 3.4. El hecho de realizarlo en 3D poliamida fue por la versatilidad a la hora del diseño y la libertad que podía brindar a la hora de hacer modificaciones durante el transcurso del estudio. Todas las uniones simulan uniones "Clamp", facilitando así su montaje y desmontaje mediante abrazaderas. Además, se mecanizaron cuatro cilindros huecos de 10cm de longitud con el fin de ser usados como extensiones para los conductos primarios y así realizar ensayos a distintos volúmenes de admisión. El colector está diseñado para poder acoplar en futuros proyectos el sistema EGR, tanto mono como multi punto.



Figura 3.4 Colector admisión (impresión 3D)

Capítulo 4

Entorno experimental

El entorno experimental engloba todas las herramientas necesarias para la realización del ensayo en condiciones totalmente controladas. Desde la instrumentación y sistemas de adquisición de datos hasta el ensamblaje del motor en la bancada, pasando por todas las adaptaciones realizadas para que el conjunto funcione correctamente.

4.1. Sensores y sistemas de adquisición

A la hora del montaje de sensores y sistemas de adquisición en sala es muy importante llevar una buena organización. Esto es debido a que son dispositivos susceptibles al fallo, en especial los sensores ya que trabajan en condiciones adversas. Concretamente, en la sala de ensayo con ambiente climatizado, los sensores y sistemas de adquisición, pueden estar funcionando en una jornada a -20°C debido a los requerimientos del ensayo, y en otra estar trabajando a 30°C . Por lo que se debe conocer a la perfección la localización de estos dispositivos dentro de sala para posibles reparaciones o sustituciones, si fuera necesario.

Por otra parte, los sistemas de adquisición deben estar conectados a la tierra eléctrica(masa) con el fin de que no aparezca ruido eléctrico en las señales y por lo tanto pueda dar lugar a un falseo de la medida. Para ello, simplemente utilizando cualquier elemento conductor, ya sea en forma de varilla o cable trenzado de masa, se ponen en contacto todos los sistemas de adquisición. De esta forma, se obtienen medidas más limpias y se pueden detectar posibles fallos de funcionamiento o errores observando las medidas.

Todos los datos que se obtienen de cada ensayo son guardados en unidades del sistema internacional, facilitando así la labor del procesado de datos.

4.1.1. Sensores de temperatura

Las medidas de temperatura son indispensables a la hora de realizar cualquier ensayo en un motor basado en temperaturas de funcionamiento. Brindan una fuente muy fiable de información sobre la evolución de la temperatura en puntos fundamentales del motor, empezando en el filtro de aire y terminando por el escape, por lo que permite localizar cualquier anomalía en un instante de tiempo. Además, son de gran utilidad a la hora de procesar los datos y responder incógnitas del proyecto.

Los sensores más comunes y además lleva incorporado el HR12 son:

Termopar de tipo K

Los termopares son sensores para medir temperatura. El termopar tiene dos metales diferentes y unidos por un extremo, cuando esta unión sube o baja de temperatura, generan un voltaje proporcional a la variación que tiene su correlación respecto a la temperatura.

Los termopares de tipo K son los más comunes en aplicaciones industriales. La versión más común utiliza combinaciones de materiales NiCr-Ni o NiCr-NiAl. En atmósferas oxidantes son capaces de soportar hasta 1.200°C. En función de la localización o las temperaturas que vaya a soportar el termopar, se debe escoger el diámetro más adecuado. Los de mayor diámetro teóricamente soportan más temperaturas, pero funcionan peor a bajas temperaturas debido a que tiene que calentarse una mayor superficie. En los de menor diámetro sucede lo contrario.

Por otra parte, son termopares muy susceptibles a las vibraciones, en el interior del recubrimiento se halla un pequeño filamento cerámico que se suele quebrar con facilidad y es la principal causa de fallo de este tipo de termopares, aunque desde fuera no se aprecie la rotura. Para minimizar este fallo, se suele utilizar un punto posterior a la vaina, para fijarlos al motor o a la estructura consiguiendo así que vibren en conjunto como un sólido rígido termopar y motor.

En la tabla 4.1 se pueden apreciar todos los termopares de tipo K instalados en el motor HR12 del proyecto, detallándose la zona donde se encuentran instalados, el nombre de la variable que tiene dentro del programa de control y adquisición "PUMA" y su descripción.

Termopar	Nombre	Descripción
AGUA	T_COOLANT_IN	Temperatura del agua refrigerante a la entrada del bloque
	T_COOLANT_OUT	Temperatura del agua refrigerante a la salida del bloque
ADMISIÓN	T_amb	Temperatura del aire ambiente
	T_IN_MANI_1	Temperatura del aire en el colector de admisión
	T_ADM_CYL_1	Temperatura del aire en la pipa de admisión del cilindro 1
	T_ADM_CYL_2	Temperatura del aire en la pipa de admisión del cilindro 2
	T_ADM_CYL_3	Temperatura del aire en la pipa de admisión del cilindro 3
ESCAPE	T_EXH_MANI	Temperatura del aire en el colector de escape
	T_GPF_IN	Temperatura del aire en la entrada al post-tratamiento
	T_EXH	Temperatura del aire en el escape
EGR	T_EGRLP_IN	Temperatura del agua refrigerante a la entrada del intercambiador del EGR
	T_EGRLP_OUT	Temperatura del agua refrigerante a la salida del intercambiador EGR
FUEL	T_FUEL_INJ_BF	Temperatura de la gasolina a la salida de la bomba de BP
ACEITE	T_OIL_GAL	Temperatura del aceite en el cárter

Tabla 4.1: Medidas de los termopares.

4.1.2. Medida del ángulo de giro del cigüeñal

Para controlar la posición relativa de giro del mecanismo biela-manivela y posición del émbolo dentro del cilindro, tomado como referencias los puntos PMS y PMI en cada ciclo, se utiliza el llamado "Crank Angle Encoder", (codificador angular) en este caso de la compañía Kistler.

La instalación del dispositivo está localizada en uno de los extremos del cigüeñal, lado contrario al volante motor, y gira a la par que el eje del cigüeñal. Es un dispositivo imprescindible de cara a referenciar todos los sistemas de medida que dependen de la posición del cigüeñal, como son los sensores de presión en cámara.

El funcionamiento del encóder no es muy complejo. El sistema está formado por una rueda dentada que gira al mismo régimen que el motor y un sensor óptico que registra el giro en función del número de veces que pasan dichos dientes. Permite diferentes configuraciones, dado que se puede obtener medidas cada $0,5^\circ$ o cada $0,2^\circ$ en función de si el régimen es bajo, $0,5^\circ$, o si el régimen es elevado, $0,2^\circ$, evitando así archivos de medida no muy pesados. Por ejemplo, con el encóder puesto en $0,5^\circ$ y sabiendo que un ciclo completo son 720° de cigüeñal, estaría realizando 1.440 "pulsos" por ciclo.

Gracias a este dispositivo se pueden observar una serie de parámetros de forma instantánea durante los ensayos, consiguiendo así una visión de lo que está ocurriendo dentro del motor "on line". Los sensores de presión instantánea junto con su electrónica permiten mostrar la evolución de la presión en cámara de forma gráfica. Por otra parte, parámetros como la energía desprendida por el combustible, el fenómeno del "Knocking" o el CA50, funcionan gracias a estar fasados los sensores con el giro del motor.



Figura 4.1 Encóder

4.1.3. Sensores de presión

Las mediciones de presión al igual que de temperatura, son parámetros básicos e imprescindibles a la hora de realizar un ensayo, tanto para saber que está sucediendo durante el ensayo, como para su posterior análisis y procesado de datos.

Sensor de presión media

Los sensores de presión media son del tipo piezorresistivos, lo que significa que su funcionamiento se basa en variar proporcionalmente su tensión de salida en función de la presión que recibe, obteniendo una gran precisión en la medida.

Tomando el siguiente sensor como ejemplo, su funcionamiento sería el siguiente:

Supply (Alimentación)	Output (Señal de salida)	Rango de trabajo
13 a 42V DC	0 a 10V DC	0 a 7 bar

Tabla 4.2 Características sensor presión media Kistler.

El sensor tiene que estar alimentado en un rango comprendido entre 13 a 42V de corriente continua. Por lo tanto, suponiendo que está midiendo 3,5 bar, presión que estaría situada dentro de su rango de trabajo. El sensor en este caso devolvería una señal equivalente a 5V.

Los sensores utilizados en el proyecto son de la marca "Kistler". Son perfectos para el uso que se les da durante los ensayos puesto que están diseñados con aislamiento térmico, soportando así las condiciones de medida a las que son sometidos. Existen una gran variedad de modelos y calibraciones para este tipo de sensores en función del uso que se le dará. No necesita las mismas características un sensor colocado en el filtro de admisión que un sensor colocado en el cárter del aceite. Es por ello que en el desarrollo e instrumentación se utilizan sensores con diferentes rangos de presión, siendo de 0 a 2 bar en puntos donde se trabaje a presión atmosférica o muy próxima a ella. Para zonas donde exista una elevada presión, como podría ser a la salida del compresor, se utilizan rangos de 0 a 6 0 a 7 bar. En el cárter del aceite, donde se llegan a valores de presión más elevados, se utilizan sensores con un rango de trabajo de 0 a 10 bar.

A continuación, se muestran los sensores instalados en el motor HR12 objeto de ensayo:

Presiones medias	Nombre	Rango (bar)	Descripción
AGUA MOTOR	P_COOLANT_OUT	0 a 2	Presión del agua refrigerante a la salida del bloque
	P_ATM	0 a 2	Presión del aire ambiente
ADMISIÓN	P_IN_MANI_2	0 a 6	Presión del aire en el colector de admisión
	P_EXH_MANI	0 a 7	Presión del aire en el colector de escape
ESCAPE	P_out_GPF	0 a 6	Presión de salida del filtro de partículas
	P_EGRLP_IN	0 a 2	Presión del agua refrigerante a la entrada del intercambiador del EGR
EGR	P_EGRLP_OUT	0 a 2	Presión del agua refrigerante a la salida del intercambiador EGR
	P_FUEL_INJ_BF	0 a 6	Presión de la gasolina a la salida de la bomba de BP
FUEL	P_OIL_GAL	0 a 10	Presión del aceite en el cárter
ACEITE			

Tabla 4.3 Medidas de las presiones

El propio motor ya lleva de fábrica una serie de sensores de presión media o presión diferencial que mandan la información a la centralita (ECU). Por ejemplo, el sistema de recirculación de gases (o EGR, Exhaust Gas Recirculating) lleva un módulo de presión diferencial. El filtro de partículas (o GPF, Gasoline Particulate Filter) es muy susceptible a verse obstruido, por lo que la presión diferencial ayuda a la ECU a conocer cuál es el estado y si se está viendo obstruido, lo que influiría directamente con un incremento de presión entre la entrada y la salida. Como solución, la ECU retrasaría la inyección o realizaría una post-inyección, aumentando así la temperatura en el escape y favoreciendo la eliminación de partículas sólidas, como hidrocarburos inquemados.

Sensor de presión instantánea

El requerimiento de medidas como la presión en cámara o en colectores de admisión y escape de forma instantánea, hace necesaria la instalación de un tipo de sensores más específicos que trabajen a alta frecuencia debido a la naturaleza del ensayo. En primer lugar, a la hora de buscar una mayor precisión y detectar mínimas variaciones en un mismo instante de tiempo, siendo una fuente de información más fiable cuando se busca comparar, por ejemplo, dos ensayos de similar régimen y carga. Por otra parte, en un ciclo equivalente a dos vueltas de cigüeñal y que sucede en menos de un segundo en la gran mayoría de regímenes, pueden llegar a suceder una gran cantidad de fenómenos inapreciables por un sensor de presión diferencial. El "Knocking" o "picado" es un fenómeno indeseable que sucede dentro de la cámara de combustión y que es posible cuantificar gracias a este tipo de sensores.

- Presión instantánea en cámara

Los sensores de presión instantánea en la cámara de combustión tienen como función principal la determinación de las variaciones de presión dentro de cámara, tanto para graficar la evolución de la presión en un ciclo completo, como para cuantificar los incrementos de presión debidos al fenómeno del Knocking.

Para la medida de la presión en cámara, la única forma de acceder al cilindro sin realizar modificaciones excesivas o de elevado coste, es a través de la bujía. En los MEC se utiliza el hueco de los pre-calentadores, que son sustituidos por el sensor de presión. En este caso al ser un MEP y siendo imprescindible el uso de las bujías para el inicio de la combustión de la mezcla, se utilizan unas bujías muy específicas que contienen el sensor de presión incluido en ellas, como se puede observar en la figura 4.3.



Figura 4.2 Bujía instrumentada (AVL).

En el proyecto se utilizan las bujías instrumentadas de la compañía "AVL". El sensor que contienen estas bujías es de los más importantes y de mayor coste de todo el proyecto, es capaz de medir hasta 200 bar con una sensibilidad y precisión dignos de admirar. Se utilizaron una bujía instrumentada por cada cilindro, pudiendo así observar y determinar en todo momento cuál era la fenomenología dentro de las cámaras de combustión.

El fenómeno del Knocking es debido a una cierta inestabilidad en la combustión. Cuando la bujía enciende la mezcla, el frente de llama empieza a deflagrarse a lo largo del cilindro. Las zonas donde existe mezcla sin quemar o con restos de gases de escape del ciclo anterior, se empiezan a comprimir contra las paredes debido a que el frente de llama avanza ocupando todo el espacio. Cuando estos restos de la combustión anterior son comprimidos, se reduce su volumen y por lo tanto aumenta la temperatura y la presión apareciendo un autoencendido de estos, provocando otro frente de llama con distinta dirección y generando una inestabilidad en la combustión. Otro desencadenante podría ser un combustible que no tuviera el octanaje suficiente para soportar la relación de compresión del motor, lo que provocaría que, en la etapa de compresión de la mezcla, este se auto inflamará antes de llegar a las cercanías del PMS, desencadenándose picos de presión e inestabilidades a lo largo de la cámara de combustión.

Estos picos de presión pueden perjudican los recubrimientos de las paredes de los cilindros, que tienen como objetivo que los pistones no se fundan con las paredes debido a las elevadas temperaturas.

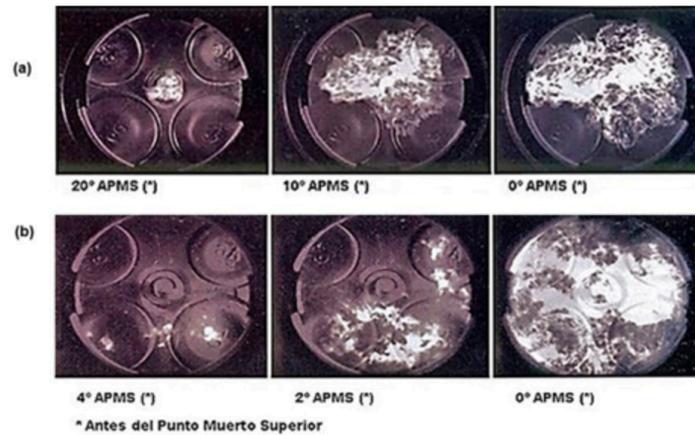


Figura 4.3 Fenómeno del Knocking. Fuente: "Apuntes PoliformaT" Asignatura de Motores Térmicos.

Respecto a la figura 4.4, en las instantáneas de la primera fila, se observa una evolución del frente de llama bastante lineal hasta llegar al PMS. Naciendo 20° antes del PMS la llama en el centro de la cámara de combustión, donde se encuentra la bujía (o spark). Por el contrario, en la segunda fila antes de producirse el inicio de la combustión la mezcla por la acción de la bujía, ya existen pequeños frentes de llama dispersos por el cilindro debidos probablemente por auto inflamaciones. Conforme el cilindro se acerca al PMS la situación empeora, surgiendo más frentes de llama aleatoriamente y siendo una combustión de la mezcla descontrolada.

Para evitar este fenómeno o que desencadene en una situación peligrosa para el funcionamiento del motor, actualmente los motores disponen de un sensor, en concreto un acelerómetro, colocado en el bloque motor que es capaz de medir las variaciones en la presión. Estas variaciones son transmitidas a la ECU que realiza una serie de correcciones ya sea en el punto de encendido, dosado, régimen o grado de admisión, para frenar y hacer desaparecer el problema.

- Presión instantánea en colector de admisión y escape

Además de conocer la presión instantánea en cámara, otras variables importantes a tener en cuenta son la presión en admisión y escape en cada instante. Conocer las variaciones que suceden en cada ciclo de combustión durante las aperturas de válvulas, ya sea para la admisión de aire fresco o expulsar los gases, brinda una valiosa información. En motores de combustión sobrealimentados, tiene mayor importancia la instrumentación de estos puntos puesto que se observa la presión en el colector de escape y por lo tanto la expansión que sucederá en la turbina. Por otra parte, y como consecuencia de lo anterior, el trabajo de compresión que está aportando el compresor a la admisión.

Para ello, se utilizaron dos modelos de sensores diferentes, dependiendo de las temperaturas de trabajo:

- En la admisión se utilizó el modelo 4007D de Kistler, con una métrica M5x0,5. Este sensor es capaz de trabajar con temperaturas comprendidas en el intervalo desde -40°C hasta 200°C , límite que no será superado bajo ninguna circunstancia puesto que en la admisión está establecido por el fabricante como recomendación no superar 38°C . El rango de presiones en las que trabaja es de 0 a 5 bar. El sensor piezorresistivos utiliza el método del puente de Wheatstone generando una señal eléctrica, proporcional a la presión que recibe, recubierto por un diafragma de silicona. Gracias a esta configuración, el sensor es capaz de medir variaciones de temperatura mínimas con un mínimo error.



Figura 4.4 Sensor presión absoluta Kistler modelo 4007D.

- En el escape se utilizó el modelo 4049B de Kistler, con una métrica M14x1,25. Este sensor es capaz de trabajar con temperaturas máximas de 1.100°C. El fabricante establece que la temperatura máxima en el colector de escape debe estar como máximo alrededor de 960°C, por lo que el sensor resiste perfectamente las exigencias de los ensayos. La peculiaridad de este modelo es que requiere de un sistema de refrigeración independiente, siendo las dos tomas libres, tal y como se ve en la figura 4.6. El funcionamiento del sensor es mediante un puente de Wheatstone, similar al anterior. La única diferencia con el modelo 4007D, es que entre el elemento de medida y el diafragma de metal existe una cavidad llena de aceite, formando una película de protección adicional.



Figura 4.5 Sensor presión absoluta modelo 4049B.

4.1.4. Medida del combustible

La medición y suministro del combustible se realiza mediante una balanza de combustible de la compañía "AVL", llamada "Fuel Balance AVL7335".

El depósito de gasolina general se encuentra apartado de las salas de ensayo, en una sala dedicada exclusivamente para combustibles, utilizando un depósito de 400L que se va rellenando manualmente mediante barriles de 200L. La balanza utiliza una bomba de baja presión para hacer llegar el combustible a la sala.

La medición del consumo de combustible la realiza mediante una serie de cálculos que realiza el propio sistema. La balanza tiene un depósito que rellena continuamente con una capacidad de 2kg, siendo la densidad de la gasolina de 0,72 kg/L, equivale aproximadamente a 2,77L de combustible. Por lo tanto, sabiendo la masa de combustible que salen de la balanza midiendo la deformación de una galga extensiométrica, la balanza es capaz de mostrar en pantalla el gasto másico de combustible en (kg/s). Esta medida no es de especial importancia durante el transcurso del ensayo, pero sí que proporciona muchas respuestas en el posterior tratamiento de los datos a la hora de comparar con otros ensayos o si el estudio está enfocado a medir la eficiencia o consumo del motor.



Figura 4.6 Balanza de combustible AVL.

Es cierto que mediante el caudalímetro del filtro de aire y la medida de gasto de combustible de la balanza se puede sacar la variable A/F (denominada dosado), que teóricamente en un MEP debería estar en un valor próximo a 14 para estar en estequiométrico. A su vez, es imprescindible el uso del sistema de medida de gases, Horiba, ya que mediante la sonda que se instaló antes del sistema de post-tratamiento, se mide el valor de la relación A/F también. La ECU es capaz de medir el dosado mediante la sonda lambda, la cual mide el oxígeno en los gases de escape, siendo "1" el dosado estequiométrico. Teniendo estos 3 parámetros en cuenta, se pueden llegar a conclusiones respecto a si el conjunto está funcionando correctamente y saber si está entrando y saliendo la mezcla de fuel-aire correcta.

4.1.5. Medida del caudal de aire

Para el desarrollo de los ensayos y su posterior estudio no hizo falta la instalación de un equipo externo de medida del gasto de aire en la admisión (caudalímetro). Es cierto, que el propio motor ya dispone de un caudalímetro situado a continuación del filtro de aire de admisión, que trabaja conjuntamente con el sistema de inyección para conseguir la mezcla estequiométrica en cualquier punto de funcionamiento.

4.1.6. Medida de par y régimen de giro del motor

Para realizar los ensayos, es necesario el uso de un freno o dinamómetro que se haya instalado en el banco de ensayos, alineado con el eje de giro del motor. Este, en concreto, es un modelo 2SD3-25.C-50I.V4-1BGN-FLA de la empresa AVL, con las características resumidas en la siguiente figura.

Características	Valor
Número de polos	2
Potencia nominal	200 KW
Par máximo	478 Nm
Tensión	370 V
Intensidad	371 A
Frecuencia	67,6 Hz
Régimen máximo	8000 rpm
Inercia del rotor	0,86 Kg ^m ²
Masa total	850 Kg

Tabla 4.4 Características del freno AVL

El freno tiene ciertas limitaciones respecto a puntos de par y régimen concretos que se han de tener en cuenta a la hora de acoplarlo con un motor. Para ello se comparan las curvas características de par-potencia del freno y del motor, evitando así que bajo ninguna circunstancia el motor haga trabajar al freno en puntos de funcionamiento críticos.

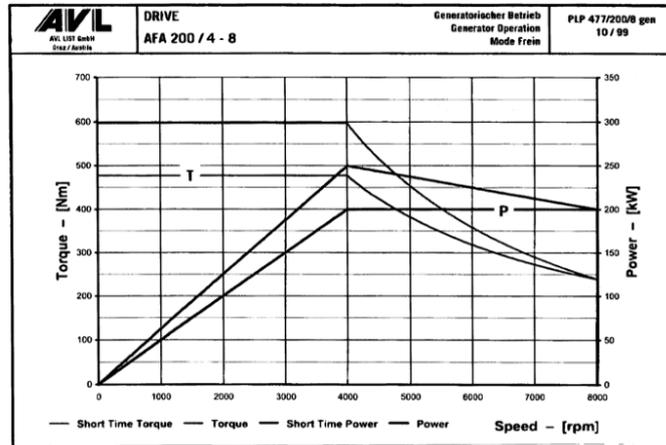


Figura 4.7 Curvas características de par y potencia del freno

4.2. Sistemas de medida y control durante los ensayos.

Para la realización de los ensayos en un banco de potencia, son necesarios una serie de métodos de control y visualización de que es lo que está sucediendo realmente en la sala de ensayo.

Para ello es necesario la utilización de programas como PUMA de la compañía AVL o STARS de la compañía HORIBA. Mediante estos programas se puede realizar un control del freno dinamómetro y además visualizar todos los sensores instalados en el motor y la sala.

Por otra parte, se suelen utilizar ECU que permiten la manipulación de sus variables, con el fin de poder modificar sus parámetros en el transcurso del ensayo, buscando siempre los puntos de trabajo óptimos. Para ello se hace uso del programa informático INCA.

4.2.1. Lectura de sensores

Durante el transcurso del ensayo, la gran cantidad de sensores y parámetros a visualizar, ya sean instalados en el motor, en el banco o en la sala, son tratados por un único programa. En este caso, la sala tiene instalado el programa informático PUMA, puesto que el freno es de la empresa AVL.

Además de los programas informáticos, son necesarios la instalación de una serie de módulos o sistemas de adquisición, encargados de recibir la información analógica de los sensores, transformarlo en una señal digital, procesarla y organizarla y finalmente mostrar los datos por pantalla. Dando una visión clara de lo que está sucediendo al técnico de sala.

Todos los sensores instalados en el monitor, ya sea por parte del departamento o por parte del fabricante, necesitan de procesar su información. Los termopares o sensores de presión media, al funcionar a frecuencias relativamente bajas, del orden de 20Hz, son capaces de ser procesados por el mismo módulo de AVL. A diferencia de los sensores de presión instantánea que al trabajar a frecuencias muy elevadas y depender del régimen de giro y del encóder, requieren de un procesado de datos más complejo, por lo que disponen de un amplificador de señal y programa independiente.

Por lo tanto, a continuación, se muestra la interfaz gráfica que muestra el programa informático PUMA por pantalla, donde se pueden observar las variables de temperatura medidas por los termopares y las presiones medidas por los sensores de presión media. Además, como se puede observar, en la esquina izquierda superior se pueden observar tres relojes donde se mide la velocidad en RPM, el par motor en Nm y la cantidad de pedal, que tiene como consigna en ese punto el freno.

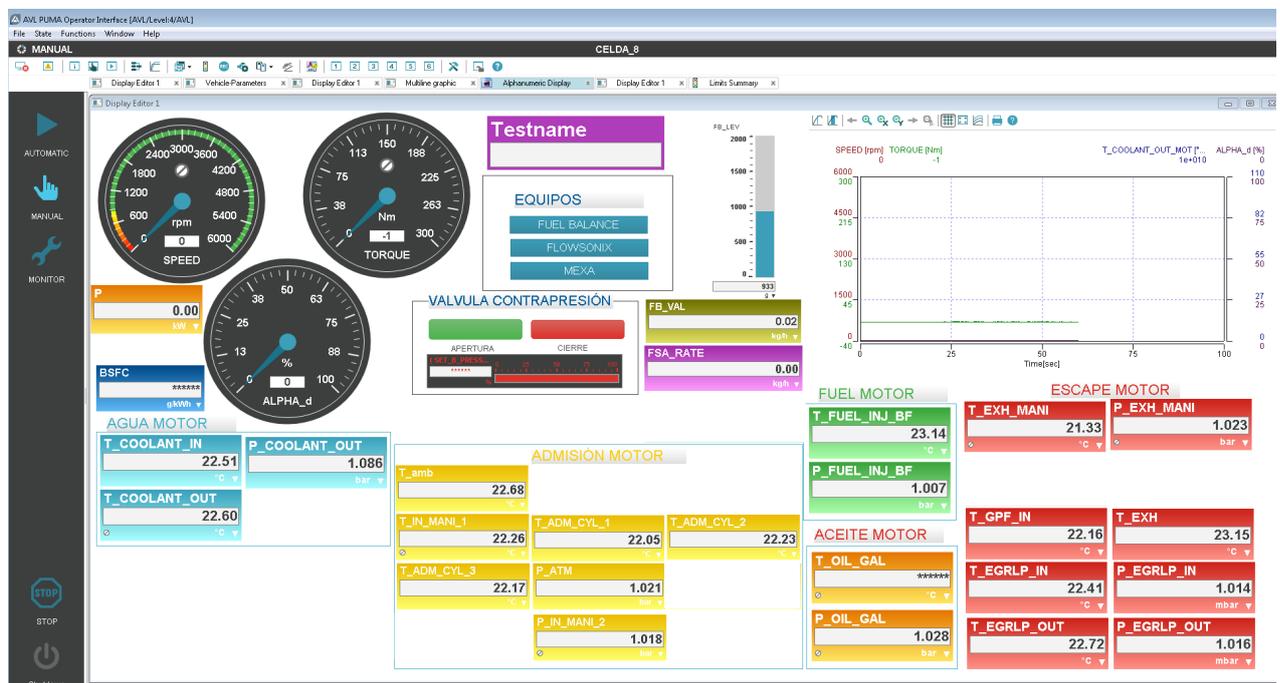


Figura 4.8 Ventana de visualización de variables PUMA

El hecho de observarse las variables por bloques de distintos colores facilita el trabajo del técnico a la hora de localizar la variable deseada de forma más rápida. Se diferencia en 5 grupos que son: Agua motor, admisión, escape, fuel y aceite.

Cabe destacar el recuadro de color naranja junto a los relojes de RPM, Par y pedal, el cual muestra la potencia que está entregando el motor en ese instante. La medida no se obtiene por ningún sensor en concreto, es un simple cálculo a partir del par y el régimen de giro.

Profundizando en cada bloque, en primer lugar, el bloque de color azul está enfocado a brindar la información necesaria del agua refrigerante del motor. Al funcionar mediante intercambiadores carcasa-tubo y no mediante un radiador, debido a la ausencia de corrientes de aire, es necesario monitorizar que el agua refrigerante entra y sale a la temperatura correcta. Además de la temperatura, se conoce la presión de salida del agua. Para regular el agua que

circula por el intercambiador, se hace uso de unas válvulas que controlan el flujo, evitando así un posible sobre enfriamiento del agua refrigerante.

A continuación, se encuentran las medidas relacionadas con la parte de admisión del motor, en concreto en los bloques de color amarillo. Se intentaron ordenar temperaturas y presión, en función de su evolución a lo largo del motor, empezando por temperatura y presión ambiente hasta temperatura en las pipas de admisión, siendo este el último punto antes de entrar a la cámara de combustión.

El siguiente gran bloque de información, es el que aparece en color rojo. Contiene valores relacionados con el escape del motor. Similar al caso anterior, se trataron de ordenar temperaturas y presiones siguiendo su evolución desde el colector de escape hasta el propio escape. Cabe destacar que son valores que se consultan constantemente durante los ensayos debido a que, en puntos de alta carga, se alcanzan valores límite en zonas como el colector de escape, que se deben tener en cuenta y no superar bajo ningún concepto. Para ello, se pueden crear una serie de alarmas, que superadas estas temperaturas límite, el motor entra en un modo de seguridad, bajando la carga. Temperaturas y presiones de entrada y salida de la EGR también son parámetros que se incluyen dentro de este bloque.

Otras variables a conocer y de especial importancia durante un ensayo es la presión y temperatura del aceite. Se ha de tener en cuenta que la temperatura del aceite debe oscilar entre los 90 y 95°C para que este en su punto de funcionamiento óptimo. Además, la presión en el cárter, dependiendo del punto de carga, puede oscilar entre los 5 y 8 bar de presión. Valores fuera de los rangos mencionados, significaría que algo no está funcionando correctamente y que el cárter se está presurizando. Por ejemplo, se realizó un ensayo en otro motor y sala dentro del departamento. La peculiaridad de este ensayo era que se tenía que hacer a -20°C en una cámara frigorífica y el objeto del ensayo, observar como los vapores que circulaban por el blow-by se condensaban, congelaban y taponaban el circuito, obstruyendo la salida de los gases generados en el cárter y presurizándolo. La presurización del cárter puede tener consecuencias desastrosas.

El uso de una bomba de baja presión para hacer llegar el combustible a la bomba de alta presión del motor provoca un aumento en la temperatura del fuel a medida que se aumenta el trabajo de la bomba. Para contrarrestar la temperatura aportada por la bomba se utiliza un intercambiador. Se extrae una parte del mismo a la salida de la bomba, se pasa por el intercambiador y se reintroduce a la entrada de la bomba. A su vez, mediante una llave de paso instalada antes del intercambiador, permite regular el caudal de combustible que se refrigera, pero además también cumple la función de aliviar presión. Buscando siempre que la bomba de baja presión trabaje sobre los 7 bar de presión.

Finalmente, el gráfico muestra las variables de par, régimen, temperatura de salida del agua refrigerante y el porcentaje de pedal, todas ellas en vivo, permitiendo observar anomalías o alteraciones en el transcurso del ensayo.

4.2.2. Control de sistemas de la sala

El programa PUMA además de mostrar las lecturas de la instrumentación instalada en el motor, también permite el control de sistemas instalados en la bancada o sala. El freno o la balanza son los principales sistemas auxiliares que controlar.

El programa informático PUMA dispone de pantallas independientes para cada sistema, donde permite una gran variedad de modos de control y parámetros a modificar, normalmente se establece una configuración predeterminada.

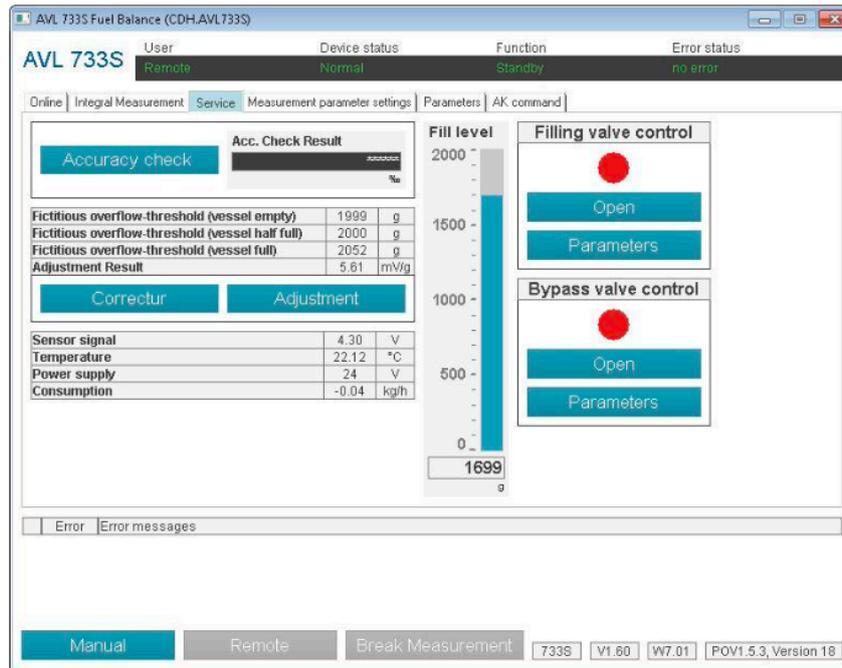


Figura 4.9 Ventana de control de la balanza de combustible PUMA

La figura 10 corresponde a la ventana de control de la balanza de combustible. En ella se muestran todas las opciones de configuración que permite el programa, que a su vez despliegan más opciones. La más útil en este caso es la mostrada en la figura, donde se observa la cantidad de combustible (g) que queda en la balanza, ya sea numérica o gráficamente. También se muestra la alimentación de la balanza, a 24V y el gasto de fuel que está proporcionando, además de su temperatura.

El modo que se utiliza en los ensayos es el siguiente. Se activa la función de "fill continuous", de esta forma cuando el motor en funcionamiento consume todo el combustible de la balanza, esta automáticamente se rellena. Hay que tener en cuenta que el proceso de llenado no suceda durante la medición de un ensayo, puesto que la balanza deja de medir y registrar el consumo. Para ello, podemos llenar manualmente en cualquier momento, evitando así que interrumpa la medición.

El freno o dinamómetro, es uno de los sistemas auxiliares más importantes a la hora de realizar un ensayo, puesto que es el encargado de simular condiciones reales, con el fin de llevar al motor a distintos puntos de carga o funcionamiento. Al estar conectados freno y motor por el mismo eje, el control del freno es a su vez el control del funcionamiento del motor. Por lo tanto, es un sistema el cual se ha de poder controlar.

Para realizar su control existen diversos modos, aunque los más utilizados son:

- Idle: En este modo, el motor se encontraría a ralentí, es decir dando par 0, por lo que el freno estaría ofreciendo 0 resistencia.
- Speed/Alpha: En este modo, se han de establecer dos parámetros fijos, régimen de vueltas y pedal. Consiguiendo así un par determinado.

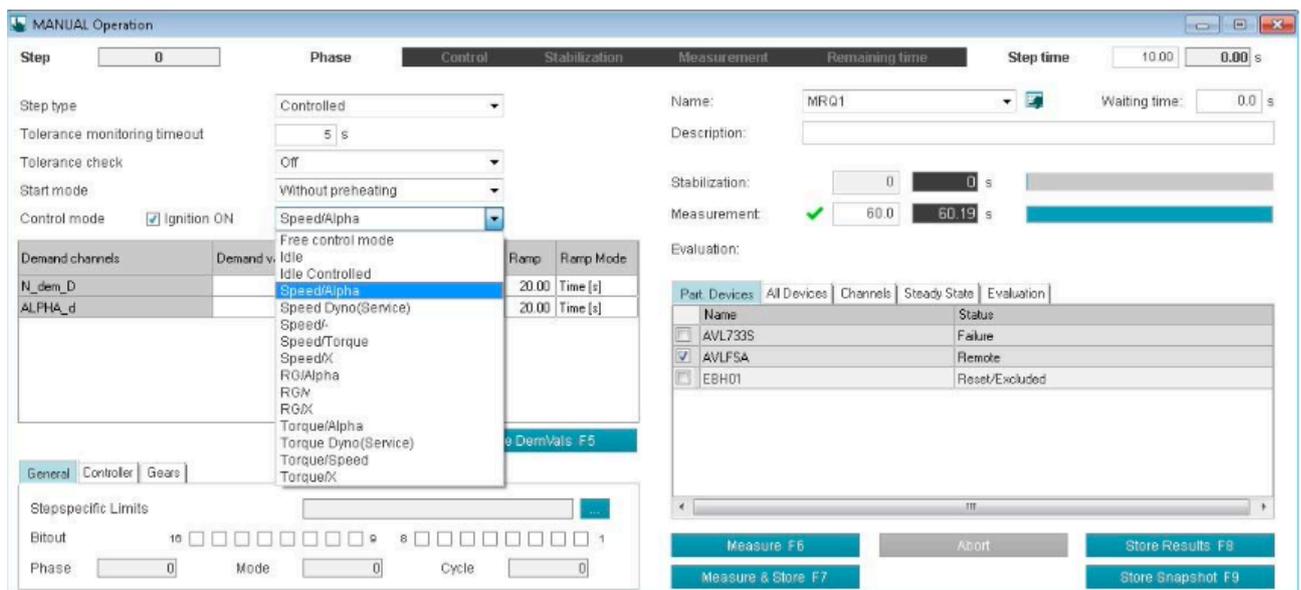


Figura 4.10 Ventana de control del freno PUMA

Además de los modos comentados anteriormente, existen gran variedad de ellos como se observa en la figura 11. En los ensayos se utilizó el modo régimen de giro/ pedal de acelerador (Speed/Alpha), controlando el régimen de giro mediante el freno y el acelerador, que se controla igual que en los vehículos, en función de una señal eléctrica enviada en este caso por el programa de control PUMA. Así se consigue un control excelente del punto de funcionamiento.

A la hora de cambiar de punto de funcionamiento, por ejemplo, de uno de baja carga a otro de alta carga, es importante no hacerlo bruscamente. Para ello, se establece un tiempo determinado en el que se realice el transitorio, en el recuadro "Ramp".

4.2.3. Lectura y control de parámetros del motor

A la hora de monitorizar y controlar los distintos parámetros de un motor, se ha de recurrir a la ECU. Todos los motores están gobernados por su propia ECU, considerado el cerebro del motor, ya que envía, recibe y procesa información, comparándola con los mapas del motor, sabiendo así en todo momento si el motor está funcionando correctamente.

Para poder modificar los parámetros de funcionamiento del HR12, se necesitan ECU abiertas o parcialmente abiertas, que permitan el ser modificadas y así conseguir los puntos de funcionamiento concretos requeridos por los ensayos.

El programa informático INCA de la empresa ETAS, permite acceder a la ECU mediante un tipo de conexión denominada CAN y permite el monitorizado de las variables que contiene la ECU y los valores que esta utilizando para cada una de ellas mientras el motor está en marcha y a su vez modificarlos, cambiando así los mapas del motor que la ECU pueda llevar predeterminados.

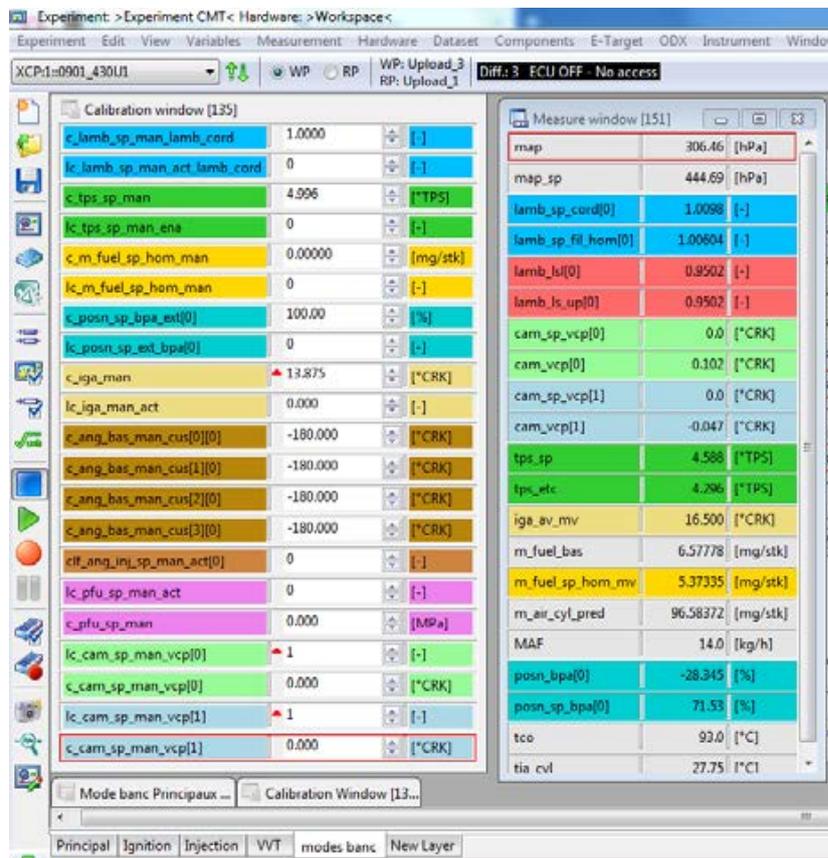


Figura 4.11 Ventana de control de INCA

El hecho de calibrar un motor y programar una ECU es un trabajo muy laborioso. El proveedor del motor, en este caso Renault, proporcionó un archivo que contenía la configuración de la ECU con todas las variables del propio motor. A la hora de ensayar, no son necesarias que se muestren todas las variables existentes, puesto que pueden rondar las 50.000, por ello se realiza una selección de las más importantes o interesantes de cara al proyecto, formando así una pantalla como la que se muestra en la figura 4.12.

Aun así, no todas las variables mostradas son modificadas durante los ensayos, puesto que a la hora de regular carga no son influyentes. Es cierto, que los nombres de las variables pueden dar pie a la confusión ya que no tienen nombres claros, eso es debido a que son abreviaturas utilizadas por el fabricante. Para evitar posibles errores de entendimiento, el fabricante adjuntó una hoja de Excel donde indicaba a que medida pertenecía junto a una breve descripción. Las variables utilizadas o susceptibles a ser modificadas durante los ensayos son las siguientes:

	INCA	Descripción
LECTURA	map	Valor de lectura de la ECU de gasto de aire
	map_sp	Lectura del "Set point" de gasto de aire establecido
	lamb_sp_fil_hom [0]	Lectura del "Set point" de lambda establecido
	lamb_ls [0]	Valor de lectura de la ECU de la segunda sonda lambda
	lamb_ls_up[0]	Valor de lectura de la ECU de la primera sonda lambda
	Cam_sp_vcp[0]	Lectura del "Set point" apertura de válvulas adm establecido
	Cam_vcp[0]	Valor de lectura de la ECU de la apertura de válvulas de admisión
	Cam_sp_vcp[1]	Lectura del "Set point" apertura de válvulas escape establecido
	Cam_vcp[1]	Valor de lectura de la ECU de la apertura de válvulas de escape
	Tps_sp	Lectura del "Set point" de apertura mariposa admisión
	Tps_etc	Valor de lectura de la ECU de apertura mariposa admisión
	Iga_av_mv	Valor de lectura de la ECU del avance de encendido de chispa
	CONTROL	C_lamb_sp_man_lamb_cord
lc_lamb_sp_man_act_lamb_cord		Interruptor de control de lambda (0-off,1-on)
C_tps_sp_man		Valor de control de apertura de mariposa adm
Lc_tps_sp_man_ena		Interruptor de control de mariposa adm (0-off,1-on)
C_posn_sp_hpa_ext[0]		Valor de control de la TGV
lc_posn_sp_ext_bpa[0]		Interruptor de control de la posición TGV (0-off,1-on)
C_iga_man		Valor de control del avance de encendido
Lc_iga_man_act		Interruptor de control del avance de encendido (0-off,1-on)
C_cam_sp_man_vcp[0]		Valor de control de la apertura de válvulas de admisión
Lc_cam_sp_man_vcp[0]		Interruptor de control de la apertura de valv. Adm. (0-off,1-on)
C_cam_sp_man_vcp[1]		Valor de control de la apertura de válvulas de escape
Lc_cam_sp_man_vcp[1]		Interruptor de control de la apertura de valv. Escape(0-off,1-on)

Tabla 4.5 Variables INCA

4.3. Preparación de la bancada

La preparación de la bancada es un proceso indispensable previo a la realización de los ensayos. En ella se instalan y ensamblan el motor y los diversos sistemas auxiliares.

La bancada está formada por cuatro perfiles IPE, dos a dos enfrentados, formando railes donde posteriormente se anclan las torretas, así como componentes indispensables para el funcionamiento del motor. Debido a que el motor está constantemente vibrando, tanto el motor como sus periféricos y el propio freno motor están anclados a la misma bancada, de esta forma todos los sistemas vibran de forma solidaria con el motor. A su vez la bancada dispone de muelles en todos sus apoyos, absorbiendo así cualquier tipo de oscilación o vibración.

Las dimensiones de la bancada dependen del motor que se vaya a ensayar, los valores típicos en las instalaciones del IUI CMT Motores Térmicos son del orden entre 1,5-2,5m de longitud y una anchura estándar de 1m, dependiendo su longitud de si lleva el freno acoplado a la misma bancada o, por el contrario, el freno se coloca fuera de ella por lo que la bancada se reduce considerablemente.

En el caso de la sala de ensayo de este trabajo, donde se desarrolla el proyecto, la bancada contiene freno y motor por lo que se trata de una bancada de grandes dimensiones.

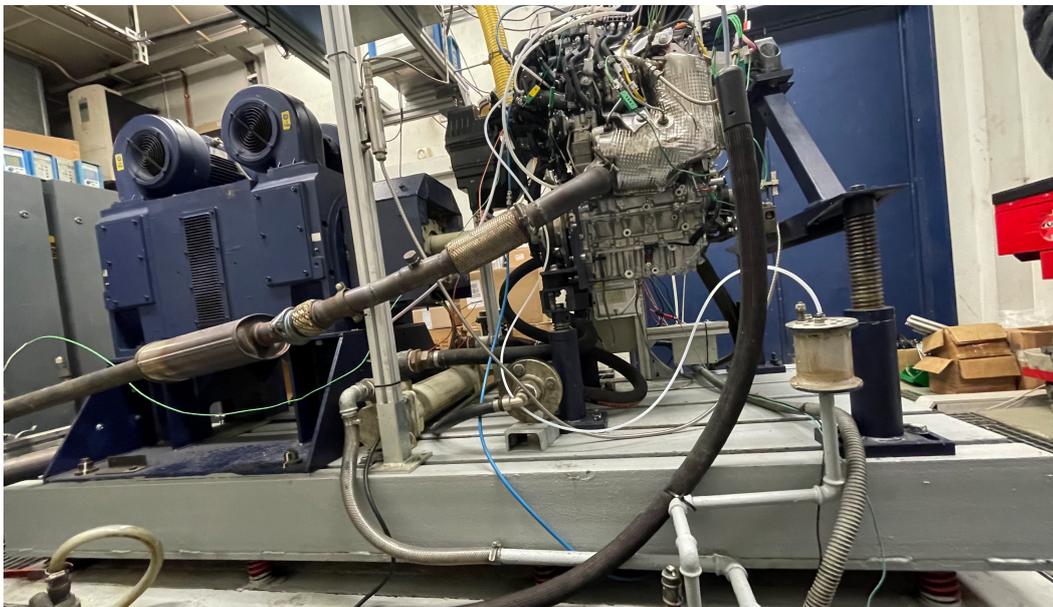


Figura 4.12 Banco de ensayos freno-motor del trabajo del proyecto estudiado.

4.3.1. Regulación

A la hora del acople del motor, sabiendo que cualquier movimiento del freno está restringido, ha de tener la libertad el motor de moverse en los 3 ejes espaciales.

Eje Vertical

Para la regulación vertical se utilizan unos apoyos llamados "torretas" que funcionan mediante un sistema similar al tornillo sin fin, por lo que ofrecen un gran rango de regulación en altura. Se utilizan 4 torretas en total, pudiendo regular así a la perfección la altura en 4 puntos del motor. En el caso de este motor, se requería mayor altura de las torretas en el lado donde se sitúa la correa auxiliar de bomba de agua, compresor del aire acondicionado y alternador.



Figura 4.13 Tornillo de potencia de las torretas.

Eje longitudinal

Para la regulación longitudinal, gracias al rail formado por los dos perfiles IPE, se puede realizar una regulación respecto al desplazamiento a través de la bancada, acercando o alejando el motor del freno. Se utiliza un método tornillo-pletina, posibilitando el anclaje de las torretas en cualquier punto del rail.



Figura 4.14 Rail regulación longitudinal de las torretas.

Eje transversal

Para la regulación transversal, los anclajes de las bases de las torretas tienen un ranurado con el cual ofrece una libertad de 3 cm por cada lado, siendo posible hacer pequeñas aproximaciones para el equilibrado.

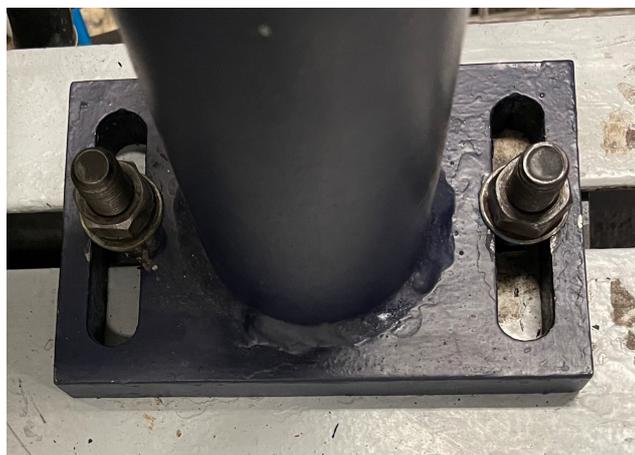


Figura 4.15 Ranurado base torreta.

4.4. Preparación del motor

El motor es enviado de origen por el propio fabricante. Por lo tanto, para poder montarlo en un banco de potencia, poder realizar mediciones y obtener resultados a través de ensayos, son necesarios una serie de procedimientos previos.

Mientras el HR12 se encuentra en el taller *de mecanizados que tiene el propio IU CMT*, se realiza una primera aproximación una vez colocado en la posición final. Así se comprobó que no existiera ningún obstáculo o estuviera en una mala posición respecto a la toma de aire y escape de la sala. Por suerte, en esta misma sala ya se había estado trabajando con la empresa "Renault" y antecesores del modelo HR12 por lo que las posiciones de admisión y escape eran similares (aunque no iguales).

Una vez comprobada la viabilidad del montaje y a priori bastante favorable, se pasó a la acción.

Finalizado el trabajo de instrumentación de los componentes más susceptibles realizado en el taller, llegó el momento de transportarlo a la sala de ensayos y colocarlo en su lugar de trabajo, el banco de potencia. Con la ayuda de una carretilla elevadora, el polipasto y el nivelador (mecanismo de tornillo sin fin de color rojo en la figura 4.17), se planteó en su posición.

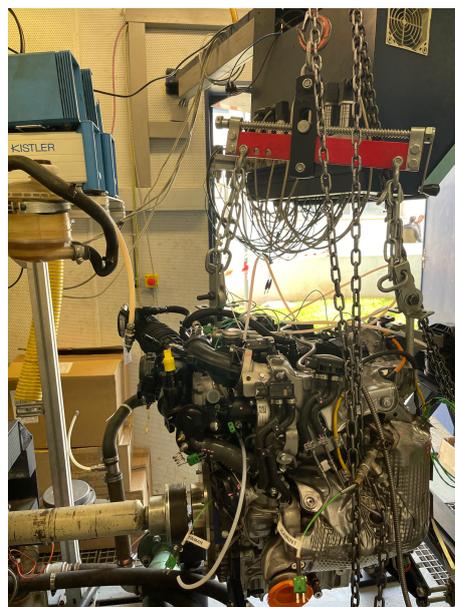


Figura 4.16 Planteamiento del motor en la bancada.

En este momento surge la necesidad de realizar una serie de accesorios extras para la correcta sujeción del mismo a la bancada.

En primer lugar, en la parte delantera o parte opuesta de donde iría la caja de cambios, el HR 12 dispone únicamente de un apoyo. El apoyo monta un silent-block de origen. Para hacer más estable la sujeción de esta parte se diseñó una estructura auxiliar en forma triangular o piramidal, consiguiendo distribuir el peso del único apoyo a lo largo de las dos torretas ancladas en la bancada.

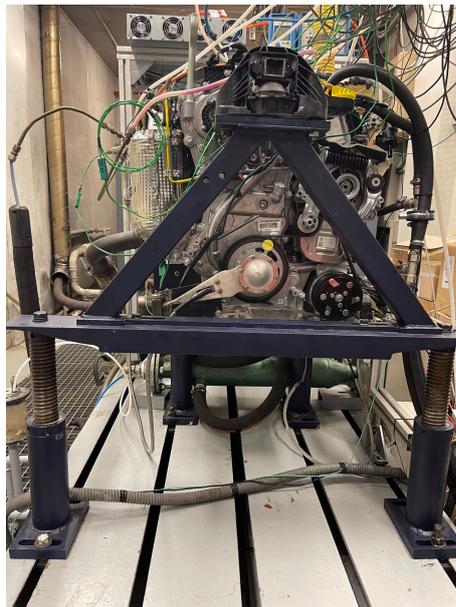


Figura 4.17 Triángulo de apoyo motor-torretas.

A continuación, puesto que el motor se monta sin caja de cambios, se utiliza su tornillería para sujetarlo a la bancada en la parte posterior por medio del diseño de una plancha. (véase en Anexos 1 Plano 1: Plancha soporte).

La plancha hecha a medida con pletina de acero de 3mm de espesor, cuenta con los agujeros para posteriormente atornillarle dos escuadras, que irán colocadas en los extremos, las cuales se atornillan a los silent-block de las torretas.

Es una parte muy importante del montaje ya que la plancha será la encargada de aliviar al eje del freno de la gran mayoría del peso del motor y de transmitir sus vibraciones a la bancada.



Figura 4.18 Plancha soporte posterior (azul).

Hasta el momento ya se tendría el motor sujetado por ambas partes, delantera y trasera, y anclado a cuatro puntos fijos.

Hay que tener en cuenta la forma de acoplar el volante motor con la transmisión del freno, la unión de mayor responsabilidad. De cara a realizar la unión, se diseña una pieza similar a un plato, con una parte plana que estará en contacto directo con el volante motor y unido mediante tornillería y una serie de tetones. Por la otra parte, se le realizan una serie de taladros y roscados, coincidentes con la tornillería de la transmisión del freno. (véase Anexos 1 Plano 2: Plato transmisión).



Figura 4.19 Plato de transmisión (Izquierda)-Volante motor (Derecha).

Una vez montado el plato al volante, se procede a realizar el equilibrado del motor acercándolo a la pieza de acople de la transmisión del freno y regulándolo transversal y verticalmente mediante las torretas. El objetivo es conseguir la unión freno-motor lo más limpia y concéntrica posible.

Para comprobar que ambos componentes casan a la perfección y comparten eje de giro, se colocan un par de tornillos, si estos se pueden roscar en un principio utilizando las manos sin necesidad de herramientas, se puede proceder a apretar y colocar el resto.

Una vez se arranque el motor y empiece a girar, si se diera el caso en que tuvieran excentricidades en el giro, se escucharía algún tipo de ruido o visualmente se vería el eje de la transmisión girando de forma sospechosa. Por lo tanto, durante el primer arranque será conveniente la realización de una inspección visual.

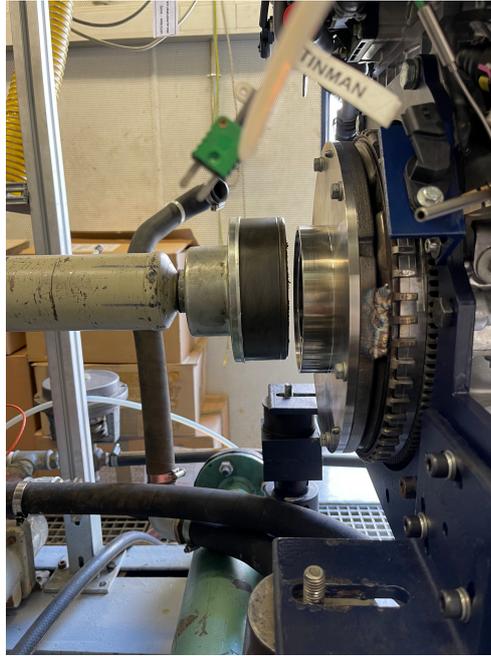


Figura 4.20 Unión plato transmisión-eje del freno.

Posteriormente se realizó la instalación de los siguientes sistemas:

Sistema eléctrico

Se procedió a la instalación del cableado. Por una parte, la conexión de todos los componentes ya instalados en el motor por el fabricante y controlados por la ECU. También la alimentación y conexión de la ECU a los sistemas de adquisición de la sala. Por otra parte, la conexión de los sensores de temperatura y presión, comentados en el inicio del capítulo, a sus sistemas de adquisición correspondientes para su posterior monitorizado en los sistemas de adquisición.

Sistema de admisión

Para la instalación del sistema de admisión se han de tener en cuenta una serie de factores. En primer lugar, una vez montado el filtro de aire (de serie) en la tobera de admisión, es necesaria la improvisación de una estructura para sujetarlo en su posición ideal. Una estructura que se realiza mediante el uso de perfiles *Fasten* de 45x45 mm.

La entrada de aire al filtro, en este caso tenía una geometría un tanto compleja y hacía casi imposible la conexión de esta a la toma de aire del exterior de la sala, la cual era circular de diámetro 70mm. Para solventar el problema de la forma más profesional y eficiente posible, gracias a las herramientas disponibles en el IU CMT, se diseñó una pieza que sirviera de enlace y se utilizó la impresión 3D. (véase en Anexos 1 Plano 3: Pieza filtro admisión)



Figura 4.21 Pieza enlace admisión (Gris)

Sistema de escape

La salida del sistema de post-tratamiento va condicionada por el fabricante, lo que significa que no puede ser modificado ya que a la hora de ensayar se estaría alejando de la situación real en la producción en serie, alterando factores como podrían ser la contrapresión que sufre el gasto de escape a su salida. Por lo tanto, es necesario modificar el sistema de escape ya instalado en la sala.

La línea de escape de la sala no coincidía con la salida de post-tratamiento, como era de esperar. Por este motivo se instaló un elemento flexible en la línea de la sala, obteniendo mayor libertad a la hora de hacer coincidir las dos tomas.

Se recicló un codo de un escape en desuso, se le soldaron dos valonas hembra, una por cada lado y del mismo diámetro que las valonas macho ya presentes, y se procedió a la conexión del sistema de escape. El codo se apretó por ambos extremos a las valonas por medio del uso de abrazaderas de acero, mismo método que utiliza el fabricante, evitando así hacer modificaciones en el sistema de post-tratamiento.

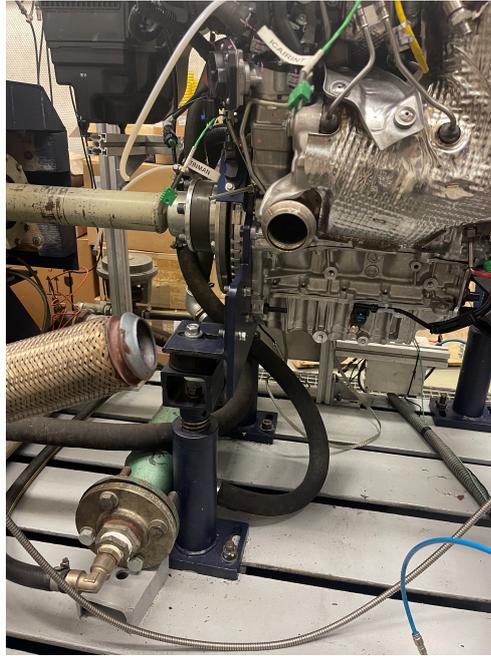


Figura 4.22 Línea de escape incompleta (A falta de realizar el codo).

Sistema de refrigeración

El motor necesita de un intercambiador para la cesión del calor que recibe en el agua refrigerante, que en condiciones de funcionamiento ronda los 90°C. Dado que durante los ensayos no existen caudales de aire suficientes como para utilizar un radiador y que cumpla sus funciones, las salas de ensayo del IU CMT utilizan intercambiadores de tipo carcasa-tubo, por donde hacen circular agua proveniente de un aljibe situado en el exterior del departamento, sustituyendo así al radiador de aletas montado en los vehículos.

El agua refrigerante extraída del motor circula por la carcasa del intercambiador, mientras que el agua proveniente del aljibe se hace pasar por los tubos, circulando en sentidos opuestos o en contracorriente, maximizando así la eficiencia del proceso de intercambio de calor. En esta sala en concreto, debido a la alta demanda de disipación de calor, surgió la necesidad de colocar dos intercambiadores utilizando una configuración un tanto especial, tal como se muestra en la figura 4.24. Por una parte, el agua del motor circula en serie a través de ambos intercambiadores. Por otra parte, el agua corriente circula de forma paralela por los intercambiadores, es decir, existen dos tomas frías provenientes del aljibe y dos tomas calientes de retorno. Utilizando esta configuración se consigue un rendimiento excelente.

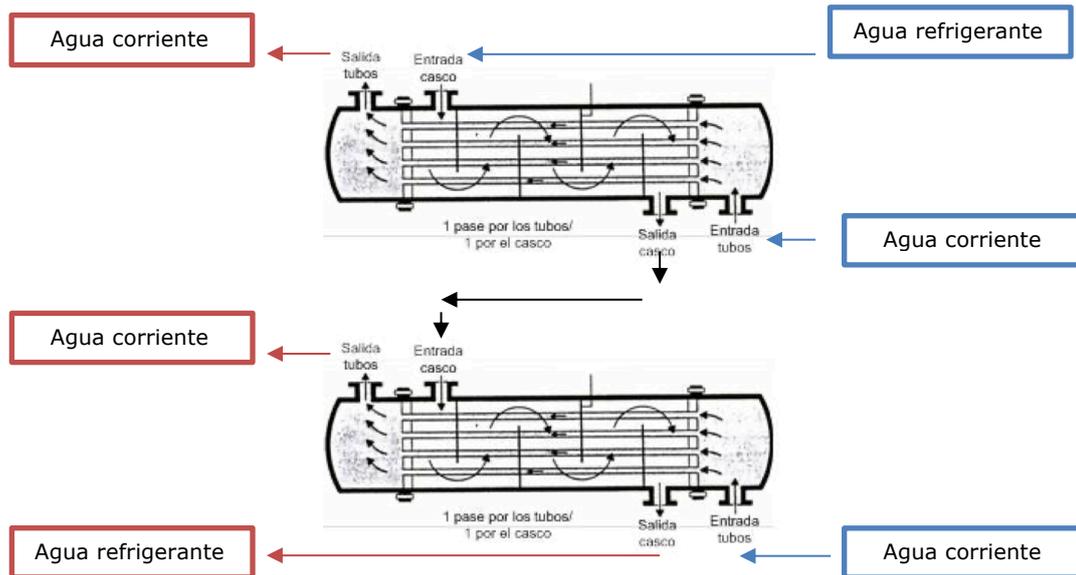


Figura 4.23 Sistema de refrigeración serie-paralelo.

Para determinar el salto entálpico que cederá el agua refrigerante al agua del aljibe a través de los intercambiadores, se realizan las siguientes suposiciones:

En primer lugar, para que el motor trabaje de forma óptima el agua de refrigerante ha de estar circulando a 90°C, mientras que a la entrada se desea unos 45°C. Conociendo el calor específico del agua, $c_p = 4,18 \frac{kJ}{kg}$ y por medio de la ecuación

$$Q_{refrigerante} = C_{p-ref} \cdot (T_{salida} - T_{entrada}) = \Delta h$$

Siendo:

- $Q_{refrigerante}$: Calor a evacuar por el intercambiador
- C_{p-ref} : Calor específico del agua refrigerante
- T_{salida} : Temperatura de salida del agua refrigerante del motor
- $T_{entrada}$: Temperatura de entrada del agua refrigerante al motor
- Δh : Salto entálpico contenido en el agua refrigerante

Se obtiene un salto entálpico igual a 188,1 KJ/Kg, por lo que el intercambiador debería ser capaz de al menos disipar dicho valor. Si dicho valor fuese multiplicado por el gasto de agua refrigerante que circula por el bloque, se podría conocer la potencia del intercambiador necesario. Para ello habría que disponer de un caudalímetro.

Normalmente los intercambiadores o radiadores van sobredimensionados en términos de potencia frigorífica debido a que el termostato no regula exactamente a los 90°C, suele ser a los 95-100°C, donde entra en acción y permite la circulación del agua motor por el intercambiador, una vez este detecta que el agua de salida del bloque está por debajo de los 90°C, cierra el circuito del intercambiador y solo recircula por el bloque motor.

Capítulo 5

Análisis de resultados

En este capítulo se describirán los resultados obtenidos tras la realización de los ensayos y se buscará un razonamiento lógico de los mismos.

5.1. Ensayos estacionarios

Todos los ensayos se realizaron para ambas configuraciones, corta-A y larga-B, por lo que todos los parámetros como la optimización de la distribución variable (VVT), el rendimiento volumétrico, par o la presión de admisión serán constantemente comparados entre ambas configuraciones, puesto que el objetivo final es concluir con cuál de las dos configuraciones es la más ventajosa. Cabe destacar que, el objeto del proyecto es el sintonizado del colector de admisión, mediante el cual se busca el aumento del rendimiento volumétrico, encontrándose tanto la configuración corta como la larga alrededor del rango de optimización de dicho sintonizado para los regímenes entre 2500 y 4500 rpm. Por tanto, se espera que las diferencias alcanzadas entre ambas configuraciones sean de magnitud acotada, aunque importantes dentro de la optimización global del motor.

5.1.1. Optimización VVT

El primer bloque de ensayos se basó en la realización de un barrido de VVT para los distintos regímenes de giro. El barrido de VVT consiste en realizar una serie de combinaciones de la distribución variable, tanto de la admisión como del escape en cada régimen de giro. Dichas combinaciones se han elegido en un rango en torno al valor de calibración original del motor, previo a su conversión a aspiración natural. En este caso se realizó el barrido desde 1250 rpm hasta 5500 rpm para ambas configuraciones del colector.

VVT admisión	VVT escape								
0	0	10	0	20	0	30	0	40	0
0	5	10	5	20	5	30	5	40	5
0	10	10	10	20	10	30	10	40	10
0	15	10	15	20	15	30	15	40	15
0	20	10	20	20	20	30	20	40	20
0	25	10	25	20	25	30	25	40	25
0	30	10	30	20	30	30	30	40	30
5	0	15	0	25	0	35	0		
5	5	15	5	25	5	35	5		
5	10	15	10	25	10	35	10		
5	15	15	15	25	15	35	15		
5	20	15	20	25	20	35	20		
5	25	15	25	25	25	35	25		
5	30	15	30	25	30	35	30		

Figura 5.1 Barrido VVT

Finalmente, tras realizar todos los puntos, se escogen los óptimos para cada régimen de giro. Se elegirá como óptimo el punto que maximiza el par motor para cada régimen de giro. No obstante, en condiciones de régimen bajo se han descartado condiciones en las que existiera un valor de oxígeno en el escape (derivado del paso directo de aire de admisión al escape durante el período de cruce de válvulas, conocido como cortocircuito) mayor a un 1% para asegurar el buen funcionamiento del catalizador.

Una vez procesados los datos obtenidos, se obtuvo lo que es denominada la optimización de VVT para ambas configuraciones, formando las gráficas mostradas a continuación. Se debe tener en cuenta que valores mayores de las variables de la distribución implican un retraso en la apertura del escape y un adelanto de la apertura de la admisión, resultando en un mayor período de cruce de válvulas. Por tanto, se observa que en términos generales en la configuración A-corta encuentra su operación óptima para un mayor cruce de válvulas respecto a la configuración B.

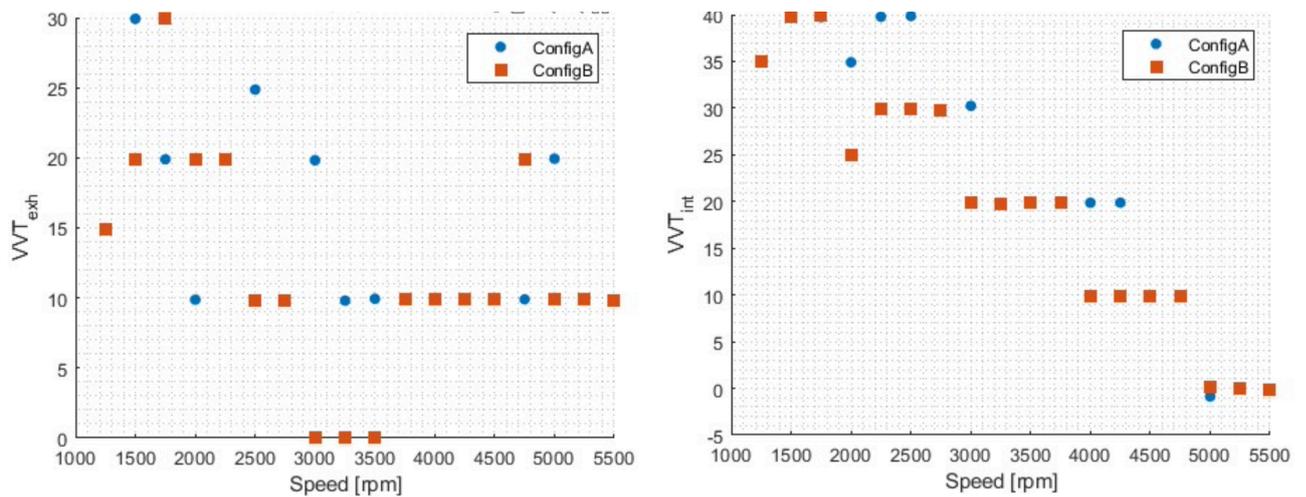


Figura 5.2 Optimización VVT para configuración corta-A y larga-B

5.1.2. Rendimiento volumétrico

El rendimiento volumétrico es uno de los principales parámetros objetivo a optimizar, puesto que su aumento va ligado a la mejora en el llenado de mezcla fresca del cilindro y por lo tanto un aumento directo en el par.

Se puede observar que la configuración A-corta, es predominante en casi todos los puntos de funcionamiento con un rendimiento volumétrico notablemente mejor, a excepción de la región de 4000 rpm, entre 3750 rpm y 4250 rpm, donde la configuración larga-B se sobrepone a la corta. A bajo régimen de giro (sobre todo a 1500 rpm), la mejora viene dada por la posibilidad de trabajar con un valor de apertura del escape más retrasado para el límite de cortocircuito establecido. En cambio, a altos regímenes de giro el rendimiento volumétrico viene por el efecto positivo de la longitud sobre el sintonizado.

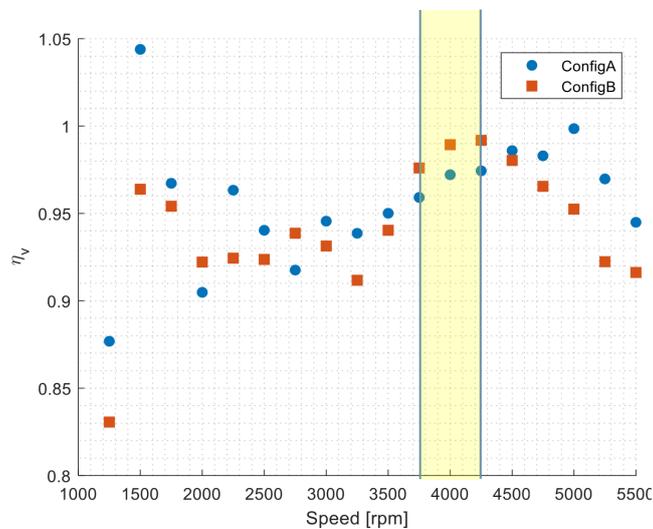


Figura 5.3 Rendimiento volumétrico para configuración corta-A y larga-B

El par motor (o torque, en inglés), va directamente relacionado con el comportamiento del rendimiento volumétrico, como se puede apreciar en la siguiente expresión.

$$Me = \frac{Ne}{2 * \pi * n} = \frac{\rho_{ref} * F_R * F_e * V_T * i * H_c}{2 * \pi} * \eta_e * \eta_v$$

Siendo:

- Par motor efectivo $\rightarrow Me$
- Potencia efectiva $\rightarrow Ne$
- Régimen de giro $\rightarrow n$
- Densidad del aire de referencia $\rightarrow \rho_{ref}$
- Dosado absoluto $\rightarrow F = F_R * F_e$
- Cilindrada total $\rightarrow V_T$
- Número de ciclos por vuelta $\rightarrow i = 0,5$ para 4T
- Poder calorífico del combustible $\rightarrow H_c$

Por lo tanto, el par motor efectivo depende directamente del rendimiento efectivo y volumétrico, puesto que el resto de los parámetros se consideran constantes para un motor y unas condiciones de funcionamiento dadas.

- Rendimiento efectivo $\rightarrow \eta_e$, siendo este normalmente en motores MEP del orden de 0,3-0,4 como valores máximos y únicamente en determinadas condiciones de funcionamiento, por lo que no es un factor fácil de mejorar.
- Rendimiento volumétrico $\rightarrow \eta_v$

Se puede concluir que si:

$$\uparrow \eta_v = \uparrow Me$$

Y la relación a la que se llega de que el aumento del rendimiento volumétrico tiene como respuesta un aumento del par motor se puede ver en la siguiente gráfica.

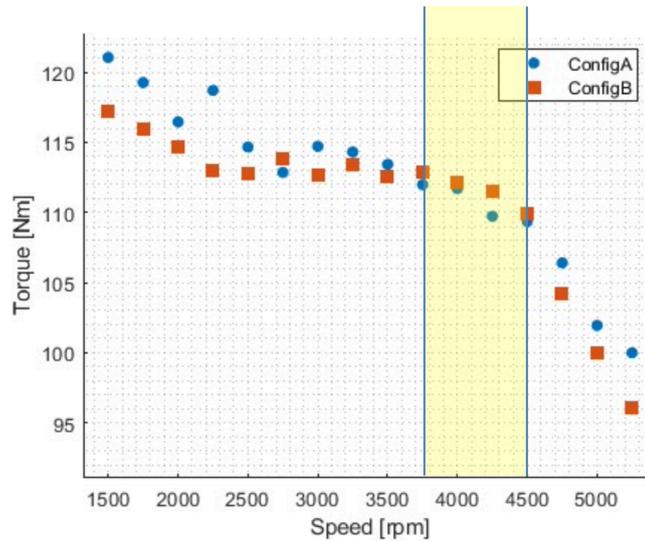


Figura 5.4 Par motor (torque) para configuración corta-A y larga-B

Se observa que la configuración A-corta proporciona un par mayor en casi todos los puntos de funcionamiento, a excepción de la región de 4000 rpm, donde como ya se había observado en la gráfica anterior, el rendimiento volumétrico de la configuración B-larga era mayor y, por lo tanto, el par motor en esta zona supera al generado por la configuración A-corta.

5.1.3. Amplitud de la onda de presión

En los conductos de admisión (runner)

Respecto a la amplitud de la onda de presión, se observa que en la configuración B-larga se genera una mayor amplitud a diferencia que la configuración A-corta. En concreto, desde 3000 rpm hasta 4500 rpm, donde más se acentúa el efecto. Es cierto que, a regímenes altos, por encima de 5000 rpm, la configuración A-corta muestra una mayor amplitud de onda. Mientras que a regímenes bajos es indiferente la longitud del colector puesto que ambas configuraciones generan ondas de amplitud muy parejas.

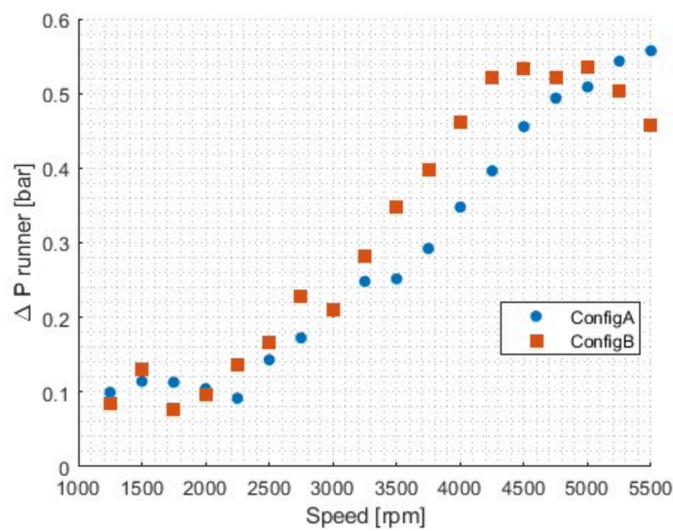


Figura 5.5 Amplitud de la onda de presión en los runners

En el colector de admisión

En el colector de admisión, la amplitud de onda que llega es mayor por parte de la configuración A-corta, a diferencia de lo que se veía en los runners. Es cierto que la configuración A-corta es la que muestra mayor amplitud, a excepción de la región de los 4750-5000 rpm donde es la configuración B-larga la que genera una mayor amplitud de onda en el colector de admisión.

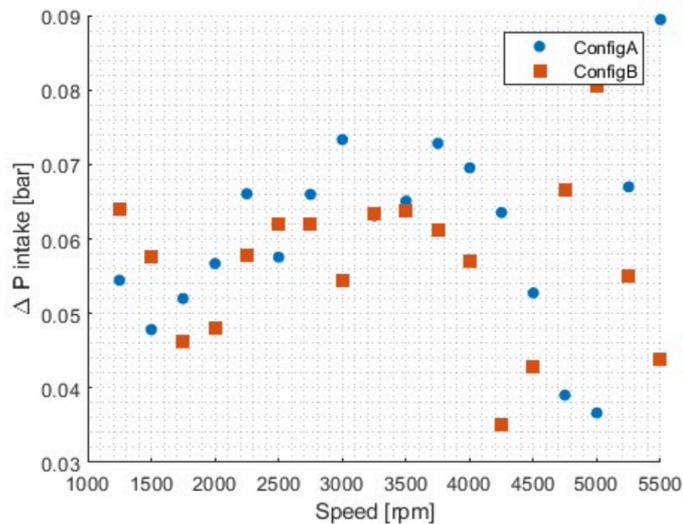
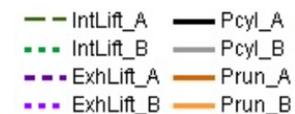


Figura 5.6 Amplitud de la onda de presión en el colector de admisión

5.1.4. Presión de admisión durante la apertura de válvulas

A continuación, se mostrarán una serie de gráficas a regímenes de 2000, 3000, 4000 y 5000 rpm, graficando como evoluciona la presión en el runner durante el levantamiento de las válvulas, tanto de admisión como de escape, para las dos configuraciones. En este caso, solo es de interés para el proyecto la parte de la admisión.

La leyenda será la siguiente:



- IntLift → Levantamiento de válvulas de admisión (mm)
- ExhLift → Levantamiento de válvulas de escape (mm)
- Pcyl → Presión en el cilindro (bar)
- Prun → Presión en el runner (bar)

Régimen 2000 rpm

La configuración B-larga, muestra una pequeña depresión en comparación con la configuración A-corta, en las primeras etapas de la apertura de la válvula de admisión, lo que significa que, en términos de presión media durante el proceso de admisión, la configuración corta se sitúa por encima. Debido a esta depresión al inicio de la admisión, se ve una presión máxima de admisión al final de la etapa que supera ligeramente el bar de presión.

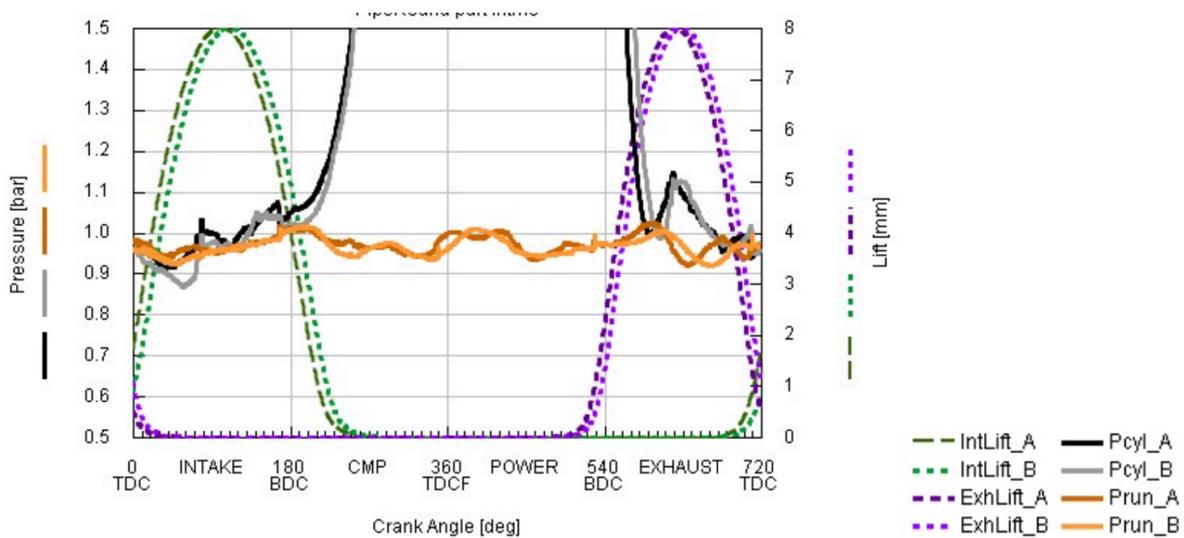


Figura 5.7 Presión de admisión a régimen de 2000 rpm

Régimen 3000 rpm

A medida que el régimen de giro aumenta, la presión en el colector de admisión y en los runners disminuye. La configuración B-larga introduce mayor presión al inicio de la admisión, a diferencia de la configuración A-corta, que debido al sincronizado de las válvulas induce a una mayor depresión. Durante el levantamiento máximo de válvulas, es la configuración A-corta la que aumenta la presión superando la configuración B-larga. Después de los 180° de cigüeñal, la configuración B-larga alcanza el pico de presión máximo, aunque ya con la válvula de admisión cerrada, lo que significa que no tiene ningún efecto positivo alcanzar presiones máximas a partir de este punto, este pico de presión está ligado a los reflujos.

Mientras tanto, en el colector de admisión (Pint), no se aprecian variaciones significativas entre la configuración A-corta y la configuración B-larga.

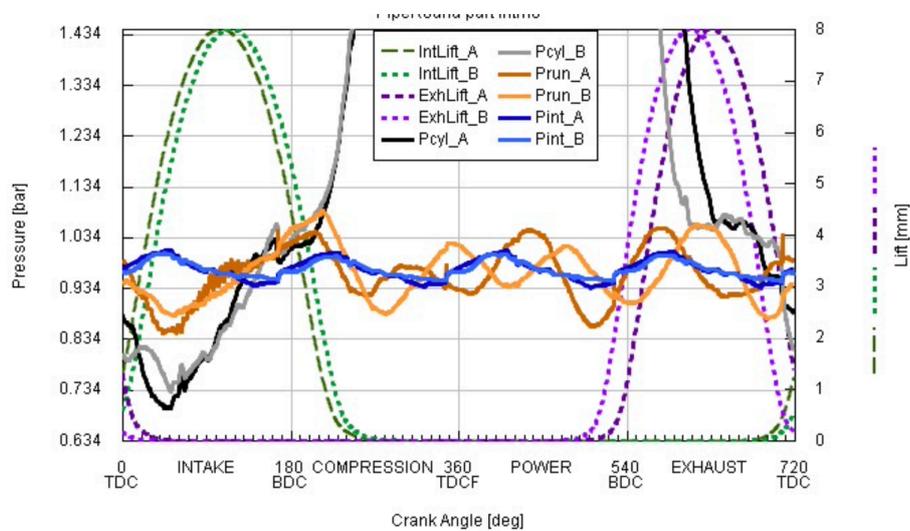


Figura 5.8 Presión de admisión a régimen de 3000 rpm

Régimen 4000 rpm

En este régimen la evolución de la presión en los runners es muy similar al punto de 3000 rpm. La configuración A-corta comienza con una depresión a la apertura de la admisión y alcanza su pico máximo casi en el cierre de la válvula. La configuración B-larga comienza con una depresión mayor a la sucedida en la otra configuración y alcanza su pico también casi en el cierre de las válvulas. Aun así, se puede observar que la presión media es más elevada para la configuración A-corta y sobre todo que es mayor cuando las válvulas están completamente abiertas.

En el colector de admisión, se empieza a ver un pequeño desfase, siendo de menor valor de presión en la configuración B-larga

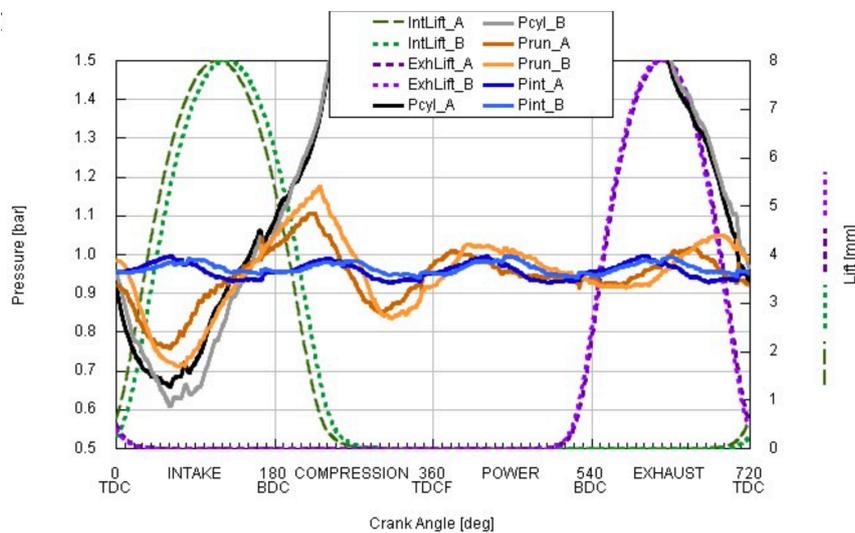


Figura 5.9 Presión de admisión a régimen de 4000 rpm

Régimen 5000 rpm

En 5000 rpm, ambas configuraciones se comportan similar al inicio de la fase de admisión, siendo la presión media en este punto del mismo orden. Es a partir de los 180° de cigüeñal cuando se observa la mayor diferencia, donde la configuración A-corta se sitúa por encima de la configuración B-larga. Es cierto que esta última alcanza el mayor pico de presión, pero como se ha comentado en casos anteriores, alcanzar el pico de presión cuando la válvula está casi cerrada no es de gran utilidad. A diferencia de la configuración A-corta que muestra una mayor presión en casi todo el proceso de la admisión, siendo obviamente más favorable.

En el colector de admisión aparece un desfase más pronunciado entre ambas configuraciones, dando a entender que en la configuración B-larga, no está ocurriendo el fenómeno de cancelación de amplitud, a diferencia de la configuración A-corta.

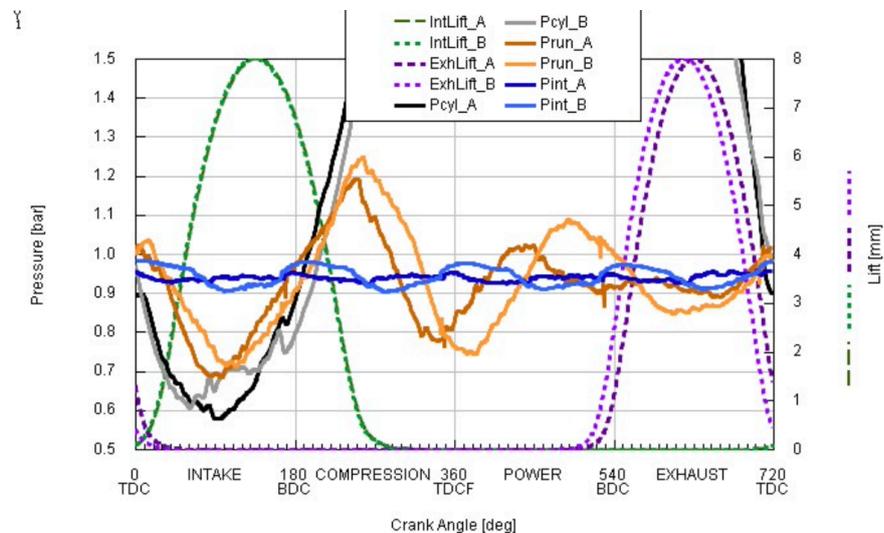


Figura 5.10 Presión de admisión a régimen de 5000 rpm

Capítulo 6

Conclusiones

Tras el análisis de los resultados experimentales realizado en el capítulo anterior, a lo largo de este capítulo se llegará a ciertas conclusiones donde se tratará de dar una respuesta respecto cuál de las configuraciones A-corta o B-larga es la óptima en función de los resultados.

El estudio de las distintas configuraciones en el colector de admisión del motor Renault HR12 ha dado como resultado las siguientes conclusiones:

Respecto a la optimización de la distribución variable (VVT), se observa que en la configuración A-corta se prefiere trabajar con un mayor cruce de válvulas, sobre todo a medio-bajo régimen de giro, lo cual se verá reflejado en un rendimiento volumétrico superior, debido a que este cruce favorece el llenado del motor. La existencia de una mayor presión de admisión que de escape, aumenta el barrido de los gases de escape, dentro del límite de cortocircuito establecido para asegurar la operación correcta del catalizador (1% de oxígeno medido en la sección de entrada al mismo)

En general, existe un mayor rendimiento volumétrico para la configuración A-corta, a excepción de la zona de 4000 rpm donde la configuración B-larga se sitúa por encima. Dicho beneficio se asocia a la posibilidad de trabajar en distribuciones más adecuadas a bajo régimen, mientras que a alto régimen se aprecia el efecto del propio sintonizado. El par motor al ir ligado al comportamiento del rendimiento volumétrico sigue la misma tendencia.

La amplitud de onda de presión en la admisión es esencialmente lo que se busca para mejorar el rendimiento volumétrico puesto que ayuda a introducir aire fresco al cilindro, pero si la onda no está fasada correctamente con la apertura y cierre de las válvulas de admisión carece de sentido. La configuración B-larga produce mayor amplitud de onda en el runner sobre todo en el rango de 3000 a 4500 rpm, mientras a alto régimen esta es mayor en la configuración A-corta. A su vez en el colector de admisión es la configuración A-corta la que muestra una mayor amplitud de onda, siendo esto lo más importante puesto que es en el colector donde se generará la onda refleja de sobrepresión que volverá a la entrada del motor y por lo tanto ayudará a la renovación de la carga.

En general, en la configuración A se observan mayores valores de presión en colector, runner y cilindros alrededor del cierre de la válvula de admisión, lo que es coherente con el mayor rendimiento volumétrico observado.

Capítulo 7

Presupuesto

En el presente documento se muestra el coste que supone realizar el proyecto descrito a lo largo del documento. El presupuesto estará dividido en dos partes, la primera de ellas el desglose del mismo y la segunda el presupuesto final.

En el desglose se incluyen los costes relacionados con la instalación del motor en el banco de ensayos, así como costes relacionados con la realización del ensayo y el procesado de datos final

En el presupuesto final se recogen todos los costes estimados y se obtendrá la suma final por la cual se presupuestará el proyecto.

En el desarrollo de este presupuesto, no se han incluido costes relacionados con la modificación de ciertas piezas o sensores de medición proporcionados por el fabricante, debido a que, al ser propiedad de la marca, una vez finalizado el proyecto, serán devueltas.

7.1. Desglose del presupuesto

7.1.1. Horas efectivas de trabajo

A la hora de realizar una estimación de cuanto tiempo o coste puede suponer en mano de obra realizar un proyecto, incluso para el cálculo de amortización de maquinaria, es necesario conocer realmente cuantas horas de trabajo se van a desempeñar anualmente.

En primer lugar, los sábados y domingos para los trabajos que se desarrollan dentro del departamento, no son laborales.

	Días
Año	365
	-
Sabado	53
Domingo	52
	=
Días hábiles	260
	-
Festivos (nacionales y locales)	14
Vacaciones	22
Días asuntos propios	3
	=
Días laborables	221

Si se descuentan estos días y además los festivos nacionales y locales y los días de fiesta que le pertenecen a cada operario por ley, resulta que de 365 días que tiene un año, realmente laborales son 221 días.

Por otra parte, si durante estos días se realizan jornadas laborales completas de 8 h se obtiene un total de 1768 h de trabajo anuales.

Días laborables	221
	*
Jornada laboral (horas/día)	8
	=
Total horas anuales laborables	1768

Mano de obra

Para el cálculo de los costes relacionados con el personal, teniendo en cuenta el tiempo dedicado al proyecto según se muestra en la tabla 1.2, se han obtenido los siguientes costes por hora trabajada.

Para ello se han tenido en cuenta los salarios netos regulados por la Consellería de Empleo, Industria y Comercio consultados en el Boletín Oficial del Estado (BOE) de la Provincia de València. A ello se ha de sumar el coste de la Seguridad Social, obteniendo el Salario anual bruto, el cual representa el coste real para la empresa de cada trabajador.

Puesto de trabajo	Ingeniero	Técnico sala	Técnico mecanizados	Asistente sala
Salario anual neto (€)	29.436,24 €	21.108,59 €	20.108,59 €	8.400,00 €
Seguridad social (32%)	9.419,60 €	6.754,75 €	6.434,75 €	2.688,00 €
Salario anual bruto (€)	38.855,84 €	27.863,34 €	26.543,34 €	11.088,00 €
Total horas trabajo anuales (h)	1768	1768	1768	1768
Coste por hora de trabajo (€/h)	21,98 €	15,76 €	15,01 €	6,27 €

7.1.2. Instalación del motor en banco de ensayos

Para la instalación del motor en la sala se contó con un técnico especialista en la disciplina de la mecánica y su amplia experiencia, además de la ayuda del asistente de sala y del técnico especializado en mecanizados. El montaje desde la llegada del motor a las instalaciones hasta su colocación final en la bancada tuvo una duración aproximada de 2 meses, lo que suponen 295 horas de trabajo efectivo.

Duración del montaje en horas		
	Meses	Horas
1 año	12	1768
2 meses	2	295

Realizándose los procedimientos habituales como el previo montaje de ciertos componentes que por motivos de seguridad se envían desmontados, la instrumentación propia de los componentes más importantes para la realización del ensayo y el montaje del motor en el banco de ensayos, con sus respectivas modificaciones o adaptaciones en sala.

Equipos y material

El coste de maquinaria y herramienta o equipos de medición como termopares o sensores de presión instantánea o media, no fue necesaria su adquisición para este proyecto, puesto que son propiedad del departamento, por lo que en este apartado del presupuesto solo se incluirán el coste de piezas o material de uso específico en este proyecto.

Ref.	ud.	Descripción	Precio (€)
<u>Impresión 3D</u>			
m1	ud.	Colector de admisión (material poliamida)	1.129,36 €
m2	ud.	Pieza filtro aire (PLA)	8,56 €
<u>Mecanizados</u>			
m3	ud.	Unión colector admisión y bloque motor	29,08 €
m4	ud.	Cilindros huecos extensión del colector (10cm)	8,37 €
m5	ud.	Clamps ®	3,35 €
m6	ud.	Codo de 90º de acero	20,00 €
m7	ud.	Plato acople de transmisión	674,00 €
m8	ud.	Plancha 3mm acero soporte motor	130,00 €
<u>Otros</u>			
m9	m	Perfiles Fasten ® 45x45mm	14,50 €
m10	ud.	Union 90º perfiles Fasten ®	2,48 €
m11	m	Manguera de Combustible Reforzado Algodón Trenzado Nitrilo 19mm	9,84 €
m12	m	Tubo de neumatica Festo 8mm	0,74 €
m13	ud.	Uniones neumática	0,59 €
m14	ud.	Material eléctrico (cables, regletas, cinta aislante...)	30,00 €
m15	ud.	Abrazaderas de manguera	0,70 €

7.1.3. Realización de los ensayos

La duración de los ensayos se prolongó aproximadamente 3 meses, lo que supuso alrededor de 442 horas laborales. Durante este tiempo, el técnico de sala y el ayudante de sala se involucraron a tiempo completo en la realización de los ensayos.

Duración de los ensayos		
	Meses	Horas
1 año	12	1768
3 meses	3	442

Para la estimación de los costes de realizar los ensayos, además de tener en cuenta el coste de la mano de obra, material fungible como es el combustible o las amortizaciones de los propios equipos, también se han de incluir en el cómputo de costes.

Material fungible

En este caso, al tratarse de un motor MEP, el material fungible es gasolina de 95 octanos.

ud.	Descripción	Precio (€)	Cantidad	Parcial (€)
Litros	Gasolina sin plomo 95	1,745	1000	1.745,00 €
ud	Transporte de combustible	200	2	400,00 €

Amortización de los equipos

Los equipos utilizados a lo largo del proyecto y sus costes de amortización debidos al uso dado en este proyecto son los siguientes

Equipo	Horiba MEXA 7100 analizador de emisiones	Banco de potencia dinamométrico	Sistema de adquisición de datos a alta	Balanza de combustible AVL 7335
Precio (€)	230.900,51 €	200.000,00 €	26.000,00 €	15.000,00 €
Vida Útil (años)	10	10	10	10
Vida Útil (h)	17680	17680	17680	17680
Coste amortización (€/h)	13,06 €	11,31 €	1,47 €	0,85 €
Funcionamiento 3 mes de ensayos (h)	88	354	354	354
Coste amortización (€) 3 meses	1.154,50 €	4.000,00 €	520,00 €	300,00 €

A continuación, se muestran los cuadros de amortización de cada máquina, utilizando un método de amortización constante y suponiendo que su vida útil es de 10 años, transcurrido este tiempo el equipo se deshecha, siendo su valor residual será de 0€.

Horiba MEXA 7100 analizador de emisiones				Banco de potencia dinamo métrico			
Año	Amortizacion	Amort AC	Valor Activo	Año	Amortizacion	Amort AC	Valor Activo
0	0	0	230.900,51 €	0	0	0	200.000,00 €
1	23.090,05 €	23.090,05 €	207.810,46 €	1	20.000,00 €	20.000,00 €	180.000,00 €
2	23.090,05 €	46.180,10 €	184.720,41 €	2	20.000,00 €	40.000,00 €	160.000,00 €
3	23.090,05 €	69.270,15 €	161.630,36 €	3	20.000,00 €	60.000,00 €	140.000,00 €
4	23.090,05 €	92.360,20 €	138.540,31 €	4	20.000,00 €	80.000,00 €	120.000,00 €
5	23.090,05 €	115.450,26 €	115.450,26 €	5	20.000,00 €	100.000,00 €	100.000,00 €
6	23.090,05 €	138.540,31 €	92.360,20 €	6	20.000,00 €	120.000,00 €	80.000,00 €
7	23.090,05 €	161.630,36 €	69.270,15 €	7	20.000,00 €	140.000,00 €	60.000,00 €
8	23.090,05 €	184.720,41 €	46.180,10 €	8	20.000,00 €	160.000,00 €	40.000,00 €
9	23.090,05 €	207.810,46 €	23.090,05 €	9	20.000,00 €	180.000,00 €	20.000,00 €
10	23.090,05 €	230.900,51 €	0,00 €	10	20.000,00 €	200.000,00 €	- €

Sistema de adquisición de datos a alta frecuencia				Balanza de combustible AVL 7335			
Año	Amortizacion	Amort AC	Valor Activo	Año	Amortizacion	Amort AC	Valor Activo
0	0	0	26.000,00 €	0	0	0	15.000,00 €
1	2.600,00 €	2.600,00 €	23.400,00 €	1	1.500,00 €	1.500,00 €	13.500,00 €
2	2.600,00 €	5.200,00 €	20.800,00 €	2	1.500,00 €	3.000,00 €	12.000,00 €
3	2.600,00 €	7.800,00 €	18.200,00 €	3	1.500,00 €	4.500,00 €	10.500,00 €
4	2.600,00 €	10.400,00 €	15.600,00 €	4	1.500,00 €	6.000,00 €	9.000,00 €
5	2.600,00 €	13.000,00 €	13.000,00 €	5	1.500,00 €	7.500,00 €	7.500,00 €
6	2.600,00 €	15.600,00 €	10.400,00 €	6	1.500,00 €	9.000,00 €	6.000,00 €
7	2.600,00 €	18.200,00 €	7.800,00 €	7	1.500,00 €	10.500,00 €	4.500,00 €
8	2.600,00 €	20.800,00 €	5.200,00 €	8	1.500,00 €	12.000,00 €	3.000,00 €
9	2.600,00 €	23.400,00 €	2.600,00 €	9	1.500,00 €	13.500,00 €	1.500,00 €
10	2.600,00 €	26.000,00 €	- €	10	1.500,00 €	15.000,00 €	- €

7.1.4. Procesado de datos

En esta parte del proyecto solo interviene el ingeniero analista, puesto que es el más cualificado para desarrollar la parte de analizar y extraer conclusiones de los ensayos realizados. El procesado de datos se empieza a realizar cuando los ensayos van finalizando y por lo tanto se le ha de dedicar gran cantidad de tiempo. Se estima que el mismo requerido para la realización de los ensayos, que en ese caso suponen 442h.

7.2. Presupuesto final

7.2.1. Precios elementales

Ref.	ud.	Descripción	Precio (€)
<u>Impresión 3D</u>			
m1	ud.	Colector de admisión (material poliamida)	1.129,36 €
m2	ud.	Pieza filtro aire (PLA)	8,56 €
<u>Mecanizados</u>			
m3	ud.	Unión colector admisión y bloque motor	29,08 €
m4	ud.	Cilindros huecos extensión del colector (10cm)	8,37 €
m5	ud.	Clamps ®	3,35 €
m6	ud.	Codo de 90º de acero	20,00 €
m7	ud.	Plato acople de transmisión	674,00 €
m8	ud.	Plancha 3mm acero soporte motor	130,00 €
<u>Otros</u>			
m9	m	Perfiles Fasten ® 45x45mm	14,50 €
m10	ud.	Union 90º perfiles Fasten ®	2,48 €
m11	m	Manguera de Combustible Reforzado Algodón Trenzado Nitrilo 19mm	9,84 €
m12	m	Tubo de neumatica Festo 8mm	0,74 €
m13	ud.	Uniones neumática	0,59 €
m14	ud.	Material eléctrico (cables, regletas, cinta aislante...)	30,00 €
m15	ud.	Abrazaderas de manguera	0,70 €
<u>Material fungible</u>			
m16	Litro	Gasolina sin plomo 95	1,75 €
m17	ud.	Transporte de combustible	200,00 €
<u>Amortización equipos</u>			
m18	mes	Horiba MEXA 7100 analizador de emisiones	384,83 €
m19	mes	Banco de potencia dinamométrico	1.333,33 €
m20	mes	Sistema de adquisición de datos a alta frecuencia	173,33 €
m21	mes	Balanza de combustible AVL 7335	100,00 €
<u>Precio MO</u>			
h1	h	Ingeniero	21,98 €
h2	h	Técnico especialista de sala	15,76 €
h3	h	Técnico especialista en mecanizados	15,01 €
h4	h	Asistente de sala	6,27 €

7.2.2. Precios descompuestos

Ref	ud.	Descripción	Precio	Cantidad	Parcial
d1	ud	Instalación motor en banco de ensayos			
Elementos					
m1	ud.	Colector de admisión (material poliamida)	1.129,36 €	1	1.129,36 €
m2	ud.	Pieza filtro aire (PLA)	8,56 €	1	8,56 €
m3	ud.	Unión colector admisión y bloque motor	29,08 €	1	29,08 €
m4	ud.	Cilindros huecos extensión del colector (10cm)	8,37 €	4	33,48 €
m5	ud.	Clamps *	3,35 €	6	20,10 €
m6	ud.	Codo de 90º de acero	20,00 €	1	20,00 €
m7	ud.	Plato acople de transmisión	674,00 €	1	674,00 €
m8	ud.	Plancha 3mm acero soporte motor	130,00 €	1	130,00 €
m9	m	Perfiles Fasten ® 45x45mm	14,50 €	3	43,50 €
m10	ud.	Union 90º perfiles Fasten ®	2,48 €	12	29,76 €
m11	m	Manguera de Combustible Reforzado Algodón Trenzado Nitrilo 19mm	9,84 €	4	39,36 €
m12	m	Tubo de neumatica Festo 8mm	0,74 €	15	11,10 €
m13	ud.	Uniones neumática	0,59 €	8	4,72 €
m14	ud.	Material eléctrico (cables, regletas, cinta aislante...)	30,00 €	1	30,00 €
m15	ud.	Abrazaderas de manguera	0,70 €	15	10,50 €
M.O					
h2	h	Técnico especialista de sala	15,76 €	295	4.643,89 €
h3	h	Técnico especialista en mecanizados	15,01 €	50	750,66 €
h4	h	Asistente de sala	6,27 €	295	1.850,09 €
Precio e.m					9.458,16 €

Ref	ud.	Descripción	Precio	Cantidad	Parcial
d2	ud	Realización de los ensayos			
Elementos					
m16	Litro	Gasolina sin plomo 95	1,75 €	1000	1.745,00 €
m17	ud.	Transporte de combustible	200,00 €	2	400,00 €
m18	mes	Horiba MEXA 7100 analizador de emisiones	384,83 €	3	1.154,50 €
m19	mes	Banco de potencia dinamométrico	1.333,33 €	3	4.000,00 €
m20	mes	Sistema de adquisición de datos a alta frecuencia	173,33 €	3	520,00 €
m21	mes	Balanza de combustible AVL 7335	100,00 €	3	300,00 €
M.O					
h2	h	Técnico especialista de sala	15,76 €	442	6.965,83 €
h4	h	Asistente de sala	6,27 €	442	2.772,00 €
Precio e.m					17.857,34 €

Ref	ud.	Descripción	Precio	Cantidad	Parcial
d3	ud	Procesado de datos			
M.O					
h1	h	Ingeniero	21,98 €	442	9.713,96 €
Precio e.m					9.713,96 €

7.2.3. Valoración

Ref.	Ud.	Descripción	Precio	Cantidad	Total
d1	Ud.	Instalación del motor en banco de ensayos	9.458,16 €	1	9.458,16 €
d2	Ud.	Realización de los ensayos	17.857,34 €	1	17.857,34 €
d3	Ud.	Procesado de datos	9.713,96 €	1	9.713,96 €
Total presupuesto de ejecución					37.029,46 €
Subtotal					37.029,46 €
I.V.A					21%
TOTAL PRESUPUESTO					44.805,64 €

El presupuesto de ejecución de este proyecto asciende a la cantidad de:
CUARENTA Y CUATRO MIL OCHO CIENTOS CINCO EUROS CON SESENTA Y CUATRO CENTIMOS (#44.805,64€#)

Bibliografía

[1] **Payri F., Desantes J.M.**

Motores de combustión interna alternativos.

Libro. Universitat Politècnica de Valencia, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, Edición: 2011.

[2] **Departamento de Maquinas y Motores Térmicos.**

Asignatura Motores térmicos.

Apuntes, 2021.

[3] **Departamento de Maquinas y Motores Térmicos.**

Asignatura Centrales térmicas y cogeneración.

Apuntes, 2022.

[4] **Calabuig C.**

Estudio experimental del comportamiento del turbogrupo de sobrealimentación de un motor de encendido provocado de inyección directa de gasolina.

Trabajo de fin de grado. Universitat Politècnica de Valencia, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, 2017.

[5] **Mateu R.**

Estudio del impacto de sistemas de admisión en un motor de encendido provocado.

Trabajo de fin de grado. Universitat Politècnica de Valencia, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, 2018.

[6] **Luján, JM.; Dolz, V.; Monsalve-Serrano, J.; López-Cascant, JA.**

Nueva normativa anticontaminante en vehículos diésel Euro 6 (2017).

Artículo RiuNet

[7] **Diario oficial de la Unión Europea: Eur-Lex**

REGLAMENTO (UE) No 459/2012 DE LA COMISIÓN de 29 de mayo de 2012 por el que se modifican el Reglamento (CE) no 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo y el Reglamento (CE) no 692/2008 de la Comisión en lo que respecta a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 6).

[8] **Wang, Zhiab; Liu, Huia; Rolf, D Reitzc.**

Knocking combustion in spark-ignition engines

Artículo 2017.

DOCUMENTO 2: ANEXO 1 PLANOS

DOCUMENTO 3: ANEXO 2 PLIEGO DE CONDICIONES