



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

PUESTA EN MARCHA DE UNA INSTALACIÓN PARA EL ESTUDIO DEL ARRANQUE DE UN MOTOR DE 3.0 LITROS EN CONDICIONES DE ARRANQUE EN FRÍO Y ALTITUD

Grado en Ingeniería Mecánica

Alumno: Alejandro Marín Soler
Director: Pablo Cesar Olmeda González
Julio 2018

Quiero aprovechar para dar las gracias a la familia y amigos por el apoyo y las ganas que me habéis proporcionado durante estos 4 años. Además de agradecer a mi tutor Dr. D. Pablo Olmeda por la ayuda y concederme el privilegio de trabajar en la línea de transmisión de calor dentro del Centro de Motores Térmicos de la UPV. Por último, y no menos importante, agradecer todo lo aprendido gracias a mi técnico Berni, por enseñarme desde “0” todo y ayudarme a ser un buen “Pancho”.

DOCUMENTO 1:	5
MEMORIA	5
CAPÍTULO 1 –INTRODUCCIÓN-	6
Introducción:.....	6
Antecedentes	7
Objetivo.....	7
Planteamiento	8
Viabilidad	9
CAPÍTULO 2 –HERRAMIENTAS EXPERIMENTALES-.....	10
Sala de ensayos.....	10
o Descripción de la sala.....	10
o Disposición estructural.....	11
o Sistemas que componen la cámara climática:	12
Motor.....	17
o Bancada de motor.	17
o Freno dinamométrico.....	18
o Circuito de refrigeración del freno motor.	19
o Descripción del motor.	19
o Sistema de control de motor	20
o Sistema de escape del motor	22
o Sistema de refrigeración del motor	22
o Sistema de combustible.....	23
CAPÍTULO 3 -METODOLOGIA EXPERIMENTAL-	24
Instrumentación del motor	24
o Presión instantánea en los cilindros.....	24
o Régimen instantáneo.....	26
o Tensión.....	26
o Intensidad.....	27
o Temperaturas	27
o Presiones	28
o Otras variables	28
Sistemas de adquisición de datos	29
o Rack de control de la instalación	29
o Sistema de control de la instalación (SAMARUC).....	30

○ Sistema de control del motor (INCA)	31
○ Cadena de medida YOKOGAWA DL850V.....	32
○ Data logger AGILENT 34972	33
Plan de ensayos.....	34
○ Introducción.....	34
○ Plan de ensayos	34
CAPÍTULO 4 –MEDIDAS Y RESULTADOS-	36
Introducción:.....	36
○ Tiempos de arranque.....	36
○ Fluidos internos del motor.....	37
○ Batería y motor de arranque.	38
Medidas	39
Resultados	40
○ Ensayo a -5°C y 0 metros de altitud:.....	40
○ Ensayo a -5°C y 5000 metros de altitud:.....	43
○ Ensayo a -15°C y 5000 metros de altitud:	45
○ Ensayo a -25°C y 0 metros de altitud:.....	47
○ Ensayo a -25°C y 0 metros de altitud con variación de la presión de rail:	49
○ Ensayo a -25°C y 0 metros de altitud con variación de masa inyecciones piloto:.....	50
CAPÍTULO 5 –CONCLUSIONES Y DESARROLLO FUTURO-	51
Conclusión:	51
Desarrollo futuro.....	52
PRESUPUESTO.....	54
Introducción.....	54
Coste mano de obra y material	54
Presupuesto.....	55
○ Cuadro precio mano de obra	55
○ Cuadro precio de los materiales	55
○ Cuadro de precios unitarios	56
○ Cuadro precios descompuestos.....	56
○ Presupuesto final.....	60
BIBLIOGRAFÍA.....	61

DOCUMENTO 1: MEMORIA

CAPÍTULO 1 –INTRODUCCIÓN-

Introducción:

Fue un 28 de febrero de 1893, cuando el ingeniero alemán Rudolf Diésel conseguía la primera patente del motor que lo haría trascender en la historia.

Diésel, que por aquel entonces trabajaba para la compañía MAN, comenzó a mirar con buenos ojos los principios propuestos por uno de los padres de la termodinámica, N.L. Sadi Carnot, quien proponía entre otras cosas que no era necesaria una chispa al interior de las cámaras de combustión para provocar la ignición de la mezcla de aire y combustible, hecho diferenciador con los motores de encendido provocado (gasolina).

Inicialmente las aplicaciones prácticas de estos motores estaban sumamente limitadas por su peso, nivel sonoro y vibraciones que producían. Pero mediante la investigación y trabajo de Diésel, en 1897, MAN produjo el primer motor (Figura 1). Para ello hizo falta encontrar un combustible poco volátil, que por aquellos años era muy utilizado, conocido como fuel oil que se utilizaba para alumbrar las lámparas de la calle.

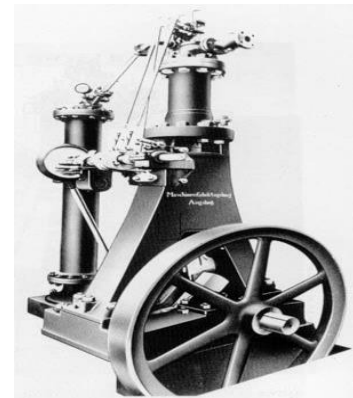


Figura 1. Motor MAN Diésel 1897

Años más tarde, y después de ser utilizado solo a nivel industrial como generador de electricidad en las grandes factorías, en 1923 Daimler-Benz presentó un motor a Diésel de 40 cv instalado en un camión. El cual superaba las 1000 rpm y disponía de 4 cilindros. Fue 11 años más tarde, en 1934, cuando este tipo de motor se montaría por primera vez en un turismo.

Con la llegada de los sistemas de inyección en la segunda mitad del siglo XX, tanto Audi AG con los motores TDI (Turbo Direct Injection), así como los motores JTD (Jet Turbo Diésel) por parte del grupo FIAT, se producía una gran mejoría de las prestaciones manteniendo un consumo reducido, además de una considerable reducción de ruido y vibraciones. En años posteriores, se desarrollaron técnicas de multi-inyección (Figura 2) optimizando el proceso de combustión, con lo que se obtuvo una mejora de prestaciones, ruido, emisiones contaminantes,....

A partir de ahí, la evolución de los motores diésel ha sido abrumadora, gracias a la incorporación de turbocompresores de geometría variable (Figura 3), turbocompresores

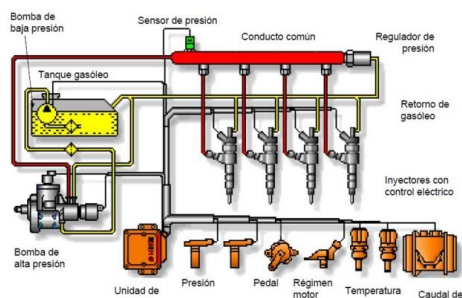


Figura 2. Sistema common-rail

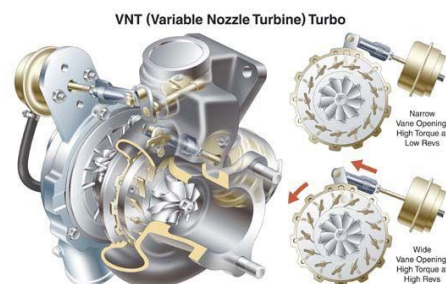


Figura 3. Turbocompresor de geometría variable

eléctricos, trampas de partículas, catalizadores,.... En adición a lo dicho anteriormente, esto no se podría haber dado sin la gran revolución tecnológica en lo referente al control electrónico de los parámetros de funcionamiento de un motor.

Una vez concluida esta pequeña historia sobre los orígenes del motor Diésel, en el presente trabajo realizaremos el estudio de uno de los parámetros más críticos de este tipo de motores, el cual es el arranque del mismo. Así pues, se realizarán en las condiciones más críticas posibles, las cuales se dan en altitud y baja temperatura, llegando a -25°C .

Para realizar dicho estudio, se está utilizando un motor 3.0L de cilindrada, el cual antes de ser ensayado, ha tenido que realizar el siguiente proceso:

1. Instalación del motor en la sala de ensayos y adecuación de este a la misma.
2. Instrumentación del motor y la sala.
3. Realización de los diferentes tipos de ensayos.

Durante la realización de los ensayos, estos serán meramente para observar qué sucede durante el arranque, para posteriormente ver si es viable realizar algún tipo de modificación en los parámetros de arranque del motor.

Antecedentes

El presente trabajo de fin de grado se ha realizado en la cámara climática y de altura, la cual está situada en el edificio 6D dentro de la Universidad Politécnica de Valencia, más concretamente, pertenece al Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, el cual ha dado la oportunidad a colaborar con ellos y realizar dicho trabajo. Esta cámara, como se explicará más adelante, tiene la capacidad de recrear un ambiente de hasta -30°C y una altitud de 3000 metros.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo de fin de grado consistirá en la adaptación de un motor policilíndrico de 3.0L de cilindrada, con el fin de poder realizar ensayos de arranque en frío y altitud.

Para ello, se realizará la instalación de una culata mecanizada por la compañía AVL, la cual contendrá los sensores de presión instantánea ubicados en cada cilindro. Una vez instalada la culata específica, se readaptará el sistema de adquisición de datos para poder leer las señales procedentes de los sensores mencionados anteriormente.

A su vez, reconstruiremos el sistema de alimentación de combustible y refrigeración, para funcionar dentro de la instalación.

Por último, se instrumentará todo el motor, para poder realizar los ensayos en altitud utilizando el MEDAS.

Planteamiento

En dicho apartado se definen los distintos documentos que compondrán este trabajo de fin de grado. Estos van a ser dos, la memoria y el presupuesto, los cuales estarán formados por los siguientes capítulos:

DOCUMENTO 1:

- Capítulo 1: Introducción

Se realizará una pequeña mención a la historia del motor Diésel, además de mencionar el objetivo de este proyecto de final de grado. Finalmente, se demostrará la viabilidad de dicho proyecto gracias al Centro de Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia.

- Capítulo 2: Herramientas experimental

Se efectuará una descripción y método de funcionamiento de los diferentes componentes que forman la propia sala de ensayos, desde los equipos que permiten simular bajas temperaturas hasta el equipo que simula altitud. Por último, se mencionarán las características del motor sobre el que se realizará los ensayos y como se han modificado o adaptado sus sistemas para funcionar en el interior de esta peculiar sala de ensayos.

- Capítulo 3: Metodología experimental

Se citará como se ha instalado la nueva culata instrumentada en el motor, así como una descripción de la misma y sus sensores. Además, se realizará una explicación de los sistemas electrónicos de adquisición de datos y los diferentes sensores que estos utilizan. Para finalizar, se mencionaran los diferentes programas y equipos que permiten el control remoto del propio motor.

- Capítulo 4: Medidas y resultados

En dicho capítulo se van a mostrar las diferentes medidas que se han podido obtener y los resultados que estas proporcionan.

- Capítulo 5: Desarrollo futuro y conclusiones

Se efectuará una explicación de las conclusiones extraídas de los resultados de los ensayos y se citarán los diferentes puntos relevantes de esos resultados. Por otra parte, se mencionará un posible desarrollo futuro en la instalación y componentes de la misma.

DOCUMENTO 2:

- Presupuesto

Por último, se efectuará un análisis de los costes del proyecto.

Viabilidad

El Departamento de Máquinas y Motores Térmicos cuenta con la suficiente experiencia para la realización de la instalación experimental que incluye el montaje del motor con todos sus elementos auxiliares y de control, así como del análisis de los resultados que esta instalación aporte. La línea de investigación de arranques en frío y altitud permite la realización de la instalación, así como de las medidas experimentales necesarias, tales como presiones instantáneas en la cámara de combustión, temperatura de diferentes puntos, emisiones de gases, etc.

Para que todo este estudio se realice de forma efectiva son necesarios tres requisitos:

- Una buena base económica.
- Disponer de la tecnología necesaria.
- Medios humanos con experiencia en el tipo de instalaciones, tanto para su realización, como para los análisis de los datos obtenidos posteriormente.

La viabilidad económica la asegura el convenio de investigación firmado entre el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos y la empresa constructora de automóviles Nissan para el desarrollo de este proyecto.

El departamento dispone de equipos y herramientas así como de material especializado y de última generación fruto de más de 25 años de investigación en el campo de los motores térmicos.

Por último el equipo humano está compuesto por ingenieros con una larga experiencia en este campo además de alumnos que se encuentran realizando el doctorado o Trabajo Fin de Grado.

CAPÍTULO 2 –HERRAMIENTAS EXPERIMENTALES-

Sala de ensayos

En este punto se realizará una descripción del emplazamiento en el cual se efectuará la parte experimental del proyecto, para que se pueda obtener una serie de resultados, los cuales serán procesados a posteriori con el fin de obtener unas conclusiones relevantes del estudio.

En este caso, se trata de un banco de ensayos el cual está emplazado en el interior de una cámara frigorífica industrial, la cual tiene la capacidad de alcanzar temperaturas de hasta -30 grados centígrados. Además, esta cámara está preparada para poder realizar vacío en su interior, mediante la utilización de dos bombas que extraen el aire de su interior, permitiendo alcanzar presiones en su interior de hasta 700 mbar, o lo que es lo mismo, simular 3000 metros de altitud. Remarcar que la instalación podría alcanzar una altitud mayor, pero por seguridad está limitada a 700 mbar. Por tanto, la denominación que recibe esta sala de ensayos es cámara climática y de altitud, debido a que simula en un motor condiciones de frío-altitud, la parte más relevante en el estudio de arranques en motores diésel.

- o Descripción de la sala

Siguiendo con lo citado anteriormente, se realizará un pequeño desglose de cómo está constituida la sala de ensayos, así como una descripción de sus peculiaridades.

Como se ha comentado en el apartado anterior, esta sala es capaz de generar vacío en su interior, lo cual supone un gran reto estructural debido a que las cámaras de frío industriales no están constituida para ese fin. Las paredes de esta deben soportar una distribución de carga de alrededor de 3000 kg/m², además de no perder su aislante térmico. Por ello, se realizó manteniendo el aislamiento común a las cámaras frigoríficas, pero teniendo una estructura interior de refuerzo realizara con perfiles HEB.

La disposición interior de la sala, está formada por dos recintos que componen la sala en general (Figura 4). El primero de ellos, y de tamaño, considerablemente, más pequeño que el segundo se utiliza como un acondicionador del ambiente, en lo que a condiciones de frío se refiere, tomando aire del exterior el cual ya se enfría a una primera temperatura, para después ser introducido en el recinto principal y ya enfriarlo a la temperatura deseada. De esta forma, se tiene un mejor control de las condiciones de frío que se deseen establecer, así mismo, sirve como una etapa de transición para cualquier persona que tenga que entrar en la sala, evitando así un gran choque térmico entre la temperatura exterior-interior. Esta primera parte de la sala se conoce con el nombre de cámara pulmón. La segunda parte de la sala, o cámara principal, es

de un tamaño mucho mayor, está preparada para albergar en su interior una bancada con un motor, junto con su freno, además de poder introducir a su vez un vehículo entero.



Figura 4. Disposición sala de ensayos

- Disposición estructural.

A continuación se comentarán los componentes principales que forman la estructura principal de la cámara (Figura 5):

- Perfiles HEB-240: Estos componen los pilares, suelo y forjado.
- Perfiles HEB-200: Componen la estructura entre el forjado.
- Perfiles HEB-80: Elementos para aportar una rigidez extra.



Figura 5. Estructura cámara climática y de altitud

Continuando la composición estructural de la sala, en las paredes de la misma se han utilizado paneles aislantes tipo sándwich de poliuretano con 150 mm de espesor, los cuales tienen un coeficiente de conductividad térmica de 0.12 kcal/(m²°C), además de chapa de acero nervada de 0.5 mm de espesor. En lo referente al suelo, está formado por una gran losa de hormigón, la cual dispone de una estructura metálica aislada del exterior mediante tela asfáltica y material aislante.

Por último, comentar que existe una sala de control, la cual se puede visualizar en la figura 1, desde la cual se realiza el control de toda la sala. Esta dispone de dos pequeñas ventanas de doble cristal, el cual puede resistir las condiciones de presión y temperatura del interior de la cámara, estas ventanas permiten la visualización de lo que sucede en el interior, además de un monitor que muestra imágenes del interior mediante una cámara digital instalada en el interior de la sala.

- Sistemas que componen la cámara climática:

Como se comentó en puntos anteriores, esta sala de ensayos es capaz de simular temperatura baja y altitud. A continuación se muestran los sistemas que permiten este tipo de simulaciones:

- *Sistema de climatización*

Para la producción de frío en el interior de la sala, se realiza mediante un ciclo de compresión de vapor, el cual utiliza un fluido refrigerante (R-404-A).

Como se puede apreciar en la figura 6, la cual muestra un esquema simplificado del sistema, se aprecia cómo se realiza una compresión de refrigerante, por tanto este supera la temperatura ambiente, y se produce una cesión de energía en el condensador. A continuación, el fluido pasa a través de una válvula de expansión, y este ve reducida su presión, además de su temperatura con el objetivo de absorber energía térmica de la sala a través del evaporador. Una vez pasa por el evaporador, el fluido vuelve al compresor y se repite el proceso.

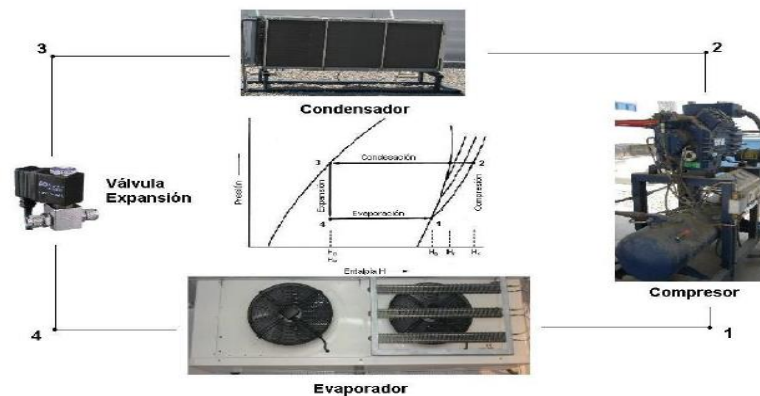


Figura 6. Esquema sistema de climatización

Remarcar, que en la instalación de la propia sala existen dos circuitos de generación de frío: el de la cámara pulmón y el de la cámara principal, cuya diferencia es solo la potencia de cada sistema.

El sistema que abastece de frío a la cámara pulmón, así como el que abastece a la cámara principal, tienen un evaporador capaz de trabajar hasta $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un condensador que llega hasta $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, la diferencia entre los dos sistemas reside en el compresor, siendo de 11 kw en de la cámara pulmón, y de 25.7 kw en de la cámara principal. Esto nos da como resultado una capacidad frigorífica de la cámara pulmón de 7532 kw y de la cámara principal de 16811 kw.

○ *Sistema de vacío*

En lo que concierne al sistema de vacío, éste realiza su función mediante de bombas de potencia (4kw) que extraen un caudal de aire, mediante el cual las bombas pueden llegar a una presión absoluta de 0.7mbar. Ambas bombas están controladas mediante un sistema automatizado de control de presión, el cual permite situar la presión de la cámara en un valor que oscila 10 mbar, este realiza su función mediante la parada y puesta en marcha de ambas bombas o de una sola, además de la utilización de dos electro-válvulas que controlan el caudal aspirado del interior de la cámara.

La medición de la presión de la sala se realiza mediante un sensor que se encuentra en la línea de extracción de aire, la cual esta presurizada y aporta una medida exacta de la presión en el interior de la sala. Remarcar, que por seguridad, la altura máxima alcanzable es de 3000 metros correspondiente a 700 mbar de depresión en el interior de la cámara. Por seguridad, el sistema dispone de una válvula manual de alivio, la cual despresuriza la cámara en caso de emergencia.

Para la utilización del sistema de vacío que dispone esta instalación, antes de su puesta en marcha se debe realizar un refuerzo de las tres puertas de acceso que tiene la sala, mediante una serie de perfiles de acero los cuales hacen de refuerzo cuando se realiza depresión en el interior de la cámara, imposibilitando que las puertas de acceso colapsen.

Por último en la figura 7 se puede observar el esquema de funcionamiento de la instalación:

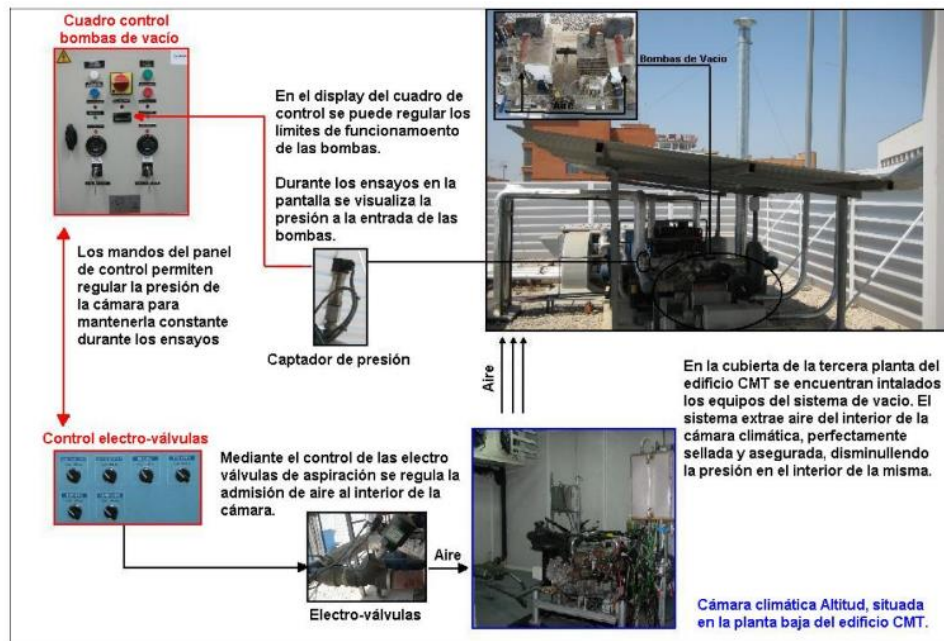


Figura 7. Esquema sistema de vacío

o *Sistema de control de humedad.*

El último sistema que forma parte de esta sala de ensayos es el sistema que permite controlar la humedad del interior de la misma. Esto se realiza mediante una serie de resistencias de calentamiento situadas a continuación de la salida de aire frío del evaporador situado en el interior de la cámara.

La regulación de la humedad de aire, así como el control de temperatura del aire frío que sale del evaporador, se realiza mediante un sistema automático de control, en el cual estableciendo una consigna deseada, se obtiene el resultado en la sala de ensayo. A continuación, se muestra en las figuras 8 y 9 figura una representación del panel de control, así como, de las resistencias.

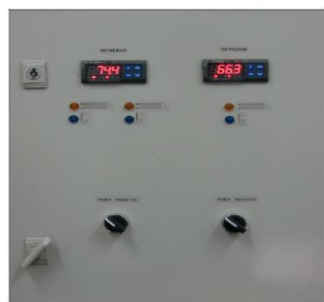


Figura 8. Panel de control del sistema de control de humedad



Figura 9. Resistencia de control de humedad

○ MEDAS

En este proyecto en particular se va a utilizar un equipamiento adicional al que tiene la propia sala de ensayos, este es un equipo de simulación de altura desarrollado por el propio CMT y comercializado por HORIBA, el cual se denomina MEDAS (Figura 10).



Figura 10. Medas

Este sistema se conecta al escape del motor y a la admisión del mismo y permite establecer en el motor las condiciones de altitud que deseemos hasta 6000m. La utilización de este equipo es necesaria ya que durante la batería de ensayos a realizar en el proyecto, hay que probar el arranque del motor a 2500 y 5000 metros, y dado que la cámara climática, como se ha comentado anteriormente, solo puede llegar a 3000 metros, se ha decidido realizar los ensayos de altitud directamente con el MEDAS, por facilidad de medida y montaje.

La consigna de altitud y la regulación del MEDAS también se realizará desde el interior de la sala de control (Figura 11 y 12), ya que este equipo dispone de un escritorio remoto, lo que facilitará los ensayos.

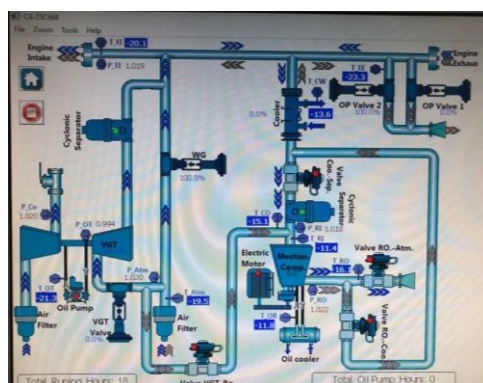


Figura 11. Esquema funcionamiento MEDAS

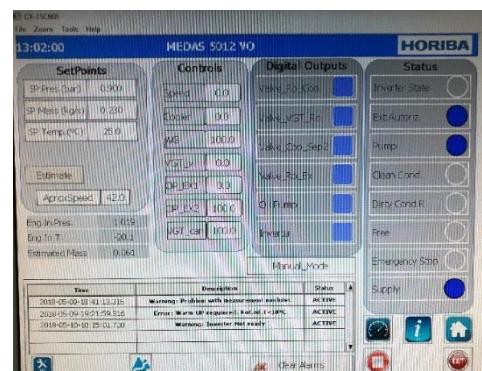


Figura 12. Panel de control MEDAS

Motor

o Bancada de motor.

Primeramente, se debe realizar un soporte para la colocación del motor en el interior de la sala de ensayos, y a su vez, permitir al mismo el acoplamiento de un freno motor, que en condiciones de arranque en frío simulará la inercia de la caja de cambios y de todos sus componentes internos, y facilitará, una vez arrancado el motor y medidos los datos relevantes, a calentar el motor. En este caso, el conjunto de la bancada motor está compuesta por una estructura principal y una secundaria, la cual da soporte al motor.

La estructura principal se ha realizado utilizando perfiles UPN 120 (Figura 13), los cuales se han posicionado de forma concreta con el fin de obtener una estructura rectangular. Dicha bancada, está compuesta por dos chasis y presenta la cualidad de poder ser desplazada con relativa facilidad. Por ello, el chasis principal presenta unas medidas de 2100x830mm y equipa en cada vértice una rueda loca que permite su movilidad, así como, un silentblocks regulable en altura presente en cada vértice, los cuales fijan la bancada para evitar su movimiento y reduciendo considerablemente las vibraciones. Sobre este chasis principal, se sitúa una estructura secundaria rectangular, de medidas 2605x630mm, formada por 4 perfiles UPN 120, los cuales se sitúan dos a dos con una separación entre los mismo de 30mm, de esta forma, se crean dos pequeños carriles por los que se puede desplazar la bancada del motor y el freno, con lo que la estructura puede albergar diferentes tipos de motor y frenos. Esta está apoyada sobre el chasis principal mediante 4 silentblocks a 30°.



Figura 13. Bancada motor con freno dinamométrico

○ Freno dinamométrico

Para la instalación del motor en la bancada y con el fin de controlar el mismo, uno de los elementos más relevantes es el freno motor. Este tiene la función de ejercer un par que se oponga al giro del motor, posibilitando una regulación del par y velocidad de giro.

○ Descripción:

Como podemos apreciar en la figura (-) mostrada en el apartado anterior, en esta instalación se dispone de un freno de la marca Schenck (Figura 10). Este es de la variante de freno de corrientes de Foucault, el cual mediante la inducción electromagnética genera este par de frenado. En nuestro caso, el modelo que utiliza la instalación tiene los siguientes límites:

- Par máximo: 750 Nm
- RPM máximas: 10000
- Temperatura máxima refrigerante: 60 °C

Para la obtención de las medidas tanto de par como de giro de motor se utilizan los siguientes métodos:

- Medida de par: Se utiliza una galga extensiométrica o una célula de carga, debido a que el estator del freno tiene permitida una pequeña oscilación en la bancada en la que reside, por tanto, mediante estos mecanismos, se puede obtener el par de giro que genera el motor midiendo la variación en la resistencia de la galga o célula de carga, producida por la deformación de la estructura oscilante.
- El régimen de giro se obtiene mediante la utilización mediante un codificador angular, el cual presenta 60 divisiones a lo largo de la circunferencia del freno, es decir, una división cada 6° de giro del mismo.
- Temperatura de funcionamiento: Al ser un dispositivo el cual se encarga de frenar el motor y, por tanto, disipar la energía que este produce, se genera gran cantidad de calor. Para ello se utiliza un sistema de control automatizado, el cual cuenta con un relé y un transmisor que registra la temperatura del freno. Si el sistema detecta que la temperatura es superior a los 60°C manda más caudal de agua al freno, si es inferior, el sistema deja pasar un caudal mínimo de agua continuamente.

Una vez visto cómo funciona el freno del cual disponemos, falta ver como se realiza el control del mismo, para ello existe un panel de control específico,

dentro de la sala de control. Este sistema ofrece dos formas de control: par constante o régimen constante, dado que el proyecto que se va a realizar trata sobre el análisis del arranque, el freno no estará operativo durante el arranque, solo servirá para simular la inercia de la caja de cambios. Una vez realizado el ensayo, el freno se pondrá operativo en modo régimen constante, para posibilitar aplicar carga al motor y así realizar el calentamiento del mismo.

- o Circuito de refrigeración del freno motor.

La propia sala de ensayos dispone de dos sistemas de refrigeración, uno destinado para el motor y equipamiento externo al mismo, y otro que funciona en exclusiva para el freno.

El circuito de refrigeración del freno, contiene en su interior agua destilada y glicol, formado una agua glicolada a un 50%, para evitar su congelación y así poder operar a las temperaturas tan bajas a las que opera esta sala de ensayos.

El circuito está formado por una bomba centrífuga situada en el exterior de la sala de ensayos, la cual impulsa el agua a través de las tuberías. Primeramente, esta agua pasa por un intercambiador de placas, también situado en el exterior de la sala, para bajar su temperatura si fuera necesario, y luego ya entra en la sala y actúa como refrigerante del freno.

Comentar que dicho circuito se encuentra presurizado, entre 0.5-1 Bar, para así evitar que el propio circuito tenga aire en su interior.

- o Descripción del motor.

Estamos ante un motor 3.0L diésel del gigante japonés Nissan, en concreto de su ZD30DDTI (figura 14), el cual es uno de sus referentes en lo que se refiere a motores de carácter industriales, utilizados mayoritariamente en pequeños camiones o en furgonetas de gran carga.



Figura 14. Motor Nissan ZD30DDTI

Se trata de un motor de encendido por compresión de 4 cilindros y 3.0L de cilindrada, el cual dispone a su vez de sobrealimentación mediante un turbocompresor de geometría variable y multitud de dispositivos para la reducción de emisiones contaminantes.

o *Características técnicas*

A continuación se muestran (figura 15) las características técnicas del motor sobre el que se realiza el estudio.

Código de identificación	ZD30DDTI
Número de cilindros	4
Número de válvulas	16
Diámetro x Carrera (mm)	96 x 102
Cilindrada (cm ³)	2953
Relación de compresión	17.9: 1
Potencia máxima (kw/CV)	113/154
RPM Max. Potencia	3600
Par máximo (Nm)	304
RPM Max. Par	1600
Sistema de inyección	Common Rail Direct Inyection
Sistema de sobrealimentación	Turbocompresor de geometría variable
Combustible	Diésel
Normativa de emisiones	Euro 5

Figura 15. Ficha técnica del motor

o *Sistema de control de motor*

En este caso, el motor que Nissan proporcionó para la realización de los ensayos, trabaja con una electrónica elaborada por BOSCH. Como el motor está destinado a la realización de ensayos, este sistema de control tiene la peculiaridad de estar abierto, esto quiere decir que se pueden realizar cambios dentro de su configuración, para intentar optimizar sus procesos.

Dado que el control de todos los sistemas de control del motor se realizan desde la sala de control, se tiene que modificar el circuito eléctrico original para poder adaptarlo a la configuración de ensayos de arranque (figura 16). Esto quiere decir que numerosos controles que normalmente la unidad de control realiza automáticamente, se realizarán por el técnico de ensayos, procesos tales como el contacto, puesta en marcha de las bujías de precalentamiento, botón de arranque, puesta en marcha del alternador o puesta en marcha del ventilador de intercooler.

Dichos procesos, los cuales realizará manualmente el técnico, se ha decidido no automatizarlos por diversas razones. Una de las más relevantes en la siguiente; en el proceso de arranque, conforme damos contacto al motor este monitoriza la temperatura del agua y si detecta que es baja, enciende las bujías de precalentamiento y comienza en pre-proceso de arranque. Esto es inviable para este tipo de ensayos, ya que lo que se quiere es poder dar contacto a la ecu, que registre la temperatura a la que está el agua y entonces nosotros mismos pondremos o no las bujías en marcha, tiempo que se gana para la correcta preparación de todos los equipos de medida o para realizar modificaciones en la ecu antes del arranque.

Otro de los elementos que se activan remotamente es el alternador, esto se debe a que en un ensayo de arranque se quiere observar los primeros ciclos y procesos que realiza el motor, por eso el alternador resulta desconectado durante ese tiempo, eliminando una pérdida mecánica que podría interferir en los resultados que se obtengan del ensayo. Posteriormente, y una vez se ha realizado todas las medidas, se conectará el alternador para recargar la batería, dado que esta sufre mucho en este tipo de ensayos.

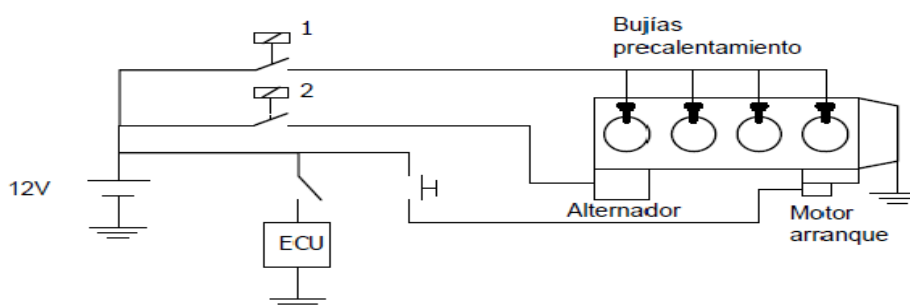


Figura 16. Sistema de control del motor

- Sistema de escape del motor

Uno de los puntos que más atención se debe prestar en el montaje de esta instalación es la de colocar la salida de escape en una correcta posición. Esto se debe a que una contrapresión o depresión dentro de la línea de escape puede hacer que el arranque proporcione unos resultados erróneos.

En nuestro caso, este escape dispone de catalizador y de trampa de partículas, los cuales han de ser montados para crear la contrapresión que generaran en la vida real estos dos sistemas. El principal problema que tendremos es que la trampa de partículas durante los arranques en frío sufrirá mucho y se saturará con gran facilidad, por lo que tendremos que controlar como esta está por si en los momentos posteriores al arranque, es necesario cargar el motor y generar una temperatura de escape suficiente para regenerar la trampa.

- Sistema de refrigeración del motor

Comúnmente en los ensayos de arranques en frío, la configuración habitual es con el radiador del propio vehículo instalado. En este caso particular, no disponíamos de radiador por lo cual se realizó otro tipo de instalación.

Esta se compone de un sistema muy similar al que utiliza el propio freno dinamométrico del motor. El agua que circula por el interior del motor es glicolada a un 50% y se desplaza por el interior del motor y por un intercambiador de placas. Por este intercambiador, circula a su vez otro sistema con agua glicolada a un 50% que abandona la sala de ensayos y se recircula por el exterior de esta. Todo esto, impulsado gracias a una bomba de agua centrífuga situada en el exterior de la sala.

o Sistema de combustible

En lo referente a la alimentación de combustible del motor (Figura 17), también existen cambios respecto a una instalación convencional en un vehículo.

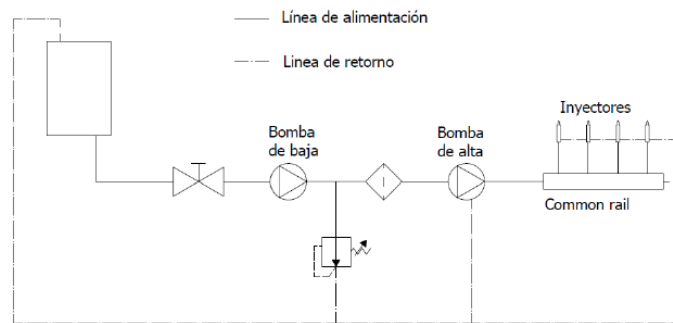


Figura 17. Sistema alimentación de combustible

El combustible se sitúa en un depósito de aluminio unido a la estructura de la bancada, emplazado en altura, para que mediante gravedad y una pequeña bomba de combustible se pueda cebar el sistema common rail, el cual una vez cebado, ya utiliza la propia bomba de alta del motor. El sobrante de este, también vuelve a dicho depósito. El emplazar el combustible de esa manera se realiza con el fin de que este también se encuentre a la misma temperatura que el motor y así simular las condiciones de arranque en frío de una manera lo más precisa posible.

En los ensayos que este fabricante ha especificado que quiere realizar, se han utilizado dos tipos de combustibles; uno de ellos un diésel convencional, utilizado en los ensayos de arranques a -5°C y un combustible especial para arranques en frío, que se usó en los ensayos a -15 y -25°C .

CAPÍTULO 3 -METODOLOGIA EXPERIMENTAL-

En este apartado se va a proceder a describir los pasos que se seguirán en la realización de los ensayos pertinentes, así como los diferentes equipos o programas utilizados para la adquisición de datos y los parámetros característicos que se deben medir y posteriormente analizar.

En el apartado de equipos, que encontraremos más adelante, se van a tratar la cadena de adquisición rápida YOKOGAWA, un data logger que registrará temperaturas obtenidas de termorresistencias, el software INCA y el software desarrollado por el propio departamento conocido como SAMARUC.

Instrumentación del motor


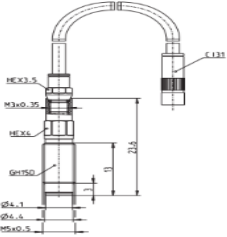
A continuación se va a detallar la instrumentación que se ha adaptado al motor para poder obtener los datos deseados. Decir, que dicha instrumentación ha sido realizada íntegramente por los técnicos de laboratorio, ya que Nissan no envió el motor instrumentado.

o Presión instantánea en los cilindros

Tratándose de ensayos de arranque en frío y altitud, una de las medidas más críticas y que aporta más información sobre cómo se está produciendo la combustión en cada ciclo y en cada cilindro es la presión instantánea en los cilindros.

Para poder tener este valor, se ha tenido que modificar una culata original, la cual ha sido realizada por parte de AVI, los cuales también han proporcionado los 4 sensores de presión modelo GH15D (figura 18).


GH15D
TIGG1349B.01

Scope of supply

- Sensor GH15D
- Piezo-input cable C31-1
- Coupling CC31
- Accessory kit (protection cap + 2 spare o-rings)
- Calibration sheet
- Documentation

The GH15D has the slimmest contour due to a M3 cable connector and allows very precise thermodynamic measurements with a sensor of size M5. This is realized by thermally optimized piezoelectric crystal elements and the special Double Shell™ design. It decouples the piezoelectric elements from negative influences of mechanical stresses which can occur due to the mounting of the sensor into the engine. A thermo protection can improve the cyclic drift down below ± 0.3 bar. The sensor is equipped with built-in SID for SDM.



Specifications		
Measuring range		0 ... 250 bar
Overload		300 bar
Sensitivity		19 pC/bar nominal
Linearity	±	0.3 % FSQ
Calibrated ranges		0 ... 80 bar 0 ... 150 bar 0 ... 250 bar
Natural frequency		160 kHz
Acceleration sensitivity		0.0005 bar/g
Shock resistance	≥	2,000 g
Insulation resistance	≥	10 ¹¹ Ω
Capacitance		7.5 pF
Sensor operating temperature range *		-40 ... 400 °C
Thermal sensitivity change	<	1 %
	±	0.25 %
Load change drift		1.5 mbar/rms
Cyclic temperature drift **	±	0.3 bar
Thermo shock error Δp *	±	0.3 bar typ.
Thread diameter		M5 x 0.5 front sealed
Cable Connection		M3 x 0.35 negative
Weight		2.2 grams without cable
Mounting torque		1.5 Nm

* Surface temperature around the HEX = 200 °C

Figura 48. Ficha técnica sensor AVL GH15D

Para poder instalar este tipo de sensor, se hizo un estudio de la culata original por parte de AVL en colaboración con los técnicos del CMT, determinando que la mejor posición para estos era justo entre los dos pares de válvulas de admisión y escape (figura 19). Se puede apreciar como el sensor y su cable atraviesan la culata entre la 2 válvula de admisión y de escape, subiendo hasta la parte donde se encuentran los taqués. A partir de ahí, los técnicos del CMT realizaron una serie de modificaciones en la tapa de balancines para poder pasar el cable de carga de los sensores a través de unos finos tubos de teflón, los cuales fueron fijados a esta tapa mediante silicona de juntas, para evitar cualquier fuga de aceite que pudiera estropear el cable de carga y, a sí mismo, la información que este transmite. Finalmente, los cables de carga son conectados a un amplificador KISTLER 5011, los cuales acondicionan y filtran la señal, que es registrada en la cadena de medida YOKOGAWA.

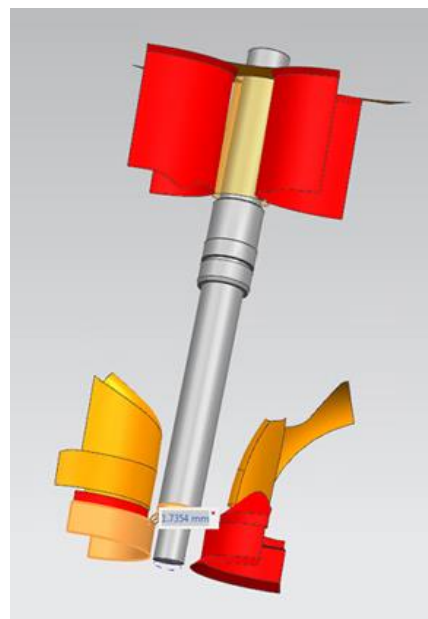


Figura 19. Sensor de presión

Remarcar que para la correcta instalación de la culata instrumentada, se utilizó una nueva junta de culata según las especificaciones del fabricante y esta se montó siguiendo los pasos marcados en el manual de taller del motor sobre el que trata el ensayo. Mencionar, que el emplazamiento en el cual se tienen los sensores es muy controvertido, debido a la facilidad de rotura del mismo, ya que estos atraviesan la culata justo por su parte central (figura 20), por lo que, durante todos los ensayos los técnicos establecieron unos límites de revoluciones y par del motor, siendo estos de 2000rpm y 100nm, para cualquier fase posterior al arranque, durante el calentamiento del motor.

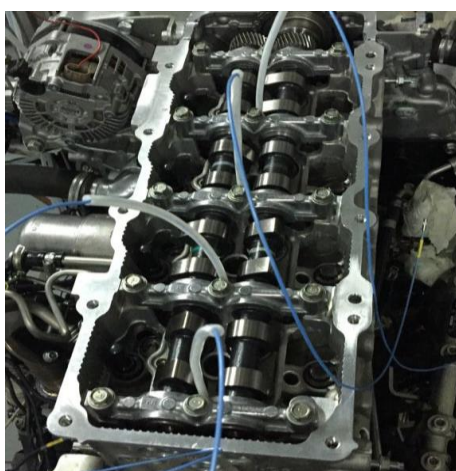


Figura 20. Culata instrumentada con sensores de presión

La utilización de este tipo de sensor viene dada por su utilidad en la visualización de la PMI y PME, además de permitir conocer si existen pérdidas de compresión durante el arranque, y poder valorar si estas son por problemas derivados de las bajas temperaturas o de fallos de arranque.

○ Régimen instantáneo

El régimen del motor se registrará en la propia ECU del motor y se puede conocer de forma continua observando la señal que proporciona la misma. Este método es válido para cualquier vehículo, pero no si necesitamos una gran precisión. Por ello se utiliza además un codificador angular, diseñado para soportar temperaturas tan bajas, el cual además de proporcionarnos la velocidad de giro del motor con gran precisión, permite sincronizar los datos obtenidos junto con el ángulo de giro del cigüeñal, de modo que los datos puedan ser analizados en función del tiempo o del ángulo por ciclo.

Dicho codificador funciona de la siguiente manera, este está formado por un disco con 720 marcas divisorias, las cuales son captadas de forma continua por un sistema óptico, de este modo, tenemos una resolución de 0.5º. Comentar que este sistema cuenta con una marca, la cual se denomina Trigger, la cual indica el punto de comiendo de una nueva vuelta completa.

○ Tensión

La tensión es un aspecto clave para los estudios de arranque en frío, ya que una batería en mal estado distorsionaría cualquier resultado obtenido. Por ello, durante los diferentes ensayos se va a controlar la tensión de:

- Motor de arranque
- Bujías de precalentamiento
- Pulso de cada inyector

Los datos obtenidos son registrados por la cadena de medida YOKOGAWA.

o Intensidad

En cuanto a la intensidad, las medidas que se van a recoger son la proporcionada por el motor de arranque y las bujías de precalentamiento. La medida de la intensidad y la tensión, nos puede dar luz sobre si se está produciendo un correcto funcionamiento del motor de arranque o las bujías de precalentamiento, viendo si estas están dentro de los límites que Nissan nos proporciona.

Al igual que la tensión, la medida de la intensidad se registra en la cadena de medida YOKOGAWA, y esta la obtiene por la utilización de una pinza amperimétrica, la cual ofrece una medida de gran precisión, sin ser un método intrusivo.

o Temperaturas

La monitorización de las temperaturas de motor proporciona el estado del mismo en todo momento, pudiendo observar si este está trabajando de una forma correcta o no. Además, para los ensayos en frío es crucial ver las temperaturas continuamente del agua, aceite y combustible, además de la del bloque, para ver cuando todo el conjunto está totalmente frío y se puede realizar el ensayo de arranque.

En este caso, las temperaturas se han monitorizado mediante la utilización de termopares tipo K y tres termorresistencias PT100.

De esta forma, tendremos controlado de forma continua las temperaturas de:

- Ambiente
- Escape
 - 1 termopar en cada pipa del colector de escape
 - 1 termopar entrada DOC
- Admisión
 - 1 termopar entrada colector de admisión
- EGR
 - 1 termopar entrada EGR
 - 1 termopar salida EGR
- Turbocompresor
 - 1 termopar entrada turbina
 - 1 termopar salida turbina
 - 1 termopar entrada compresor
 - 1 termopar salida compresor
 - 1 termopar entrada intercooler
 - 1 termopar salida intercooler

- Aceite
 - 1 termopar en el cárter
- Combustible
 - 1 termopar deposito combustible

Todas estas medidas las registra el programa diseñado por la propia CMT, el SAMARUC.

○ Presiones

Aparte de las presiones instantáneas dentro de los cilindros, también se monitorizan diferentes presiones en todo el conjunto del motor. Estas son relevantes para el estudio, viendo cómo afectan al arranque la altitud.

Por ello, se monitorizan las siguientes presiones:

- Admisión
- Escape
- Turbocompresor
 - Presión entrada/salida turbina
 - Presión entrada/salida compresor

Las presiones citadas, se toman y almacenan mediante el SAMARUC.

○ Otras variables

Una vez hemos comentado las variables más relevantes para el arranque y en las que más dilación se presta para su adquisición. Decir, que también se monitorizan variables como la velocidad de giro del compresor o multitud de variables que proporciona la ECU, las cuales quedan registradas gracias al INCA.

Sistemas de adquisición de datos

Seguidamente, y una vez explicadas las variables que se van a tener en cuenta, y por tanto, se van a medir, vamos a proceder a describir los equipos encargados de recibir, interpretar y almacenar las señales que los multitud de sensores proporcionan.

- Rack de control de la instalación

Estamos ante el panel maestro (figura 21) el cual permite al usuario el control del motor o motores, está preparado para controlar dos motores, desde la sala de control.



Figura 21. Rack de control

Se puede observar, como se comentó anteriormente, que se pueden controlar dos motores. En este caso, el control se realiza con la parte derecha del módulo y disponemos del control de los siguientes elementos.

- Fuentes de alimentación
- Interruptor de puesta en marcha del ventilador del intercooler
- Interruptor de contacto
- Interruptor de corriente hacia la ECU
- Pulsador de arranque
- Interruptor de bujías de precalentamiento
- Interruptor de la bomba de llenado del depósito de combustible
- Interruptor de arranque del alternador
- Pulsador de emergencia
- Controlador PID con la temperatura de agua de refrigeración

○ Sistema de control de la instalación (SAMARUC)

Estamos ante uno de los programas informáticos de notoria importancia dentro del CMT, se trata del SAMARUC (Figura 22), el cual es un software de control desarrollado por la herramienta de desarrollo informático LabView por el propio departamento. Este programa otorga la capacidad de registrar multitud de señales de monitorizado del motor tales como temperaturas, presiones, rpm,.... Aparte de esto, el propio programa permite controlar de forma remota los módulos de control del freno dinámico, de tal forma que se puedan establecer ciclos de funcionamiento o condiciones concretas de operación. Como dato relevante de esta sala de ensayos, es que mediante una salida analógica se sustituye la función del pedal físico del acelerador, lo que permite al técnico correspondiente el control del mismo de forma remota.



Figura 22. Pantalla de displays del SAMARUC

Para el funcionamiento de este programa se necesitan los siguientes módulos de hardware, los cuales son proporcionados por National Instruments:

- BNC/TC 2095
- BNC 2090

El primero de los equipos, el BNC/TC 2095 nos permite el registro de las señales de todos los termopares que tiene instalados el motor o la instalación, además de permitir también el registro de los terminales BNC, los cuales transmiten señales analógicas y proporcionan una gran velocidad en la medida. Este módulo permite conectar hasta 32 terminales de cada tipo.

Por otro lado, el hardware BNC 2090, como su nombre indica, también se trata de otro modulo encargado de registrar señales de BNC, pero en este caso soporta señales de tipo analógico o digital. Este es el equipo

o Cadena de medida YOKOGAWA DL850V

En cualquier estudio de arranque es imprescindible obtener con gran resolución de medida cierto tipo de parámetros del motor: Presiones en el cilindro, pulsos de inyectores, etc. Para ello se utiliza la cadena de medida YOKOGAWA, en concreto hemos utilizado el modelo YOKOGAWA DL850V (figura 24).

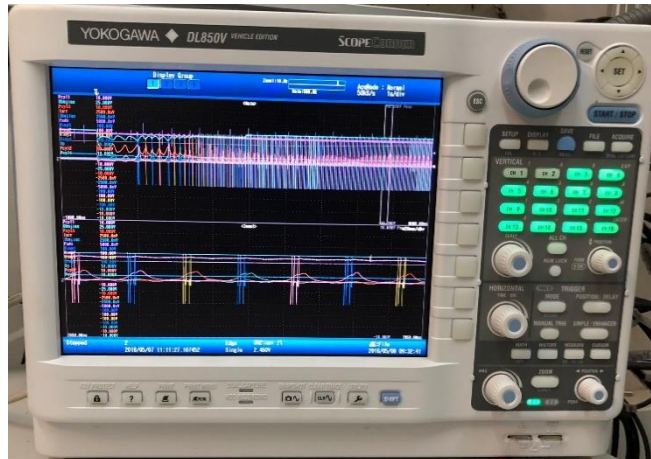


Figura 24. Yokogawa DL850V

Este sistema de adquisición nos permite obtener una frecuencia de muestreo de gran magnitud, por lo que posibilita obtener medidas de acciones de tiempo muy pequeñas, como la inyección o combustión. Por ejemplificar el orden de magnitud que se trabaja, en este proyecto vamos a realizar 16 medidas a 50Kz, teniendo presente que el codificador angular envía una señal cada 0.5º, es decir, 720 puntos por giro de cigüeñal. De este modo, se realizará una medida la cual tendrá una resolución de 500000 puntos.

Para la configuración de la cadena de medida se utiliza un programa realizado con Lab View, el cual también ha sido desarrollado por el propio CMT. Mediante este, se carga la configuración previamente definida. Una vez realizada la medida, el propio programa vuelca en el ordenador los resultados obtenidos.

En este proyecto, los canales que utiliza la cadena de medida son 16 y corresponden a:

- Canal 1: Trigger
- Canal 2: "N" por vuelta
- Canal 3: Presión cilindro 1
- Canal 4: Tensión bujías precalentamiento
- Canal 5: Presión cilindro 3
- Canal 6: Intensidad motor de arranque
- Canal 7: Intensidad bujías de precalentamiento

- Canal 8: Presión colector de admisión
- Canal 9: Tensión inyector 1
- Canal 10: Tensión inyector 2
- Canal 11: Tensión inyector 3
- Canal 12: Tensión inyector 4
- Canal 13: Opacímetro
- Canal 14: Presión cilindro 2
- Canal 15: Presión cilindro 4
- Canal 16: Presión colector escape

Mencionar que cada canal dispone de una configuración propia, utilizando un rango de medida o puntos de medida propios configurados dependiendo de lo que se quiera observar. Además, cada canal tendrá un coeficiente el cual multiplicara el valor de la señal para obtener el resultado en las unidades deseadas, dicho resultado, el propio programa volcará los datos de la cadena de medida en el ordenador y generará un fichero EXCEL, mediante el cual se podrá procesar posteriormente.

o Data logger AGILENT 34972

Como se comentó anteriormente, aparte de controlar las temperaturas mediante termopares de tipo K, también se instrumentaron 3 termorresistencias en el colector de escape. Las termorresistencias nos aportan un valor de medida de temperaturas más rápido y preciso, pero para su interpretación y medida es necesario utilizar un data logger (figura 25) que procese las siguiente señales.



Figura 25. Data logger

El control del mismo se realiza mediante un software informático desarrollado por LXI el cual conecta el propio dispositivo por cable LAN al ordenador y posibilita el control del Data Logger, y el volcado de las medidas en un archivo Excel.

Plan de ensayos

○ Introducción

Seguidamente se presenta el plan de ensayos previsto para este proyecto, donde vamos a diferenciar los ensayos en frío y los ensayos en frío-altitud. El conjunto de ensayos servirán para realizar un modelado del arranque del motor y así poder perfeccionar las estrategias de arranque.

○ Plan de ensayos

- Arranques en frío
 - Arranques a -5 °C (2 ensayos)
 - Arranques a -15 °C (2 ensayos)
 - Arranques a -25 °C (2 ensayos)
- Arranques en frío y altitud
 - Arranques a -5°C a 2500 y 5000 metros de altitud (2 ensayos)
 - Arranques a -15°C a 2500 y 5000 metros de altitud (2 ensayos)
- Variaciones arranque en frío a -25°C
 - Arranque a -25°C aumentando 100bar presión de rail
 - Arranque a -25°C disminuyendo 100bar presión de rail
 - Arranque a -25°C aumentando 2 mg masa inyecciones piloto
 - Arranque a -25°C aumentando 4 mg masa inyecciones piloto
 - Arranque a -25°C avanzando 2º inyección principal
 - Arranque a -25°C retrasando 2º inyección principal

Realizando todas estas pruebas y luego observando el resultado de las mismas, con su posterior análisis, se realizará un modelo informático del motor, el cual permitirá obtener la estrategia de arranque más efectiva que cumpla con las nuevas normativas de emisiones.

Mencionar que para estos estudios se utilizarán dos tipos de combustibles diésel: el primero de ellos es de tipo convencional y lo gastaremos para todos los ensayos que se realicen a -5°C, para las temperaturas de -15°C y -25°C, se utilizará un combustible de frío específico, dado que el convencional de las gasolineras españolas no está preparado para soportar temperaturas tan bajas.

Por último, el freno dinamométrico estará puesto para todos los ensayos de -5 y -15°C, dado que simulará la inercia de la caja de cambios del propio motor, pero para los ensayos de -25°C se quitara, permitiendo girar al motor en vacío, ya que la normativa de ensayos dicta que los ensayos por debajo de -20°C se deben realizar presionando el pedal del embrague, para evitar que el motor tenga que arrastrar la caja de cambios, y por tanto, permitir a este girar en vacío.

CAPÍTULO 4 –MEDIDAS Y RESULTADOS-

Introducción:

- o Tiempos de arranque.

Primeramente se debe comprender que el arranque es un proceso corto, formado a su vez por multitud de subprocesos, los cuales se van a describir brevemente para poder comprender las medidas y resultados que posteriormente se comentarán. Por tanto, dentro de un arranque, el cual es el periodo desde que se le pone el contacto al coche, hasta que el motor ha arrancado, tendremos los siguientes tiempos:

1. Tiempo de sincronización: Se trata del tiempo que tarda la ECU del motor en conocer y sincronizar la posición del cigüeñal, gracias al sensor que hay instalado en el bloque motor, con la posición del árbol de levas desde que el motor de arranque comienza a girar el motor.
2. Tiempo de arrastre: Periodo de tiempo en el cual la ECU ya está sincronizada y empieza a inyectar combustible, el motor de arranque está haciendo girar el motor, pero no se produce ningún tipo de combustión.
3. Tiempo de fallo: Intervalo de tiempo que sigue al tiempo de arrastre durante el cual se producen combustiones incompletas o, directamente, en algunos cilindros ni siquiera se produce combustión alguna.
4. Tiempo de rampa: Se conoce como el tiempo durante el cual todos los cilindros empiezan a quemar y va subiendo el régimen de giro del motor hasta llegar a un punto de estabilización.
5. Tiempo de arranque: Se trata del periodo de tiempo existente desde que se produce la sincronización hasta el arranque total del motor.

Estos diferentes tiempos se podrán observar más adelante en los resultados expuestos.

- o Fluidos internos del motor.

Otro de los factores clave dentro de un arranque, y más si consideramos que estas pruebas son a una temperatura muy baja, son los diferentes fluidos que tiene internamente un motor. Estos fluidos son: aceite motor, refrigerante y combustible. Se debe considerar el aceite, prácticamente, como la única forma de lubricación de cualquier motor, teniendo presente que en los arranques a baja temperatura el aceite no se comporta de igual manera que durante un uso continuado y a una temperatura de funcionamiento. Remarcar, que la viscosidad del mismo en frío varía en gran medida, por ejemplificar lo dicho, estudios del propio CMT demuestran que durante el arranque en frío, proceso en el cual el aceite está extremadamente denso y no realiza una correcta lubricación, multitud de componentes sufren un desgaste de en torno a 40 veces mayor que funcionando en su temperatura óptima. Factor por el cual, la elección de un correcto aceite, más si se trata de estudios en frío, es vital para poder operar de la mejor forma posible. En este estudio, se trabajará con un aceite 0W-30 proporcionado por el propio fabricante del motor.

En el apartado del líquido refrigerante, también se va a emplear una agua glicolada especial, la cual contiene un 50% de glicol, lo que permite que el refrigerante no se congele estando a los -25°C a los cuales el fabricante demanda algunos de los ensayos a realizar.

Finalizando, el combustible también ha de estar diseñado para poder funcionar a tan baja temperatura. Como se comentó anteriormente, se van a utilizar dos carburantes, uno de ellos convencional que se puede obtener en cualquier gasolinera española, ya que permite estar realizando ensayos hasta -5°C . El segundo combustible, se trata de un diésel especial, el cual tiene propiedades que le permiten funcionar hasta los -28°C , este es suministrado por la marca Total y se empleará durante los ensayos a -15°C y -25°C .

- Batería y motor de arranque.

La batería de cualquier coche tiene la función de permitir que todos los sistemas electrónicos del vehículo funcionen y permitir al mismo su arranque. En los ensayos de arranques en frío, uno de los componentes que más sufren son las baterías, por ese motivo, aparte de controlar su estado día tras día, se tiene un conjunto de 3 o 4 baterías, las cuales se intercambian tras cada arranque, permitiendo siempre realizar el ensayo con la capacidad óptima de la batería y teniendo esta también a la temperatura que se tiene el motor, ya que no funcionan igual a temperatura ambiente como a temperaturas bajas. Remarcar, que la batería aparte de permitir el funcionamiento del motor de arranque, también da energía para el funcionamiento de las bujías de precalentamiento, las cuales son el pilar angular del arranque en frío en un motor de encendido por compresión.

Durante todo el conjunto de arranques, el alternador no cargará la batería durante los primeros 2 minutos que son los que se guardan por parte de todos los sistemas de adquisición de datos.

Por último, también se controla el funcionamiento del motor de arranque mediante una pinza amperimétrica, debido a que si este no funciona como debería, no hace girar el motor a las revoluciones mínimas para que se produzca cualquier arranque.

Medidas

A continuación se van a distinguir los diferentes tipos de ensayos realizados, estos caracterizarán un mapa de arranque en frío y altitud. Para ello, se realizarán ensayos a tres temperaturas diferentes, -5, -15, -25 Cº. Además, para las temperaturas de -5 y -15 grados, se realizará el ensayo a 0 metros y 5000 metros. Por último, para la temperatura de -25Cº se realizarán dos cambios en la cartografía de arranque del motor, los cuales serán aumentar/disminuir 100 bar la presión de rail y la segunda variación será aumentar 2 y 4 mg/cyc la masa de la inyección de las pilotos. Muestras tres tablas diferenciadas según el tipo de ensayo. Dada la multitud de pruebas realizadas, se van a estudiar los 3 puntos de ensayos en los cuales más dispersión de resultados se ha obtenido.

El realizar este tipo de ensayos no está sujeto a una libre elección, sino tratando de simular los puntos más críticos dentro de un arranque en frío, de ahí que se elijan tres temperaturas diferentes y una gran altitud. Además, los cambios realizados siguen la línea de intentar observar la validez de la estrategia de arranque, por si existiera la manera de optimizarla.

Por último, los puntos de los ensayos se han determinado con el fabricante, dado el interés de este por abarcar un gran campo de medida y probar la validez de las estrategias de arranque, así como, de la capacidad del propio motor para poder funcionar de manera correcta a estas temperaturas y altitud.

Resultados

Seguidamente, se van a mostrar los resultados obtenidos al procesar todos los datos recopilados durante los diferentes ensayos, estos se mostrarán en diversas gráficas a continuación.

- Ensayo a -5°C y 0 metros de altitud:

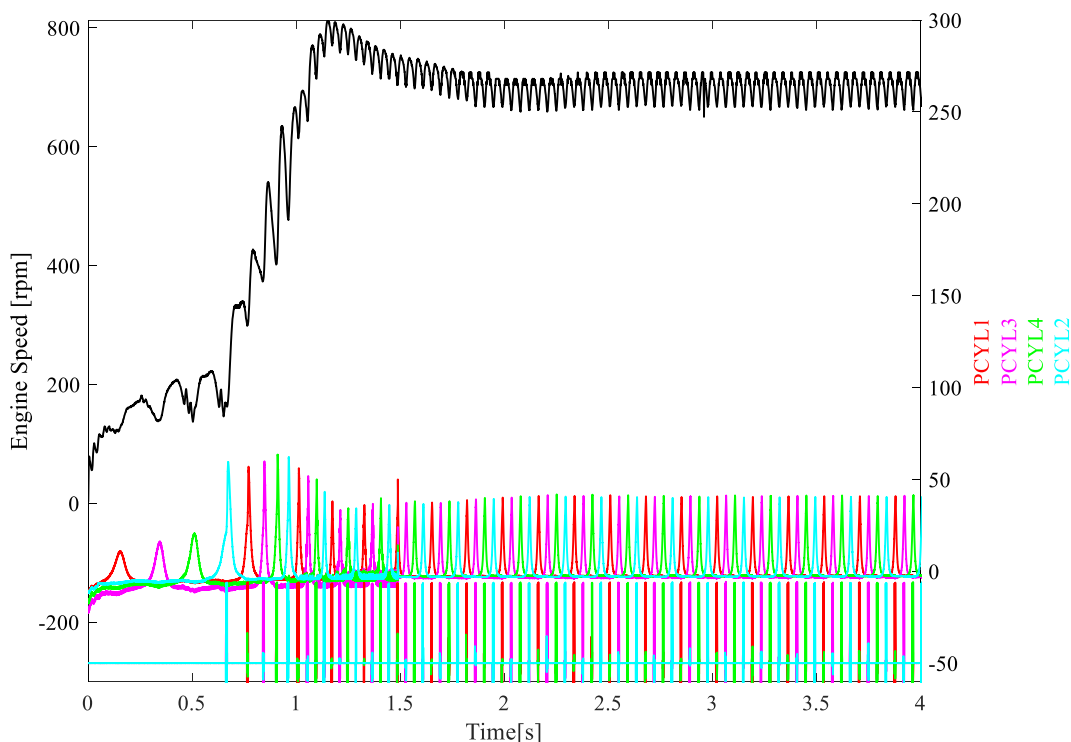


Figura 26. Gráfica tiempo de arranque frente a rpm de motor y presión instantánea por cilindro.

En la figura 26 se muestra cómo se produce el arranque en toda su totalidad. El motor tarda en realizar el arranque aproximadamente 1.5 segundos. Primeramente se aprecia un periodo de arrastre entorno a los 0.5 segundos, durante el cual no se produce combustión en ninguno de los cilindros. A partir del segundo 0.7, se aprecia la rampa de arranque, además de observar como las presiones en cada cilindro aumentan de manera considerable. Por último, se aprecia un pico de rpm y a continuación una estabilización, correspondiente al régimen de ralentí del propio motor. Por tanto, se puede concluir que el arranque a -5°C y 0 metros este motor lo realiza de una manera satisfactoria.

En adición a lo citado anteriormente, en la figura 27 se puede observar perfectamente el régimen de ralentí el cual se sitúa a 700 rpm. Nota curiosa es la evolución del turbocompresor del propio motor, ya que este sigue aumentando su velocidad aunque el régimen de motor está estable, esto se debe a que durante los primeros ciclos después del arranque la ECU está regulando la inyección de combustible, de ahí que hasta que no empieza a regular correctamente el turbo sigue aumentando su velocidad (figura 28). Se puede decir que el régimen de ralentí y de estabilización del motor empezaría sobre el segundo 4,2.

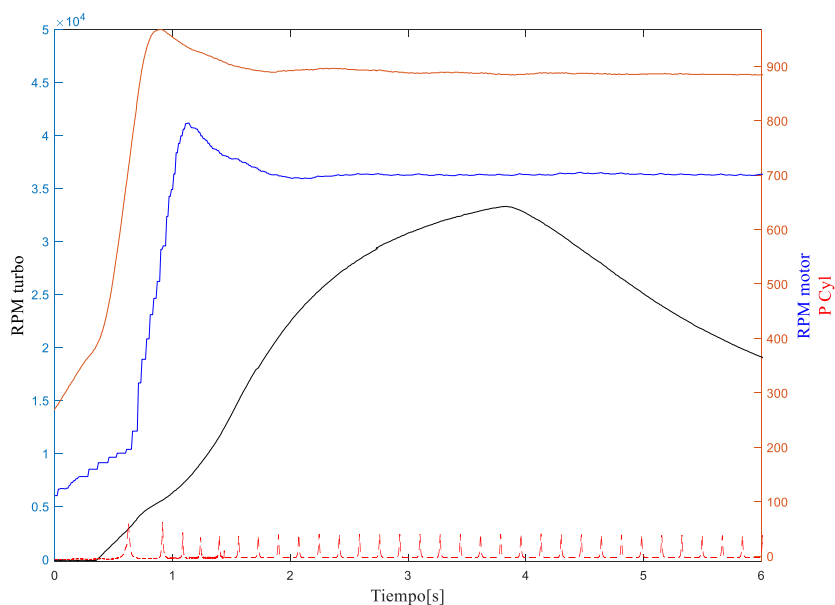


Figura 27. Gráfica tiempo de arranque, rpm motor y rpm turbo

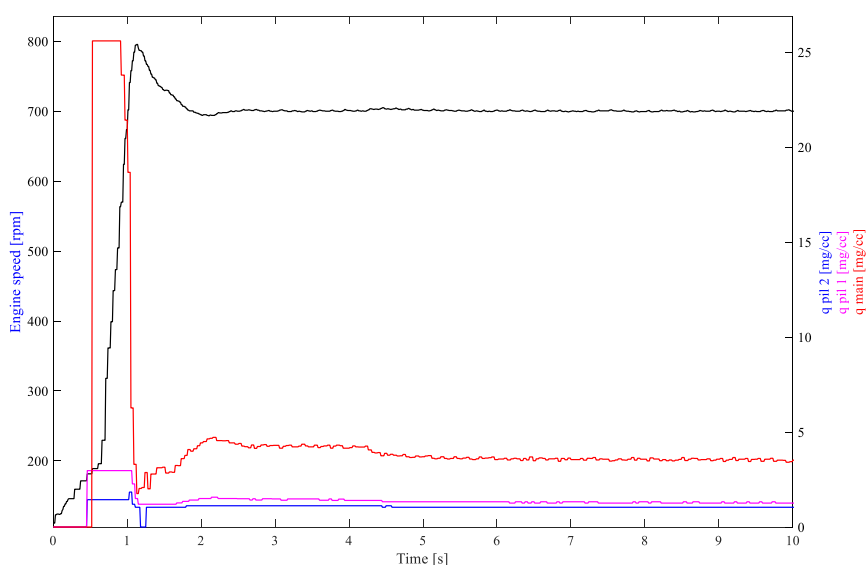


Figura 28. Gráfica RPM frente a inyecciones

En adición a lo citado anteriormente, la estabilización del motor en régimen de ralentí instantes después del arranque es complicada para la ECU, y más tratándose de un arranque en frío. De ahí, que aparte de las regulaciones de cantidad de combustible inyectado por ciclo que se ha comentado anteriormente, también varía la presión del rail, bajando esta, momentos después del arranque como se ve en la figura 29.

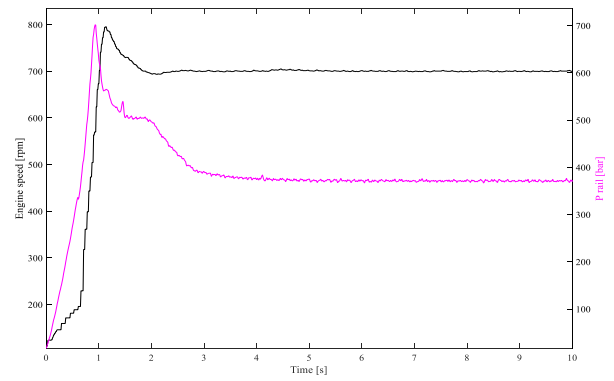


Figura 29. Gráfica RPM frente a presión de rail

- o Ensayo a -5°C y 5000 metros de altitud:

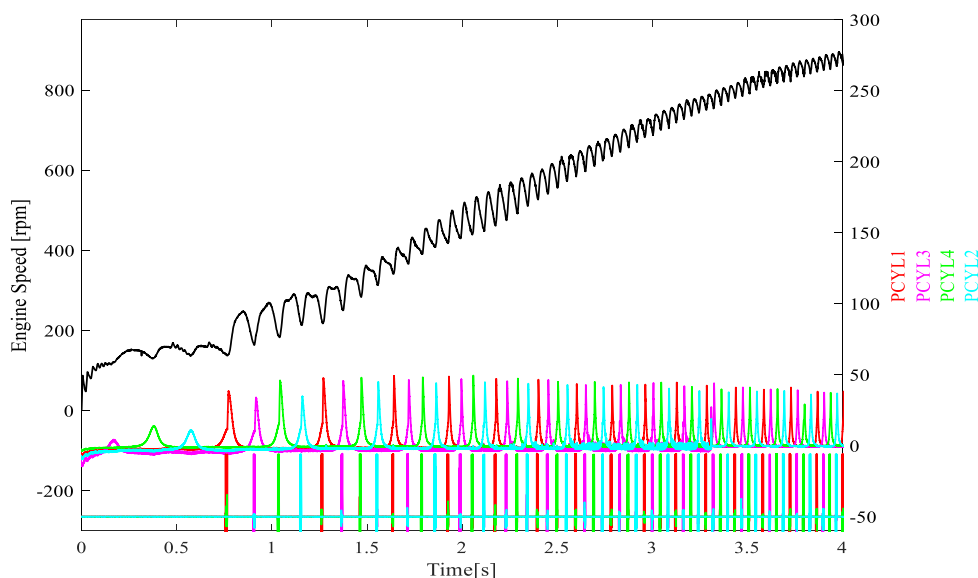


Figura 30. Gráfica tiempo de arranque frente a rpm de motor y presión instantánea por cilindro.

En la figura 30 se produce el arranque en toda su totalidad. El motor tarda en realizar el arranque aproximadamente 6 segundos. Primeramente se aprecia un periodo de arrastre entorno a los 0.8 segundos, durante el cual el motor está sincronizándose, por tanto, no se está realizando aun ningún tipo de inyección. A partir del segundo 0.8, se aprecia la rampa de arranque, además de observar como las presiones en cada cilindro aumentan de manera considerable. Se puede ver como la rampa tiene una pendiente mucho menor que la del arranque a la misma temperatura, pero a 0 metros de altitud, de ahí que el arranque lleve mucho tiempo. Esta tardanza en el arranque se debe a la presión que tiene el motor al estar en altitud, haciendo que el motor disponga de una cantidad menor de aire, dificultando el arranque.

Como se puede ver en la figura 31, durante los primeros ciclos en los cuales se produce combustión, se aprecia como las presiones instantáneas están alrededor de 45-50 bar, lo que es 15-20 bar menos que en el arranque a 0 metros de altitud, razón por la cual tarda más en arrancar. De este modo, y luego de analizar estos resultados, se concluyó que el motor, en su cartografía de arranque, no dispone de correcciones por altitud, de ahí la explicación del aumento del tiempo de arranque.

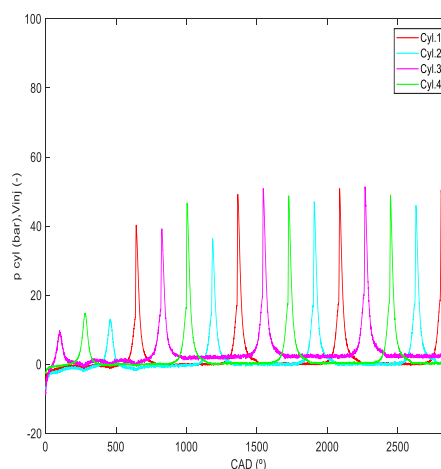


Figura 31. Gráfica primeros ciclos del arranque frente a la presión instantánea en cada cilindro.

Continuando con el análisis de los cambios observados durante este arranque, se puede observar (figura 32) perfectamente el régimen de ralentí el cual se sitúa a 800 rpm. Este incremento de 100 rpm respecto al arranque a 0 metros se debe a la altura, la cual varía la estabilización del ralentí del motor, por lo cual este aumenta esas rpm para tener una estabilización óptima. Nota curiosa es la evolución del turbocompresor del propio motor, ya que este durante el arranque está prácticamente parado, esto se debe a que al estar en altitud, el motor a ralentí no genera el caudal de aire suficiente para salvar el vacío que se genera en el interior de la turbina, momentos después del arranque y estabilizado el ralentí, cuando todo el conjunto se calentó un poco, el turbo comenzó a girar de manera completamente normal. Además de por la altitud, la tardanza de que el sistema de sobrealimentación comenzara a funcionar también se puede deber al aceite motor, que este frío y dificulte el movimiento del eje del turbo.

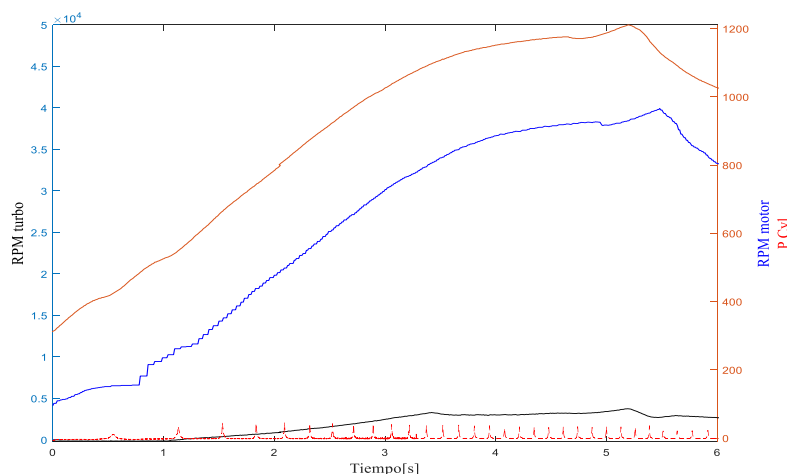


Figura 32. Gráfica tiempo de arranque, rpm motor y rpm turbo

Finalizando el análisis, vemos que otra de las variaciones que se producen durante el arranque es la aumento y estabilidad de la presión de rail, la cual como en el arranque a 0 metros, cuando el motor comienza a estabilizarse esta disminuye de manera considerable (figura 33).

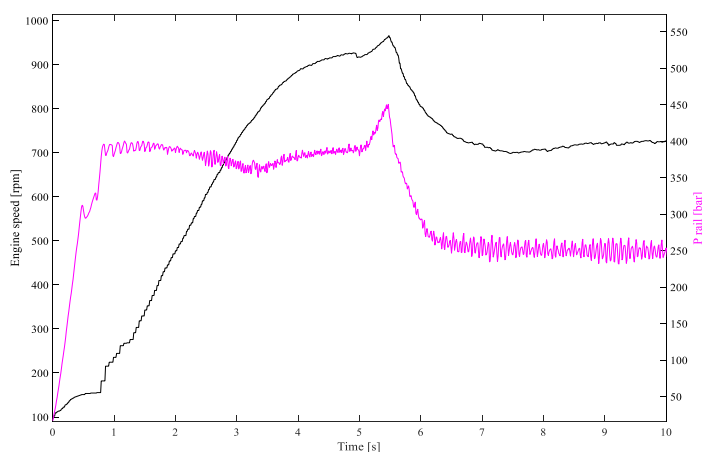


Figura 33. Gráfica RPM frente a presión de rail

- o Ensayo a -15°C y 5000 metros de altitud:

El siguiente ensayo refleja fielmente el problema de no tener definida una estrategia de arranque en altitud, tal como se certificó en el ensayo anterior. Ahora se presenta el mismo tipo de ensayo a 5000 metros de altitud, pero se baja la temperatura del conjunto hasta los -15°C . Al realizar el arranque se puede apreciar que el motor era incapaz de arrancar (figura 34).

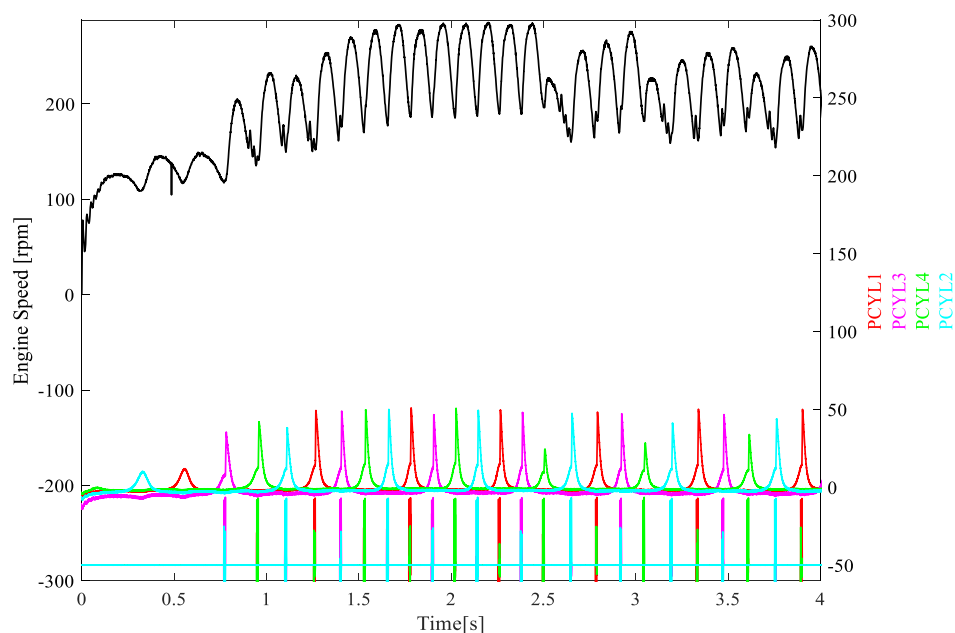


Figura 34. Gráfica tiempo de arranque frente a rpm de motor y presión instantánea por cilindro.

El intento de arranque duró alrededor de 8-10 segundos durante los cuales el motor empezó a hacer amagos de arranque como se puede observar, pero sin llegar a conseguirlo. Esto se produjo por diversos factores, como se comentó anteriormente, en el arranque a 5000 metros se produjo un descenso de la presión instantánea de cada cilindro, a esto se le debe sumar que la temperatura es de 10 grados inferior, por tanto, la temperatura de la combustión también descenderá, dificultando aún más el arranque.

Además, el punto más influyente en este fallo al arrancar es el hecho de no tener estrategia de arranque. Como se puede apreciar en la figura 35, durante el intento de arranque, la presión de rail varía, aumentando la misma, en un intento de arrancar, pero sin tener efecto alguno.

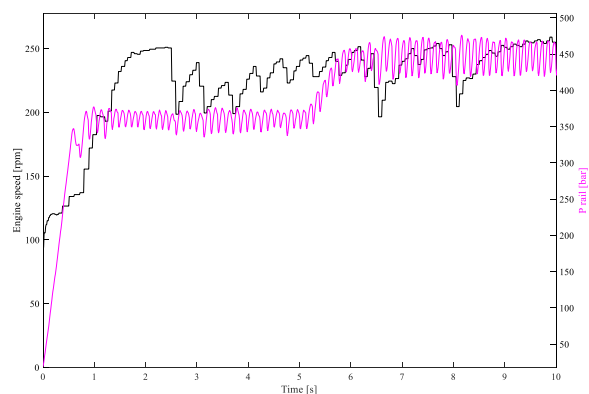


Figura 35. Gráfica RPM frente a presión de rail

De todos los factores analizados a posteriori para observar el comportamiento de la ECU y ver el porqué de que el motor no consiguiera arrancar, llamó la atención lo que hizo la cartografía del motor con las inyecciones, en concreto la cantidad de fuel inyectada en la inyección principal (figura 36).

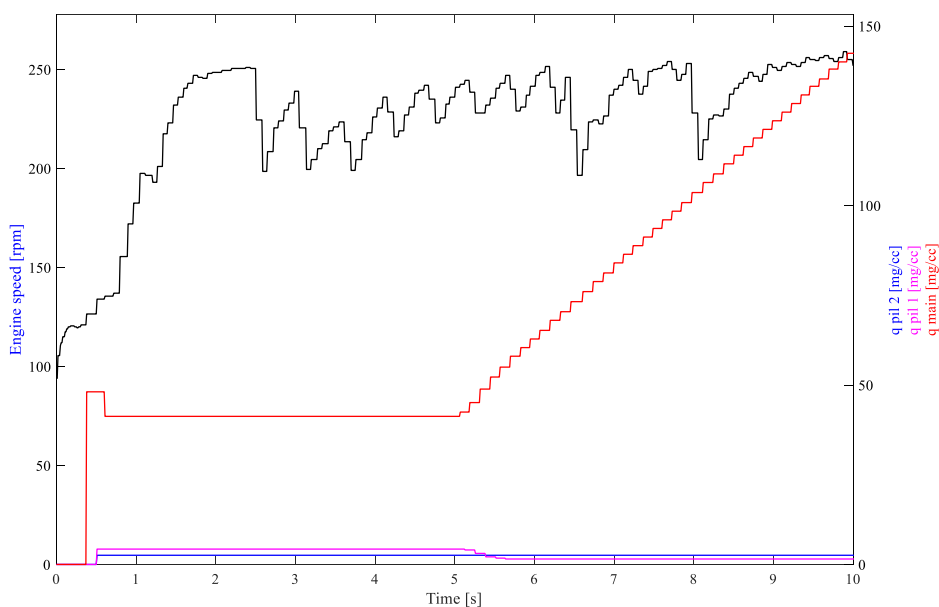


Figura 36. Gráfica rpm frente masa fuel por inyección

Se aprecia que cuando el motor lleva unos 5 segundos intentando arrancar y no lo consigue, quedándose este en el régimen que proporciona el motor de arranque, alrededor de 250 rpm, la cartografía decide comenzar a aumentar la cantidad de gasoil que inyecta la inyección principal, como se puede ver, este aumento consigue 5 segundos más tarde ahogar el motor y por tanto, poner fin al intento de arranque.

- o Ensayo a -25°C y 0 metros de altitud:

Continuando con los resultados obtenidos, ahora se va a tratar uno de los ensayos más relevantes dentro de este proyecto de estudios de arranques, esto se debe a que el fabricante propuso que se indagara a fondo que sucede durante un arranque a -25°C y además que se realizarán una serie de variaciones para estudiar si era posible optimizar el arranque.

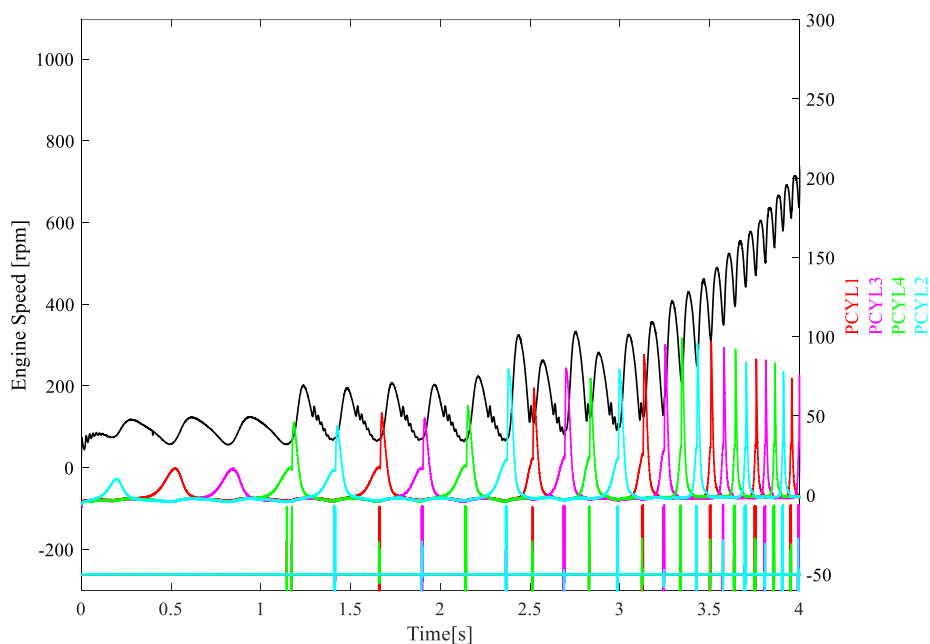


Figura 37. Gráfica tiempo de arranque frente a rpm de motor y presión instantánea por cilindro.

Como se puede ver en la figura 37 el motor realiza un tipo de arranque muy parecido al que se obtuvo a -5°C , la única diferencia es que todos los procesos incrementan su tiempo, como resultado, el arranque tarda más tiempo. La nota positiva es que el motor arranca sin problemas a esta temperatura tan baja, en concreto, se ha observado que el tiempo medio de arranque a -25°C es de unos 6 segundos (figura 38).

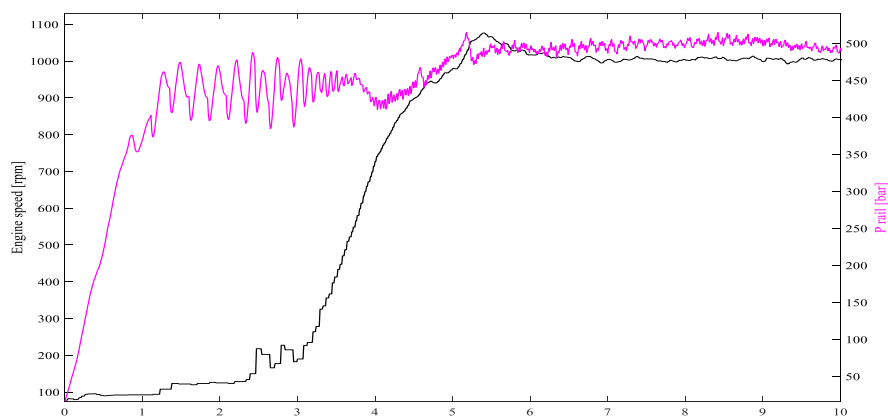


Figura 38. Gráfica RPM frente a presión de rail

Además de lo dicho, en la gráfica anterior vemos que para esta temperatura de arranque, el motor corrige el régimen de ralentí, aumentando este de 700 rpm que tiene establecido a unas 1000rpm. Todas estas correcciones las realiza la ECU teniendo en cuenta la temperatura a la que se encuentra el refrigerante, debido a que esta tan bajo de temperatura, esta corrige y eleva este régimen estacionario para permitir que el motor coja temperatura.

Continuando con el análisis, en lo que concierne a cómo actúan las diferentes inyecciones, tanto las piloto como la principal, se puede ver (figura 39) como estas evolucionan al alta, sobretodo la principal, hasta que el motor ya está en la última fase del tiempo de rampa, donde comienza a descender y disminuir la cantidad de combustible que inyecta, hasta lograr estabilizar el ralentí al valor citado anteriormente.

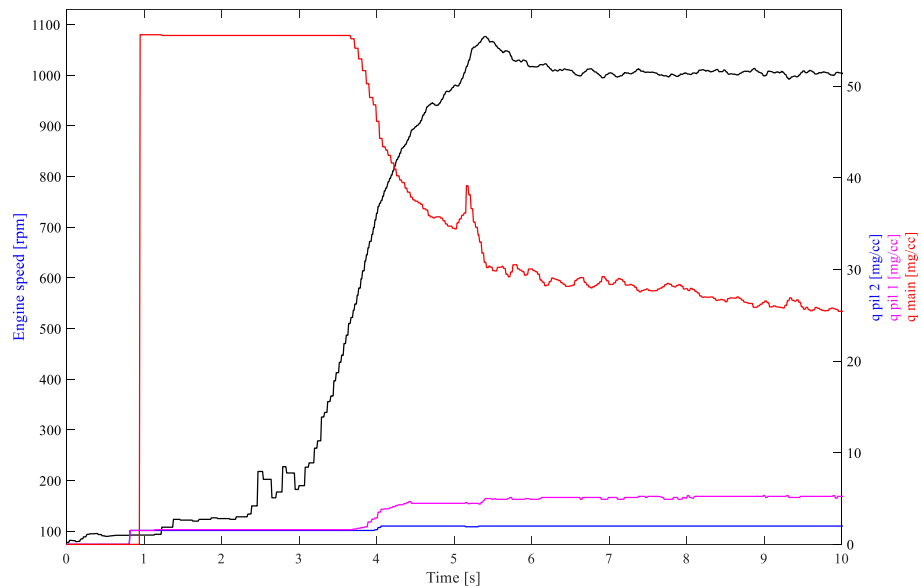


Figura 39. Gráfica rpm frente masa fuel por inyección

- o Ensayo a -25°C y 0 metros de altitud con variación de la presión de rail:

Tal como se comentó anteriormente, el fabricante sugirió que los investigadores que trabajaron en el proyecto, junto con la experiencia adquirida por parte del técnico responsable de los ensayos, se realizaran una serie de variaciones, intentando observar cuan buena era la estrategia de arranque.

La primera de las variaciones fue la de aumentar y disminuir la presión de rail durante el arranque 100 bar. A continuación se muestran en la figura 40 los resultados obtenidos:

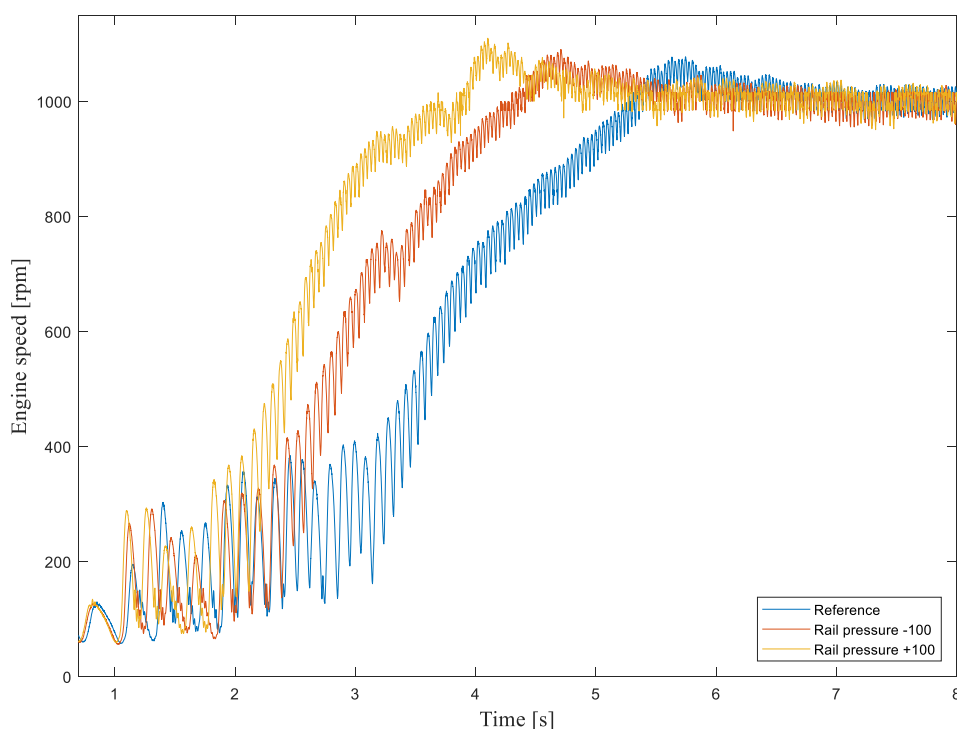


Figura 40. Gráfica variación rpm en el arranque

En la gráfica se puede ver la evolución de las rpm frente al tiempo de arranque, la representación situada más a la derecha sería un arranque de referencia a -25°C , en la parte central un arranque en el cual se disminuyó 100 bar la presión de rail y en la parte de la izquierda el arranque con un aumento de 100 bar la presión del rail. Por tanto, se dedujo que si se realizará un aumento de 100 bar la presión del rail en el arranque, se puede disminuir el tiempo de arranque de alrededor de 6 segundos a unos 4 segundos, lo cual es una gran mejora en un motor el cual ya tenía un arranque relativamente eficaz a -25°C .

- Ensayo a -25°C y 0 metros de altitud con variación de masa inyecciones piloto:

La segunda variación que se realizó fue aumentar la masa de fuel en 2 y 4 mg/cyc de las dos inyecciones piloto que se dan antes de la principal, dado que estas preparan la cámara de combustión para intentar tener unas condiciones óptimas al realizar la inyección principal. Los resultados obtenidos se representarán en la gráfica que se presenta a continuación (figura 41):

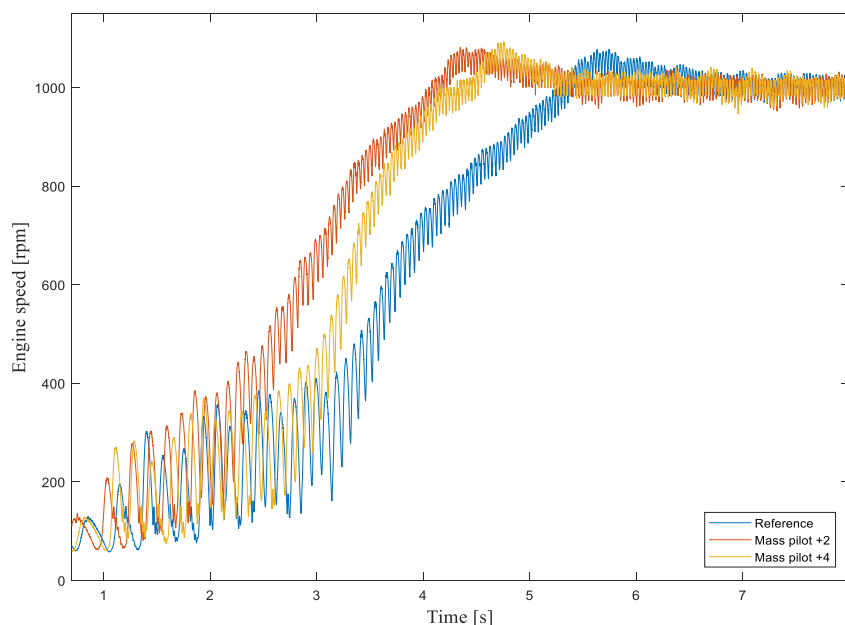


Figura 415. Gráfica variación rpm en el arranque

Se puede observar en la representación situada a la derecha el arranque de referencia, en la parte izquierda cuando se subió 2 mg/cyc la masa de fuel y en la zona central cuando la misma se aumentó 4 mg/cyc. Se aprecia como al aumentar la piloto también aparece una mejora en el arranque, porque acondiciona mejor el cilindro para que con la inyección principal este quemado de una manera más óptima. Se aprecia que el aumentar 4 mg/cyc las masas de las pilotos puede ser demasiado, y en vez de conseguir un efecto positivo, se inyecte demasiado combustible y produzca este un enfriamiento del cilindro, lo que no ayuda a mejorar el arranque. Por tanto, y tras analizar estos resultados, un resultado intermedio entre aumentar 2 y 4 mg/cyc puede ser el más óptimo.

En lo referente al tiempo de arranque, este se mejora alrededor de 1.5 segundos, por lo que los resultados obtenidos son muy buenos de cara a realizar una optimización de la estrategia de arranque, ya que combinado con aumentar 100 bar la presión de rail, se podría mejorar el arranque en unos 2 segundos, lo que supondría arrancar el motor un 30-35% más rápidamente.

CAPÍTULO 5 –CONCLUSIONES Y DESARROLLO FUTURO-

Conclusión:

Visto el funcionamiento de la instalación y los resultados obtenidos, se puede afirmar que la puesta en marcha de este banco de ensayos ha sido totalmente satisfactoria, comprobando el correcto funcionamiento de todas las partes que lo componen, así como, de las modificaciones realizadas para acoplar este motor a la sala. Por tanto, se puede otorgar validez a las medidas realizadas y por tanto, se puede obtener de las mismas las conclusiones oportunas para la modificación y optimización del arranque.

Tras el análisis de los resultados obtenidos en apartados anteriores este motor presenta una base muy aceptable en lo que se refiere a su capacidad de arranque en condiciones en frío y altitud.

Primeramente, destacar la capacidad del conjunto al arrancar a bajas temperaturas, en concreto a -5°C , -15°C y -25°C . Durante todos los ensayos realizados el motor realizó un arranque correcto, dentro de unos parámetros estándar.

Seguidamente, en lo que se refiere al arranque en altura sí que se produjeron fallos de arranque, en concreto cuando se alcanzaron los 5000 metros de altitud, momento en el cual el motor se intentó arrancar a -15°C sin lograr arranque alguno, por tanto, se determinó que el motor en ese tipo de condiciones era incapaz de realizar un arranque. Remarcar que lo que más llamó la atención en los ensayos y posterior análisis de los mismos es la prácticamente inexistencia de estrategias de arranque. Tal y como los técnicos pudieron comprobar las correcciones de parámetros dentro del arranque en estas condiciones de frío, eran prácticamente nulas, en comparación con lo que ellos mismos habían realizado, denotando que se podría realizar una gran mejora en términos de tiempo de arranque creando una estrategia completa y definida para este motor.

Por último, y siguiendo con lo citado anteriormente, en lo referente a las correcciones durante el arranque por temperatura son inexistentes. Echo el cual los diferentes técnicos de cercioraron al variar la altura en la propia ECU del motor y observar que en el arranque no se producía ninguna corrección. Por lo que, y en adición al párrafo anterior, se podría mejorar sustancialmente el arranque creando una estrategia concreta para este motor.

Desarrollo futuro

Se van a diferenciar un desarrollo futuro tanto para el proyecto de arranques, como para la propia sala de ensayos:

- Proyecto: Tal y como se mencionó durante la conclusión, una posible línea de proyecto sería proponer al fabricante la realización de una cartografía específica para el arranque en frío y altitud, la cual mejoraría en gran manera el tiempo de arranque del motor.
- Sala de ensayos: Dado que se está hablando de una sala la cual tiene aproximadamente 20 años, tiene diferentes líneas de acción mediante la cual renovarla y mejorarla. Decir que este tipo de sala de ensayos fue revolucionaria en su tiempo, dado que permitía simular altitud, hecho muy complicado de realizar, por su complejidad técnica y peligrosidad. En estos momentos, la altura a la que llega la cámara con seguridad, 2500 metros, es inferior a lo que demandan los diferentes fabricantes por motivos de cumplir las nuevas normativas anti-contaminación. Por ello, uno de los cambios que podrían realizarse sería la instalación de manera fija de un sistema MEDAS, el cual simula altitud hasta 5000 metros y lo realiza de una manera mucho más rápida y efectiva, minimizando el riesgo sobre las personas que estén trabajando en dicha sala. En adición a la mejora citada, como ya no sería necesario que la propia sala estuviera totalmente sin fugas, para poder generar vacío en su interior, se podría realizar una apertura en alguna de sus paredes para poder introducir una transmisión la cual permitirá unir el motor a un freno asíncrono, lo que ampliaría el campo de trabajo del banco de ensayos, ya que permitiría realizar ensayos de ciclos a baja temperatura, una de las pruebas más demandadas en los últimos años por los fabricantes.

DOCUMENTO 2: PRESUPUESTO

PRESUPUESTO

Introducción

Seguidamente se van a especificar los diferentes costes que este proyecto de arranques en frío y altitud.

Remarcar que no se tienen en cuenta los componentes de motor y el mismo, así como todos sus periféricos, los cuales han sido cedidos por NISSAN tal y como figura en el acuerdo firmado para la realización de este estudio.

Coste mano de obra y material

Los datos necesarios para este apartado han sido obtenidos del manual de procedimiento para la contratación del instituto CMT. Estos salarios están regulados por la Conselleria de Empleo, Industria y Comercio y se pueden consultar en el Boletín Oficial de la Provincia de Valencia.

Para hallar el coste por hora que supone cada persona se realiza el siguiente cálculo:

$$\text{Precio por hora} = \frac{\text{Salario bruto anual}}{\text{horas anuales de trabajo}}$$

Salario bruto anual = *Salario anual* × 1,32 (32% correspondiente a la seguridad social)

Donde las horas de trabajo anuales son 1840. Por la parte del material utilizado, la amortización se establece como una amortización lineal a 10 años para la infraestructura y de 5 años para los equipos de medida.

Presupuesto

- Cuadro precio mano de obra

Precio mano de obra				
Núm	Cód	Uds	Descripción	Precio (Euros)
.	.	.		
1	ITI	h	Graduado en ingeniería	40.68 €
2	II	h	Graduado en ingeniería con título de estudios superiores	65.24 €
3	TM	h	Técnico en mecanizado	16,43 €

- Cuadro precio de los materiales

Precio materiales				
Núm m.	Cód.	Uds	Descripción	Precio (Euros)
1	T	u	Termopar tipo K	32,45 €
2	CA	a	Amortización codificador angular AVL 365C	1.080,00 €
3	AS	a	Amortización acondicionador de señal Kistler 5011	629,40 €
4	PA	u	Pinza amperimétrica	220,00 €
5	BNC	u	Cable BNC 3 metros	4,77 €
6	BM	a	Amortización bancada de motor	200,00 €
7	FD	a	Amortización freno dinamométrico Schenck W190	8.500,00 €
8	BV	a	Amortización bomba vertical SACIPumps VX-A-4-40	78,60 €
9	CE	a	Amortización módulo ETAS ES690	1.080,00 €
10	PXI	a	Amortización módulo National Instruments PXI-1052	668,00 €
11	SCXI	a	Amortización módulo National Instruments SCXI-1327	74,26 €
12	BNC. 1	a	Amortización módulo National Instruments BNC-2095	153,00 €

13	TC	a	Amortización módulo National Instruments TC-2095	153,00 €
14	BNC.2	a	Amortización módulo National Instruments BNC-2090	124,00 €
15	PC	a	Amortización ordenador de sobremesa	240,00 €
16	YK	a	Amortización Yokogawa DL750	9.047,80 €
17	FRC	u	Fungible circuito de refrigeración	800,00 €
18	LR	L	Líquido refrigerante glicolado 50%	2,63 €
19	INC	a	Amortización software INCA V6.2	1.491,71 €
20	SS	a	Amortización software Samaruc	7.669,40 €
21	CC	L	Combustible común	1,25 €
22	CAF	L	Combustible arranque en frío	7,00 €
23	BT	u	Bateria Varta Blue Dynamic G8 95Ah-830A	155,00 €
24	TR	a	Transmisión	315,00 €
25	SCA	a	Cámara climática-altura	20.000,00 €
26	SP	a	Amortización sensores de presión en cilindro AVL GH15D	12.000,00 €
27	CM	u	Mecanizado culata	3.500,00 €
29	TR	u	Termorresistencias	100,00 €

o Cuadro de precios unitarios

Precios unitarios					
Cód.	Cant	Uds.	Descripción	Precio	Total
EN5	8	u	Ensayos a -5°C	365,54 €	2.916,28 €
EN15-25	6	u	Ensayos a -15°C y -25°C	373,16 €	2.238,96 €
EN5-A	4	u	Ensayos a -5°C y altitud	1.864,54 €	7.458,14 €
EN15-A	2	u	Ensayos a -15°C y altitud	1.873,16 €	3.746,32 €
AE	0,2	a	Amortización de equipos	63.504,17 €	12.700,83 €
GM	1	u	Gasto de material	6.529,12 €	6.529,12 €
TOTAL					35.589,65 €

o Cuadro precios descompuestos

Precio descompuesto por ensayo a -5°C					
Cód.	Cant	Uds.	Descripción	Precio	Total
ITI	2,5	h	Ingeniero técnico industrial	40,68 €	101,70 €
II	4	h	Ingeniero industrial	65,24 €	260,96 €
CC	1,5	L	Combustible común	1,25 €	1,88 €
TOTAL					364,54 €

Precio descompuesto por ensayo a -15°C y -25°C					
Cód.	Cant	Uds.	Descripción	Precio	Total
ITI	2,5	h	Ingeniero técnico industrial	40,68 €	101,70 €
II	4	h	Ingeniero industrial	65,24 €	260,96 €
CAF	1,5	L	Combustible arranque en frío	7,00 €	10,50 €
TOTAL					373,16 €

Precio descompuesto por ensayo a -5°C y altitud					
Cód.	Cant	Uds.	Descripción	Precio	Total
ITI	2,5	h	Ingeniero técnico industrial	40,68 €	101,70 €
II	4	h	Ingeniero industrial	65,24 €	260,96 €
CC	1,5	L	Combustible común	1,25 €	1,88 €
MD	1	h	Medas	1.500,00 €	1.500,00 €
TOTAL					1.864,54 €

Precio descompuesto por ensayo a -15°C y altitud					
Cód.	Cant	Uds.	Descripción	Precio	Total
ITI	2,5	h	Ingeniero técnico industrial	40,68 €	101,70 €
II	4	h	Ingeniero industrial	65,24 €	260,96 €
CAF	1,5	L	Combustible arranque en frío	7,00 €	10,50 €
MD	1	h	Medas	1.500,00 €	1.500,00 €
TOTAL					1.873,16 €

Precios descompuestos amortización de equipos					
Cód.	Ca nt	Ud s.	Descripción	Precio	Total
CA	1	a	Amortización codificador angular AVL 365C	1.080,00 €	1.080,00 €
AS	1	a	Amortización acondicionador de señal Kistler 5011	629,40 €	629,40 €
BM	1	a	Amortización bancada de motor	200,00 €	200,00 €
FD	1	a	Amortización freno dinámico Schenck W190	8.500,00 €	8.500,00 €
BV	1	a	Amortización bomba vertical SACIPumps VX-A-4-40	78,60 €	78,60 €
CE	1	a	Amortización módulo ETAS ES690	1.080,00 €	1.080,00 €
PXI	1	a	Amortización módulo National Instruments PXI-1052	668,00 €	668,00 €
SCXI	1	a	Amortización módulo National Instruments SCXI-1327	74,26 €	74,26 €
BNC .1	1	a	Amortización módulo National Instruments BNC-2095	153,00 €	153,00 €
TC	1	a	Amortización módulo National Instruments TC-2095	153,00 €	153,00 €
BNC .2	1	a	Amortización módulo National Instruments BNC-2090	124,00 €	124,00 €
PC	1	a	Amortización ordenador de sobremesa	240,00 €	240,00 €
YK	1	a	Amortización Yokogawa DL750	9.047,80 €	9.047,80 €
INC	1	a	Amortización software INCA V6.2	1.491,71 €	1.491,71 €
SS	1	a	Amortización software Samaruc	7.669,40 €	7.669,40 €
TR	1	a	Transmisión	315,00 €	315,00 €
SCA	1	a	Cámara climática-altura	20.000,0 0 €	20.000,0 0 €
SP	1	a	Amortización sensores de presión en cilindro AVL GH15D	12.000,0 0 €	12.000,0 0 €
TOTAL					63.504,1 7 €

Gasto de material					
Cód .	Can t	Uds .	Descripción	Precio	Total
T	24	u	Termopar tipo K	32,45 €	778,80 €
PA	1	u	Pinza amperimétrica	220,00 €	220,00 €
BNC	16	u	Cable BNC 3 metros	4,77 €	76,32 €
FRC	1	u	Fungible circuito de refrigeración	800,00 €	800,00 €
LR	50	L	Líquido refrigerante glicolado 50%	2,63 €	131,50 €
CC	50	L	Combustible común	1,25 €	62,50 €
CAF	50	L	Combustible arranque en frío	7,00 €	350,00 €
BT	2	u	Batería Varta Blue Dynamic G8 95Ah-830A	155,00 €	310,00 €
CM	1	u	Mecanizado culata	3.500,00 €	3.500,00 €
TR	3	u	Termorresistencias	100,00 €	300,00 €
TOTAL					6.529,12 €

○ Presupuesto final

Presupuesto de ejecución material					
Cód.	Cant	Uds.	Descripción	Precio	Total
EN5	8	u	Ensayos a -5°C	364,54 €	2.916,28 €
EN15-25	6	u	Ensayos a -15°C y -25°C	373,16 €	2.238,96 €
EN5-A	4	u	Ensayos a -5°C y altitud	1.864,54 €	7.458,14 €
EN15-A	2	u	Ensayos a -15°C y altitud	1.873,16 €	3.746,32 €
AE	0,2	a	Amortización de equipos	63.504,17 €	12.700,83 €
GM	1	u	Gasto de material	6.529,12 €	6.529,12 €
Presupuesto de ejecución material					35.589,65 €
Gastos generales				13%	4.626,66 €
Beneficio industrial				6%	2.135,38 €
Presupuesto total					42.351,69 €
I.V.A				21%	8.893,85 €
Presupuesto de ejecución por contrata					51.245,54 €

El presupuesto final asciende a CINCUENTA Y UN MIL DOSCIENTOS CUARENTA Y CINCO EUROS CON CINCUENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.

BIBLIOGRAFÍA

- Fig. 1: <https://www.pinterest.es/pin/305048574730650282/> (Fecha 27/05/18)
- Fig. 2: <https://talleresyrepuestos.com/documentacion-tecnica/inyeccion-electronica-de-combustible/602-partes-que-conforma-el-sistema-de-inyeccion-common-rail> (27/05/18)
- Fig. 3: <http://www.comoconsumirmenos.com/2013/02/motores-diesel-iv.html> (27/05/18)
- Fig. 14: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/engine-nissan-cabstar-3-0-dci-110-kw-zd30ddti-complete-new-engine-1261021096.html> (27/05/18)