



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**Mejora de la climatización de una sala de
ensayos de Banco Motor**

Autor:

Cáceres Nieto, Marta

Tutora Uva: Marta Herráez Sánchez

Dpto: CMelM - Ingeniería Mecánica

Tutor Empresa: Luis Latorre.

Dpto: MAP_Energética. Renault.

Valladolid, Septiembre 2015

Abstract

El presente trabajo intenta mejorar la climatización de un banco motor en el ámbito de los ensayos de motores prototipos, a los cuales, se les realiza la calibración para su puesta a punto. Estos motores una vez creada esta, deberá ser testada y validada bajo los estándares que marca la normativa para ser posible su venta bajo el marco de la unión europea. La necesidad de obtener los resultados validados hace que se creen distintos estándares para ser admitidos como datos aceptables. Bajo estas premisas se enmarca nuestra labor. Uno de los requerimientos impuestos son las temperaturas que deberán encontrarse en la sala. Estos valores en la realidad no se alcanzan, pudiendo conllevar la aceptación de resultados que en caso de estar dentro de los límites no se aceptarían. Este trabajo por consiguiente, intenta dar una solución a dicho problema para acercar las temperaturas al intervalo expuesto en los estándares de validación.

PALABRAS CLAVES: Climatización, motor, temperatura, sala y refrigeración.

This work seeks to improve the conditioning of a motor Bank in the field of engine prototype testing, which is done calibration for its implementation to point. These engines once created, should be tested and validated under the standards that sets regulations for possible sale under the framework of the European union. Validated results do believe different standards to be accepted as acceptable data. Under these premises is part of our work. One of the tax requirements are the temperatures that must be in the room. These values actually are not reached, and may lead to the acceptance of results that should be within the limits it would not accept. This paper therefore attempts to provide a solution to this problem for temperatures approaching the range exhibited in validation standards.

KEY WORDS: Climate, engine, temperature, room, refrigeration.

Quiero agradecer antes de todo a mi familia, en especial a mi madre y mi hermana, que me hayan apoyado durante todos estos años de carrera cada momento de indecisión y desmotivación, ante momentos difíciles, porque gracias a ellas he conseguido levantarme en cada momento y seguir hacia delante con todo ello y conseguir el sueño que tenía el día que comencé con los estudios, terminar la carrera y poder decir que soy ingeniera.

A mis amigos y a todas las personas que he ido conociendo a lo largo de todos estos años de formación (Esther, Patricia, Fran, Andrés, Darío, Elsa, etc.), porque sin ellos no hubiese sido lo mismo; el feliz y temible inicio de los nuevos estudios, cada momento de esfuerzo y dedicación a cada asignatura, de desilusión, de desesperación, de risas, de suspensos y también de aprobados, de horas haciendo nuevos amigos en las esperas de las revisiones, en definitiva, por todos esos momentos vividos dentro de las paredes de la escuela.

Cabe destacar enormemente la labor de mi tutora de proyecto y de prácticas de empresa Marta Herráez, porque sin ella todo esto no hubiese sido posible, tanto desde el inicio de las prácticas en Renault como la realización de este proyecto, gracias por todo lo que me has dado en este tiempo y siento los quebraderos de cabeza que he podido ocasionarte.

Gracias a mis compañeros de Renault (Luis, Miguel P., Borja, Sara, José Luis, José, Miguel, Dani M., Rubén, Dani P., Tomás, Tony, Jesús, etc.) por enseñarme todo el mundo de los motores, porque con vosotros he crecido no solo como profesional, si no también, como persona. Gracias por todos esos momentos que me habéis aguantado con preguntas y explicaciones haciéndome más sencillo el entendimiento de cómo funcionan, como vuestra ayuda y comprensión ante los obstáculos que han surgido, en definitiva gracias por hacerme sentir como en casa los seis meses que he compartido trabajo con vosotros.

Índice

1.	<i>Introducción y objetivos</i>	- 7 -
2.	<i>Conceptos básicos de un banco motor</i>	- 9 -
2.1.	<i>Zonas de ensayo del banco motor</i>	- 9 -
2.1.1.	<i>Entreplanta</i>	- 10 -
2.1.2.	<i>Pasillo de control</i>	- 13 -
2.1.3.	<i>Sala de ensayo</i>	- 16 -
2.1.3.1.	<i>Motor</i>	- 16 -
2.1.3.2.	<i>Freno dinámico</i>	- 19 -
2.1.3.3.	<i>Soplante vehículo</i>	- 21 -
2.1.3.4.	<i>Consolas de gases</i>	- 23 -
2.1.3.5.	<i>Acondicionador combustible</i>	- 24 -
2.1.3.6.	<i>Caja de medidas</i>	- 25 -
2.1.3.7.	<i>Espectrómetro de masas</i>	- 28 -
2.1.3.8.	<i>Carro de envenenamiento</i>	- 32 -
2.1.4.	<i>Foso</i>	- 34 -
2.2.	<i>Circuito de climatización</i>	- 35 -
3.	<i>Ensayos de banco motor habituales</i>	- 47 -
3.1.	<i>Ensayos de ciclos</i>	- 47 -
3.1.1.	<i>Ciclos en ciudad (Ville)</i>	- 47 -
3.1.2.	<i>Carretera (Route)</i>	- 49 -
3.1.3.	<i>Autopista (Autorute)</i>	- 51 -
3.1.4.	<i>Puerta a puerta (PAP)</i>	- 52 -
3.2.	<i>Ensayos de envenenamiento</i>	- 53 -
3.2.1.	<i>Normativa</i>	- 53 -
3.2.2.	<i>Equipamiento</i>	- 56 -
3.2.3.	<i>Ensayos</i>	- 59 -
3.2.3.1.	<i>Ensayos DeNOx y DeSOx</i>	- 59 -
3.2.3.2.	<i>Envenenamiento con botellas</i>	- 62 -
4.	<i>Instrumentación de la sala</i>	- 65 -
4.1.	<i>Captadores de presión</i>	- 66 -
4.2.	<i>Captadores de temperatura</i>	- 67 -
5.	<i>Presentación e interpretación de los resultados de las magnitudes físicas.</i> - 71 -	
5.1.	<i>Principios básicos de los ensayos</i>	- 71 -

5.1.1. Refrigeración del motor.....	- 71 -
5.1.2. Orientación de la colocación de las toberas.....	- 76 -
5.1.3. Refrigeración del RAS.....	- 76 -
5.2. Presentación de los resultados de los ensayos	- 77 -
6. Conclusiones y líneas de futuro	- 107 -
7. Bibliografía.....	- 109 -
7.1. Libros, artículos y normativa	- 109 -
7.2. Manuales, notas técnicas y apuntes.....	- 110 -
7.3. Páginas webs y blogs citados	- 112 -
7.4. Páginas webs complementarias.....	- 113 -
Anexo A: cálculo de las expresiones para el bloqueo de las toberas	- 115 -
Anexo B: Pliego de condiciones	- 129 -
B.1. Puesta en funcionamiento del motor y sus equipos	- 129 -
B.1.1. Rutina de puesta en marcha de la instalación.....	- 129 -
B.1.2. Rutina de arranque de la sala de ensayos	- 130 -
B.1.3. Rutina de arranque del motor.....	- 131 -
B.1.4. Rutina y metodología de trabajo del equipo Horiba Mexa 7100 .	- 132 -
B.1.5. Rutina y metodología de trabajo de la soplante del vehículo.....	- 133 -
B.1.6. Rutina y metodología de trabajo del carro de envenenamiento ...	- 133 -
B.1.7. Rutina y metodología de trabajo del espectrómetro de masas	- 135 -
B.1.8. Rutina de realización de ensayos.....	- 137 -
B.1.9. Rutina de parada	- 137 -
B.1.10. Rutina de parada de emergencia.....	- 138 -
B.1.11. Manual de mantenimiento de la instalación.....	- 138 -
B.2. Sistemas de seguridad e higiene	- 141 -
B.2.1. Sistemas de seguridad en la sala de ensayo	- 141 -
B.2.2. Sistema de seguridad de funcionamiento de la instalación	- 142 -
B.2.3. Sistema de prevención de riesgos para los operarios	- 143 -
B.2.4. Recomendaciones de seguridad por la S.A.E.....	- 144 -

1. Introducción y objetivos

El documento que se presenta a continuación, tiene como finalidad, la ampliación de las competencias y conocimientos alcanzados a lo largo de estos años cursados en el grado de Ingeniería Mecánica y los seis meses de prácticas realizados en la empresa automovilística Renault. El tema a tratar pretende sentar algunas de bases para mejorar la climatización de los bancos motores centrándonos en uno en concreto, y de esta forma permitir su extrapolación a las distintas salas que están en disponibilidad de realizar ensayos.

Desde su aparición a finales del siglo XIX, el Motor de Combustión Interna Alternativo (MCI), ha tenido que superar distintas complicaciones. Si bien es cierto que en el momento de la aparición de los motores el tema de la contaminación de los vehículos no era un problema, con el tiempo se ha ido convirtiendo en un gran inconveniente en cuanto a la gran cantidad de contaminantes que son vertidos a la atmósfera y su consecuente deterioro del entorno.

Según el problema de la contaminación se iba agravando, las leyes se iban imponiendo cada vez más estrictas y restrictivas llegando a la necesidad de ir generando nueva instrumentalización para ir adaptándose a esa nueva normativa. Esto hace que se tengan que crear espacios de trabajo controlados, en los cuales, se podrá estudiar el impacto de esos nuevos equipamientos que se pretenden añadir al motor para reducir la cantidad de contaminantes. Ese espacio nuevo que se ha tenido que crear es el objeto de nuestro estudio.

Para poder estandarizar las pruebas para el estudio de los gases contaminantes que se realizan en el interior de las salas de ensayos, se han generado distintos estándares de trabajo que controlan paso a paso todos los aspectos y pasos que se han de seguir a la hora de instalar el motor y su equipamiento, de la realización de los ensayos y de la desinstalación de todos los equipos implicados.

Un aspecto importante a tener en cuenta en la validación de los resultados procedentes de los ensayos es la temperatura que marcan los estándares como temperatura óptima de la sala para poder verificar dichas ensayos y mediciones de contaminantes. Esta temperatura está establecida como 22°C con un grado de diferencia por encima y por debajo de ella. Se ha podido comprobar que dicha temperatura en los ensayos no se cumple, sino que sobrepasa considerablemente dicho valor de la marca establecida, haciendo que parte de los ensayos que se diesen como satisfactorios no lo fuesen.

Esta diferencia de temperatura se deberá estudiar y comprobar junto al equipo que forma la instalación, el porqué ocurre tal fenómeno; si es problema

de la climatización que no funciona correctamente, si fuese un problema en la insuficiencia de aire para refrigerar la estancia, si la situación de la climatización no fuese la correcta, etc. e intentar dar una solución a dicho problema para evitar que ningún estándar pase como válido sin serlo.

Para poder realizar dichos ensayos, tenemos que tener en cuenta que estamos sujetos a los procedimientos de utilización de toda la maquinaria que lo componen y a las órdenes de los clientes que ordenan los ensayos. Hay que tener en cuenta que no se puede realizar ningún tipo de ensayo sin el consentimiento de los responsables de los motores, aún a sabiendas que no sufrirá ningún altercado por su manipulación, debido a que las horas de rodamiento son importantes a la hora del ensayo de un motor. Por lo tanto, solo se podrán realizar pruebas con aquellos que estén sometidos previamente a una petición por parte del cliente.

En cuanto a la estructura de este trabajo, da comienzo sentando las bases de la situación en la que nos encontramos, para continuar con un estudio exhaustivo de toda la maquinaria que se utiliza a lo largo de este proyecto estudiando su uso y funcionamiento. A partir de ahí, nos centraremos en el estudio de los tipos de ensayos y como afectan cada uno de ellos a la problemática que se plantea, para de esta forma, poder extrapolar los resultados y variaciones que se llevarán a cabo y así alcanzar por último, un modelo que permita solventar las complicaciones acontecidas. Para finalizar este trabajo, plantearemos una serie de conclusiones que pondrán fin a este, pero no a mi interés por seguir formándome en este ámbito.

Existen además una serie de anexos que nos permitirán ampliar los conocimientos de algunos apartados que no han sido explicados a lo largo del trabajo y que se consideran fundamentales para su comprensión. En el *anexo A*, desarrollaremos el cómo se ha llegado a obtener las ecuaciones utilizadas para el estudio de la climatización, mientras que en el *anexo B*, se plantea un pliego de condiciones que refleja las bases necesarias para una perfecta manipulación del equipo auxiliar utilizado, trazando un pequeño repaso al cumplimiento de la normativa de seguridad e higiene, de carácter obligatorio, que se ha de tener a la hora de manipular todos los equipos

2. Conceptos básicos de un banco motor

¿Qué es un banco motor? Un banco motor es un conjunto de espacios, con diferentes equipamiento, encargados de simular el funcionamiento y comportamiento de un motor de un automóvil en funcionamiento.

Los motores que se utilizan en los ensayos son prototipos, por lo que no conocemos como se comportarán a las solicitaciones de revoluciones del motor, par, aceleración,... requeridos en el funcionamiento. Para ello, necesitamos conocer su comportamiento en cuanto a presiones y temperaturas (en diferentes posiciones), potencias, emisiones de gases, consumo,... y además la durabilidad de las piezas que lo componen.

2.1. Zonas de ensayo del banco motor

Para el ensayo del motor tenemos 4 partes diferenciadas (fig 2.1,) en la que podemos ver: la zona de entreplanta, donde estará colocada la maquinaria de la ventilación; la sala que cuenta con el motor y demás aparatos necesarios para simular una perfecta conducción; el pasillo de mandos, donde de manera informática se controlan los procesos que están dándose en la sala y el foso.

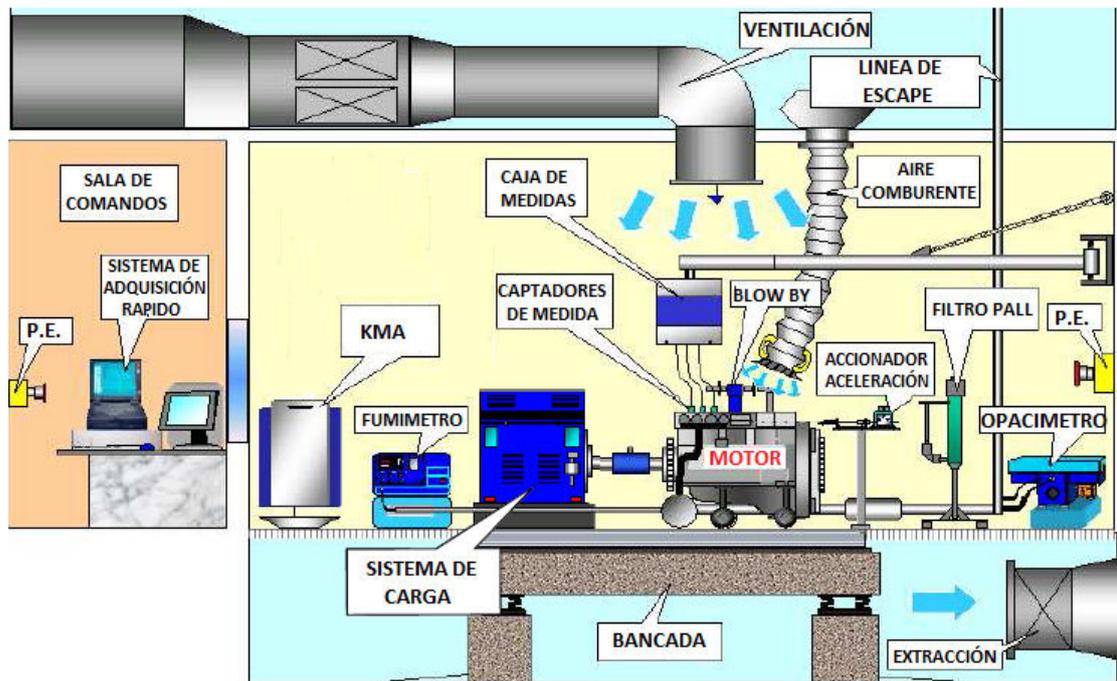


Figura 2.1. Disposición de un banco motor con instrumentación. [2.1].

2.1.1. Entreplanta

En la entreplanta o piso técnico contamos con el equipamiento necesario para la ventilación de la sala del banco motor, como podemos ver en las figuras 2.2, y 2.3, en alzado y planta respectivamente.

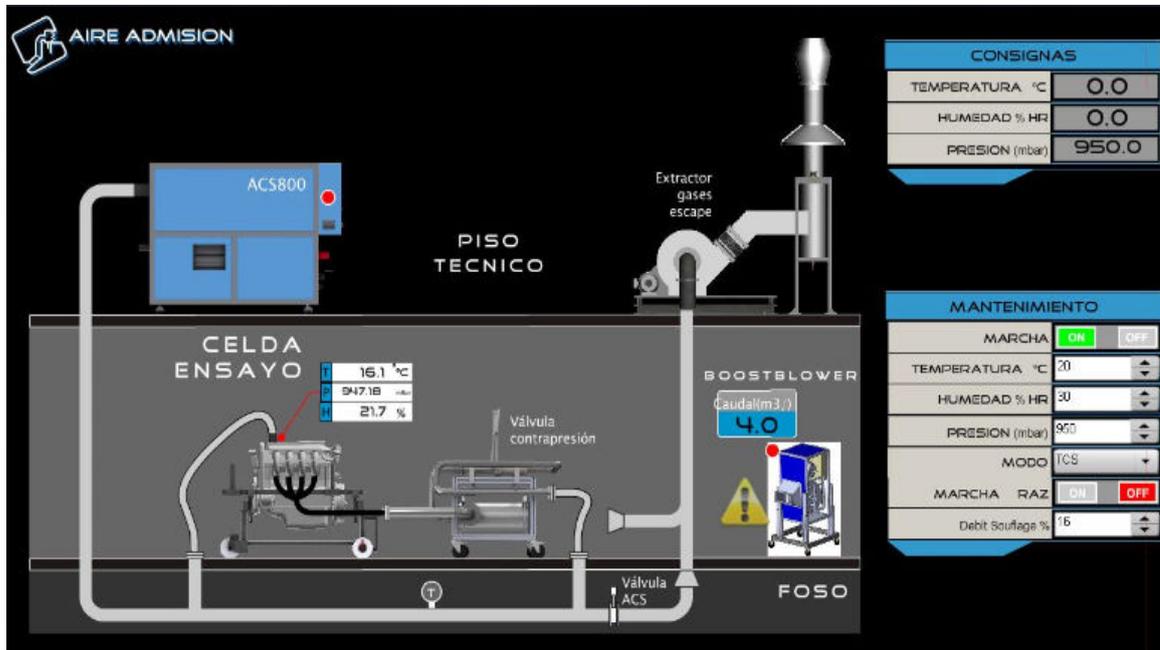


Figura 2.2. Distribución del sistema de acondicionamiento del aire de admisión del motor, vistas de las consignas en la admisión de entrada al motor y control instantáneo de los valores acondicionados. [2.1].

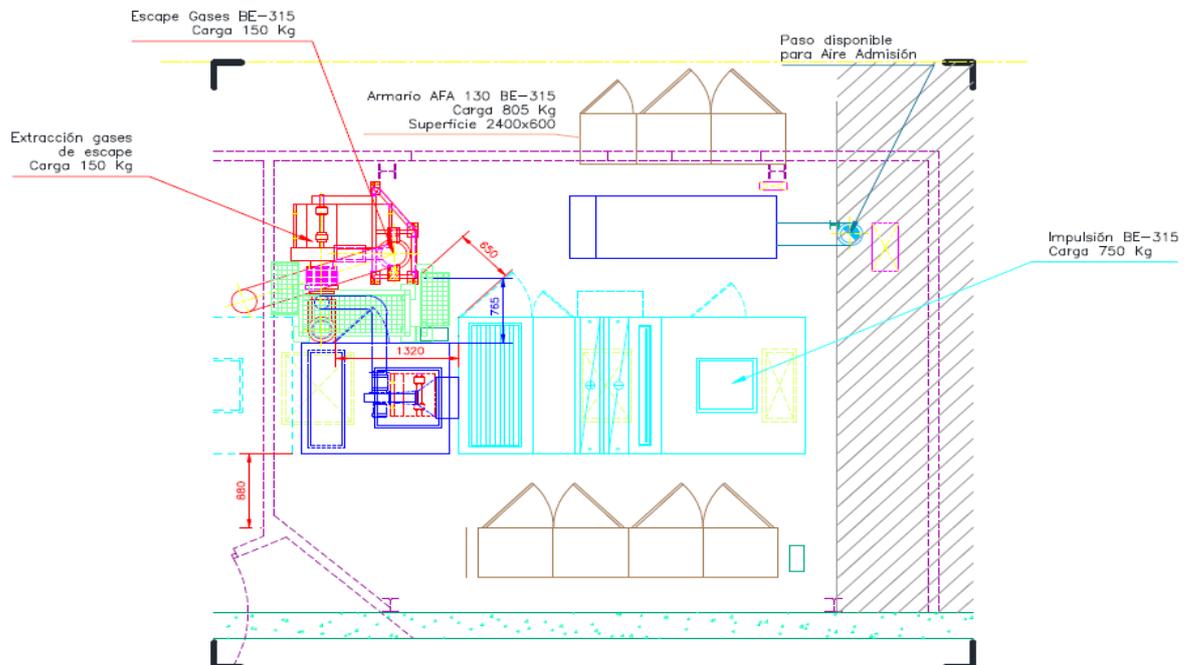


Figura 2.3. Planta de la distribución de la ventilación. [2.2].

En este habitáculo encontramos la diferente maquinaria encargada de conseguir mantener la temperatura y presión requeridas para dar por satisfechos los resultados obtenidos en los ensayos:

- **Armario eléctrico del banco (AEG).**
- **Armario del freno dinámico.**
- **Extractor de gases de escape y sistema de aseguramiento renovación aire ATEX.**
- **Sistema de climatización de la sala.**
- **Equipo acondicionamiento del aire de admisión (ACS800):** El aire obtenido del exterior de la sala se acondiciona controlando su temperatura, presión y humedad para inyectarlo en la admisión del motor, donde deberemos tener controlados dichos valores debido a los estándares de los ensayos. Estos valores variarán si trabajamos simulando un funcionamiento del vehículo a nivel del mar, altura cero, o por el contrario, lo hacemos sobre cualquier otra ciudad donde la altura es distinta y, por consiguiente, dichos valores.

En el caso que nos ocupa el estudio se realiza en Valladolid, 700 m sobre el nivel del mar, lo que hace que sí necesitemos estudiar a dicha presión ambiental, alrededor de 700 mmHg. Decimos que trabajamos sin presurización, solo controlaremos la temperatura y humedad de entrada. Pero, por el contrario, si lo que se pretende estudiar son las características a nivel del mar, trabajamos con presurización; además de la temperatura y humedad controlaremos la presión que se deberá ajustar para alcanzar la mostrada en la figura 2.4. [2.3], [2.4]

Así mismo, dependiendo del carburante que se utiliza, siendo los más comunes la gasolina o el diesel, la presión que necesitaremos para el ensayo variará ligeramente.

	Gasolina	Diesel
Presión [mbar]	1013± 1	1000± 1
Temperatura [°C]	25± 1	25± 1
Humedad [%]	40 ± 10	40 ± 10
Caudal máximo [m ³ /h]	800 m ³ /h	800 m ³ /h

Figura 2.4. Tabla de especificaciones para motores diesel y gasolina con presurización, condiciones a nivel del mar.

El motor, como se ha dicho antes, puede estar conectado con presurización o sin ella. Si pretendemos ensayar sin presurización, la línea de escape de extracción de los gases del motor deberá ir conectada a la línea de extracción de los gases de la sala mediante un cono

extractor conectado a la salida y unido a éste por un conducto flexible y resistente, tanto al manejo, como a altas temperaturas, que irá conectado al tubo de extracción de gases del motor, como se puede observar en la figura 2.5.



Figura 2.5: Izq.: Conexión de la línea de escape sin presurización mediante un cono. Dcha.: Conexión de la manguera al conducto de extracción.

Si, por el contrario, trabajamos con presurización, el final de la línea de escape del motor se conectará a la línea de extracción de gases situada en el foso y habrá habilitada una salida en el suelo de la celda de ensayo, para facilitar el cierre estanco evitando fugas de gases a la sala y perder la presurización, como se puede observar en la figura 2.6. Dicha línea irá a desembocar en el mismo conducto de extracción de gases que para la conexión sin presurización. Para evitar un retroceso de los gases de escape cuando estamos trabajando sin presurización, disponemos de una válvula manual de ACS, que se cerrará evitando una recirculación interna de los gases, que retornarían al motor haciendo bajar las prestaciones de éste, como se puede observar en la figura 2.2.



Figura 2.6: Conexión de la línea de escape con presurización mediante un cierre estanco a la línea inferior del ACS.

Como comprobamos en la figura 2.2, el motor en la salida de gases está conectado a la línea inferior y no a la línea de extracción de la sala;

por lo tanto, estamos trabajando con presurización y los valores establecidos de temperatura y humedad que se imponen en la petición de cada ensayo. Además de poder asignar dichos valores, en la pantalla de dicha figura, podemos ir controlando que los valores a la entrada de la admisión vayan correspondiendo con los necesitados.

En los estudios posteriores estaremos trabajando sin presurización, la línea de escape estará conectada a la salida superior de extracción de gases, y una humedad de admisión de $40 \pm 1\%$ y una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

2.1.2. Pasillo de control

En el pasillo de control, figura 2.7, se sitúan la diferente maquinaria, a partir de la cual, se controlan los procesos que ocurren dentro de la sala principal o sala de ensayos. En dicho podemos encontrarnos diferentes elementos pudiéndoles agrupar en tres grupos:

- **El pupitre de trabajo** donde los operadores manejan y controlan los procesos que tienen lugar en el interior de la celda, mediante el panel K57 de AVL, a través de las pantallas, que muestran los procesos que están surgiendo en el motor pudiéndose llevar a cabo modificaciones en el funcionamiento de este, y los mandos de control, a partir de los cuales manejaremos todo acontecimiento sucedido en la sala.
- **Dos dispositivos distintos de consolas**, una encargada de transformar los datos recogidos de la caja de medidas del interior de la sala (rack de control) y la segunda consola, necesaria para obtener la composición de los gases que pasan a través del catalizador y recogidos por la consola de gases del interior de la celda.
- **El botón de parada de emergencia**, necesario para detener toda la actividad, inmediatamente, ante una posible complicación en el desarrollo de la actividad.

El rack de control, nombrado anteriormente, se encuentra conectado a la caja de medidas y a la caja BPO del interior de la sala. Esta conexión hace que se puedan obtener las medidas que se van recibiendo de los diferentes transductores conectados para el ensayo y se puedan tratar para poder mostrar los resultados por pantalla, además de contener los dispositivos de control de la sala de ensayo y el PC del sistema Puma, encargado de mantener comunicación entre los dispositivos, de su control y adquisición de los datos.

Este dispositivo está dotado en la parte frontal de una placa de entradas y salidas analógicas, una placa de comunicación con los calculadores conectados

y el lector de comunicación con la celda, además del interruptor principal de encendido, botones de parada de emergencia, la señal de alarma acústica y luminosa, para el control de los ensayos, y el sistema de Puma con una caja de conexiones para la comunicación con los dispositivos.

En la parte trasera contamos con 2 unidades de FEM´s digitales y 5 analógicas, ambas de entradas y salidas, un dispositivo de parada de emergencia, que mantiene continuamente comunicación con la CPU del controlador por medio de una señal digital cuadrada, y si se produjese un fallo o emergencia la señal variaría, el watch-dog (sistema de emergencia que entra en funcionamiento cuando alguna parte del sistema falla realizando una señal luminosa y sonora para avisar de dicho error) y avisaría al dispositivo de paradas de emergencia para activar el corte por parada de emergencia (P.E) a los dispositivos que de él cuelguen, así como del aviso de P.E. al relé de seguridad del armario eléctrico general. [2.2].

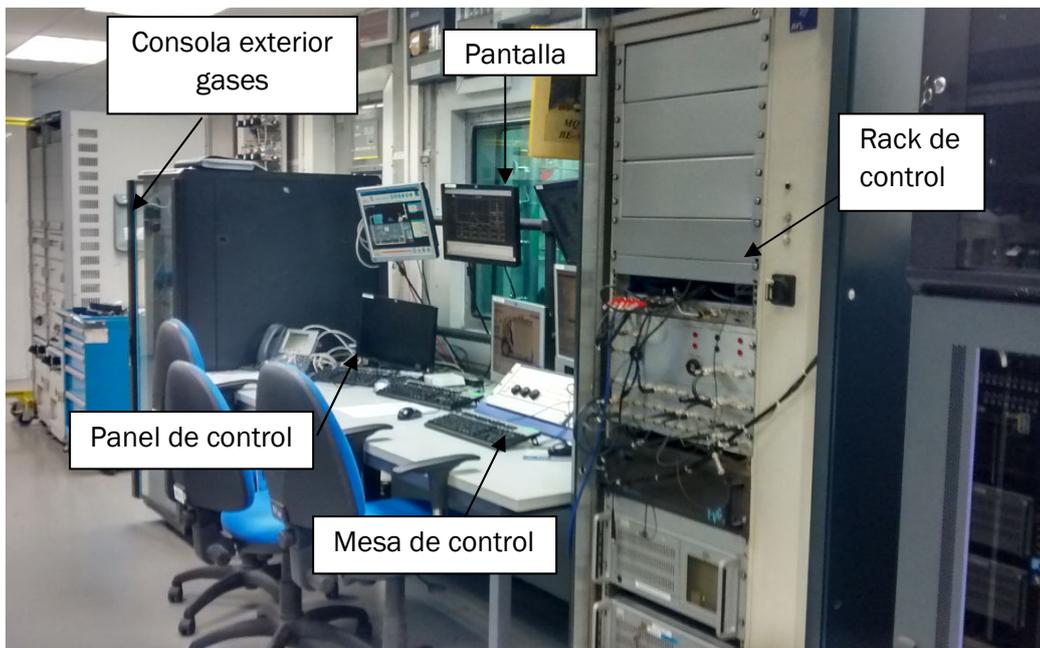


Figura 2.7: vista general del pasillo de control.

En cuanto a la mesa o pupitre de trabajo, figura 2.8, nos encontramos con el panel de control, a partir del cual contamos con un botón de parada de emergencia y controlamos el motor; dando contacto para el arranque del motor, poniéndolo en marcha, a ralentí o parándolo, y manejando los regímenes de giro, carga, etc. Además del motor contamos con ocho pantallas, en las cuales a través de ellas y mediante diferentes softwares controlamos los ensayos que se están realizando en el interior de la celda.

- **Inca**: es el programa con el que más se trabaja junto a Puma y lo manejarán tanto los operarios como los clientes, los mandatarios de los

ensayos. Es el encargado de las calibraciones, es decir, a través de él cargamos las calibraciones con las que trabajaremos, hacemos diagnósticos sobre los problemas o errores que aparecen en ellas, obtenemos medidas de lo que ocurre en el ensayo y las modificaremos, mediante cartografías, para conseguir poner a punto el funcionamiento del motor con los requerimientos necesarios.

- **Puma:** a diferencia del anterior, este solo lo manejarán los operarios. Es el software a través del cual se lanzan los ensayos, ya sean en automático, donde el programa del ensayo ha sido creado siguiendo unos estándares, o manual, que mediante el cuadro de mandos, podemos ir variando los puntos de estudio (régimen, par, carga,...). A mayores podemos ir comprobando los valores de las diferentes consignas que se estén midiendo en la sala, ya sean referidas al motor, como presiones y temperaturas, o referidas a la sala, como las temperaturas que se alcanzan en el interior.
- **Consolas de gases:** contamos con dos pantallas para comprobar las emisiones de gases que tenemos antes y después del catalizador (precata y postcata), donde se podrá observar la eficiencia al pasar por dicho lugar, comprobando la diferencia de particular en cada pantalla.
- **Indimodul:** en este software está relacionado con los inyectores de combustible y la cámara de combustión. El principal uso que se le ha dado durante los posteriores ensayos será para comprobar y estudiar las presiones máximas que se alcanzan en el interior de la cámara de combustión, para cada ángulo de recorrido de la manivela.

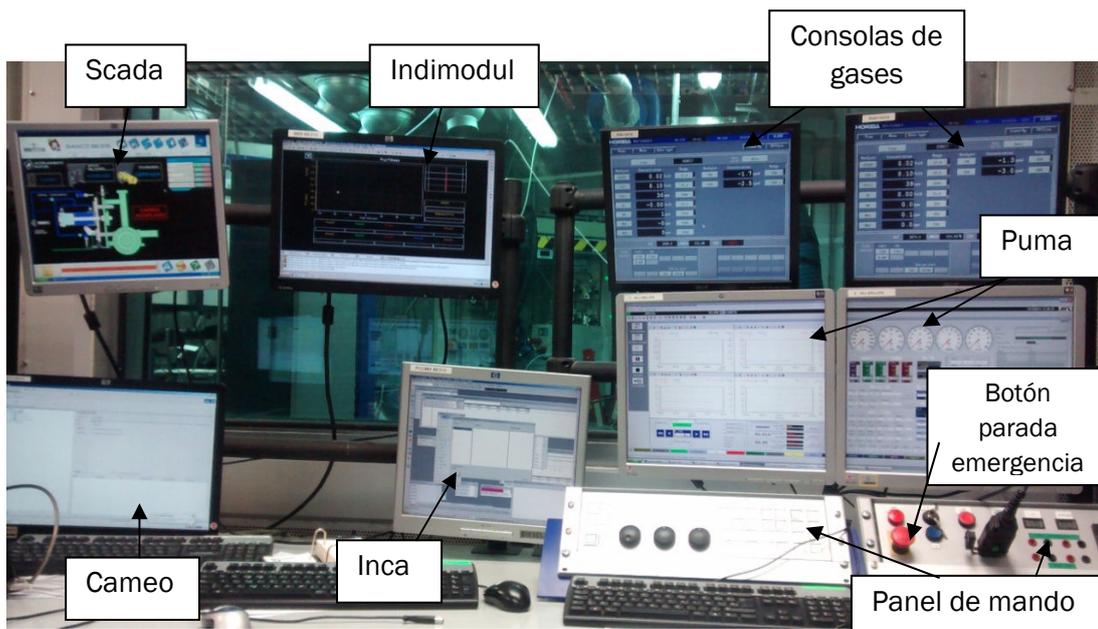


Figura 2.8. Pantallas de control y mando en los ensayos.

- **Scada:** en esta pantalla se puede observar la situación de los diferentes circuitos que llegan hacia el motor, como son los circuitos de agua, aceite y combustible, además de comprobar el circuito de climatización de la sala. En dichas pestañas podemos comprobar el estado de todos sus elementos, si están funcionando correctamente o no en cada momento, así como los valores utilizados como consigna y que alcanza dicho valor al estabilizarse después del cambio de valor.
- **Cameo:** Es la pantalla menos utilizada, llegando en esta práctica, a no utilizarse en ninguna operación. En ella podemos guardar información de los ensayos cuando no queremos que dicha información sea obtenida mediante Puma o Inca.

2.1.3. Sala de ensayo

Dentro de la sala de ensayo, figura 2.1, encontramos diferentes elementos que hacen que todo ensayo a realizar se pueda llevar a cabo satisfactoriamente. Entre los elementos con los que se trabajara para los diferentes ensayos realizados destacamos:

2.1.3.1. Motor

El motor es la parte fundamental del sistema. Para nuestros ensayos utilizamos motores diesel (K9K), motores que por la admisión solo permitimos el paso de aire, y cuando estos presentan la presión máxima en la cámara de combustión (pistón completamente arriba), inyectamos el carburante que se autoinflama instantáneamente debido a las altas presiones y temperaturas que se crean; y motores gasolina (H5), en los que al cilindro entra una mezcla de aire y combustible y la ignición se produce por la presencia de una chispa, es decir, provocamos la combustión. [2.5].

Durante nuestro estudio nos encargaremos del impacto térmico que tiene un motor diesel (K9K) sobre la sala.



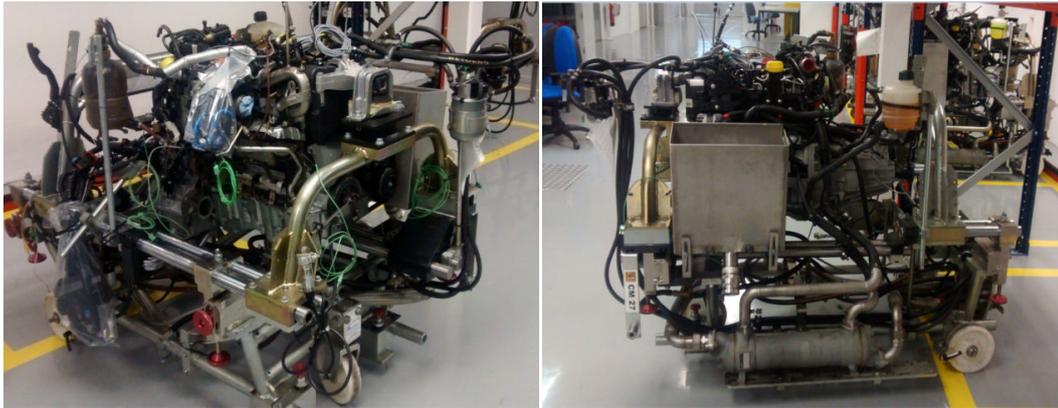


Figura 2.9. Arriba: vista del carro sin el montaje del motor. Abajo: vista del carro con montaje del conjunto motor-caja de cambios.

Para poder facilitar el manejo y colocación en el interior del banco, los motores deberán ir colocados sobre un carro motor, que permite situarlo en su posición adecuada. Dicho carro permite un amarre y desamarre rápido de las conexiones de los circuitos internos del motor, así como, se encarga de soportar el peso de todo el conjunto que posteriormente se montará sobre él: motor, caja de cambios, intercooler... como se puede observar en la figura 2.9. En dicha figura, comprobaremos los elementos necesarios para dicha sustentación del conjunto en el carro:

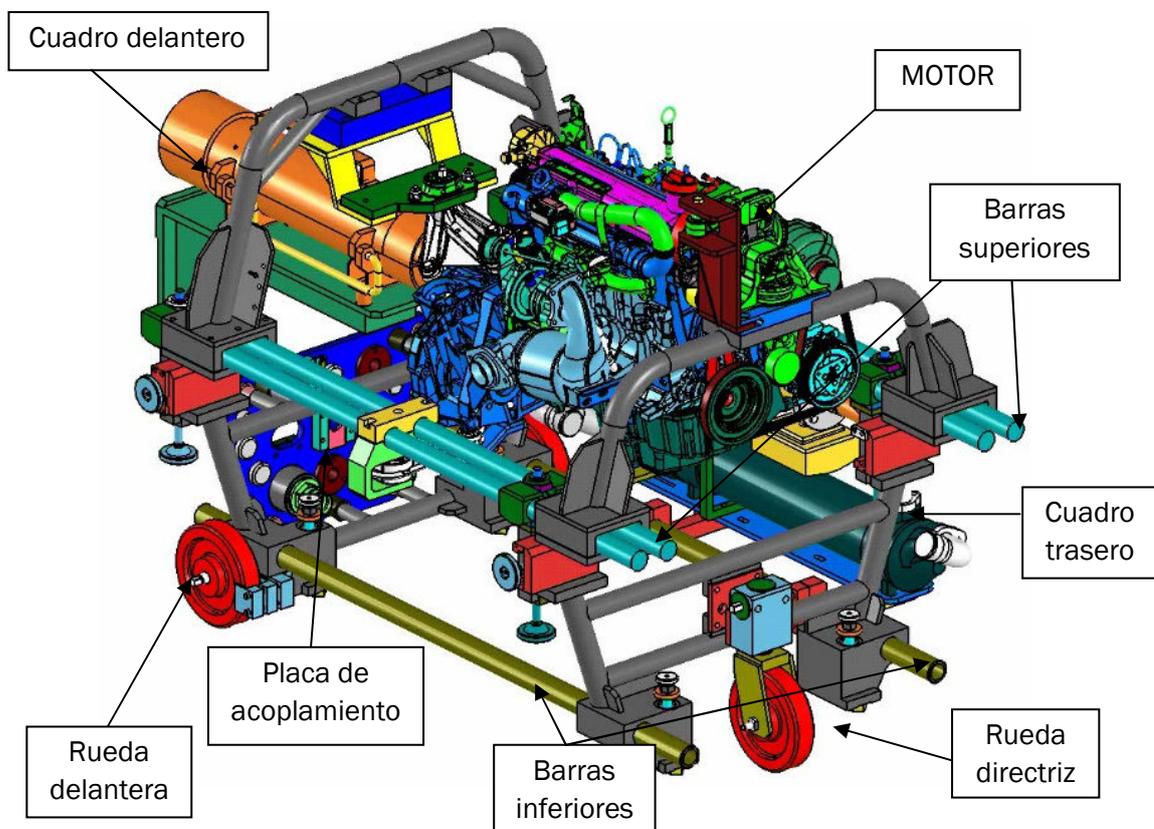
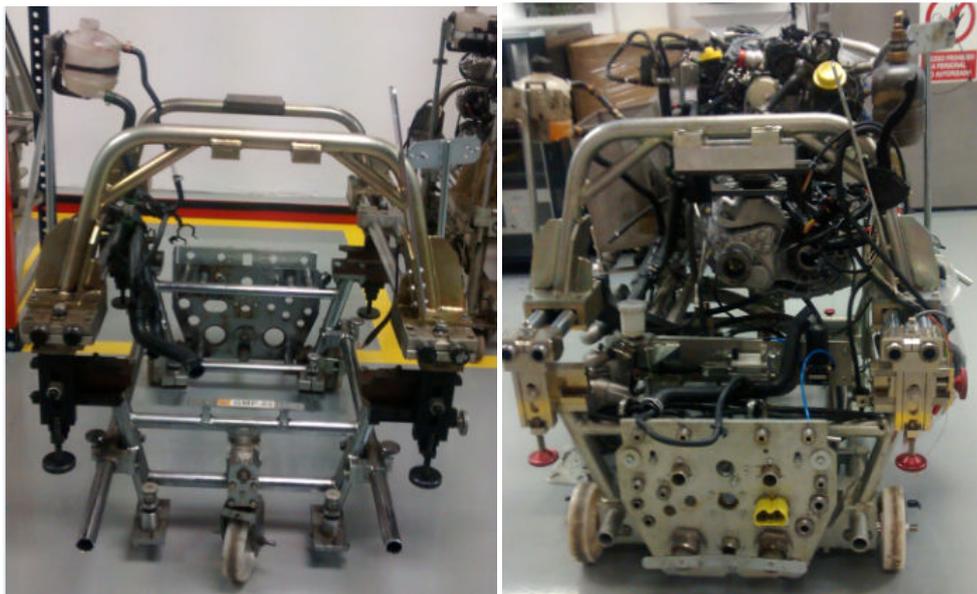


Figura 2.10. Partes del carro motor. [2.6]

- **Barras superiores:** a ellas se les acopla el motor y la caja de cambios, por lo que son las encargadas de soportar el peso del conjunto e incluso soportarán el amarre de algunos accesorios adicionales para los ensayos.
- **Barras inferiores:** al igual que para las barras superiores, aquí se colocarán ciertos elementos necesarios en las pruebas.
- **Cuadro delantero y trasero:** se usarán de soporte para los diferentes elementos y de sujeción para las barras superiores y permitirán un mejor manejo a la hora de situarlo en el lugar correcto dentro del banco.
- **Rueda directriz:** encargada de establecer el guiado del carro.
- **Ruedas traseras:** ancladas al sistema de freno, para evitar posibles desplazamientos.
- **Placa de acoplamiento:** es el sistema de anclaje del carro con el freno, mediante unos conectores rápidos (o stäublis) encargados de fijar estancamente la unión y unas guías alineantes para la perfecta conexión del carro con el freno (figura 2.11 y 2.12).



Figuras 2.11. Vistas de la placa centradora. Izq. Vista posterior. Dcha. Vista delantera.

Como hemos dicho, la placa sirve de unión entre el motor y el freno, que transmitirá el movimiento al motor; por lo tanto, en ella estarán todas las conexiones que deberán transmitirse desde el sistema fijo en el banco, freno, hasta el motor como se muestra en la figura 2.12.

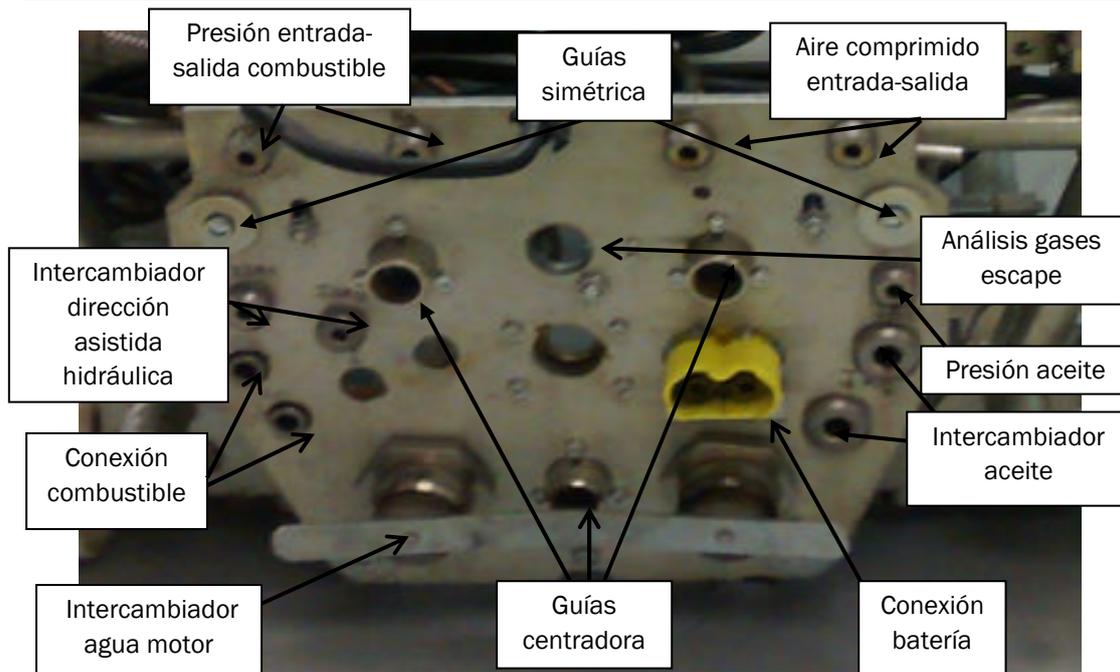


Figura 2.12. Placa de acoplamiento del carro con el freno. [2.7], [2.8]

2.1.3.2. Freno dinámico

El freno dinámico, figura 2.13, es el encargado de transmitir el movimiento al motor mediante el acoplamiento de su eje a la caja de cambios situada en el carro junto al motor. El freno, está capacitado para transmitir el movimiento al motor de dos maneras distintas: una como generatriz, donde el motor es arrastrado por él en su movimiento, siendo por lo tanto este, el que induce la movilidad al motor, o como freno, el cual, genera una fuerza externa en la rotación del eje del motor haciendo que actúe como un freno, induciendo una fuerza en sentido contrario al giro y frenado el movimiento del motor. Este último uso del freno se utiliza, por ejemplo, para simular la fuerza de frenada que ejerce el motor cuando un vehículo desciende por una superficie inclinada y se necesita controlar su velocidad mediante la fuerza del motor, no sobre los pedales del freno. [2.9].



Figura 2.13. Freno dinámico.

Al igual que el carro motor, el freno dinámico posee una placa de acoplamiento, denominada placa macho, en la que irán conectados todos los anclajes representados en la figura 2.12 como se muestra en la figura inferior 2.14. En ella podemos observar el conexionado que se fijará al motor correspondiente a la generatriz (parte superior) y el de la placa que se hará la unión con el banco motor.

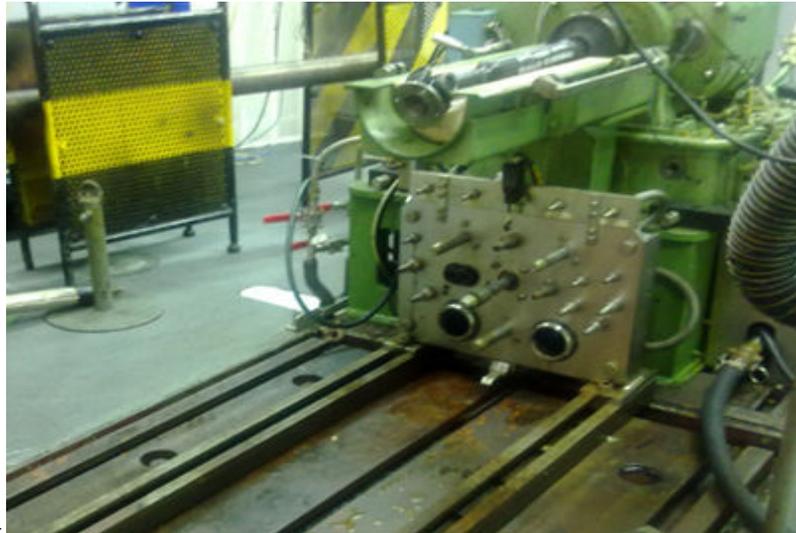


Figura 2.14. Conexión del freno dinámico con el carro motor y el motor.

La unión de los dos elementos queda reflejada en figura 2.15, donde se observa el conjunto de motor - freno instrumentalizado conectadas las sondas de temperatura, cables verdes, y las de presión, cables blancos, al equipo de medidas quedando el sistema listo para su funcionamiento.

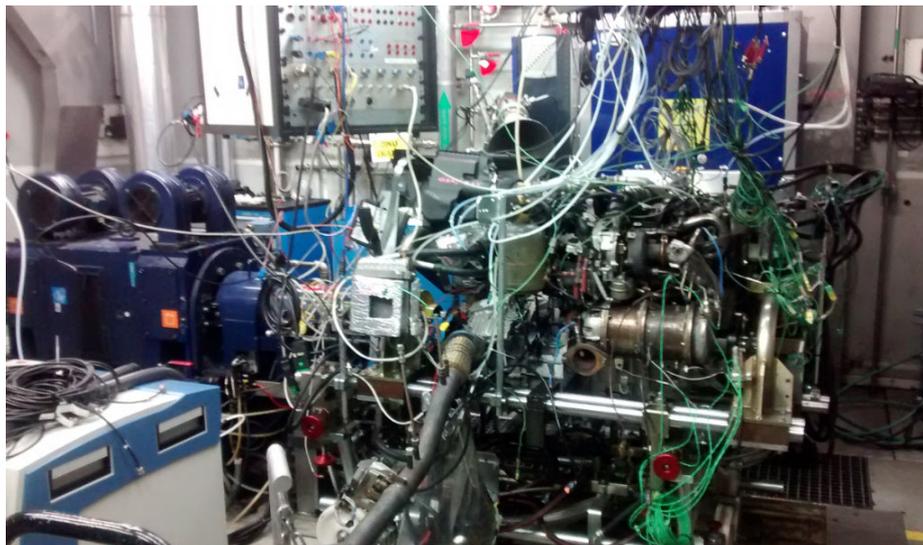


Figura 2.15: conjunto freno-motor conectados e instrumentados.

2.1.3.3. Soplante vehículo

Los motores que se utilizan hoy en día se puede decir que son sobrealimentados, es decir, aumentamos la densidad de la mezcla de gases que tenemos a la entrada de la admisión a cambio de aumentar la presión. [1.1]. Este aumento de densidad se traduce en un aumento del gasto másico de aire (\dot{m}_a), como se muestra en la expresión [Ec. 2.1] donde interviene el rendimiento volumétrico (η_v), la cilindrada del motor (V_T), la densidad del aire (ρ_a) y las revoluciones de giro del motor (n). Como al motor no se le modifica ni la cilindrada, ni el rendimiento volumétrico, ni las revoluciones, ante un aumento de la densidad conseguimos un aumento del gasto de aire.

$$\dot{m}_a = \eta_v V_T \rho_a \frac{n}{2} \quad [\text{Ec. 2.1}]$$

El aumento del gasto del aire traerá consigo un incremento en el consumo de combustible debido a que el dosado (F), [Ec. 2.2], se mantendrá constante en el motor, con lo que a un aumento del gasto de aire, también solicitará un aumento de combustible. Así con todo ello, un aumento del gasto másico de aire y siguiendo la expresión [Ec. 2.3] (donde intervendrá el poder calorífico del combustible (PCI), el dosado, el rendimiento efectivo (η_e), que contabiliza la eficiencia con la que la energía liberada del combustible se transforma en energía mecánica en el cigüeñal, constante en todo momento, y el gasto de aire) conlleva un aumento de potencia en el motor (Ne). [2.5]

$$F = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} \quad [\text{Ec. 2.2}]$$

$$Ne = PCI \eta_e F \dot{m}_a \quad [\text{Ec. 2.3}]$$

Con todo ello, a la salida del turbocompresor obtenemos además de altas presiones, altas temperaturas que son inadmisibles debido a que, al aumentar la temperatura la densidad disminuye y no conseguimos obtener la deseada. Por lo tanto, se deberá hacer descender la temperatura del gas en este momento mediante un intercooler o intercambiador, para lograr aumentar de nuevo dicha densidad y así tener altas presiones y bajas temperaturas a la salida del intercambiador, y con ello, en la entrada de la cámara de combustión. Dicho intercambiador puede refrigerarse de dos maneras: mediante agua, un pequeño chorro que se evapora por el calor recibido o mediante aire. [1.2]. Normalmente la refrigeración se realiza mediante aire, y por ello, en los ensayos posteriores la refrigeración se realizará de dicha manera.

En el interior de la sala, la refrigeración del sistema de enfriamiento de los gases de entrada se realizará por aire, pero al tener un sistema estacionario dentro de la sala, es decir, sin movimiento, no tenemos corrientes de aire que lo

aproxime a su funcionamiento cuando va situado en un vehículo en circulación, por lo tanto, necesitamos de un equipo externo que se encargue de impulsar el aire hacia el intercooler para conseguir que la velocidad al incidir el aire en el intercambiador sea la misma que tendría un vehículo en movimiento y así poder disminuir la temperatura de los gases comprimidos a la salida de este. Para ello, utilizaremos una soplante exterior, denominada también boostblower, figura 2.18.



Figura 2.18. Sistema soplante de aire boostblower. Izq: vista lateral del equipo. Derch: vista de la boca de la soplante.

Esta regulación se realizará a través de la boca de la soplante, que incidirá directamente en el intercambiador para simular, mediante la velocidad con la que es incidido el aire soplado, la rapidez con la que se está desplazando el vehículo, como se puede observar en la figura 2.19. La distancia desde la salida de la soplante hasta el intercambiador será la suficiente como para asegurar que la temperatura que alcanza al entrar en contacto con él sea la determinada en ensayos anteriores a comenzar con las pruebas representativas y esta será fija en todo momento.

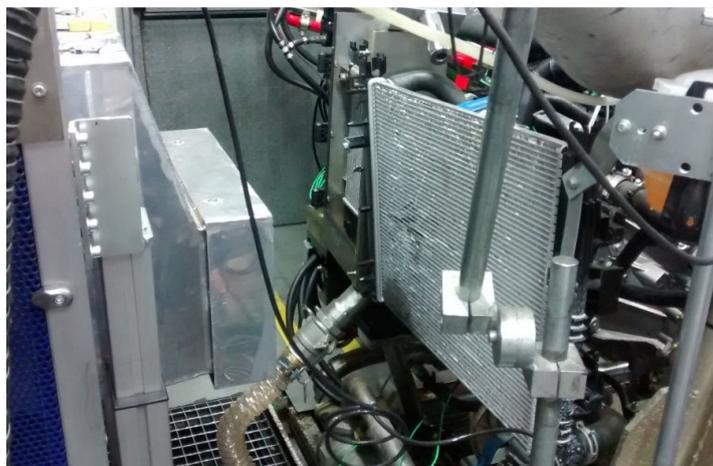


Figura 2.19. Boca de la soplante incidiendo en el intercambiador de gases de entrada a la cámara de combustión.

2.1.3.4. Consolas de gases

Una parte de real importancia en el motor son las emisiones de gases contaminantes que se transmiten a la atmosfera a través de la línea de escape. Para intentar disminuir dichas emisiones el motor estará previsto de distintos sistemas de eliminación de las partículas nocivas, y así, poder eliminarlas lo más posible. Estos sistemas de reducción de las partículas son el catalizador y el NOx-Trap. Existen por lo tanto sistemas de medida para comprobar la cantidad de partículas antes y después de dichos elementos.

En este momento la medida que nos es necesario medir será la reducción de elementos contaminantes que se eliminan al pasar por el catalizador. Para ese papel, contaremos con una consola de gases Horiba Mexa 7100DEGR, con la cual tendremos un picaje, una toma de medida, a la entrada del catalizador (precata) y otra a la salida de este (Postcata). Por lo tanto, las consolas de gases son las encargadas de comprobar la opacidad de los gases, y por lo tanto, su concentración a la salida del catalizador y su eficacia en la eliminación de los contaminantes.

Los valores que se obtendrán en ambas tomas de medidas son las relacionadas con los gases de CO, CO₂, O₂, NO, NO_x, NO₂, THC Y CH₄. Pudiéndose observar, mediante las pantallas gases situadas en la mesa de control, la diferencia de concentración entre la consola precata y las postcata. [2.12]. Y se deberá observar que entre las dos medidas existe una pequeña eliminación de los gases nocivos. [2.12].

Dichas consolas constan de dos equipos: uno situado en el interior de la sala (fig 2.20), formado por el horno OVN y otro situado en el pasillo de control que es el que denominaremos sistema Mexa7100. Dichos elementos nos servirán para:

- **El horno OVN** es el encargado de la medición de las partículas de NO_x, NO, NO₂, CH₄ y de HC. Este horno es un analizador en caliente debido a las altas temperaturas que se alcanzan en su interior de él, llegando a rondar los 200 °C. En estos elementos, para obtener una medida veraz, deberemos evitar la condensación de los gases y por lo tanto la eliminación de las partículas de agua que contienen. A estos gases se les denomina gases húmedos.
- **La consola Mexa7100** que se encarga de la medición de los gases a excepción de los medidos con anterioridad por el horno. En este caso, al contrario que el anterior, nos conviene trabajar a bajas temperaturas y así, conseguir la condensación de los elementos y la eliminación del agua

que contienen. A estos gases debido a su manera de medición se les denominará gases secos.

- **El ordenador MCU**, que será el encargado de gestionar el funcionamiento del sistema proporcionando medidas satisfactorias. Este sistema se encontrará integrado dentro de la consola Mexa.
- **El filtro HBF**, situado en el interior de horno, será el encargado de realizar la primera filtración de los gases de entrada al horno evitando la entrada de partículas solidas a las consolas.

La medida de los gases de escape dependerán del tipo de medición que se realice entre ellas, pudiéndose dividir en dos grupos: los gases húmedos y los gases secos. La medida para los gases secos por lo tanto se realizara en ppm (partes por millón) mientras que para los gases secos se medirá en %V (porcentaje en volumen).



Figura 2.20. Horno analizador de las partículas THC.

2.1.3.5. Acondicionador combustible

El combustible en el motor no puede entrar a cualquier temperatura, debido a que podría causar un salto térmico suficientemente grande que puede dar lugar a la existencia de daños, ya sean superficiales o no superficiales, de y generando una combustión no idónea, si no se alcanza cierta temperatura del combustible, obteniendo menores rendimientos o problemas para obtener una perfecta combustión. Para ello, necesitamos alcanzar cierta temperatura que conseguiremos mediante el acondicionador de combustible o KMA, figura 2.16. Aunque el principal cometido es para alcanzar la temperatura adecuada del combustible, también nos servirá para regular el caudal que inyectamos en el motor. La temperatura que usaremos se regulara a comienzo de los ensayos, siendo distinta para motore: diesel y gasolina y las condiciones del ensayo.



Figura 2.16. Máquina acondicionadora del combustible ó KMA.

El circuito interior del adaptador del combustible, figura 2.16, está compuesto por una bomba en el depósito de combustible, que impulsará el movimiento a través del circuito. A la entrada de la KMA tenemos la primera bomba de aspiración, que hará pasar el combustible por un caudalímetro para controlar el caudal a la entrada del motor. A continuación se encuentra una bomba para la impulsión, que llevará directamente el combustible hacia el motor en el que las bujías lo inyectarán. Si el caudal excede del necesario, en ese momento recirculará el sobrante haciéndolo pasar por el intercambiador. Por otra parte, si el caudal a la entrada del caudalímetro es superior al que permite dispensar, se accederá a una salida secundaria dosificada por un regulador de presión, que permite el paso del fluido una vez que la presión que se genere a la entrada de él sea la necesaria para que se permita su apertura. Esa salida secundaria pasará por el intercambiador para conseguir un acercamiento a la temperatura final de inyección. [2.10].

La temperatura final se acondicionará mediante un regulador de temperatura ó julabo [3.3] a la salida de la bomba de impulsión, basado en unas resistencias que la regulan.

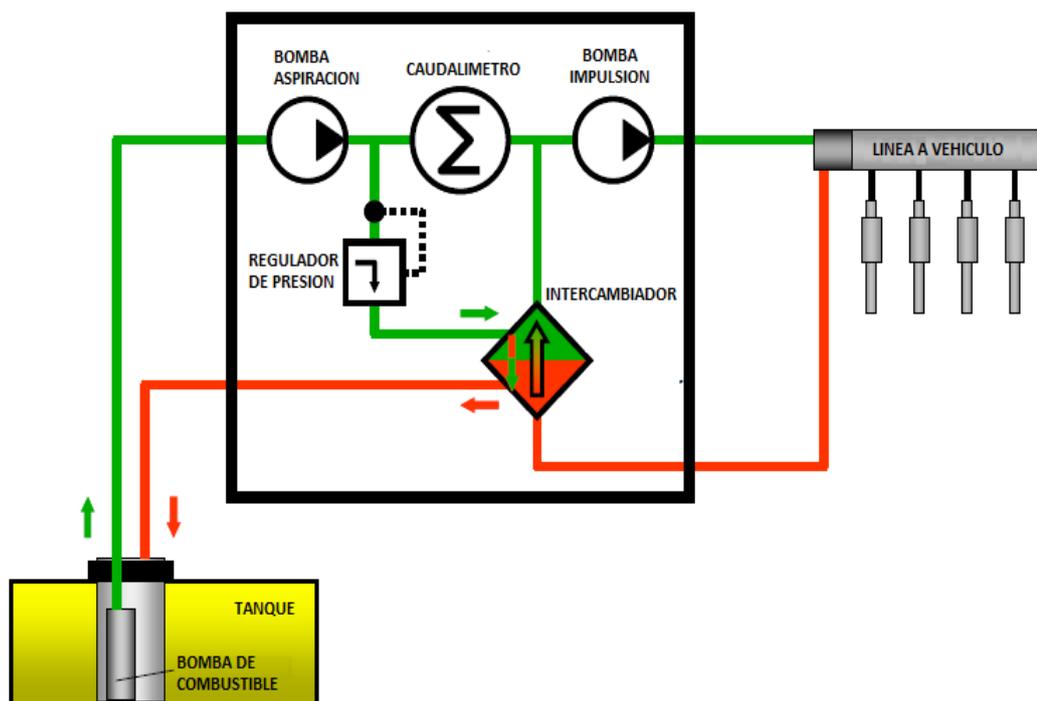


Figura 2.17. Esquema del combustible para su acondicionamiento. [2.11], [3.1].

2.1.3.6. Caja de medidas

En el proceso de ensayos necesitamos recoger las diferentes temperaturas y presiones que se van obteniendo a lo largo del experimento, ya sean tomados dichos resultados de los transductores montados en el motor o datos obtenidos

de la sala de ensayo, la presión y temperatura de la sala o la humedad relativa. Para ello, usaremos la caja de medidas, figura 2.21, situada en la parte superior de la posición final de colocación del motor para el ensayo, en el interior de la sala. Las medidas se van recogiendo en canales FEM, es decir, en módulos de entradas y salidas, analógicas o digitales, diseñados para mediciones de alta presión para su aplicación en un entorno de pruebas de bancos. [1.3].

Esta caja de medidas o Boom Box utilizada de AVL [3.2] mantendrá recogidas y agrupadas todas las entradas de medida mediante 5 entradas FEM de canales analógicos, utilizados para medir tensión, corriente, temperatura, presión, etc., siendo las más comunes en nuestros ensayos las medidas tomadas de temperaturas y presiones, y dos pletinas con captadores de presión tipo 4-20 mA para medir bajas presiones, como se puede comprobar en el manual de utilización del sistema [2.2].

Los canales FEM estarán compuestos por 13 transductores cada uno para 13 medidas distintas. Esto hace que solo con los canales FEM de entradas y salidas analógicas podemos recoger un total de 65 medidas del conjunto. Cada entrada FEM estará destinada a medir un conjunto de medidas relacionadas entre sí, por ejemplo, uno de ellos se destinará a las medidas de presiones influyentes en el motor, como la presión cárter o a la presión del aceite, o a la medida de temperaturas.

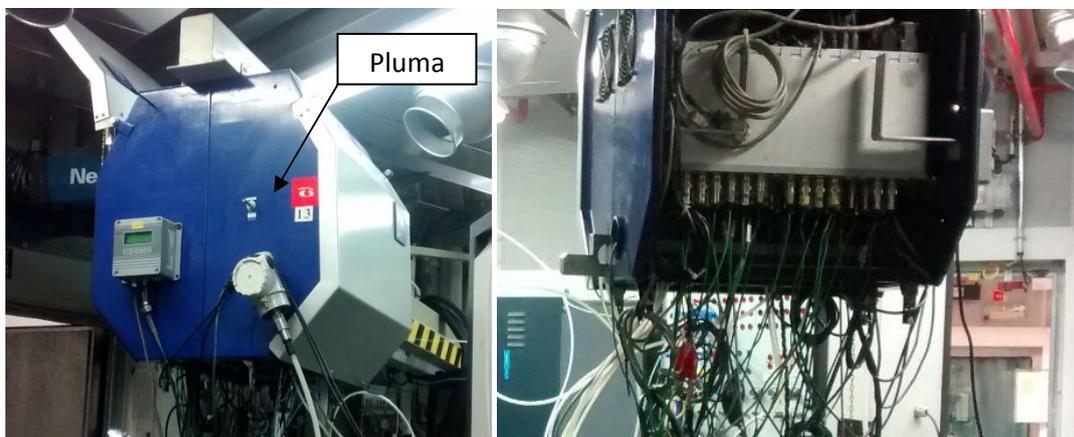


Figura 2.21. Caja de medidas de temperatura y presiones del motor. Izq.: situación de la pluma en la Caja. Dcha.: conexionado de las sondas en los canales FEM.

La caja además de albergar las conexiones para las diferentes medidas en canales FEM y las dos pletinas para presiones, posee una medida exterior, denominada pluma, la cual medirá la temperatura de la sala a cada instante de tiempo, dándonos el valor real instantáneamente. Dicha medida deberá estar alejada 30 cm de la parte más alta del motor, para asegurar que la medida resultante es aceptable y no se verá afectada por el calor que evacúa el motor en funcionamiento.

Conectado a la caja de medidas se encuentra la BPO o pluma de servicios auxiliares, figura 2.22, necesaria para vincular conexiones de comunicación y control del motor. Esta caja dispondrá en dos de sus laterales conexiones para las medidas o equipos auxiliares que no pudieron ser conectadas a la Boom Box. En la parte delantera, nos encontramos con 5 conexiones de entrada y salida digitales y 10 conexiones analógicas auxiliares suplementarias para posibles

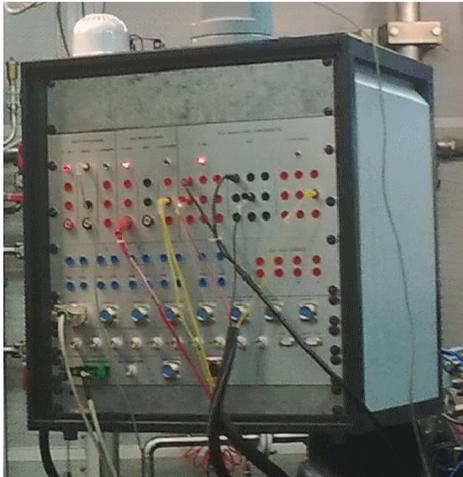


Figura 2.22: Caja BPO con conexiones auxiliares.

imprevistos de conexionado. A mayores contamos con entradas para conectar equipos como el caudalímetro del agua del motor, los micrófonos de escuchas de la sala y del motor, los acoplamientos del carro, la soplante del RAS, el sistema de embrague del motor, el sistema de diagnóstico del motor, el sensor del nivel del agua del motor, el sistema de pilotaje de la válvula de contrapresión del escape, el conexionado del computador, el detector de condensación del intercooler, etc., además de conexiones para dispositivos externos de 12 V, 24V y de contactos libres de potencial, como se puede observar en la figura 2.23. En la parte trasera contamos únicamente con tomas para equipos de 220V con unidades o espacios vacíos para posteriores montajes de cajas de conexionado, al igual que ocurre en la parte delantera.

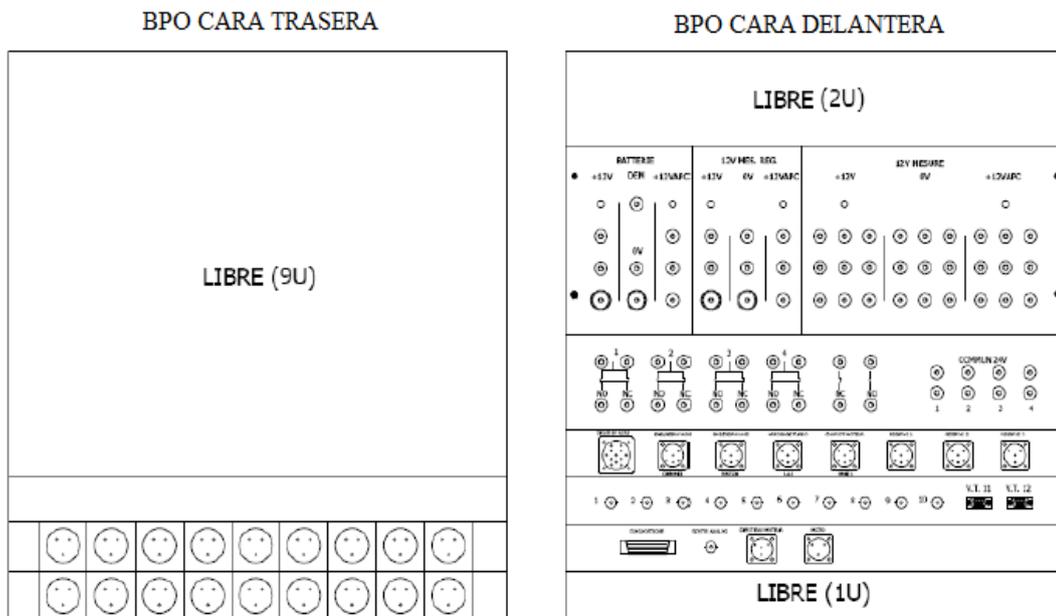


Figura 2.23: Conexionado de las tomas de la BPO de la parte delantera y trasera de la caja. [2.2].

Todo este sistema, como hemos dicho anteriormente, irá conectado al rack de control situado en el pasillo, el cual, procesará la información obtenida de las cajas de medidas y mostrará los resultados recogidos en los ensayos por pantalla mediante el software de Puma.

2.1.3.7. Espectrómetro de masas

El espectrómetro de masas (figura 2.24 Izq) se encarga de medir la concentración y composición de los gases procedentes de la línea de escape del motor, productos inquemados (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x , es decir, NO y NO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x , es decir, SO_2 y SO_3) y dióxido de carbono (CO_2). Para medir dichos gases de escape, gases que se emitirán al ambiente cuando el motor esté montado en el vehículo, se necesitan, a mayores, unos gases reactivos, que durante el proceso de análisis se encargan de dividir las moléculas en iones para su posterior lectura.



Figura 2.24. Izq: imagen del espectrómetro de masas [2.13]. Drcha:: botellas de gases para la calibración del espectrómetro.

El tratamiento de los gases se hace haciendo pasar los gases por dos octopolos y un cuadripolo, Figura 2.25, donde separaremos los gases en iones que usaremos para la lectura, para llegar al final de la cadena y obtener la concentración y la composición final de los gases de escape.

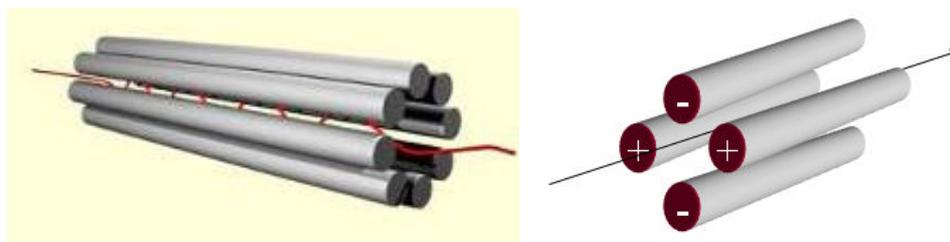


Figura 2.25. Izq: octopolo para ionizar los gases. Drcha: cuadripolo.

Antes de comenzar con las medidas necesitaremos comprobar y ajustar la buena medida del conjunto mediante la calibración del equipo. Para ello, utilizamos 5 gases de apoyo, figura 2.24 Dcha., como son el N₂, SO₂, H₂S, COS, CH₄ y C₆H₆ de las cuales conocemos su concentración para comprobar que la medida esta correcta. Una vez realizado dicha comprobación podemos continuar con la medida de los gases.

En la primera etapa, figura 2.26, nos encargamos de convertir los gases reactivos en iones mediante el octopolo, para posteriormente utilizarlos en las siguientes etapas. En el primero que nos encontramos y mediante una corriente eléctrica externa, conseguimos separar todas las moléculas de los gases siguiendo la siguiente ecuación [Ec. 2.4], donde tomaremos A como el gas reactivo.

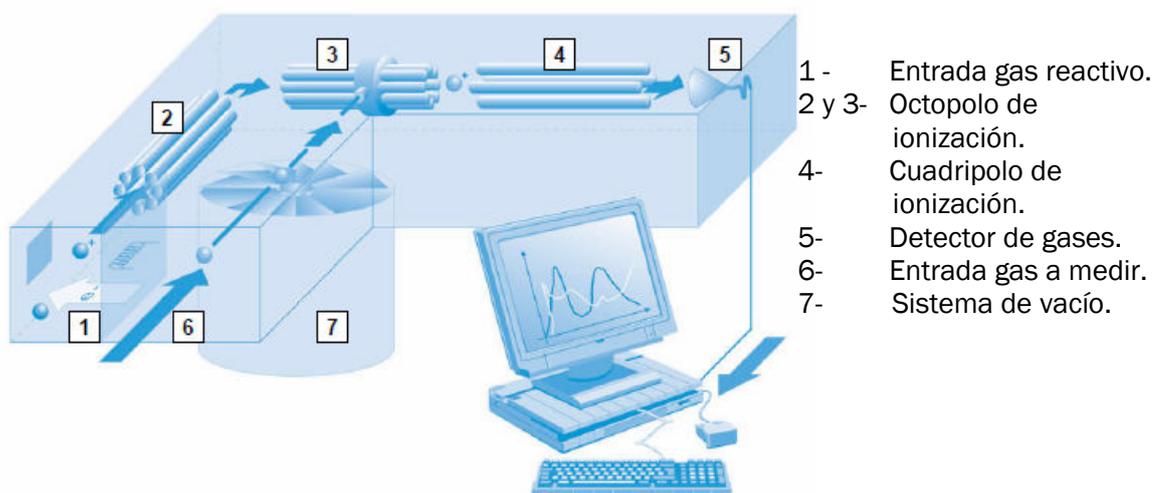


Figura 2.26: Esquema del espectrómetro de masas. [2.13]

Dichos gases que se utilizan para el proceso son: el Kriptón (Kr), Xenón (Xe) y Mercurio (Hg). Esta elección de los gases es debida al potencial de ionización de la moléculas a analizar, que dependiendo cual sea, se requerirá mayor o menor potencial para conseguir la separación en iones. Así por lo tanto, utilizamos Kr para las moléculas de CO₂ y CO, el Xe para SO₂, CH₄ y COS y el Hg para H₂S y C₆H₆. [1.4]

En el siguiente octopolo, entrará en el proceso la muestra del gas de escape que vamos a analizar. Así por lo tanto, con la unión de los iones procedentes de la primera etapa y los gases nuevos, conseguimos descomponer estos últimos en iones [Ec. 2.5], obteniendo como resultado el gas inicial reactivo y los iones moleculares requeridos (M^{**}).



Englobando estos dos procesos, podemos decir que hemos terminado la etapa de ionización de las moléculas y ahora entramos en la de análisis. El siguiente proceso sucederá en el cuadrupolo, formado por cuatro barras longitudinales, paralelas entre si y conductoras de la electricidad, a las que se les aplica un potencial eléctrico continuo (U) y un potencial de **radiofrecuencia** ($V \cdot \cos \omega t$), los cuales se combinarán entre ellos, [Ec. 2.6], en el proceso. [2.14] y [2.15].

$$\begin{cases} U + V \cdot \cos \omega t \\ U - V \cdot \cos \omega t \end{cases} \quad [\text{Ec. 2.6}]$$

El octopolo mediante la trayectoria que genera debida a los potenciales, desviará algunas moléculas que se irán filtrando en las barras longitudinales. La desviación o no de las moléculas a lo largo del cuadrupolo, figura 2.27, depende únicamente de su relación masa/carga, por lo que, no todas llegarán al detector final, solo alcanzarán el detector las que consigan una trayectoria oscilante estable en los dos planos formados por cada par de electrodos opuestos. El ion por lo tanto deberá ser lo suficientemente pesado como para no ser eliminado por el filtro por excesiva masa y suficientemente ligero como para no serlo expulsado por escasez. [2.16]

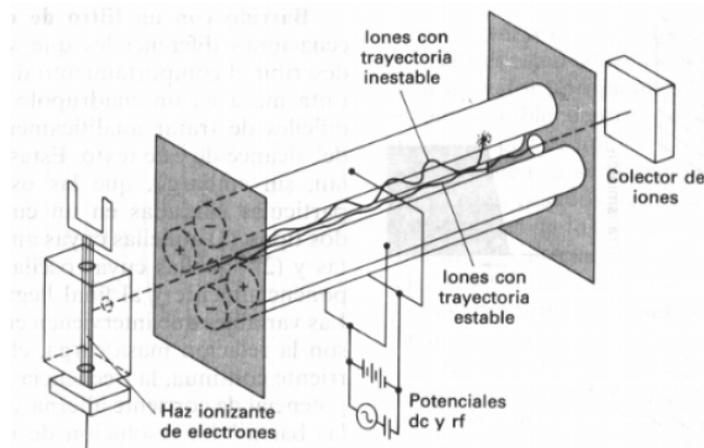


Figura 2.27. Cuadrupolo del espectrómetro de masas. [2.16]

Una vez llegados al final los iones, pasarán por el túnel de Channeltron, figura 2.28. Dicho túnel está formado por un tubo en forma de corneta de vidrio y recubierto por óxido de plomo, material resistividad. Para captar los iones se aplica un cierto potencial que hará que se atraigan los iones hacia las superficies interiores y choquen multiplicándose la emisión de electrones y por lo tanto multiplicando la corriente eléctrica. Al final de todo el recorrido se encuentra un cono recolector, que amplifica las señales eléctricas obtenidas y cuantifica cuantos iones moleculares han sido necesarios para crearla, dicha medida viene dada en contajes por segundo (cps).

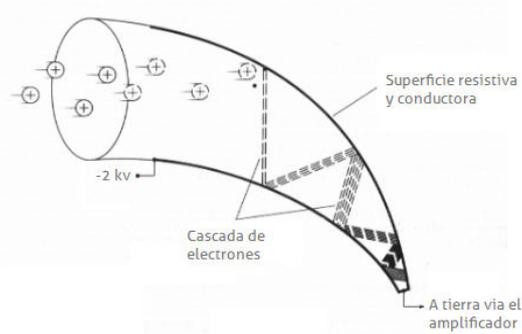
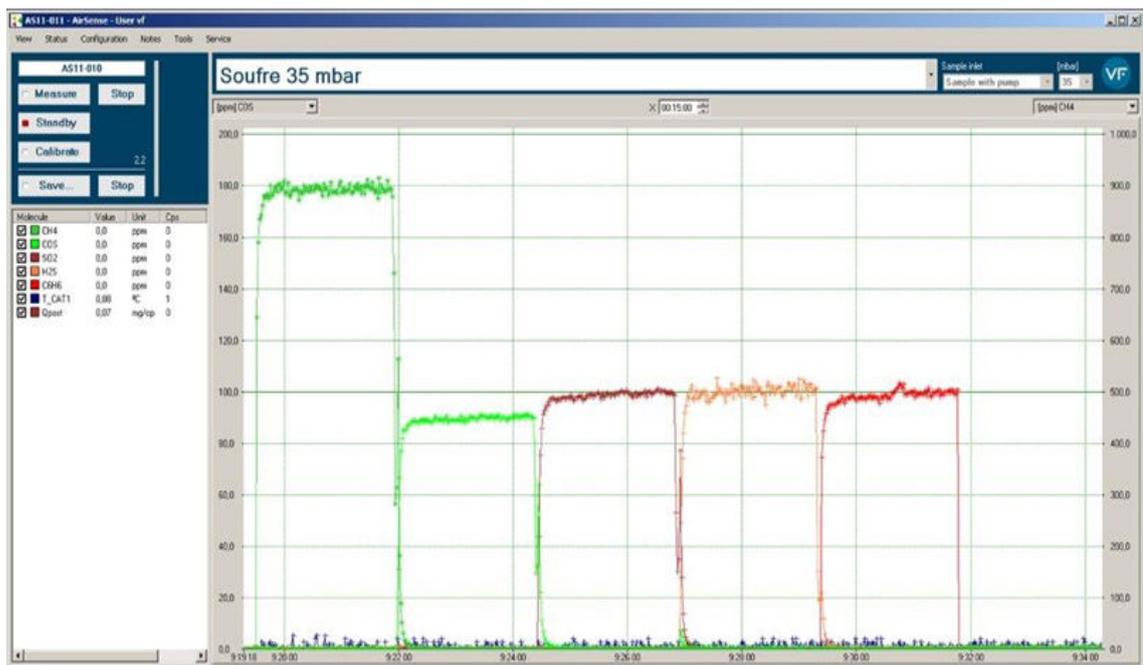


Figura 2.28. Túnel de Channeltron. [2.16]

Para la realización de las medidas nos apoyaremos por lo tanto en un software. Este software, para comenzar deberá realizar una medida de calibración del sistema como se muestra en la figura 2.29 y posteriormente se podrá proceder a la medida de los gases de la línea de escape. Para el caso de la calibración, se inyectarán ciertas cantidades conocidas de las botellas y comprobaremos si los resultados medidos por el espectrómetro son iguales. Si esta medida está correcta, las líneas de cada gas aparecerán horizontales, como en la figura 2.29 A. Si por el contrario no fuesen correctas aparecerían inclinadas, si la inclinación comenzase desde el principio significaría que las líneas del espectrómetro de masas están sucias y necesitan de una limpieza, figura 2.29 B. Si por el contrario la inclinación de ella comienza una vez alcanzado el máximo de la medida podrá significar o que las botellas del carro están cerradas o se encuentran vacías y hay que cambiarlas como en la figura 2.29 C. [2.14].

A



B



Figura 2.29: Software de medición del espectrómetro de masa. A: sistema de calibración correcto. B y C: sistema de calibración incorrecto. [2.14].

C



2.1.3.8. Carro de envenenamiento

El carro de envenenamiento, figura 2.31, se utiliza para realizar dos tipos de ensayo: un envenenamiento por azufre del NOx-Trap o una inyección en escape

para calibrar los valores obtenidos en el espectrómetro de masas. [2.17]. Durante nuestro trabajo, primero se deberá realizar una primera prueba de calibración y control de la medida del espectrómetro y posteriormente serán de importancia los primeros ensayos, envenenamiento por azufre, de los cuales nos centraremos en apartados siguientes.

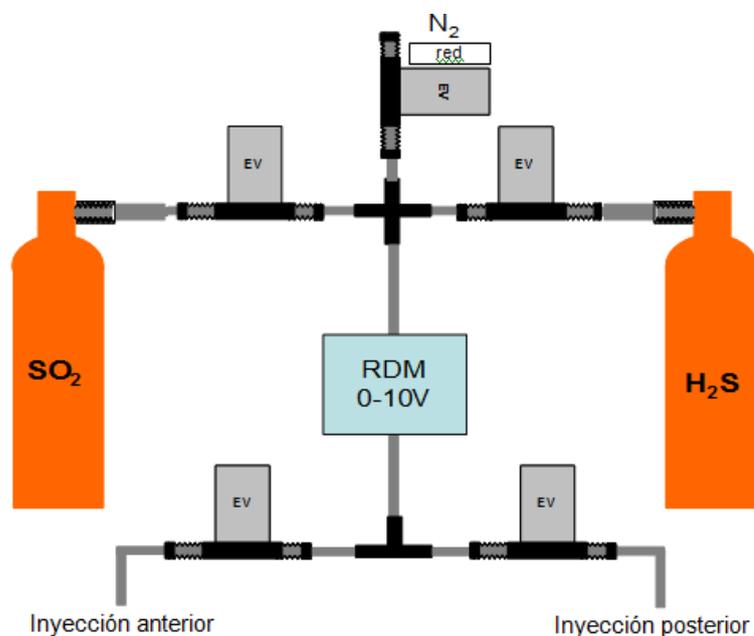


Figura 2.30: Esquema de conexión de las botellas de gases peligrosos y la línea de nitrógeno con la inyección en el NOx-Trap. (EV=electroválvula). [2.17].

El carro de envenenamiento es un carro portátil al cual se le han incorporado dos botellas de gases peligrosos controladas por electroválvulas a la instalación, que permiten el cierre estanco de las botellas, evitando posibles fugas de ellas hacia la sala y controlando el caudal de inyección de las botellas. El carro estará conectado a mayores a la línea de nitrógeno, de la que está provisto el banco, para realizar purgas de los conductos de inyección, y así, evitar reacciones entre los compuestos de las botellas. Por consiguiente, las tres líneas de gases, las dos botellas y la línea de nitrógeno han de estar conectadas entre sí, como se puede observar en la figura 2.30, donde cada tramo aparece controlado por electroválvulas controladas mediante los software del pupitre de control, imposibilitando la apertura más de un conducto de gases simultáneamente.

Estas botellas necesarias para los ensayos son:

- **Una botella de SO₂ al 2% en Nitrógeno** necesaria en nuestros ensayos de envenenamiento para envenenar y estabilizar de azufre el NOx-TRAP. Este proceso, genera una aceleración de la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar entre los gases del escape generando un depósito de azufre que posteriormente deberá ser estudiado.

- **Una botella de H₂S al 1% en Nitrógeno** para la realización de la purga del NO_x-TRAP para eliminar toda posibilidad de existencia de elementos sulfurados. Además, junto a la anterior botella de SO₂ podemos realizar inyecciones de los elementos, en cantidades conocidas, para validar y calibrar la medida del espectrómetro de masas para los gases de escape.

Dichos gases contenidos en las botellas son peligrosos, por lo tanto, se deben tener ciertas precauciones a la hora de su manipulación. Los efectos que provoca el SO₂ son, entre otros, quemaduras y asfixia, lo que hace que se requiera un equipo de respiración del tipo máscara para incapacitar la inhalación de dichos gases. [2.18]. Del mismo modo ocurre con el H₂S, un gas tóxico y nocivo al ser inhalado y con fuerte olor a huevos podridos, lo que puede provocar pérdida de la sensación olfativa, por lo que se requiere, al igual que el caso anterior, el uso de máscara para su manipulación.



Figura 2.31. Carro envenenamiento con botellas de SO₂ (Izq) y H₂S (Drcha).

Al igual que se debe poner precaución en la manipulación ante la presencia cualquier fuga o mal estado del carro, deberá existir un sistema de seguridad formado por varias electroválvulas de control, una válvula de corte general de corte y dos válvulas antiretorno, para evitar retrocesos de los gases, conectadas a cada una de las botellas para evitar posibles riesgos.

2.1.4. Foso

Para finalizar nos queda hablar del foso, la última zona importante con la que contamos para poder llevar a cabo la realización de los ensayos. En dicho espacio contamos con los conductos de ventilación y del ACS. Estos últimos corresponden con los conductos a los cuales se conecta el motor para presurizar el motor y conseguir que los gases de entrada por la admisión se acondicionen a los valores requeridos para cada prueba. Así por ello, para conseguir la presurización se deberá conectar el final de la línea de escape del motor a los conductos de extracción del ACS que están situados en la planta inferior, el foso, como se muestra en la figura 2.2.

No solo contamos con los conductos de ventilación y ACS en la planta inferior, sino que contamos con la bancada donde se situará el conjunto del carro con todo el conjunto montado sobre él y el freno dinámico. Dicha bancada está diseñada de tal manera que será la encargada de absorber todas las vibraciones y ruidos que se crean en su superficie, y así, no transmitir dichas

fluctuaciones a la estructura de la nave, a la cual se puede llegar a causar daños. El aislamiento entre el edificio y la bancada se realizara mediante un cierto número de resortes elásticos que evitarán cabeceos en los arranques y paradas del motor y se colocarán lo más cerca de la fuente vibratoria posible, para poder eliminarlos con más eficiencia. [2.19]. No sólo mediante los resortes conseguiremos disminuir el nivel de ruido y vibraciones, sino que actuando sobre el material con el que se encuentra construida la bancada también conseguiremos hacerlo descender, es mejor realizarla en hormigón que absorbe mejor dichas irregularidades que no de otro material como puede ser el acero, el cual las acentuará y aumentaremos el problema.

2.2. Circuito de climatización

Los equipos que se poseen para la ventilación y acondicionamiento del aire de la sala del banco, así como, el equipo de acondicionamiento del aire de admisión, ACS (comentado en el apartado 2.1.1 entreplanta), se encuentran situados en la entreplanta superior a las celdas de ensayo, sobre cada una de sus salas de ensayos correspondientes.

El sistema de acondicionamiento del aire de la sala de ensayo, figura 2.32, tomará todo el aire del exterior, no dispondremos de ningún sistema de recirculación del aire de la sala, haciendo que se pierda la posibilidad de atenuar la temperatura de aspiración del climatizador y solo sea posible calentar el aire gracias a la batería de calor. [2.20]. El objetivo del acondicionamiento del aire, es acomodar la temperatura de la sala de ensayo entre los 20°C hasta los 30°C cuando el motor de encuentra en funcionamiento, aunque dichas temperaturas no sean las necesitadas y posteriormente el sistema necesitara afinar más para conseguir obtener la temperatura indicada para cada ensayo, normalmente en torno a los 24°C. Cuando el motor no se encuentre en funcionamiento podemos decir que nos encontramos en estado de confort la climatización, es decir, deberá existir una temperatura en torno a los 18°C en el interior de la sala. Así, por lo tanto, comprobamos que dependiendo del estado en que estemos en el interior de la sala, la temperatura a la cual se deberá llegar y acondicionar el aire es distinta. Para conseguirlo el caudal de aire máximo que se puede tratar, y por lo tanto, se permite hacer pasar los conductos es de $15000 \text{ m}^3/h$ y el caudal mínimo que trataremos será de $15000 \text{ m}^3/h$.

El circuito anterior está compuesto por dos circuitos independientes: el circuito por el cual inyectamos el caudal de aire a la sala, circuito de impulsión, y el de expulsión del aire de la sala hacia el exterior del edificio, circuito de extracción.

El circuito de impulsión es el primero que nos encontramos, y el encargado de regular la temperatura en el interior de la sala. A la entrada de los conductos,

el aire traspasará antes de todo por una sonda de temperatura y un servomotor antihielo, se activará cuando la temperatura exterior sea inferior a 5°C y exista la posibilidad de aparición de hielo en el aire que tomamos del ambiente. Ese hielo que pudiese tener el caudal entrante si no se eliminase podría llegar a ser perjudicial para el sistema posterior de baterías y ventiladores que están diseñados para no trabajar con agua en ninguno de sus estados de agregación.

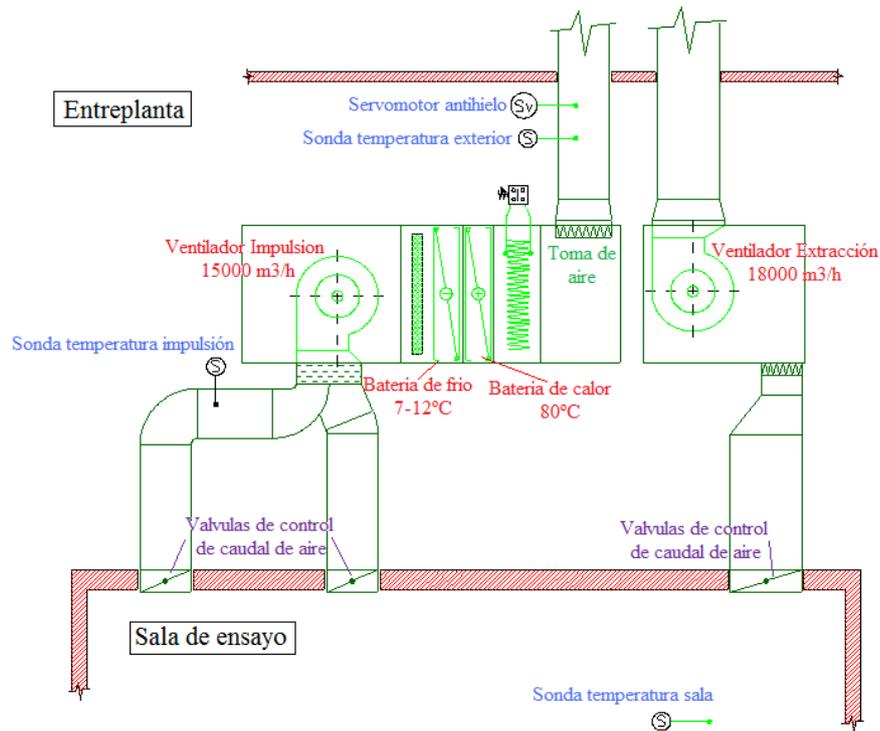


Figura 2.32: Esquema del sistema de acondicionamiento del aire de la sala. Maquinaria situada en la entreplanta. [2.21].

Una vez tomada la temperatura, el chorro de aire del interior de los conductos pasa por un filtro para eliminar las partículas suspendidas en él, y así, evitar desgastes en los siguientes equipos situados a continuación. Este filtro es de tipo grueso de clase EN779 y eficacia G4 correspondiente a una eliminación de partículas de polvo suspendidas en aire superior al 90% como recoge la norma [1.6].

Pasado el filtro entrarán en juego las baterías de frío o de calor que tenemos posteriormente. Las baterías serán las encargadas de acondicionar la temperatura del aire para que obtengamos en el interior de la sala, la necesitada para nuestros ensayos. Esta temperatura variará a lo largo del año, en invierno (en Valladolid, lugar de situación de los equipos) las temperaturas son muy bajas, en la mayoría de las ocasiones inferiores al punto de solidificación del agua, inferiores a 0°C, lo que conlleva que para conseguir insuflar el caudal de aire en la sala a la temperatura adecuada, se deberá calentar dicho caudal para acondicionarlo y así conseguir dichos requerimientos. Este calentamiento se llevará a cabo mediante las baterías de calor que traspasaremos en su recorrido

por el conducto. Si por el contrario estamos en verano, ocurrirá lo opuesto, las temperaturas resultarán extremadamente elevadas, pudiendo llegar a rondar los 35 a 40°C gran cantidad de tiempo, lo que hará necesario que las baterías de frío se pongan en marcha para suministrar frialdad al chorro de aire entrante, para descender la temperatura hasta llegar a la establecida en los ensayos. En las otras dos estaciones, otoño y primavera (la temperatura en dichas épocas del año no son muy frías, ni muy calientes), la sonda de temperatura será la que comprobará el estado del aire y mandará la información para conocer si lo que se debe utilizar son las baterías de frío o las baterías de calor.

Las baterías de calor y de frío son comunes para todas las salas de ensayo. Habiéndose construido una central frigorífica y una central térmica en una plataforma en la terraza del piso superior para acondicionar el aire desde la cual se distribuirá a los diferentes espacios de estudio. [2.22]. Las baterías de frío estarán disponibles durante todo el año. Dicha batería cuenta con un intercambiador de agua suministrando un caudal máximo de 10000 l/h , pudiendo este ser ajustado mediante unas válvulas reguladoras de caudal controladas mediante controladores PID's (sistemas de control genérico a través de un lazo de realimentación para regular las variables de un proceso en general), como se ve en [2.23]. Esa agua es inyectada en el intercambiador a una temperatura de 7°C con una presión de 2 bar para permitir la circulación de ella sin retenciones, y recogiendo dicho líquido a la salida a unos 12°C. Esto hace que se posea una potencia calorífica de unos 58000 W , aunque no toda será destinada para enfriar el aire de entrada, solo 47500 W de la disponible. La potencia restante, la destinaremos para enfriar el circuito de refrigeración del combustible y para el circuito de refrigeración del aire del turbo.

La batería de calor, al contrario que la anterior, estará disponible en todas las estaciones a excepción de verano, debido a que en principio no se necesitaría calentar el caudal que circula por el conducto por tener suficiente temperatura. Al igual que anteriormente, el intercambio de calor, que se realiza con el aire presente en el conducto, se hace mediante un intercambiador de agua, en el cual se inyectará agua con una temperatura de entrada de 70 °C a 2 bares de presión y devolverá a la salida el fluido a 60°C. La potencia calorífica que pone en juego y que se transmite de un fluido a otro es de 15000 W mediante un caudal ajustable mediante unas válvulas máximo de 1250 l/h de agua caliente. Como apoyo para conseguir calentar el aire con temperaturas muy bajas, contamos con una serie de baterías de calor, o para calentarlo en verano cuando tengamos bajas temperaturas y las baterías de calor no están disponibles.

A continuación, nos encontramos con el ventilador de impulsión TLZ500-EXX, como se puede ver en el catálogo [2.24] de Comefri para un caudal de

15000 m^3/h y fabricado de acero galvanizado para evitar la corrosión y por lo tanto el desgaste prematuro del sistema. El ventilador es el elemento encargado de variar el caudal de aire a la sala siendo dependiente este de la temperatura que se esté alcanzando en la sala con referencia a la que se necesita, es decir, si la medida que necesitamos obtener es distinta de la que poseemos en ese instante, intentaremos inyectar más aire a la sala para alcanzar dicho valor. Se comportará por lo tanto dicho ventilador, como una válvula de regulación de caudal; cuando queremos que se inyecte mayor cantidad de aire a la sala, las aspas del ventilador giraran con mayor velocidad que si queremos que llegue al interior de la sala sea menor descenderá la velocidad de giro. Estos ventiladores se podrán regular mediante un autómata programable, a través del software de los ventiladores, que cuenta con elementos de entrada y salida digitales para las actuaciones de regulación del sistema.

Al final de todo el sistema de impulsión, nos encontramos con las toberas que inyectarán el caudal de aire hacia el interior de la sala. Estas toberas, como las mostradas en la figura 2.33, son difusores esféricos de largo alcance con un alcance de más de 30 metros de distancia, y consiguiendo una gran precisión en el enfoque del chorro, como se observa en el catálogo [2.25]. Están contruidos de aluminio anodizado que actúa como barrera para la oxidación con el paso del tiempo. Los difusores están dispuestos de una compuerta manual para su total cierre. La configuración de dicho difusor hace que sea reorientable en el espacio hasta un máximo de $\pm 35^\circ$ en sentido horizontal o vertical.

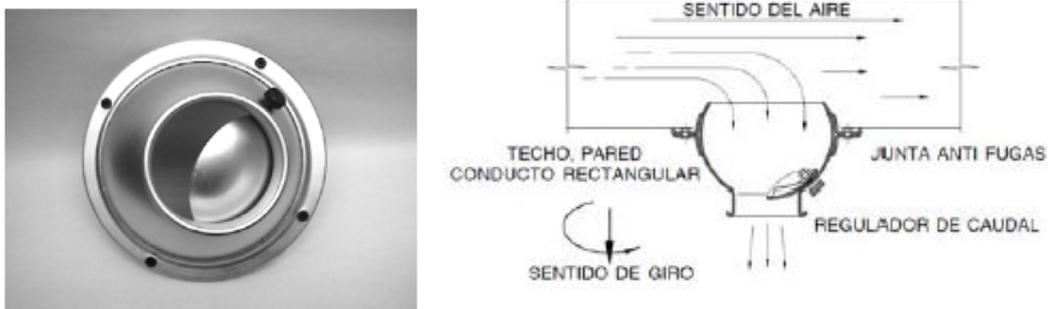


Figura 2.33: Izq.: Tobera convergente de dispensación del fluido y orientación para el acondicionamiento de la sala de ensayo. Dcha.: Vista de la colocación del difusor con sus elementos más reseñables [2.25].

En nuestro banco de ensayo contamos con 11 difusores esféricos, como los mostrados en la figura 2.33, montados en el techo, formado por placas sandwich de 50 mm de espesor y terminadas en chapa de acero pintadas, para conseguir un perfecto aislamiento, y situados en la zona superior del motor, como se puede comprobar en la figura 2.1, en tres agrupaciones distintas comunicadas entre sí, de dos hileras con 4 toberas y una hilera con las 3 restantes. La ventilación de la sala se realiza por dichas toberas, las cuales inyectan la misma cantidad de aire cada una, y pudiendo ser reguladas en

dirección individualmente y cerradas o abiertas independientemente cada una de ellas.

Con la maquinaria vista hasta el momento del sistema de impulsión de aire, y dependiendo de la temperatura exterior que tengamos, medida tomada por la sonda de temperatura a la entrada del conducto, y de la temperatura que mida la sonda de temperatura de impulsión situada después del ventilador tenemos distintos posibles estados de funcionamiento del sistema,[2.21]:

1- Temperatura aire exterior mayor que 5°C: Funcionamiento normal.

Válvulas de agua fría y caliente según se requiera para alcanzar la temperatura de consigna.

2- Temperatura del aire de impulsión menor que 6°C y temperatura aire exterior menor que 5°C.

Se interrumpe el ensayo debido a que ha sido imposible alcanzar la temperatura adecuada para los ensayos.

3- Temperatura del aire exterior menor de 5°C y mayor de -5°C y temperatura de impulsión climatizador mayor que 8°C: Situación de antihielo 1.

La válvula del agua caliente permanecerá abierta al 100%, la válvula de agua fría estará abierta según la necesidad de la sala y el caudal de aire inyectado en la sala según se requiera.

4- Temperatura de aire exterior menor de 5°C y mayor que -5°C con temperatura de impulsión climatizador menor que 8°C: Situación de antihielo 2.

La válvula del agua caliente permanecerá abierta al 100%, la válvula de agua fría estará abierta según la necesidad de la sala y el caudal de aire inyectado en la sala será de $3750 \text{ m}^3/\text{h}$.

5- Temperatura de aire exterior menor de -5°C y mayor que -7°C con temperatura de impulsión climatizador mayor que 6°C: Situación de antihielo 2.

La válvula del agua caliente permanecerá abierta al 100%, la válvula de agua fría estará abierta según la necesidad de la sala y el caudal de aire inyectado en la sala será de $3750 \text{ m}^3/\text{h}$.

6- Climatización parada por decisión técnica.

Las compuertas antihielo se mantendrán cerradas.

7- Climatización parada por decisión técnica y temperatura exterior menor que 5°C.

Las compuertas antihielo estarán cerradas, la batería de agua caliente permanecerá abierta al 100% y la batería de frío al 30%.

Como podemos comprobar en la figura 2.1, además de tener la ventilación de la sala tenemos dos soplantes externas conectadas a la línea de acondicionamiento de la sala. Son conductos de climatización puntual y con capacidad de desplazarse y situarse en el lugar en el cual aparecerá una acumulación de aire caliente, y por lo tanto, necesitamos evacuar más calor que en el resto del motor, como se observa en la figura 2.34.

Estas soplantes se activarán o desactivarán independientemente, es decir, se podrá mantener una, las dos o ninguna en funcionamiento en cada instante de funcionamiento el motor, a través del software de puma, pudiéndose elegir el porcentaje de apertura que queremos que tenga la válvula que regula la salida de aire y así regulando el caudal de inyección. El caudal que circula por ellas se repartirá a partes iguales con el sistema de refrigeración, comportándose dichas salidas como unas toberas más por la que circular el caudal procedente del conducto de impulsión.

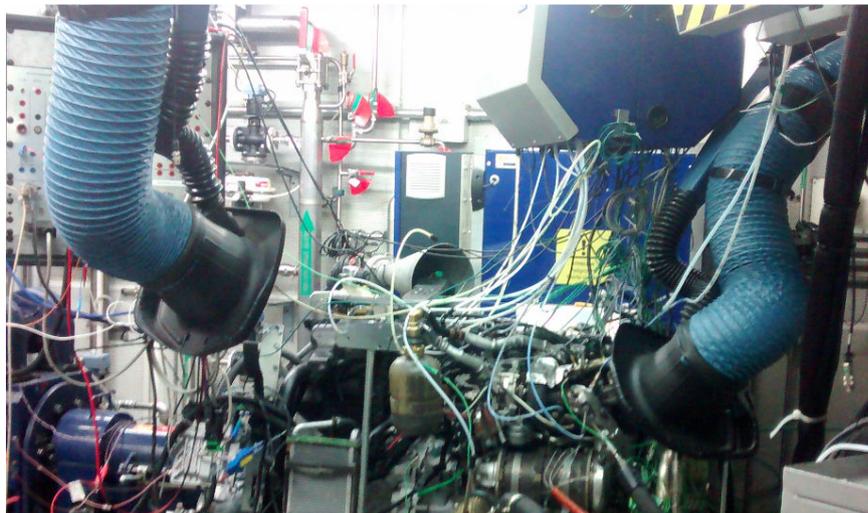


Figura 2.34: sistema de refrigeración puntual de puntos calientes.

Aunque en nuestros ensayos las soplantes se mantendrán apagadas en todo momento, debemos conocer su existencia por si necesitamos refrigerar puntualmente el motor en algún ensayo en particular.

El sistema de extracción de aire de la sala es el encargado de impulsar el aire del interior de la habitación hacia el exterior del edificio. Este aire se extrae

completamente mediante el conducto representado en la figura 2.35 formado por 3 rejillas de aspiración y un conducto interno provisto de un ventilador, igual que el de impulsión del aire hacia la sala, que extrae el aire tomado de la sala. Al igual que para el conducto de impulsión, el caudal extraíble es variable, mediante PID's, pudiendo extraer un caudal máximo de $1900 \text{ m}^3/\text{h}$. Todo el sistema de extracción está compuesto por una estructura de placa sandwich de 50 mm de espesor, recubierta una chapa de acero con un recubrimiento plástico, para conseguir aislar el aire extraído con el área adyacente en su salida hacia el exterior y evitar el rápido deterioro del sistema.



Figura 2.35: Sistema de extracción del aire de la sala.

Un aspecto importante para finalizar es la depresión que se genera en la sala debida a la diferencia existente entre el caudal de aire que se inyecta y el caudal que se extrae. Esta depresión de la sala suele estar entorno a los 4 bares de depresión, como se establece en los estándares de los ensayos, de la misma manera que se comentó anteriormente que se realizaba para la temperatura de la celda de ensayo. Esta diferencia de presión con respecto a la presión ambiente, es necesaria para evitar, entre otras justificaciones, que algunas partículas peligrosas, que se encuentran en el interior de la sala, como pueden ser los gases procedentes del catalizador, salgan de ella y se expandan por el pasillo de control pudiendo causar problemas sanitarios a los trabajadores. Para ello, siempre deberá existir una pequeña depresión en su interior para no contaminar los exteriores de la celda de ensayo, ya que los gases intentarán ocupar las zonas donde se tenga menor presión para igualar la diferencia de presiones entre los dos espacios, como se explica en [1.7], lo que hará que el aire entre a la sala de ensayo de los pasillos y no salga hacia el exterior.

Además de los conductos de extracción de aire del motor existen otros dos conductos de extracción. El primero es el encargado de la extracción de gases

procedentes de la línea de escape del motor como se observa en las figuras 2.2, 2.5 y 2.6 donde se ve dicha conexión. El segundo es el encargado de la prevención de atmósferas explosivas, ATEX, situada junto a los conductos anteriores. Dichas atmósferas se generan a partir de gases explosivos, que en nuestro caso, podrían aparecer en el interior de la sala debido a la gran acumulación de gases emitidos por el motor y a los necesitados para cierta maquinaria auxiliar. El control del ATEX estará regulado mediante la normativa [1.8], en la cual, señala los requerimientos mínimos de ventilación necesarias para evitar las atmósferas explosivas.

- **Bloqueo de las toberas de salida de la ventilación**

Como hemos explicado hasta el momento, la salida del aire de impulsión hacia la sala de ensayos se realiza mediante 11 toberas convergentes o difusores esféricos situados en tres hileras distintas colocadas en la zona superior de la sala de ensayo. Dichas toberas pueden llegar a bloquearse si el número de ellas cerradas es suficiente como para que se cree una barrera natural, que en vez de permitir la salida del aire a través de ellas, haga que este se impulse de nuevo hacia el interior del conducto, creando corrientes perjudiciales para el sistema, debido a que no permiten el retorno de dichos gases la maquinaria del sistema comentado en el apartado 2.3. Para que esto no ocurra, se deberán controlar el número de toberas que se permiten estar cerradas a la vez.

Para controlar el número de toberas máximas que se pueden cerrar para que no se produzca una onda de choque, y por lo tanto, no se bloquee la tobera, deberemos aplicar las ecuaciones mostradas en el anexo A a nuestro problema o utilizar las figuras A.5 y A.6 del anexo A, también.

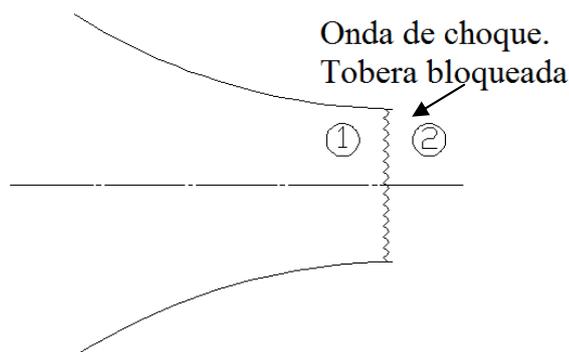


Figura 2.36: salida de la tobera de impulsión con aparición de una onda de choque en la sección mínima, sección de salida, del aire.

La tobera convergente, figura 2.36, como se explica en el anexo A, solo puede poseer la onda de choque al final de la sección, la sección mínima a lo largo de toda el conducto, donde el número de Mach será superior a la unidad

por encontrarse bloqueada, dicho valor concreto lo calcularemos a través de las figuras citadas anteriormente.

El caudal que circula a través de las toberas es variable, es decir, se ajusta mediante las válvulas para regular la cantidad de aire que se introduce en la sala. Siendo así, el caudal mínimo total que se permite inyectar mediante las toberas es de $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ y el caudal máximo que puede suministrar la ventilación es de $1500 \text{ m}^3/\text{h}$. Las toberas disponibles son todas de igual área, por lo que el aire se repartirá uniformemente a la hora de salir por las ellas dispensando el mismo caudal. En nuestro caso, pretendemos comprobar cuál es el número mínimo de toberas que debemos mantener abiertas para que no aparezca ninguna onda de choque, y por lo tanto, no bloqueemos los conductos y en todo momento dispongamos de aire hacia el interior de la sala. Denotaremos como n a la cantidad de toberas que se mantienen abiertas sin la aparición de bloqueos en ellas y, por lo tanto, refrigeran la estancia por las corrientes de aire que genera.

Para los cálculos conocemos algunos datos a partir de los cuales calcularemos el número de toberas que deben mantenerse abiertas. La presión a la salida de la tobera, P_s , es igual a 4 bares y la temperatura en dicha posición, T_s , corresponde con un valor de 24°C , los mismos valores que tenemos como valores establecidos para alcanzar en el interior de la sala, y así poder realizar los ensayos dentro de los valores estipulados por los ensayos. El área de salida de las toberas, A_s , corresponde según el catálogo [2.22], a 165 mm de diámetro.

Con los datos dados hasta el momento, y las tablas A.5 y A.6, basadas en las ecuaciones obtenidas en el anexo A, en las cuales se pueden observar los distintos valores de las ecuaciones para las diferentes relaciones dependientes del número de Mach, comenzamos el cálculo de las toberas necesarias que deben encontrarse abiertas. Para ello, realizaremos los cálculos para los dos caudales de referencia que tenemos, el caudal máximo y el mínimo que soporta el sistema.

- $Q_{min,total} = 1500 \text{ m}^3/\text{h} = 0.4167 \text{ m}^3/\text{s}$

Como hemos comentado anteriormente el caudal que transcurre a través de los conductos debería ser equitativo entre las toberas que se encuentran abiertas y puede circular el aire. El caudal, por tanto, que inyecta cada una de las toberas abiertas se obtiene dividiendo el caudal total entre el número de las que se encuentran abiertas. [Ec. 2.7].

$$Q_{min} = \frac{0.4167}{n} m^3/s \quad [\text{Ec. 2.7}]$$

Una vez que conocemos el caudal que circula por cada conducto comenzamos a realizar los cálculos. Comenzaremos relacionando la sección donde se crea la onda de choque, denotada con el subíndice ch, y el área crítica o el área de la garganta, A_g , que corresponde con la menor de la tobera, como se puede observar en la expresión [Ec. 2.8] y yendo a la figura A.5 obtenemos los valores que nos da la tabla, como relación de presiones, número de Mach y relación de temperaturas. Estos datos están relacionados con la sección 1 a la salida del conducto, sección justo antes de la onda de choque, con las propiedades de remanso que no conocemos.

$$\frac{A_{ch}}{A_g} = \frac{\pi (0.165/2)^2 m}{\pi (0.165/2)^2 m} = 1 \rightarrow \begin{cases} M_1 = 1 \\ \frac{P_1}{P_0} = 0.5283 \\ \frac{T_1}{T_0} = 0.8333 \end{cases} \quad [\text{Ec. 2.8}]$$

Con el valor del número de Mach de la sección 1 y la figura A.6 conseguimos relacionar las dos secciones la 1 y la 2 de la salida y por lo tanto de donde se genera la onda de choque, una antes y otra después de que se genere la obstrucción del conducto. [Ec. 2.9].

$$M_1 = 1 \rightarrow \begin{cases} M_2 = 1 \\ \frac{P_2}{P_1} = 1 \rightarrow P_2 = P_1 = -4 \text{ bar} \\ \frac{T_2}{T_1} = 1 \rightarrow T_2 = T_1 = 297K \end{cases} \quad [\text{Ec. 2.9}]$$

Partiendo del valor obtenido del número adimensional de Mach para la sección 2, vamos a la figura A.5 con dicho valor, y comprobamos que los valores obtenidos corresponden con los obtenidos en la expresión [Ec. 2.8]. Por lo tanto, comprobamos mediante las tablas que para la relación entre el área de salida y la crítica son las mismas, es decir, se acaba de comprobar mediante las figuras A.5 y A.6 que la onda de choque se genera a la salida del conducto que coincide en nuestro caso por tener una tobera convergente con el área de salida. Esto hace que el número de Mach a la salida del conducto sea el mismo que para las secciones 1 y 2.

Con el valor recientemente obtenido a la salida y mediante el significado del número adimensional, podemos proceder a calcular el número de toberas que deberán estar abiertas. Pero para poder resolverlo necesitaremos primero transformar el caudal para expresarlo en función de la velocidad de salida del aire por la tobera, [Ec. 2.10]. Una vez que se

conoce el valor de la velocidad de salida, se puede aplicar el número de Mach mediante la ecuación [Ec. 2.11] y así obtener el valor de n con un valor de 1.4 para el coeficiente adiabático como se puede comenta [1.9] para el aire seco estamos inyectando al interior de la sala.

$$v_s = \frac{Q_{min}}{A_s} = \frac{4.17/n}{\pi(165 * 10^{-3}/2)^2} = \frac{19.50}{n} \text{ m/s} \quad [\text{Ec. 2.9}]$$

$$M = \frac{v}{a} = \frac{v_s}{\sqrt{\gamma RT_s}} = \frac{19.50/n}{\sqrt{1.4 * 287 * 288}} = 1 \rightarrow n = 0.057 \quad [\text{Ec. 2.11}]$$

A la vista del resultado obtenido en la ecuación [Ec. 2.11] comprobamos que el número de toberas que deben permanecer abiertas es de 0.057, pero como no podemos calcular a la perfección la apertura de las toberas podemos decir que para asegurarnos que no aparezca onda de choque, al menos, deberá existir una tobera abierta para no tener ningún problema con la aparición de ondas de choque.

- $Q_{max} = 15000 \text{ m}^3/h = 4.17 \text{ m}^3/s$

Al igual que para el caso anterior calculamos el valor de toberas que necesitamos mantener abiertas. Como se ha comprobado anteriormente mediante los cálculos el número de Mach a la salida del conducto es igual a 1, por lo tanto, partimos desde ese punto calculando primero la velocidad a la salida, expresión [Ec. 2.12] y a continuación con el cálculo de n , ecuación [Ec. 2.13].

$$v_s = \frac{Q_{min}}{A_s} = \frac{4.17/n}{\pi(165 * 10^{-3}/2)^2} = \frac{195.019}{2} \text{ m/s} \quad [\text{Ec. 2.12}]$$

$$M = \frac{v}{a} = \frac{v_s}{\sqrt{\gamma RT_s}} = \frac{195.019/n}{\sqrt{1.4 * 287 * 288}} \rightarrow n = 0.573 \quad [\text{Ec. 2.13}]$$

Como anteriormente, el valor obtenido mediante la fórmula no es un valor entero; para asegurarnos que no ocurre tal fenómeno de bloqueo de la tobera, consideramos que si estamos trabajando con un caudal máximo, el número de toberas mínimas que deben encontrarse abiertas sea de 1.

Con lo visto hasta el momento comprobamos que el número de toberas abiertas deberá ser de 1, independiendo del caudal que estemos inyectando en la sala si no nos salimos de los límites planteados por la climatización.

3. Ensayos de banco motor habituales

Para la realización de las pruebas posteriores, deberemos hacer diferentes ensayos, a partir de los cuales plantearemos nuestro posterior problema. Las actividades que se realizarán se podrán englobar en dos tipos de ensayos, como son: los ciclos y los ensayos de envenenamiento, en los que intervendrán también los anteriores.

3.1. Ensayos de ciclos

Como se ha planteado previamente, intentamos ajustar el funcionamiento del motor a las condiciones requeridas de funcionamiento que ocurrirán en un automóvil en marcha. Para ello, el estudio se realizará mediante ciclos cortos que recorrerán los diferentes tipos de conducción dependiendo del tipo de carretera y conducción que estemos realizando.

Entre los diferentes ciclos caben destacar 4 familias: los que simulan una conducción en Ciudad (**Ville**), Carretera (**Route**), Autopista (**Autoroute**) o **Puerta a Puerta**, [2.26]. Dentro de cada una de estas simulaciones se estudiarán diferentes ciclos.

3.1.1. Ciclos en ciudad (Ville)

Son recorridos representativos de una conducción en ciudad. Para asemejarlo a la realidad, las velocidades que se alcanzan a lo largo del ciclo no aumentarán en gran medida, sin pasar en ninguno de los casos de 70 km/h.

- **V1:** este ciclo (figura 3.1) se caracteriza por tener una duración completa de 1261 s y un recorrido completo de 6,2 km. Durante este tiempo simularemos el recorrido en ciudad con sus paradas ante un semáforo en rojo (donde no tenemos velocidad) manteniendo el motor a ralentí, una velocidad máxima de 50 km/h en carreteras urbanas y otra pequeña parte con velocidad máxima de 70 km/h en carreteras urbanas rápidas del extrarradio de la ciudad.

A mayores, contamos con dos paradas del motor. Una cuando se han recorrido 0.6 km (~ 100 s) de 7s de duración que corresponderá, por ejemplo, a un paro repentino del motor a la hora de parar el vehículo ante un semáforo (calado del motor) y otra al finalizar el ciclo, al recorrer los 6,2 km, de 10s que correspondería a parar el coche una vez realizado nuestro recorrido y llegar al destino.

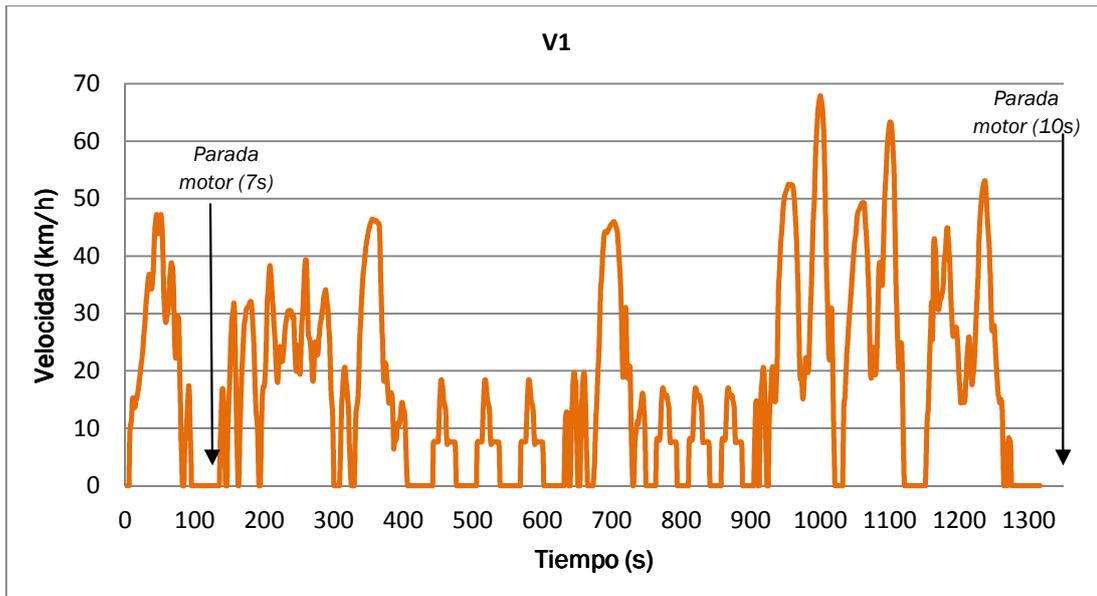


Figura 3.1. Evolución temporal de la velocidad ó Traza de un ciclo V1 (ciudad). [2.27].

- **V2:** este nuevo ciclo, representado en la figura 3.2, se caracteriza por tener una duración de 861 s y un recorrido total de 6,9 km. En el transcurso de la traza podemos observar que la velocidad máxima que alcanzamos no llega en ningún punto a los 70 km por lo que podemos decir que el recorrido se realizará entre carreteras urbanas y carreteras urbanas rápidas, igual que en el caso anterior.

A lo largo del recorrido tendremos paradas a ralentí del motor y una parada al finalizar el recorrido de 2 min que representaría la llegada al destino del vehículo y su consiguiente parada del motor.

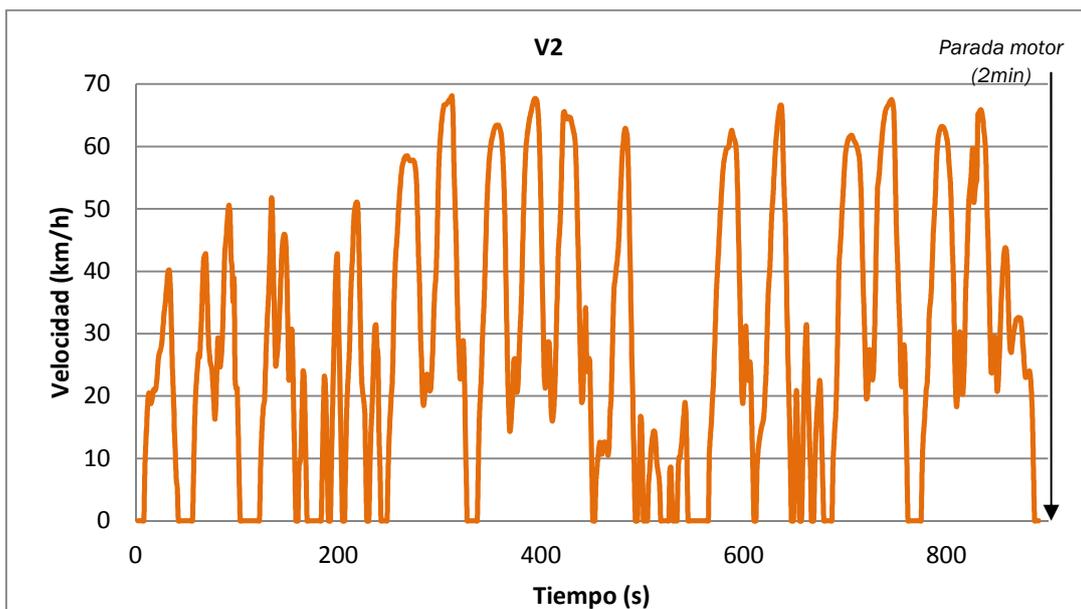


Figura 3.2. Traza de un ciclo V2 (ciudad). [2.27]

A la vista de las trazas anteriores, V1 y V2, procedemos a compararlas en la figura 3.3 donde observaremos en general las diferencias entre ambos recorridos. En ella, contabilizaremos el porcentaje de la traza que corresponde a una circulación en ciudad (V), en carretera (R) o en autovía (A). Así como, la distancia total de cada ciclo medida en km, el tiempo transcurrido (T) desde iniciar las maniobras hasta finalizarlas en segundos, la velocidad media (Vel_{med}) que se alcanza a lo largo de todo el recorrido en km/h, la aceleración media (Ac_{med}) en m/s^2 , la velocidad máxima (Vel_{max}) que alcanzamos en km/h y el tiempo que transcurre el motor funcionando con velocidad nula (ralentí), que lo mediremos como los segundos que suceden a ralentí en relación a los kilómetros totales recorridos.

	V[%]	R[%]	A[%]	D[km]	T[s]	Vel_{med} [km/h]	Ac_{med} [m/s^2]	Vel_{max} [km/h]	Ralentí [s/km]
V1	100	0	0	6.2	1261	17.6	0.53	67.9	59.3
V2	100	0	0	6.9	861	29.0	0.84	68.1	24.2

Figura 3.3: tabla de caracterización de los ciclos anteriores V1 y V2.

Para ambos casos podemos observar que contamos con un ciclo realizado íntegro en modo ciudad. En cuanto al V1, aunque el ciclo sea de mayor duración (1261 s), la distancia recorrida total (6,2 km) es menor que para el V2 (6,9 km); esto es debido a que el tiempo de ralentí que posee el primero (59,3 s/km) es superior al segundo (24,2 s/km), aunque la velocidad máxima de entre los dos casos se obtiene para el ensayo V2 (68,1 km/h).

3.1.2. Carretera (Route)

Los siguientes ensayos realizados son los de conducción en carretera. Estos se caracterizan por tener las velocidades más elevadas que los anteriores, en torno a los 100 km/h, además de poder diferenciar claramente tres zonas en cada uno de ellos: la entrada, el ciclo y la salida.

En la entrada observaremos una circulación en la que se está preparando para circular por la carretera, es decir, el trayecto que transcurre desde que el vehículo está estacionado en ciudad hasta su incorporación a esta. Durante el ciclo mayoritariamente transcurrirá a altas velocidades y en dicha ruta. Mientras que en la salida, nos estamos acercando a nuestro destino y las velocidades vuelven a descender hasta situar el automóvil en estacionamiento.

- **R1:** este ciclo se caracteriza por tener una duración total de 400 s recorriendo 7,44 km en total. Como comentábamos anteriormente, figura 3.4, tenemos tres zonas claramente diferenciadas. En la entrada llegaremos a recorrer 0,67 km y terminará cuando llegamos a la incorporación de la carretera. Durante el ciclo observamos varias paradas de velocidad del automóvil que estas podrían ser debidas a alguna

retención puntal durante la circulación. Y para finalizar, en la última etapa sufrimos una deceleración causada por la entrada en vías urbanas hasta su posterior parada definitiva.

La velocidad máxima permitida, por la Dirección General de Tráfico, en este tipo de carreteras es de 100 km/h [1.5], lo que hará que en ningún momento se podrá exceder dicho valor como comprobamos a continuación.

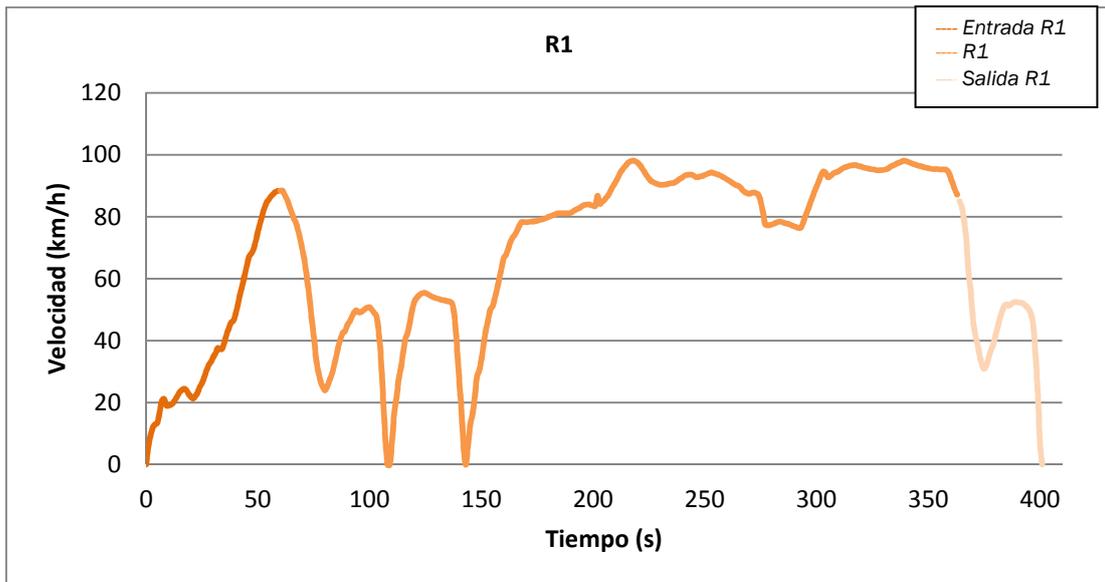


Figura 3.4. Traza de un ciclo R1 (carretera). [2.27].

- **R2:** Según podemos observar en la figura 3.5, el tiempo que tarda en realizarse todo el recorrido es de 1035 s llegando a recorrer 22,8 km.

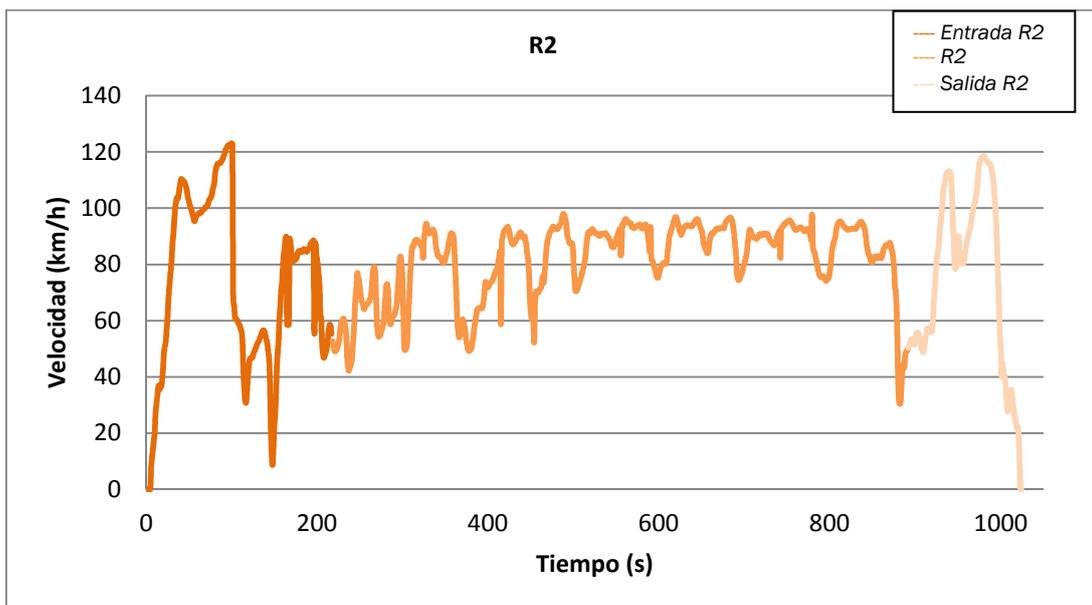


Figura 3.5. Traza de un ciclo R2 (carretera). [2.27].

En este ciclo, la entrada transcurre desde que el vehículo está estacionado hasta que se incorpora a la carretera. En este tramo pasamos por una autovía donde las velocidades son superiores a los 100 km permitidos en carreteras convencionales. Durante el ciclo no se sobrepasará la velocidad permitida disminuyendo esta hasta límites inferiores a 60 km al circular a través de una posible población pequeña. En cuanto a la salida volvemos a encontrarnos en la misma situación que a la entrada hasta llegar a nuestro destino.

A la vista de las anteriores figuras 3.4 y 3.5 y a través del cuadro de la figura 3.6 podemos comprobar que las tres etapas que forman cada ensayo están compuestas por una mezcla de ciclos en ciudad, en carretera y en autovía cada uno a un porcentaje distinto. Ahora observamos que el que tiene mayor duración es el R2 con 1035 s de ensayo y se recorren mayores distancias, 22,8 km en total, además de conseguir la máxima velocidad de 123,1 km/h.

	V[%]	R[%]	A[%]	D[km]	T[s]	Vel _{med} [km/h]	AC _{med} [m/s ²]	Vel _{max} [km/h]	Ralentí [s/km]
Entrada R1	64.3	35.7	0	0.67	59	41.1	0.5	88.4	0.7
R1	17.1	82.9	0	6.21	302.0	74.0	0.37	98.1	0.5
Salida R1	76.2	23.8	0	0.53	39	48.8	0.47	88.7	0.9
Ciclo completo	25.5	74.5	0	7.44	400	66.8	0.4	98.1	0.5
Entrada R2	20.8	69.7	9.6	4.6	215	77.0	0.54	123.1	0.8
R2	13.3	86.7	0	15.3	673	81.9	0.31	98.0	0
Salida R2	29.7	70.3	0	2.9	147	72.2	0.51	118.6	0.5
Ciclo completo	16.9	81.2	1.9	22.8	1035	79.3	0.39	123.1	0.2

Figura 3.6: tabla de caracterización de los ciclos anteriores R1 y R2.

3.1.3. Autopista (Autorute)

En este momento nos queda estudiar la circulación en el otro tipo de carreteras como son las autovías. En este estudio solo tendremos una familia de ciclo que lo engloba como es el siguiente:

- **A1**: el siguiente ciclo (figura 3.7) podemos observar que la duración del ensayo es de 1899 s recorriendo un total de 55,9 km.

Al igual que en los ciclos anteriores, la traza consta de una entrada, una circulación en autovía y una salida. En cuanto a la entrada, tenemos una circulación por carreteras urbanas rápidas hasta el momento en el que ingresamos en el carril de aceleración para incorporarnos a la autovía que entramos en el ciclo propiamente dicho. En dicho momento alcanzamos velocidades superiores a las permitidas por la DGT en

España, pero como los motores ensayados no son sólo para dicho territorio, se deberán ensayar para las velocidades máximas permitidas en otros países, como Alemania con la Autobahn que no posee límites de velocidad en la mayoría de su extensión. Y para la salida ocurrirá de la misma manera que en la entrada, pasando por carreteras rápidas en ciudad hasta llegar al estacionamiento del vehículo.

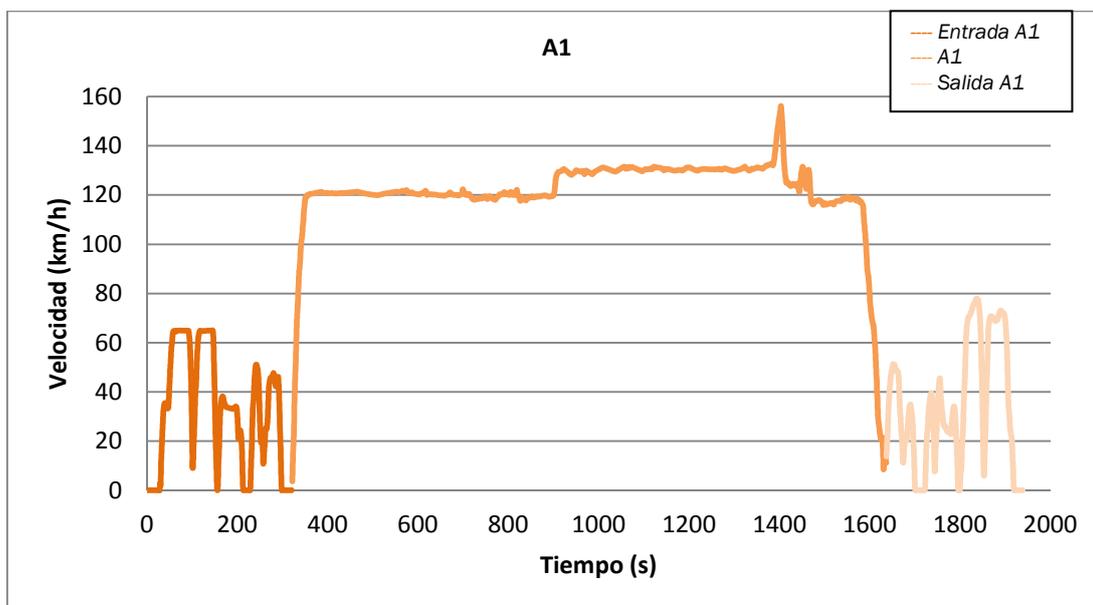


Figura 3.7. Traza de un ciclo A1 (autopista). [2.27]

Con lo dicho anteriormente y a la vista de la figura 3.8, podemos concluir que la circulación estudiada en esta traza se dará en la zona central donde todo el recorrido se hará en dichas carreteras rápidas llegando a alcanzar unas velocidades máximas de 175 km/h.

	V[%]	R[%]	A[%]	D[km]	t[s]	Vel _{med} [km/h]	Ac _{med} [m/s ²]	Vel _{max} [km/h]	Ralentí [s/km]
Entrada A1	62.8	37.2	0	3.1	289	38.2	0.59	74.0	12.7
A1	0.7	9.3	90	49.7	1311	136.6	0.13	175.0	0
Salida A1	64.8	35.2	0	3.1	299	36.7	0.7	78.2	10.3
Ciclo completo	7.6	12.2	80.1	55.9	1899	105.7	0.28	175.0	1.5

Figura 3.8: tabla de caracterización de los ciclos anteriores A1 y A2.

3.1.4. Puerta a puerta (PAP)

Este último tipo de ensayo está caracterizado por una conducción en ciudad. Como su nombre indica, puerta a puerta es un ciclo en el que se intentará simular el movimiento de un vehículo, por ejemplo de reparto, el cual llegará a un destino y parará el motor; al rato volverá a arrancarle y así en continuadas ocasiones. Para lograrlo, la velocidad no superará los 60 km/h, además de

contar con paradas sin velocidad del vehículo y paradas cortas del motor. (fig 3.9).

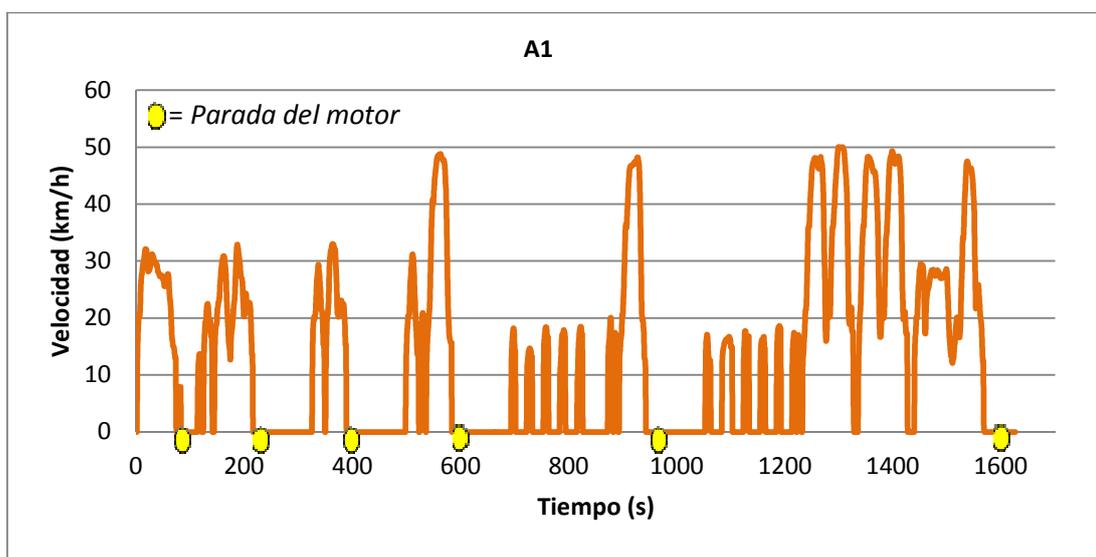


Figura 3.9. Traza de un ciclo A1 (autopista). [2.28]

En la figura inferior 3.9 se observa que todo el proceso se realiza en ciudad; esto hace que, debido a la gran duración del ciclo (1626 s) la distancia recorrida es corta (6 km) y la máxima velocidad que alcanza es de 50 km/h, como viene recogido en la figura 3.10.

	V[%]	R[%]	A[%]	D[km]	T[s]	Vel _{med} [km/h]	AC _{med} [m/s ²]	Vel _{max} [km/h]	Ralentí [s/km]
V1	100	0	0	6.0	1626	13.6	4.7	50	127.8

Figura 3.10: tabla de caracterización del ensayo PaP.

3.2. Ensayos de envenenamiento

Para estudiar los ensayos de envenenamiento, primero deberemos conocer el porqué se ha llegado hasta el punto de realizar dichos ensayos y comprobar en qué consisten cada uno de ellos.

3.2.1. Normativa

La contaminación del medio ambiente es un problema que se está agravando cada día más, debido a la gran cantidad de contaminantes que continuamente se están emitiendo a la atmosfera. Unos de los planteamientos que cada vez tenemos más claros es que es completamente necesario reducir las emisiones de elementos contaminantes para evitar posibles efectos secundarios, no solo al ser humano si no también al entorno que nos rodea. En cuanto al tema que nos incumbe, las emisiones de los vehículos, cada día se genera una distinta normativa para controlar las emisiones de gases

contaminantes a la atmosfera, debido a que es uno de los principales motivos de la contaminación del planeta. Según González López para The World Bank, [1.10], en 2013 el sector del transporte, y en concreto los vehículos motorizados, generaban el 90% de la contaminación del aire urbano y el 14% de los gases de efecto invernadero que afectan al cambio climático. Esto hace que la productividad de las ciudades se reduzca y se llega a considerar que es causante de la muerte de 800.000 personas cada año.

Para la realización de nuestros ensayos, trabajaremos con motores diésel, encargados de la emisión de las mayores partes de los contaminantes procedentes de los vehículos motorizados. En el momento de la combustión de dichos motores, según [1.11], los motores se queman en la cámara de combustión dando lugar a: óxidos de nitrógeno (NO_x), los hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados (HC), óxidos de azufre (SO_x), monóxido de carbono (CO) o dióxido de carbono (CO_2).

De estos gases anteriores, el gas que más influencia de todos los contaminantes que se emiten, es el dióxido de carbono, causantes del efecto invernadero, precedido de los óxidos de nitrógeno, como se puede comprobar en la figura 3.11. Estos últimos son los promotores a su vez de la generación de procesos ambientales corrosivos como de lluvia ácida y smog fotoquímico, además de producir irritación en los pulmones y resistencia a enfermedades infecciosas. [1.12].

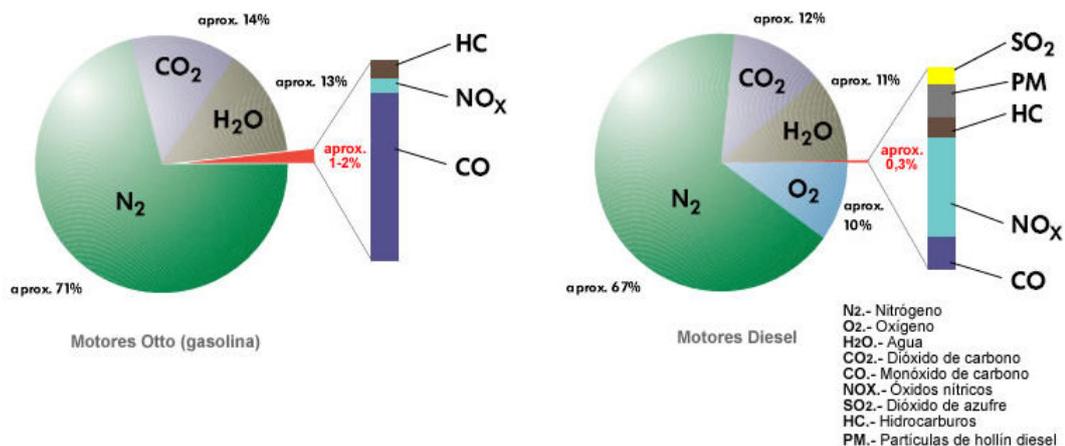


Figura 3.11: Composición de gases de escape para motores de gasolina y diésel. [1.11].

La **lluvia ácida** causa efectos perjudiciales no solo para el ser humano sino que también, se ve afectada la vida acuática al aumentar el nivel de acidez de los ríos, un aumento de la acidez del suelo provocando la disminución de los nutrientes del terreno, y por lo tanto, cambiando todo el sistema medioambiental (vegetación y animales) y destrucción del patrimonio de piedra caliza debido a la reacción química que se lleva a cabo al contacto de esta con el azufre de las

emisiones. [3.5]. Además de la lluvia ácida, se produce también el fenómeno conocido como **smog fotoquímico**, provocando una nube de gases amarilla-parduzca que genera irritación en los ojos y en las vías respiratorias. [1.1].

Para solucionar los problemas que conlleva la emisión de dichas partículas de gases contaminantes, se ha creado una normativa europea sobre emisiones con el fin de minimizar la concentración de las partículas que llegan al exterior. Estas normativas plantean ir paulatinamente reduciendo el valor de dichos contaminantes, hasta conseguir una reducción casi por completa de ellos. La normativa a la cual deberemos tener consideración es la denominada *EURO 6*, *Real Decreto 459/2012* bajo el marco de la unión europea [1.13], que modifica al *Real Decreto 715/2007*, [1.14], en la reducción de los contaminantes. Esta norma está aplicada para turismos y vehículos comerciales ligeros con encendido por compresión (motores diésel) o por encendido mediante chispa (motores de gasolina o de gases licuados del petróleo). Se encuentra vigente desde el 1 de septiembre de 2014 para la homologación de vehículos y a partir del 1 de septiembre de 2015 para los vehículos de nueva matriculación, por lo tanto, en lo que a nosotros nos concierne se deberá cumplir dicha normativa.

En cuanto a las emisiones que se permiten en la normativa, las recogemos en la figura inferior 3.12, donde se comprueban las reducciones de contaminantes entre la norma anterior, *EURO 5*, reformada de la antigua *EURO 4* y la norma vigente actualmente, *EURO 6*. Entre ellas podemos comprobar que desde normas anteriores como la *EURO 4*, se ha puesto empeño en ir descendiendo el número de óxidos de nitrógeno, de partículas de hidrocarburos y de emisiones combinadas. Pero esta nueva norma, la *EURO 6*, pretende ser más restrictiva en ese aspecto haciendo que se reduzcan el número de partículas de NO_x en más de un 50 % respecto a la norma anterior y se reducirán de la misma manera las emisiones combinadas de los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno. En las nuevas modificaciones [1.13], comprobamos, que también sufrirá una disminución el número de partículas permitidas que se emitan hacia el ambiente.

Gases contaminantes	CO (mg/km)	NO _x (mg/km)	HC, partículas (mg/km)	Emisiones combinadas HC y NO _x (mg/km)
<i>Euro 4</i>	500	250	25	300
<i>Euro 5</i>	500	180	5	230
<i>Euro 6</i>	500	80	4.5	170

Figura 3.12: Emisiones máximas permitidas por las normas en vigencia y anteriores. [1.13] y [1.14].

Para las emisiones de óxidos de azufre se les aplica la normativa del *Real Decreto 61/2006*, [1.15], que modifica al *Real Decreto 1700/2003*, [1.16], donde se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y

gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes. Principalmente, nos interesa la regulación de óxidos de azufre en los carburantes. Esta normativa establece que no debe superar las 10 ppm de SO_x en los combustibles.

Las emisiones de CO_2 al ser reconocidas como las mayores causantes del efecto invernadero se intentan disminuir, lo máximo posible, la concentración de dichas moléculas que se emiten hacia el medio ambiente. Para regularlas, aplicaremos el Reglamento 443/2009, [1.17], a través del cual nos limita la emisión de dichas partículas en 2012, las cuales, deberían estar reducidas hasta 120 g CO_2/km y llegar a reducirse en 2020 hasta los 80 g CO_2/km para la construcción de los nuevos vehículos.

3.2.2. Equipamiento

Una parte importante, como se ha comentado en el capítulo anterior, es la necesidad de reducir el número de emisiones hacia el medio ambiente, y así, descender la contaminación medioambiental que se está generando por los gases de escape de los vehículos en los últimos años.

Estos requerimientos de las normativas que se encuentran vigentes, hacen que se creen dispositivos, a través de los cuales, se pueda reducir la cantidad de gases contaminantes. Según Payri, [1.1], una de las maneras de descender el número de emisiones de NO_x requeridas por la normativa, sería descender la temperatura de combustión en el interior del cilindro. Sin embargo, ese acto conllevaría un aumento de las emisiones de monóxido de carbono y de las partículas inquemadas. Este conflicto entre las emisiones de NO_x y las partículas, se pueden recoger en la curva denominada trade-off, figura 3.13, donde observamos que el aumento de unas, conlleva la disminución de las otras. Por lo tanto, debemos buscar otros sistemas de disminución de las emisiones de NO_x más efectivos que modificar la temperatura de la combustión.

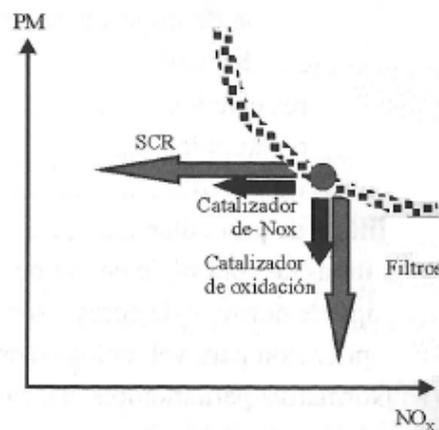


Figura 3.13: curva genérica de curva trade-off de emisiones NO_x y partículas de un motor diesel y soluciones técnicas para su reducción. [1.1].

Otra de las maneras de disminuir las emisiones sin tocar ningún parámetro del motor, y por lo tanto, sin modificar la combustión, es modificar el postratamiento de los gases de escape. Esta modificación la llevaremos a cabo mediante unos dispositivos de oxidación y reducción de los gases de escape como son el catalizador y el NO_x-TRAP. Este último, se ha introducido con posterioridad para conseguir descender el número de partículas de NO_x hacia el ambiente, y así, cumplir con la normativa EURO 6, [1.13], reduciendo sus emisiones.

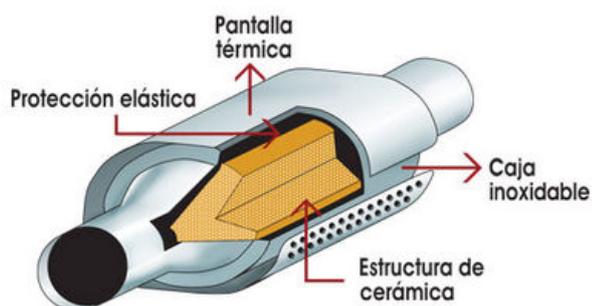


Figura 3.14: Esquema de un catalizador. [3.6].

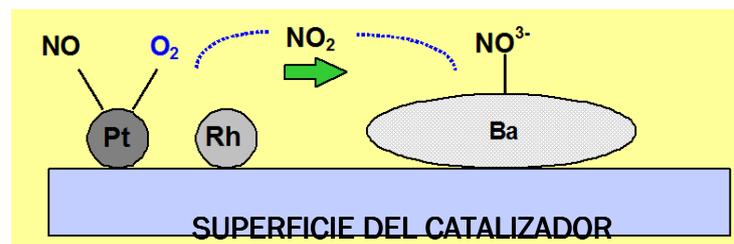
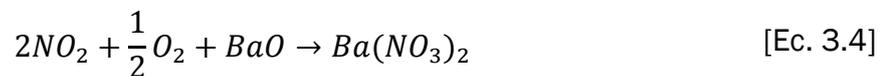
Un catalizador o conversor catalítico es un sistema de disminución del nivel de emisiones de gases contaminantes hacia el medioambiente situado al inicio de la línea de escape, por lo que, todos los gases de combustión, en su camino hacia el exterior, deberán circular por él. Está formado en su interior por una estructura en forma de panel de cordierita porosa ($2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$), y recubierto en su superficie por metales preciosos como el platino y el paladio. [1.1]. Todo el panel se encuentra recubierto de una protección elástica, para evitar daños debidos a vibraciones y atenuar los posibles ruidos, y una pantalla térmica para el enfriamiento de las celdas. Los gases de escape pasan por la estructura del catalizador generando, entre el humo de escape y la estructura, una serie de reacciones químicas que generan la oxidación de los gases, viéndose afectados el monóxido de carbono y las partículas de hidrocarburos y siendo insignificante para los NO_x, [Ec. 3.1] y [Ec. 3.2].



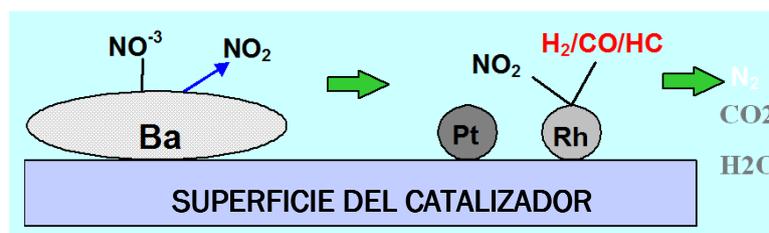
Desde el paso de la normativa EURO 4 a la EURO 5, se consiguió que con el catalizador se obtuviese la reducción oportuna, [1.18]. Pero, para dar el paso a la EURO 6 se creó lo denominado NO_x-TRAP, trampa para NO_x, con la cual se pretende alcanzar el valor máximo de emisiones permitidas, consiguiendo una

gran reducción, cosa que anteriormente solo con el catalizador no se conseguía. Este sustituye al catalizador en los nuevos motores diesel construidos.

El NO_x-TRAP o filtro químico tendrá que ejercer el cometido anterior por el catalizador, y a mayores, trabajar como trampa química para eliminar las moléculas de óxidos de nitrógeno que se generan en la combustión mediante su reducción, [2.29]. La composición de la trampa en el interior es de la misma naturaleza que antes, diferenciándose de la anterior en que ahora, además de contener en la estructura platino y paladio, contiene moléculas de rodio (Rh) y de óxido metálico alcalino (BaO), lo que genera la reacción entre las moléculas de NO_x, [2.30], como se puede observar en las ecuaciones [Ec. 3.3], [Ec. 3.4], [Ec. 3.5] y en las figuras 3.15.



Figuras 3.15. Superior: oxidación y reducción de la molécula de óxido de nitrógeno en el NO_x-TRAP. Inferior: reacción de purga para eliminar las moléculas sedimentadas. [2.30].



Las dos primeras reacciones del NO_x-TRAP, [Ec. 3.3] y [Ec. 3.4], se generan instantáneamente con el paso de los gases de la combustión formando una sedimentación de las partículas de óxidos de nitrógeno en la celda, mientras que la [Ec. 3.5] se realiza después de lo que denominamos purga DeNO_x, a partir de la cual, eliminamos las partículas impregnadas en la estructura convirtiéndolas en moléculas de nitrógeno y dióxido de carbono (Sistema SCR), como veremos en el siguiente capítulo 3.2.3.1.

Por último, nos encontramos con el FAP o filtro antipartículas (utilizado para cumplir con la normativa EURO 5 como para la EURO 6), formado de carburo de silicio. Este se comporta como una barrera física para impedir que las partículas inquemadas de la combustión salgan por la línea de escape, con una eficiencia del 99%, [2.31]. La regeneración del filtro se genera aumentando suficientemente la temperatura de él, como para que las partículas se quemen y se eliminen automáticamente.

3.2.3. Ensayos

Una vez conocidos todos los elementos que intervendrán en los ensayos de envenenamiento, comenzaremos con describir los dos tipos de ensayos que realizaremos. Para el primer tipo, realizaremos ensayos de DeSOx, donde eliminaremos las moléculas de óxidos de azufre que se han ido quedando atrapadas en el NOx-TRAP, y como segundo tipo, inyectaremos al inicio del NOx-TRAP ciertos gases contaminantes y estudiaremos su comportamiento en cuanto a la eficacia de la eliminación de los gases perjudiciales a la salida del mismo.

3.2.3.1. Ensayos DeNOx y DeSOx

Como se ha comentado anteriormente, los **ensayos de DeNOx** se basan en la realización de una purga, con el fin de eliminar todas las moléculas que se han ido depositando en el NOx-TRAP a lo largo del paso de los gases procedentes de la combustión de la mezcla aire-combustible, [2.32]. Esta purga se realiza cuando la riqueza de la combustión es constante y superior a la unidad, aumentando momentáneamente la cantidad de combustible que se inyecta en la cámara de combustión. La duración de dicha purga se realiza durante un corto periodo de tiempo que puede variar entre los 5 y los 10 segundos repitiéndose en un vehículo en movimiento cada 5 o 10 km recorridos, [2.30]. Mientras el NOx-TRAP no se está purgando, la riqueza de la mezcla en la cámara de combustión vuelve a descender hasta valores inferiores a la unidad y la mezcla vuelve a utilizarse rica en oxígeno.

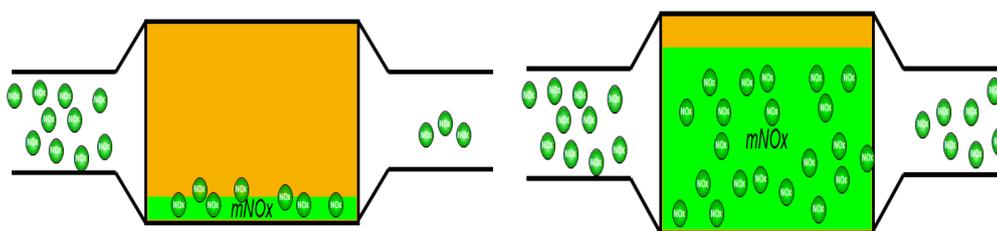


Figura 3.16: Representación de la acumulación de las moléculas de NOx en el NOx-TRAP. [2.29].

En un planteamiento teórico, todas las moléculas que circulan a través del NOx-TRAP son absorbidas por él, en la realidad no ocurre eso, sino que una

pequeña cantidad de los gases no consiguen ser absorbidos por la estructura y son expulsados hacia el exterior, como se puede comprobar en la figura 3.16. Estos gases que llegan al exterior aumentan con relación al número de moléculas ya absorbidas, por lo que, a mayor número de ellas ya retenidas, la capacidad de la trampa de seguir reteniendo moléculas va disminuyendo, generando así la necesidad de realizar una purga DeNOx y descender la cantidad ellas, aumentando de nuevo su capacidad de retención.

La realización de la purga es algo más complejo de lo explicado anteriormente teniendo varios factores que influyen en su realización, entre los que cabrían destacar: la riqueza, la naturaleza de los reductores y la temperatura de la purga. De entre estos tres factores nos centraremos en este último, donde la temperatura de la purga deberá realizarse a la mayor temperatura posible para favorecer la absorción y expulsión de las moléculas de NO_x de la trampa, como se puede observar en la figura 3.17, pero siendo realizada entre ciertos valores: entre los 200 y los 400 °C, [2.29]. Si se realizase por debajo de los 200 °C correremos el riesgo de no alterar la capacidad del filtro, mientras que si superamos los 400 °C la capacidad de la trampa de absorber y luego liberar moléculas desciende, por lo tanto, trabajaremos entre estas temperaturas.

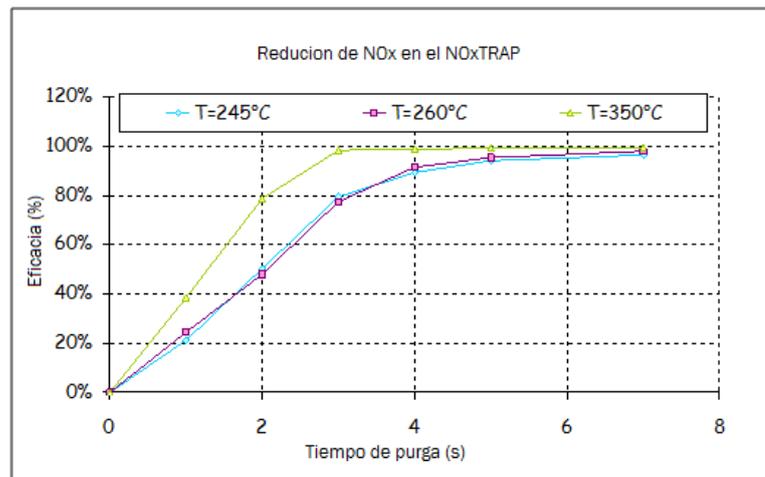


Figura 3.17: Eficacia de la purga DeNOx con respecto al tiempo y la temperatura del interior de la trampa. [2.29].

En cuanto a la naturaleza de los reductores según [1.19] y lo comentado previamente, al aumentar la riqueza de la mezcla aumentamos el volumen de combustible inyectado en la cámara de combustión, consiguiendo un aumento de del rendimiento cuanto mayor sea la relación existente entre los hidrocarburos del combustible y las moléculas de óxidos de nitrógeno, como se puede observar en la imagen 3.18.

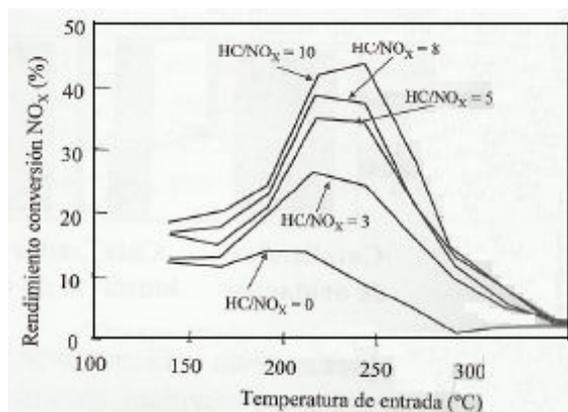


Figura 3.18: Efecto de la relación HC/NO_x y de la temperatura del gas en sistemas NO_x-TRAP. [1.19].

Un inconveniente de este sistema es la aparición de moléculas con contenido de azufre. Estas moléculas generan lo denominado como envenenamiento del NO_x-TRAP, o lo que es lo mismo, una absorción de dichas moléculas quedando depositadas en el lugar donde correspondería tener sedimentos de las moléculas de NO_x, reduciendo la capacidad de absorción y expulsando al exterior mayor concentración de contaminante, como se puede observar en la figura 3.19. La aparición del azufre en el filtro es uno de los motivos por los cuales, en motores diesel, trabajamos con mezclas pobres, para disminuir el número de azufre que conllevan los combustibles.

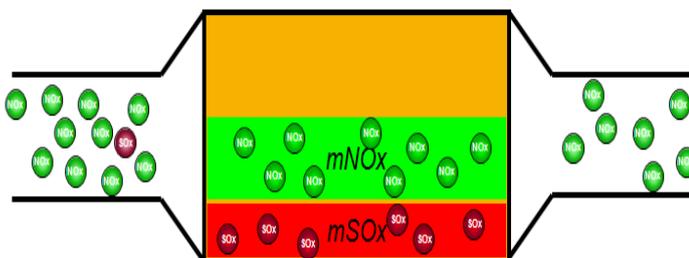


Figura 3.19: Representación de la acumulación de las moléculas de NO_x y de SO_x en el NO_x-TRAP. [2.29].

Gracias a la presencia de dichas moléculas de azufre, tenemos que acercarnos hacia otro tipo de ensayos como son los **ensayos de DeSO_x**, en los cuales, necesitaremos desulfatar el NO_x-TRAP para volver a ganar la capacidad de almacenaje de las moléculas de NO_x que se tenía al principio, antes de la aparición del azufre. La purga DeSO_x, al igual que la anterior, necesita ascender a una riqueza superior a la unidad para poder realizarse, además de, ascender la temperatura de la trampa por encima de los 700 °C para garantizar la reducción de los óxidos de azufre. A diferencia de la anterior, esta purga tiene una mayor duración, siendo de 10 a 20 min y realizándose cada 500 o 1000 km de recorrido del vehículo, [2.30].

Este proceso de purga del azufre tiene grandes inconvenientes, estos son debido a la formación de moléculas de COS y H₂S provenientes de la

desulfatación del NO_x-TRAP y su envejecimiento causada por la exposición de altas temperaturas durante largos periodos de tiempo. Mientras que la formación de estas moléculas implica generar grandes olores a podrido (COS), y la exposición por parte del ser humano a moléculas tóxicas para la salud (COS y H₂S), el envejecimiento implica la eliminación de parte de la capacidad de absorción, por parte del bario, de los óxidos de nitrógeno, aumentando la expulsión de gases contaminantes a la atmósfera, [2.29]. Para evitar estos contratiempos, necesitaremos reducir la contaminación de COS y H₂S al medio ambiente a cambio de generar una nueva transformación de ellas en una molécula menos agresiva al medioambiente como es el SO₂ y controlar la temperatura que se alcanza intentando disminuirla en lo máximo posible.

3.2.3.2. Envenenamiento con botellas

Los ensayos de envenenamiento, al igual que los ensayos de DeNO_x y DeSO_x, nos sirven para caracterizar y controlar los gases contaminantes que se inyectan a la atmósfera.

Estos, que nos conciernen en este momento, los de envenenamiento, tienen la base en los ensayos de DeSO_x debido a que pretendemos estudiar las emisiones de gases contaminantes que se expulsan hacia la atmósfera en presencia del azufre. Pero a diferencia de los ensayos de DeSO_x, ahora conocemos las pruebas con una cantidad inicial de azufre sedimentado en el NO_x-TRAP, ya que, antes de realizar el ensayo para la eliminación del azufre, hemos inyectado una cantidad conocida para que quede retenida en él. Al igual que anteriormente, debemos realizar el estudio de los contaminantes de óxidos de nitrógeno que se expulsan a la atmósfera en presencia del azufre, pero ahora a mayores, nos interesará el estudio de los contaminantes procedentes del azufre que se emiten, como son el COS, H₂S y el SO₂, siendo estos dos primeros gases, los contaminantes que debemos evitar expulsar al medioambiente.

La medida de los gases anteriores procedentes del azufre no pueden ser medidos mediante las consolas de gases por lo que necesitaremos introducir un nuevo equipo para su medida. Este motivo hace que se necesite la presencia de un sistema medidor de la concentración de los gases como es el espectrómetro de masas, visto en el capítulo 2.1.3.7. A mayores, para la realización de los ensayos, necesitaremos contar con un sistema que inyecte azufre en el NO_x-TRAP para poder comenzar con los ensayos. Este sistema es el carro de envenenamiento, como se ha visto en el capítulo 2.1.3.8.

Los ensayos de envenenamiento por lo tanto, cuentan con distintas etapas desde el inicio de la recepción hasta el momento en el que se finaliza su utilización, [2.17]:

- **Etapa 1: Instalación del carro en el banco**

Donde se deberá realizar la instalación del carro de envenenamiento y de las botellas, según los estándares recogidos en el anexo B, y la conexión a la línea de nitrógeno del banco.

- **Etapa 2: Parámetros del Banco**

Una vez conectado el equipamiento, deberemos configurar las vías necesarias para el pilotaje del carro, realizar las conexiones a la informática del banco y colocar la toma pilotada que permite dar tensión al carro a partir de un umbral de régimen de giro del motor (motor arrancado). Véase parámetros en [2.17].

- **Etapa 3: Validación de la instalación.**

Una vez realizadas las etapas anteriores se deberá dar validación estática, de pilotaje a las electroválvulas y de funcionamiento del regulador de caudal máximo. A mayores, deberemos realizar la validación de la medida del espectrómetro mediante la inyección de las botellas de H₂S y SO₂ después de la trampa y de comprobar que la medida que inyectamos es la medida que recoge el espectrómetro de masas. En definitiva, deberemos asegurarnos que su funcionamiento es el correcto.

Para la realización de la validación de las botellas, deberemos tener en cuenta que deberemos trabajar con una riqueza de la mezcla superior a la unidad (exceso de combustible en la mezcla). [2.33].

- **Etapa 4: Realización del ensayo.**

En esta etapa, para realizar los ensayos de envenenamiento correctamente se deberán realizar dos ensayos distintos:

- *Envenenamiento del NO_x-TRAP*, por el cual, inyectamos a la entrada del turbo SO₂ de la botella del carro de envenenamiento y estabilizamos el sistema hasta cerciorarnos que todo ese azufre que hemos inyectado ha sido absorbido por la trampa.
- *Ensayo DeSO_x*, en el que eliminamos progresivamente la cantidad de azufre que hemos inyectado anteriormente y estudiamos la composición de los gases de salida por la línea de escape.

- **Etapa 5: Limpieza del regulador de caudal másico y purga de nitrógeno**

Después de cada ensayo, para evitar que los datos se contaminen con los obtenidos en los anteriores ensayos, deberemos realizar una purga del

circuito del carro de envenenamiento ante la posibilidad de que aún existan moléculas retenidas en el circuito.

- ***Etapas 6: Fin de ensayos***

Una vez finalizados todos los ensayos que se van a realizar, se deberán cerrar las botellas y desconectar el sistema apagando el motor.

La realización del primer ensayo de envenenamiento deberá seguir el orden comentado anteriormente, mientras que para los siguientes solo se deberán realizar las etapas 5 y 6 a no ser que se encuentre algún error en su desarrollo, que se deberá comenzar en la etapa 3 para volver a dar validez a la instalación.

4. Instrumentación de la sala

Debido a la gran complejidad del sistema, necesitaremos conocer, con la mayor precisión posible, los procesos que se están llevando a cabo en el interior de la sala. Para conseguir tal objetivo, estamos obligados a instrumentar ciertas variables, con el fin de poder estudiar y sacar conclusiones de dichas medidas obtenidas. Estas medidas principalmente, en nuestros ensayos, serán las referidas a las temperaturas de la sala, pero en el conjunto, nos interesaran las medidas de presiones y temperaturas que se generan tanto en el motor como en la sala.

Estas medidas las podremos obtener de dos maneras distintas: mediante señales analógicas o señales digitales. Ambas señales estarán implementadas en el banco con conexiones de entrada y salida, como se ha explicado en capítulos anteriores, y usaremos unas u otras dependiendo del tipo de señal que queramos obtener.

- **Señales analógicas:** son señales que varían en el tiempo, es decir, en todo momento obtendremos resultados de las actividades que suceden en la sala. Es el tipo de señal más común en nuestros ensayos, ya que, la mayoría de dichos procesos necesitan de un sistema de medida cambiante en el tiempo.
- **Señales digitales:** son un tipo de señales menos mayoritarias en nuestros ensayos. Se caracterizan por ser variables eléctricas con dos niveles bien diferenciados que se alternan en el tiempo, transmitiendo la información según un código previamente acordado. En nuestro caso, se encargarán dichas señales para el control de las medidas tomadas, cambiando de valor de la señal si se sobrepasa el valor límite establecido de seguridad accionando una alarma.

La toma de datos, como se ha dicho anteriormente, se obtendrá de forma instantánea al proceso que se está llevando a cabo en el interior de la sala. Para obtener el valor numérico, se determina a través de la frecuencia de adquisición (F), medida en hercios (Hz), [Ec. 4.1], donde T representa el tiempo transcurrido entre dos medidas consecutivas.

$$F = \frac{1}{T} \quad [\text{Ec. 4.1}]$$

El valor de la frecuencia que obtenemos para cada medida, se ha de tener en cuenta a la hora de la elección del tipo de captador que se necesite, es decir, elegiremos el captador en relación al tiempo máximo que debiese existir entre la toma de dos medidas. Por consiguiente, el valor de la frecuencia viene

dependiendo del tipo de medida que queremos obtener y del tiempo que transcurre entre dos medidas.

Estos transductores vendrán, según lo comentado anteriormente, caracterizados por un intervalo de frecuencias, siendo los más utilizados los del rango de entre 1-10 Hz (la toma de medidas se realiza cada 1 o 0.1 s). Si la medida que necesitamos obtener es más crítica, necesitaremos obtener el valor con un intervalo de medida menor, por lo que utilizaremos captadores de rango mayor, entre 100-1000 Hz (la toma de medidas se realiza cada 0.01 o 0.001 s), como por ejemplo, para medir el par o el régimen de giro del motor.

Otras veces, el sistema de medida necesita muchas más precisión en la toma de datos, como puede ser para la medida de la presión del cilindro o para otras medidas internas del motor, y los captadores deberán, por lo tanto, adaptarse a dichos requerimientos. La frecuencia de obtención de los datos rondará los 800 KHz, por lo tanto, ante esa necesidad, se utilizará un sistema independiente de adquisición de los datos al utilizado en los anteriores casos.

Durante nuestro proceso de medida de la temperatura de la sala, utilizaremos solamente captadores del primer grupo (de 1-10 Hz), ya que, no es necesario mayor precisión para la toma de la medida, a la hora de tomar los valores de temperatura y presión que solo necesitamos tener una cierta referencia de las temperaturas que se alcanzan.

4.1. Captadores de presión

En el proceso de ensayos del sistema se hace imprescindible conocer los acontecimientos que están sucediendo en la instalación. Para poder caracterizar dichos procesos, se han de obtener medidas tanto de presiones, como de temperaturas en distintos puntos del conjunto.



Figura 4.1. Transductor piezorresistivo utilizado en la medición de las presiones. [3.7].

En cuanto a las presiones, se han utilizados dos formas distintas de obtener los valores: mediante manómetros o mediante transductores piezorresistivos, figura 4.1. Mientras que los primeros los utilizamos para medir las presiones en los distintos circuitos del motor, como son el del agua, el del combustible, el del

aceite, etc. Los segundos se utilizarán para las medidas propias del motor, así como, las relacionadas con la sala de ensayo.

Mientras que las presiones que miden los manómetros son presiones manométricas, es decir, mide la diferencia entre la presión real del sistema menos la presión atmosférica del sistema, los transductores piezorresistivos miden presiones absolutas, o presiones reales.

Los transductores piezorresistivos se basan en la propiedad de los semiconductores de variar su resistencia cuando se deforma por acción de la presión. Son los más utilizados en los ensayos porque poseen grandes rangos de medidas, entre 100 mbar hasta 10000 bar. Los elegidos cuentan con grandes sensibilidades a la hora de obtener las presiones y buen comportamiento ante las altas sollicitaciones térmicas y mecánicas (vibraciones, golpes, etc.) a las que están sometidos.



Figura 4.2. Picajes de presión (tubo blanco) y temperatura (cable verde) en la línea de escape.

Dicho sistema de medida se ha incorporado en el motor mediante picajes, figura 4.2, en los lugares donde es necesario la obtención de medidas. Dichos picajes se conectarán a la caja de medidas en su correspondiente FEM, para obtener los valores.

Entre las presiones que se deberán medir, estarán las presiones referidas a los espacios propios del motor como pueden ser la presión en los cilindros, en la admisión en el escape, etc. o presiones de los fluidos que circulan por él como el agua, el aceite o el aire.

Durante la realización de nuestros ensayos, la medida que nos interesa obtener es la presión en el interior de la sala. Dicha medida se obtendrá mediante un transductor piezoeléctrico situado en el brazo de la caja de medidas del sistema, lugar donde no interviene el flujo de impulsión de la ventilación de la sala.

4.2. Captadores de temperatura

Para la medición de las temperaturas, al igual que ocurre en la medición de las presiones, incorporaremos picajes en los lugares donde se quiere obtener la medida de temperatura, como se puede observar en la figura 4.2 para la medida de la presión y temperatura de línea escape.

Entre las medidas que deberemos obtener, al igual que para las presiones, se encuentran las temperaturas referidas a los cilindros, a la admisión, al escape, etc. o las temperaturas referidas a los conductos de los fluidos que circulan a través de él como son el del agua, el aceite o el del aire.

Como sabemos, el motor trabaja a altas temperaturas y sollicitaciones mecánicas o vibratoriales, por lo tanto, necesitaremos buscar sondas resistentes a altas temperaturas y que se vean lo menos afectados posible en su medida. Para ello, utilizaremos termopares tipo K y tipo Pt100 debido a que se puede obtener buenas medidas, son económicas y de fácil reemplazamiento.



Figura 4.3: Sonda de medición de la temperatura, Pt100.

El termopar tipo Pt100, figura 4.3, es un sensor de temperatura realizado con un alambre de platino, lo que le dará buena resistencia a las altas temperaturas, aunque no posee una gran precisión en la medida (en buen estado induce un error del orden de 0.5 °C, pero si existiese algún problema de oxidación podría llegar el error hasta 4-5 °C sin poder detectarse fácilmente). [2.34]. El sensor está cargado inicialmente con 100 ohms (resistencia eléctrica) a una temperatura de 0°C y aumentará la carga de la resistencia al aumentar la temperatura.

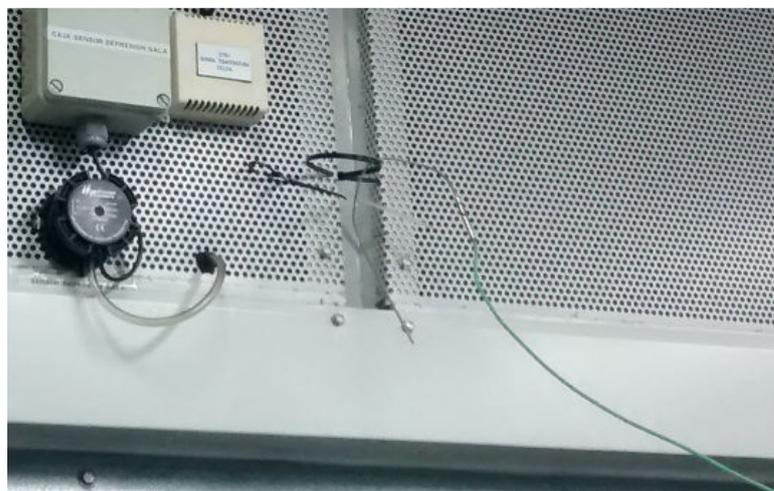


Figura 4.4: Colocación del termopar Pt100 para la medición de la temperatura en la sala.

El termopar tipo K trabaja de la misma manera que los anteriores pero funcionando con mayor precisión, lo que les hace más costosos. Por ello mismo, usaremos dichos sensores cuando necesitemos mayor precisión en la medición de la temperatura.

Por todo lo dicho anteriormente, para la toma de datos de la temperatura en la sala no se necesitan grandes precisiones a la hora de la medida, por lo que, nos decantamos por la elección de termopares tipo Pt100 que situaremos en dos puntos representativos de la sala, donde no se vean influidos por el caudal de impulsión de la climatización. Estas sondas las colocaremos en las paredes, sujetas mediante bridas, como se ven en la figura 4.4, asegurándonos que no se apoya en la pared y pueda recibir una medida falseada. El conjunto de la situación de los tres termopares situados en la sala la podemos comprobar en la figura 4.5.

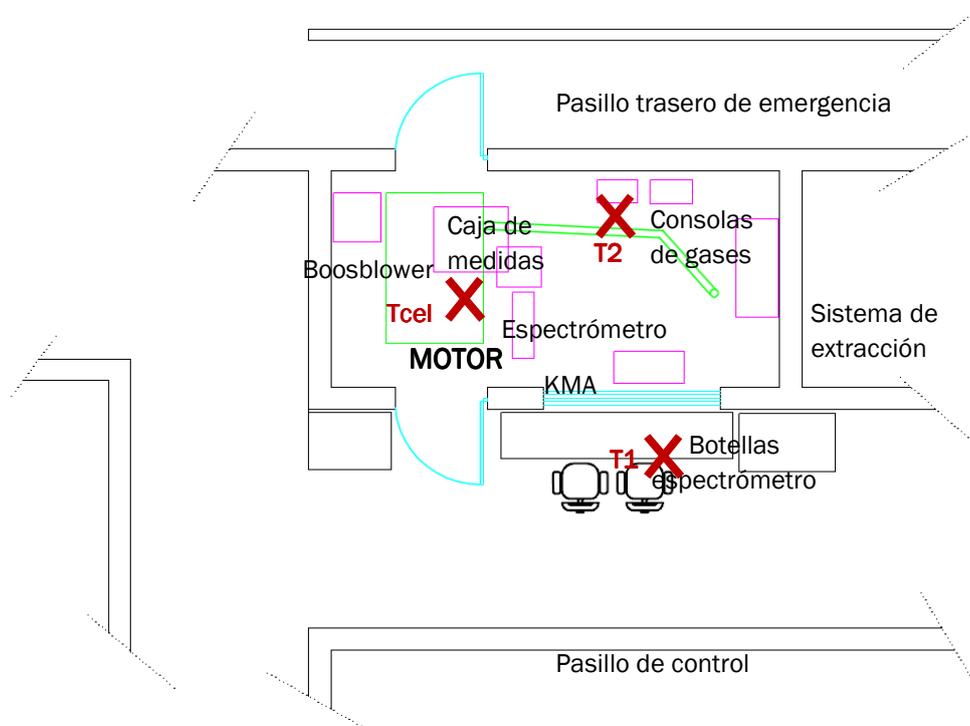


Figura 4.5. Puntos de colocación de los sensores de temperatura para la medida de la sala.

A mayores de las dos sondas de temperaturas, contamos con la medida situada en la caja de medidas (pluma), figura 2.21, en lo alto del motor, pero a suficiente distancia como para que el calor desprendido por el motor no afecte a la medición de la temperatura.

5. Presentación e interpretación de los resultados de las magnitudes físicas.

Antes de comenzar con el estudio del sistema que se nos plantea, deberemos estudiar los parámetros que son relevantes y, partiendo de ellos, realizar los ensayos para intentar llegar a una conclusión válida al final de todo el proceso. Por ello, comenzaremos partiendo de los principios a los que deberemos ajustarnos, para continuar con las pruebas y ensayos realizados sobre el motor para establecer a temperatura de la celda de ensayo.

5.1. Principios básicos de los ensayos

Durante los ensayos realizados para estudiar el sistema de climatización y su impacto sobre la sala de ensayo, comprobamos que existen varios factores influyentes en dicho sistema que tenemos que ir controlando y modificando para llegar a un resultado satisfactorio. Estos factores pueden ser: el sistema de refrigeración del motor, pudiendo ser refrigeración mediante aire o mediante agua; la orientación a la que se direccionan las toberas para la salida del aire acondicionado (respecto a la extracción de gases de la sala); y el calor generado por el motor en cada ciclo y evacuado a la sala, siendo éste dependiente del tipo de ciclo que se esté realizando.

Nos centraremos, por lo tanto, en el estudio de estas tres premisas o factores influyentes y comprobaremos (mediante distintos cambios a lo largo de los ensayos) en qué condiciones se consigue obtener la temperatura de la sala entre los $22\pm 1^\circ\text{C}$ (según indican los estándares, [2.2]) o en cuales nos conseguimos acercar más al valor requerido en la sala.

5.1.1. Refrigeración del motor

El sistema de refrigeración del motor es el encargado de descender las altas temperaturas que se alcanzan en la cámara de combustión, debido a la combustión de la mezcla de aire y combustible que se ha inyectado anteriormente, pudiendo llegar a unos 2000°C en el momento de la explosión, como se muestra en la figura 5.1. Esta temperatura, al ser tan elevada, podría ser la causante de problemas de sobrecalentamiento en los materiales que constituyen el sistema del motor, pudiendo llegar en algún momento a alcanzar la temperatura máxima de fusión de dichos materiales y llegar a destruir algunas partes del motor.

Aunque dicha temperatura máxima que se alcanza en la zona de combustión de la mezcla es instantánea, en ese punto de combustión, la temperatura del sistema asciende rápidamente e inmediatamente descende, hasta temperaturas alrededor de los 300°C . Los materiales que componen el

sistema, siendo los más utilizados hoy en día aluminio o acero, generan grandes expansiones y contracciones en el material debido al salto térmico que se produce por las grandes variaciones de temperaturas, pudiendo generar tensiones internas generando grietas o roturas y produciendo deformaciones y agarrotamientos que no permitirían un movimiento adecuado de las piezas, como se explica en [3.4].

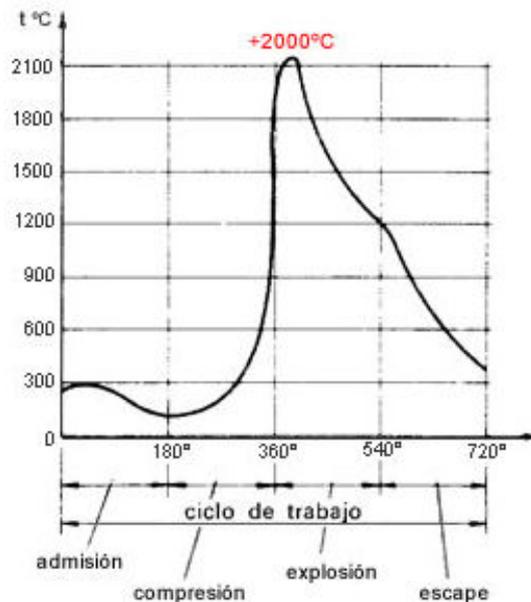


Figura 5.1: Diagrama de variación de temperatura del motor a lo largo de un ciclo. [3.4].

Esta labor primordial de descender la temperatura del motor, debe llevarse a cabo bajo unas premisas que permitan que no se modifique en exceso el funcionamiento habitual del motor, como pueden ser:

- Qué el sistema de refrigeración consuma la mínima potencia posible, de forma que el funcionamiento del sistema no penalice ni el consumo de combustible ni las prestaciones del motor,
- Ser compacto, ligero, fiable y tener un coste bajo. [1.1].

Para realizar la refrigeración del motor existen dos sistemas, dependiendo del tipo de refrigerante, para descender las altas temperaturas que se generan; la refrigeración mediante aire y la refrigeración mediante agua. El tipo de refrigeración en los motores ensayados puede ser tanto por aire como por líquido, realizando el cambio de válvulas pertinente para pasar de un fluido a otro, dependiendo de la opción que se escoja. El líquido, por lo tanto, que utilizaremos en los ensayos será agua de la red municipal de aguas de Valladolid.

Aunque para los ensayos en la sala usaremos dos tipos de refrigeración en los motores, en la utilización en vehículo es más común la refrigeración

mediante líquido, utilizando como fluido agua y líquido refrigerante con bajo punto de congelación, para evitar congelaciones y obstrucciones de los conductos en las estaciones frías del año.

- **Refrigeración mediante aire**

En la refrigeración mediante aire es el propio aire el encargado de refrigerar los cilindros y extraer el calor en exceso de ellos.

El calor que se produce en el interior de la cámara de combustión es transmitido hacia el exterior a través de la estructura del motor que genera el cubículo del cilindro mediante conducción. Una vez que el calor alcanza la superficie exterior, este es refrigerado mediante convección por el refrigerante que nos concierne como es en este caso el aire.

$$Q = hA\Delta T = hA(T_s - T_\infty) \quad [\text{Ec. 5.1}]$$

La ecuación del calor evacuado por convección o ley de enfriamiento de Newton, [Ec 5.1.], está relacionada con el coeficiente de transmisión de calor convectivo o de película, h , el área en contacto por el aire, A , y la diferencia de temperaturas que existe entre la superficie externa, T_s , y el fluido que va a entrar en contacto con ella, T_∞ . Para conseguir, por lo tanto, evacuar todo el calor necesario del motor es obligatorio modificar los parámetros de la ecuación anterior, pero como la temperatura de la superficie del motor es invariante, solo se podrá modificar tres de los cuatro parámetros que la componen. Según [1.20] Y [2.35], la manera más fácil de realizar el intercambio de calor es aumentando la superficie de contacto a través de la cual sucede la conducción. Para aumentarla, utilizaremos lo denominado como aletas, figura 5.2, que harán aumentar la superficie de contacto al paso del aire a través de los cilindros.

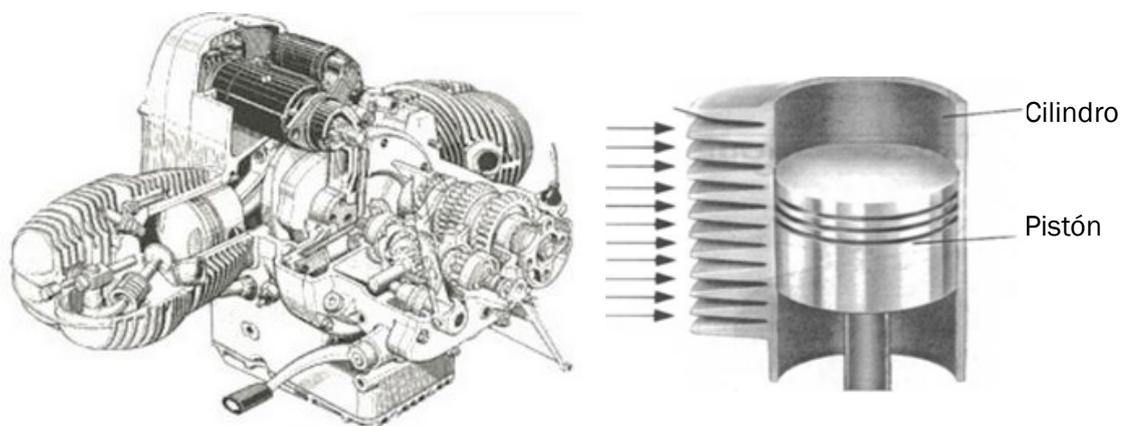


Figura 5.2. Sistema de aumento de la superficie mediante aletas para aumentar la transferencia de calor. Izq.: Representación del sistema de aletas en el motor, [3.8]. Dcha.: Detalle de la superficie aleteada del cilindro, [3.9].

- **Refrigeración mediante agua**

Para la refrigeración mediante líquido, el fluido se hace circular mediante canalizaciones que se han generado en el interior del motor que recorren todas las superficies para descender la temperatura, figura 5.3, culminando en un radiador, por el cual, conseguimos descender la temperatura del fluido mediante el intercambio de calor impulsando aire frío hacia su superficie.

El sistema de refrigeración mediante agua es un circuito cerrado, por lo que necesita de un sistema externo encargado de la circulación del refrigerante, la bomba de agua. [1.1]. Esta bomba impulsa el fluido a través del bloque motor, impulsándolo en primer lugar hacia la culata haciendo circular el fluido por todas las cavidades alrededor de los cilindros, tomando parte del calor generado por la combustión. El siguiente paso es el termostato, regulado a través de un sensor de temperatura, es el encargado de permitir el paso del fluido al radiador si la temperatura es elevada o seguir recirculando el fluido si la temperatura a la que se encuentra el fluido no es suficiente como para necesitar descender su temperatura, que viene determinada por el punto de ebullición del refrigerante. El radiador es un intercambiador refrigerante - aire, el cual es impulsado hacia la superficie a través de un ventilador que se pone en funcionamiento cuando recibe del sistema eléctrico del sistema la acción de activarse, cuando el líquido no circula por el radiador el ventilador se encuentra parado. El circuito, para finalizar, se completa con un depósito de expansión que sirve como depósito de relleno ante posibles fugas o como sistema para presurizar el motor, ya que de esta forma se consigue aumentar la temperatura de ebullición del refrigerante, y en consecuencia, la temperatura de trabajo.

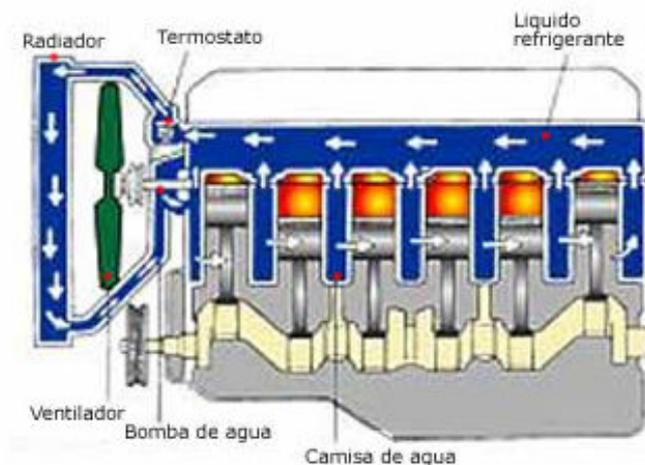


Figura 5.3: Sistema de refrigeración del motor. [3.4].

Este tipo de refrigeración es más eficaz y uniforme, manteniendo la temperatura del motor más estable gracias a la presencia del termostato.

La energía total que posee el combustible no es utilizada en su totalidad para generar el desplazamiento del vehículo, sino, que solo una pequeña parte de ella es utilizable, según [3.8]. Se podrá decir, que entre el 30-35% de la energía total del combustible se pierde por los gases de escape, el 30% mediante la refrigeración del motor y el 10% mediante pérdidas mecánicas, quedando solo un 25-30% de trabajo efectivo utilizable.

Así por lo tanto, el sistema de refrigeración tendrá que ser capaz de evacuar aproximadamente el 30% del calor que generara el combustible. Esto se traducirá en que, si la refrigeración de los cilindros se realiza mediante aire, el calor evacuado del motor es expulsado hacia la sala, provocando un ascenso de la temperatura de ella, y por lo tanto, provoca la necesidad de evacuar más calor mediante la extracción que si la refrigeración se realiza mediante un líquido. Si este fuese un líquido, el calor evacuado queda adsorbido por el agua hasta llegar al radiador donde se enfría y se desprende del calor tomado anteriormente. Como en nuestro caso, el agua sigue un circuito cerrado en el cual el enfriamiento no se realiza en el interior de la sala, sino que, es extraído después del motor y es inyectado nuevamente líquido frío mediante el circuito que contiene la placa de acoplamiento. Ese calor no es liberado al interior de la sala haciendo que no se produzca un aumento de su temperatura, y por consiguiente, tengamos que elevar más la cantidad de calor que se debe de extraer.

El calor que se desprende de la combustión del combustible viene dado por la [Ec 5.2], donde se observa que es dependiente del poder calorífico del combustible, H_c , y del dosado del motor, F . La combustión en los motores diesel se produce en el momento en el que las condiciones de la mezcla aire-combustible son las adecuadas, con preferencia donde el dosado local (F_r) es cercano al estequiométrico (F_e), el dosado del motor se puede considerar de cercano a la unidad para realizar una aproximación, [1.1]. El poder calorífico del combustible rondaba los 42.7 MJ/kg según la tabla mostrada en [2.36].

$$Q = \dot{m}_c H_c \frac{F}{1 + F} = \dot{m}_c H_c \frac{F_r F_e}{1 + F_r F_e} \quad [\text{Ec. 5.2}]$$

Así como, el calor que se debe desprender de la refrigeración del motor ronda el 30% del calor generado en la combustión del gasoil, el calor que debemos evacuar mediante un método u otro ronda los $21.35 \dot{m}_c \text{ MJ/kg}$. Como

no conocemos la cantidad de combustible, \dot{m}_c , que se utiliza en cada ensayo, no podemos cuantificar el valor exacto del calor que se pone en juego.

A mayores de dicho calor del combustible, se pone en juego un calor difícil de cuantificar debido al calor que se obtiene por fricción o por movimiento de la maquinaria que compone el motor. Como es lógico, cuantos mayores sean los regímenes de giro y los pares, el motor tendrá mayores requerimientos y tendrá que realizar con mayor velocidad el mismo movimiento, generando un aumento del calor en el motor, y por lo tanto, un aumento en la temperatura de la sala.

5.1.2. Orientación de la colocación de las toberas

Otro factor a tener en cuenta es la dirección y número de las toberas que se mantienen abiertas. A través de ellas impulsamos el aire procedente de la climatización a la sala, intentando generar corrientes naturales de aire para que dicho aire recorra toda la sala y se mezcle y disminuya la temperatura a partes iguales. Lo ideal sería conseguir mantener la misma temperatura en cualquier punto de la sala entre los límites establecidos, 22 ± 1 °C. Para conseguir mantener dicha temperatura, debemos de tener en cuenta donde se encuentran situados los puntos calientes en la sala y hacia donde deberán estar orientadas y cuáles de las 11 toberas que componen la climatización, deberán estar operativas para la expulsión del caudal de aire. Por lo tanto, un punto importante a refrigerar será la zona del motor donde más calor se concentra y donde gran cantidad de aire deberá estar localizada.

5.1.3. Refrigeración del RAS

Por último, queda tener en cuenta el tipo de refrigeración del RAS. Como se dijo en apartados anteriores, la refrigeración de los gases de EGR se realiza, en nuestros ensayos, mediante aire impulsado hacia el intercambiador por la soplante externa. Dicho aire, una vez refrigerado el intercambiador, se libera hacia la sala, siendo imposible controlarlo y evitar que la temperatura aumente.

Una manera de evitar que dicho aire se mezcle con el aire de la sala de ensayos, es modificar el tipo de refrigeración del RAS. Ahora cambiamos la soplante por un sistema de refrigeración mediante agua, donde el intercambiador es rociado desde su parte superior por duchas de agua, haciendo descender la temperatura de los gases que circulan por su interior. El agua que se utiliza para las duchas de refrigeración, una vez absorbido el calor, es recogido en una bañera y recirculado fuera de la sala. Esto conlleva que el calor que antes se cedía a la sala, ahora es recogido por el agua y no es expulsado a la sala, y por lo tanto, no aparece dicho ascenso de la temperatura.

Según lo visto hasta el momento, una manera fácil de evitar el aumento de la temperatura en la sala sería utilizar una refrigeración basada en duchas de

agua en todo momento, evitando utilizar la soplante de vehículo. Este caso, el intercambio de la soplante por las duchas de agua, solo será válido cuando en los ensayos que se estén realizando, el cliente no tenga inconveniente y los datos que se necesiten obtener no estén relacionados con dichas temperaturas o presiones a la salida del intercambiador, debido a que por mucho que se intente ajustar el comportamiento de la refrigeración con agua al del aire, las temperaturas que se alcanzan no son iguales, y por consiguiente, no se puede intercambiar una por otra cuando los ensayos requieran dichos resultados.

El calor que evacuaremos desde el intercambiador hacia el fluido refrigerante, se podrá calcular como el calor que desprende el aire del interior del intercambiador o como el calor que es absorbido por el aire que impacta en la superficie de él, [2.37]. Lo calcularemos a partir del aire que transcurre por el interior del RAS mediante la ecuación [Ec. 5.3]. Para ello, el calor específico del aire, C_p , y las temperaturas a las que entra y sale el aire de él, T_{ent} y T_{sal} .

$$Q = \dot{m}_v C_p (T_{ent} - T_{sal}) \quad [\text{Ec. 5.3}]$$

Con los datos obtenidos en los ensayos, podemos hacer una vaga aproximación para conocer el calor que se inyecta a la sala si la refrigeración del RAS se realiza mediante aire. Para ello, deberemos conocer el caudal de gases que transcurre por el RAS, pero como es difícil de obtener ese dato, solo supondremos que este hecho hace que suba la temperatura en una cierta cantidad apreciable, como se podrá comprobar posteriormente en los ensayos.

5.2. Presentación de los resultados de los ensayos

Con todas las premisas desarrolladas hasta el momento, comenzaremos a realizar los ensayos. Para realizar estos ensayos, deberemos ir variando el tipo de ensayos que estamos realizando, y comprobando el impacto que conllevan los cambios en cuanto a las temperaturas de la sala.

Como se ha dicho anteriormente, en los estándares de los ensayos, [2.2], aparece el requerimiento de que la temperatura de la sala debiera encontrarse entre un intervalo de temperaturas establecidas para poder considerar como válidos los ensayos, 22 ± 1 °C. Esto genera un gran problema a la hora de validar los ensayos, ya que la temperatura de la sala, cuando se están realizando pruebas con altos requerimientos (altas revoluciones o pares del motor), el motor sufre un mayor calentamiento aumentando la transmisión de calor hacia el ambiente, haciendo que aparezca un aumento significativo de la temperatura de la sala.

En cuanto a las modificaciones que debemos tener en cuenta están las siguientes indicaciones:

- Siempre deberá estar una de las toberas abiertas para evitar bloqueos de los conductos.
- Se podrán redireccionar arbitrariamente las toberas, teniendo en cuenta, que nunca podrá estar apuntando ninguna fuente de aire hacia la pluma y siempre estará una apuntando hacia el freno dinámico para refrigerarlo.
- Se deberá intentar mantener toda la sala a una temperatura constante, las sondas de temperatura T1, T2 y Tcell, deberían marcar los mismos resultados si se consiguiese estabilizar la temperatura en la sala.

La situación de las hileras de toberas como se ha dicho anteriormente, se encuentran situadas en la parte superior del motor. Las toberas que forman las hileras, deberán estar identificadas en todo momento a la hora de hacer referencia a cualquiera de ellas en algún momento de los ensayos. Para ello, las denotaremos con números del 1 al 11 comenzando desde el conjunto de la izquierda para continuar con el de la derecha, como se muestran en la figura 5.4.

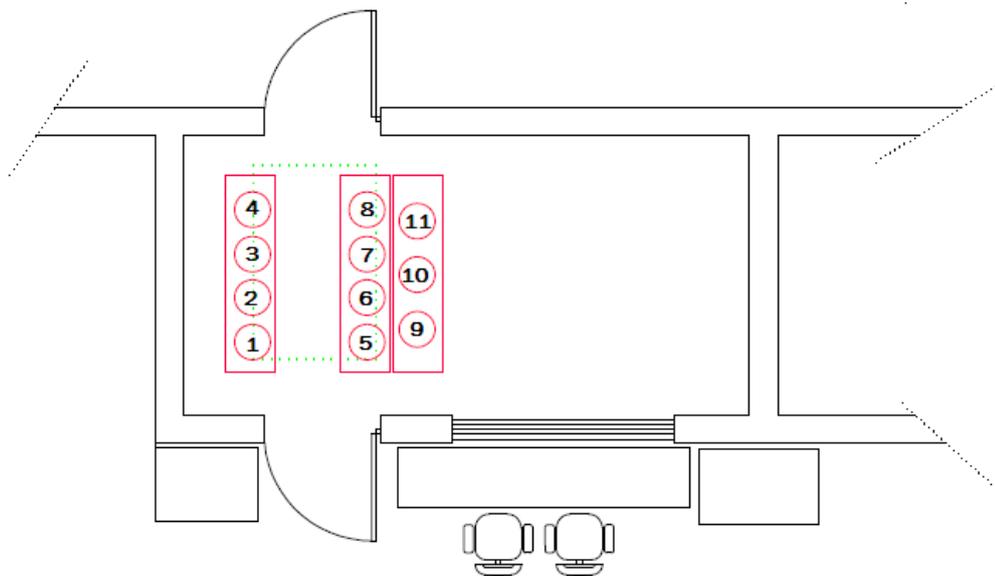
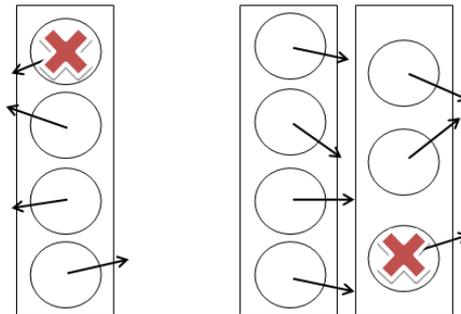


Figura 5.4: Representación y numeración de las toberas de salida del aire de la climatización.

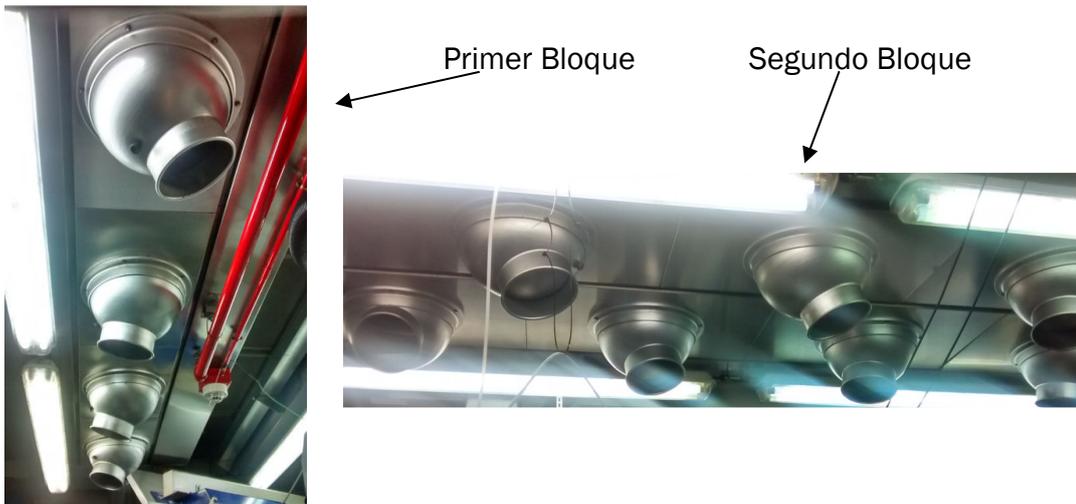
Con lo dicho hasta el momento, comenzaremos con la realización de los ensayos y el estudio de los diferentes resultados:

- **Ensayo 1.** En este primer ensayo comenzaremos con la *refrigeración del motor mediante agua y la refrigeración del RAS mediante aire*. La disposición de las toberas se muestra en las figuras 5.5, donde podemos comprobar que solo mantendremos una tobera cerrada (marcada en la figura con una cruz roja) y redireccionaremos de primeras el bloque izquierdo hacia la pared,

generando un mayor recorrido del aire expulsado por la sala, y los otros dos bloques de la derecha, los situaremos en dirección al resto de la sala. Pero teniendo en cuenta las premisas anteriores, evitaremos que el flujo de ninguna de las toberas afecte a la medida de la pluma y tomaremos como tobera refrigeradora del freno dinámico la que se encuentra más próxima en distancia, es decir, del primer bloque, la primera la tobera, la número 1. A mayores para estos ensayos mantendremos cerradas la tobera 4 del primer bloque y la 9 del segundo bloque.



Figuras 5.5: Sup.: Representación de la orientación de las toberas. Inf.: Vista de la situación de las toberas para el ensayo 1.



Una vez situadas las toberas en su sitio, podemos comenzar con los ensayos. En cada ensayo realizado tomaremos dos valores significativos a lo largo de cada uno de ellos, uno a los 4 minutos de haber comenzado el ensayo y otro a los 13 minutos. Estas medidas se han tomado en dichos tiempos, para poder comparar las temperaturas que se alcanzan en esos tiempos, para los distintos ensayos, debido a que las duraciones de todos los ensayos son distintas. Queda un problema por solucionar en cuanto a las duraciones, el ciclo R1 es muy corto, alrededor de los 400 s, esto hace que las medidas que se han tomado en los otros ciclos no puedan ser realizadas

en los mismos minutos, para ello, en este tipo de ensayos, las medidas las tomaremos en los minutos 4 y al finalizar el ensayo, alrededor del minuto 7.

Un punto a tener en cuenta en los ensayos a mayores, es el grado de apertura de la climatización. En este momento comenzaremos los ensayos con un caudal del 70% del máximo permitido, para evitar forzar las baterías de acondicionamiento del aire que se explicaron en el apartado 2.2. Si se viese que con dicho caudal no fuese necesario en los siguientes ensayos se aumentaría y se estudiaría su impacto.

Para comprobar que las medidas han sido tomadas correctamente, en los casos en los que sea posible, se realizará más de un ensayo para conocer que las medidas obtenidas siguen la misma regla y se aproximan en los valores obtenidos en los anteriores estudios.

	Régimen de giro (rpm)	Par (Nm)	T_{ent}^a (°C)	T_{ret}^a (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T_{Cel}^a (°C)	T_{ref}^a (°C)	ΔT^a (°C)	Promedio ensayo (°C)
Pollution	0	0	15,8	23,1	21,6	19,6	22,0	22,0	0,0	0,0
V2	-	-	13,5	24,3	23,0	22,0	26,0	22,0	4,0	4,75
	-	-	13,2	24,7	23,4	23,0	27,5	22,0	5,5	
R2	-	-	12,4	25,4	22,9	23,1	26,8	22,0	4,8	8,43
	-	-	12,2	26,0	24,6	24,6	34,9	22,0	12,9	
	-	-	11,9	25,2	23,1	23,4	27,4	22,0	5,4	
	-	-	12,5	25,7	24,0	24,0	32,7	22,0	10,7	
	-	-	12,3	25,7	23,3	24,0	27,5	22,0	5,5	
PaP	-	-	13,1	25,9	24,6	24,5	33,3	22,0	11,3	4,53
	-	-	13,8	24,4	22,8	22,1	27,7	22,0	5,7	
	-	-	13,6	24,4	22,9	22,3	28,0	22,0	6,0	
	-	-	11,1	22,6	21,6	20,5	25,6	22,0	3,6	
	-	-	10,8	22,6	21,6	20,5	25,6	22,0	3,9	
	-	-	11,0	22,4	21,3	20,3	25,7	22,0	3,7	
	-	-	11,2	22,6	21,4	20,8	26,3	22,0	4,3	
	-	-	11,5	23,2	22,1	20,8	26,0	22,0	4,0	
	-	-	11,8	23,2	22,2	21,5	26,3	22,0	4,3	
	-	-	11,5	23,1	21,9	21,0	26,6	22,0	4,6	
-	-	11,2	23,2	22,4	22,4	26,6	22,0	4,6		
-	-	13,6	24,5	23,3	23,0	26,7	22,0	4,7		
-	-	13,2	24,4	23,2	23,0	27,0	22,0	5,0		

Figura 5.6: Tabla de temperaturas tomadas del ensayo 1.

Entre las medidas que iremos tomando estarán las temperaturas relacionadas con la climatización, tomaremos medidas a la salida de las toberas, T_{ent}^a (entrada por ser visto desde la sala), a la entrada del retorno de la climatización, T_{ret}^a , las temperaturas de las tres sondas que hay en la sala situadas como se puede ver en la figura 4.5, y los valores del régimen de giro

y del par si se repite algún punto en manual y está cierto tiempo estabilizado en ese punto como para que llegue a ser importante. Para finalizar de completar la tabla, tendremos que tener en cuenta la temperatura de referencia que tomaremos a la cual queremos ajustar los resultados, en todos nuestros ensayos 22°C , y la diferencia de temperaturas que hay entre la temperatura que está más caliente, la T_{Cel}^a por situarse encima del foco caliente, y la temperatura de referencia, T_{ref}^a .

A continuación comenzamos con los ensayos para este primer bloque. En ellos, y como se recoge en la figura 5.6, podemos comprobar que se han realizado 3 tipos de ciclos distintos (V2, R2 y PaP), además de anotar las temperaturas cuando el motor esta en modo pollution, el motor se encuentra encendido a ralentí, pero con la entrada a la sala permitida. Como resultado de ello, para el V2 solo se ha realizado 1 ensayo, para el R2 3 ensayos, mientras que para el PaP hemos realizado 6 ensayos. Ante la vista de los resultados de la tabla, comprobamos que cuando el motor se encuentra en ralentí las temperaturas de la sala se ajustan de acuerdo a la normativa estableciéndose a mayores una igualdad entre todas las sondas de la sala.

Para el segundo tipo de ciclos, el R2, se alcanzan las mayores subidas de temperaturas de la celda. Este hecho no es algo que desconocíamos, si no que era un hecho esperado por alcanzar durante el ciclo altas velocidades, en torno a 120 Km/h en varios puntos del recorrido, que conllevan altos regímenes de giro que hacen elevar la temperatura del motor y con ello la temperatura de la sala. Se comienza a observar una clara diferencia entre las temperaturas situadas más lejos de la fuente de calor y la que se encuentra en la zona crítica. Este problema puede tener tres caminos de fallo, uno por que la climatización no funciona correctamente y está inyectando aire más caliente del necesario, el segundo porque no estén bien dirigidas las toberas y no consiguen refrigerar correctamente la zona o el tercero porque es insuficiente el aire que entra por la ventilación. La primera situación se puede descartar, ya que a la vista de los resultados de las temperaturas de entrada del aire de climatización en la sala, la temperatura es suficientemente baja, en torno a los 12°C , como para que se pudiese refrigerar la zona caliente. Para los siguientes casos no tenemos todavía manera de comprobar por cuál de los dos, o si existiese un caso a mayores, falla la climatización por lo que se deberán seguir haciendo pruebas para comprobarlo.

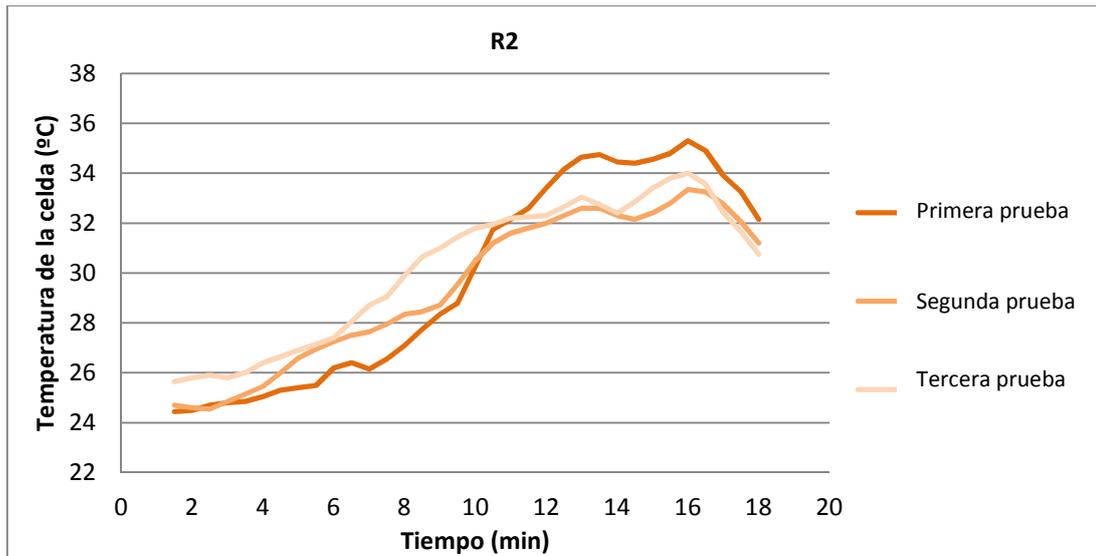


Figura 5.7: Variación de las temperaturas a lo largo de los tres ensayos de un ciclo R2.

A la vista de los resultados obtenidos para el ciclo, podemos centrarnos en estudiar cómo son las temperaturas a lo largo de todo él, y comprobar, si la temperatura de la sala aumenta más a lo largo de todo el recorrido, o si el punto más alto de temperatura se alcanza en el momento de la toma.

Observando los resultados de la figura 5.7 donde están representadas las temperaturas de la celda a lo largo del tiempo que transcurre el ensayo, comprobamos que la temperatura más alta no tiene lugar en el punto señalado en la tabla, sino que aparece una subida poco después para llegar a alcanzar el máximo. Las tres pruebas realizadas confluyen en la misma tendencia, primero a ascender hasta llegar a un primer máximo, punto alrededor de la medida tomada, para tener un ligero descenso, para posteriormente, alcanzar el punto máximo de temperatura del ensayo y tener, para finalizar, una pequeña caída haciendo que el ensayo acabe a altas temperaturas. Este final conlleva que la temperatura de la sala esté tan elevada, que se necesite cierto tiempo hasta conseguir disminuir y estabilizar la temperatura, antes de poder realizar otro ensayo a continuación.

- **Ensayo 2.** Para el ensayo dos, continuamos un estudio semejante que para el estudio anterior, seguimos utilizando los mismos parámetros, es decir, el mismo caudal de climatización y los mismos tipos de refrigeración del motor, *la refrigeración del motor mediante agua y la del RAS mediante aire*. Lo único que cambiamos del caso anterior es la apertura de las toberas, ahora mantenemos todas las toberas abiertas, ya que incluso la orientación de ellas mismas sigue siendo la misma, como se puede comprobar en la figura 5.8.

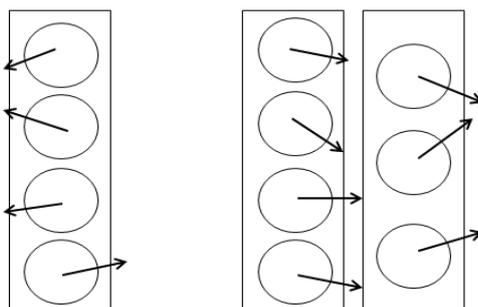


Figura 5.8: Representación de la orientación de las toberas para el ensayo 2.

Ahora que se han establecido las diferencias con el caso anterior, podemos comenzar a realizar los ensayos pertinentes.

Ante los resultados plasmados en la figura 5.9 podemos comprobar que para el caso en el que el motor se encuentra en modo pollution, la temperatura se encuentra por encima de los 22 °C que tenemos como referencia, esto puede ser debido a dos circunstancias, que la sala guardase parte de la temperatura de posibles ensayos anteriores que no han sido evacuados con eficacia o que la climatización en este caso no pudiese hacerse cargo de refrigerar el aire de la celda completamente. A la vista de los resultados del ciclo V2 de la figura 5.9 realizado a continuación y comparándolo con los resultados obtenidos en la figura 5.6, observamos que las temperaturas son prácticamente iguales y que la refrigeración, igual que en el caso anterior, no es suficiente para conseguir refrigerar la sala.

	Régimen de giro (rpm)	Par (Nm)	T_{ent}^a (°C)	T_{ret}^a (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T_{Cel}^a (°C)	T_{ref}^a (°C)	ΔT^a (°C)	Promedio ensayo (°C)
Pollution	0	0	14,3	25,8	25,4	22,5	24,7	22,0	2,7	2,7
V2	-	-	14,1	24,3	23,0	22,0	24,5	22,0	2,5	4,73
	-	-	14,0	24,8	23,5	23,7	27,7	22,0	5,7	
	-	-	10,3	23,4	23,0	22,3	25,5	22,0	3,5	
	-	-	10,3	23,5	23,7	24,0	27,9	22,0	5,9	
	-	-	13,0	23,8	23,0	22,6	26	22,0	4,0	
	-	-	12,9	24,1	23,0	24,0	27,6	22,0	5,6	
	-	-	12,8	22,9	22,3	21,4	23,6	22,0	1,6	
	-	-	12,8	23,9	23,1	23,6	26,4	22,0	4,4	
	-	-	12,8	22,9	23,3	24	28,4	22,0	6,4	
-	-	12,8	22,9	23,6	24,6	29,3	22,0	7,3		

Figura 5.9: Tabla de temperaturas tomadas del ensayo 2.

A diferencia del caso anterior, ahora no realizaremos ninguna gráfica para comprobar la tendencia que tienen las temperaturas. Eso es debido a que no es un ciclo donde aparezcan grandes requerimientos como régimen de giro o par, y por lo tanto, no deberían aparecer las máximas temperaturas como si puede ocurrir para el caso anterior del R2. Este ensayo nos servirá para

comprobar la diferencia con respecto al V2 del primer ensayo, al no verse mejoría alguna se prefiere cambiar la configuración y estudiar nuevos casos.

- **Ensayo 3:** en este ensayo volvemos a estar en la misma situación que en el caso anterior donde los parámetros utilizados siguen siendo los mismos, *la refrigeración del motor mediante agua y la del RAS mediante aire*, y el caudal de impulsión de la climatización el mismo. En este caso, como en el anterior, lo único que variaremos será la apertura de las toberas, debido a que aún la orientación de ellas sigue siendo la misma. Cerraremos la hilera de toberas que se encuentra más alejada del punto caliente, es decir, las toberas 9, 10 y 11, figura 5.10, para conseguir que el caudal que transcurre por las otras toberas sea mayor y genere un ciclo de natural del aire con más potencia, que intente mejorar la temperatura superior del foco caliente.

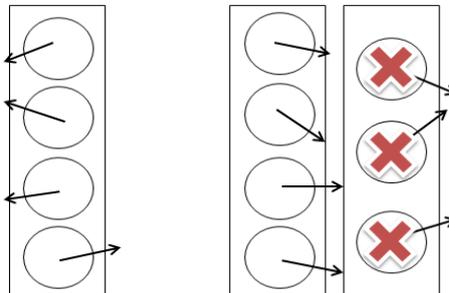


Figura 5.10: Representación de la orientación de las toberas para el ensayo 3.

En el nuevo conjunto de datos referentes al ensayo tres y mostrados en la figura 5.11, podemos comprobar que se han realizado 3 tipos de ensayos; un PaP (con 8 ciclos tratados), un V1 (con 3 ciclos realizados) y un R2 (con un solo ciclo), además de tomar datos de la situación cuando el motor se encuentra en modo pollution. Para este estado, se puede comprobar que la temperatura está en los límites establecidos para la temperatura situada encima del foco caliente, T^aCel , y las otras dos temperaturas se encuentran también próximas al objetivo, lo que hace que podamos dar por válida dicha situación.

En cuanto a los otros ensayos, se puede comprobar que para el PaP y el V1 las temperaturas no se alejan mucho del objetivo, están en torno a los dos grados de diferencia, solo un grado por encima de lo establecido, lo que podría llegar a darse por válido viendo las diferencias que se encuentran en otros ensayos.

	Régimen de giro (rpm)	Par (Nm)	T_{ent}^a (°C)	T_{ret}^a (°C)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_{Cel}^a (°C)	T_{ref}^a (°C)	ΔT^a (°C)	Promedio ensayo (°C)
Pollution	0	0	14,5	23	23,5	21	23	22	1	1
PaP	-	-	14,5	23,5	22,5	22,8	23,2	22	1,2	2,2
	-	-	13,9	23,4	22,6	23,3	23,6	22	1,6	
	-	-	12	23,3	22,6	23,2	23,7	22	1,7	
	-	-	12,3	23	22,9	23,8	24,7	22	2,7	
	-	-	11,9	23,2	22,5	22,9	23,6	22	1,6	
	-	-	12	23,5	22,9	23,8	25,6	22	3,6	
	-	-	12,4	23,5	22,6	22,9	23,7	22	1,7	
	-	-	12,1	23,4	22,9	24	25,1	22	3,1	
	-	-	11,9	23,5	22,5	23,2	23,9	22	1,9	
	-	-	11,9	23,6	22,8	24,4	24,8	22	2,8	
	-	-	12,5	23,6	22,6	23,2	23,5	22	1,5	
	-	-	12,4	23,8	23	23,8	24,9	22	2,9	
	-	-	10,8	22,7	22,3	21,1	23,6	22	1,6	
V1	-	-	10,2	22,5	21,9	22,3	24,4	22	2,4	2,08
	-	-	10,8	22,5	22	23,3	24,8	22	2,8	
	-	-	10,9	22,8	22,1	21,5	24,1	22	2,1	
	-	-	11,3	23,7	22,8	24	25	22	3	
	-	-	11,4	23,2	22,1	23	23,8	22	1,8	
R2	-	-	10,9	23,9	23,4	24	25	22	3	8,8
	-	-	11	23,3	22,5	23,6	24,1	22	2,1	
	-	-	10,9	22,7	22	22,2	23,6	22	1,6	
	-	-	10,8	22,6	21,9	22,3	23	22	1	
	-	-	12,2	24,6	23	23,9	27,7	22	5,7	
	-	-	11,3	25,7	25,3	25,4	33,9	22	11,9	

Figura 5.11: Tabla de temperaturas tomadas del ensayo 3.

Comparando ahora estos resultados con los obtenidos en el primer conjunto de ensayos, podemos observar que existen variaciones considerables en los resultados del PaP. Entre los primeros ensayos, la media de temperaturas se situaba en los 4.53°C, mientras que ahora hemos conseguido descender más de dos puntos situando la temperatura en 2.2°C. Estos resultados nos permiten creer que la temperatura la estamos consiguiendo descender con esta nueva configuración.

El hecho es que esto último no resulta cierto del todo porque si observamos los resultados del ensayo R2 y los comparamos con los datos obtenidos en el primer ensayo comprobamos que las temperaturas siguen la misma tendencia a las temperaturas altas, en torno a los 8 grados de diferencia con la temperatura de consigna.

Estos resultados nos hacen pensar el porqué de esta diferencia tan grande entre los ensayos con pocos requerimientos mecánicos, donde si se ha conseguido descender la temperatura satisfactoriamente, y los ensayos donde se requieren más prestaciones, donde no conseguimos descenderla

correctamente. Este hecho podría deberse a que cuando la temperatura es baja, la climatización puede eliminar todo el calor concentrado, pero cuando el calor que se acumula es sensiblemente alto, la climatización no genera suficientemente aire frío como para enfriar el aire de su alrededor. Aunque a la vista de los resultados, al alejarnos del foco caliente las temperaturas se suavizan haciendo que bajen ligeramente y aparezca una notable diferencia entre las sondas colocadas apartadas del motor y entre la situada encima de él. Esto puede ser debido, a que la refrigeración dedicada a acondicionar dicha parte de la sala es insuficiente y se deberá aumentar el caudal de aire y con ello la capacidad de refrigeración.

Al igual que para el caso primero, una vez visto donde surgen los mayores problemas del aumento de las temperaturas, realizaremos un estudio del ensayo de R2 para comprobar cómo se modifican las temperaturas a lo largo de dicho ensayo, no solo en los puntos elegidos en común para todos los ensayos. A diferencia del caso anterior, en este ciclo R2, las temperaturas se encuentran más estables tendiendo ligeramente hacia el punto máximo, único punto de subida, para una vez superado este, baje la temperatura lentamente siendo más lento el descenso que para el ensayo 1, como se puede comprobar en la figura 5.12.

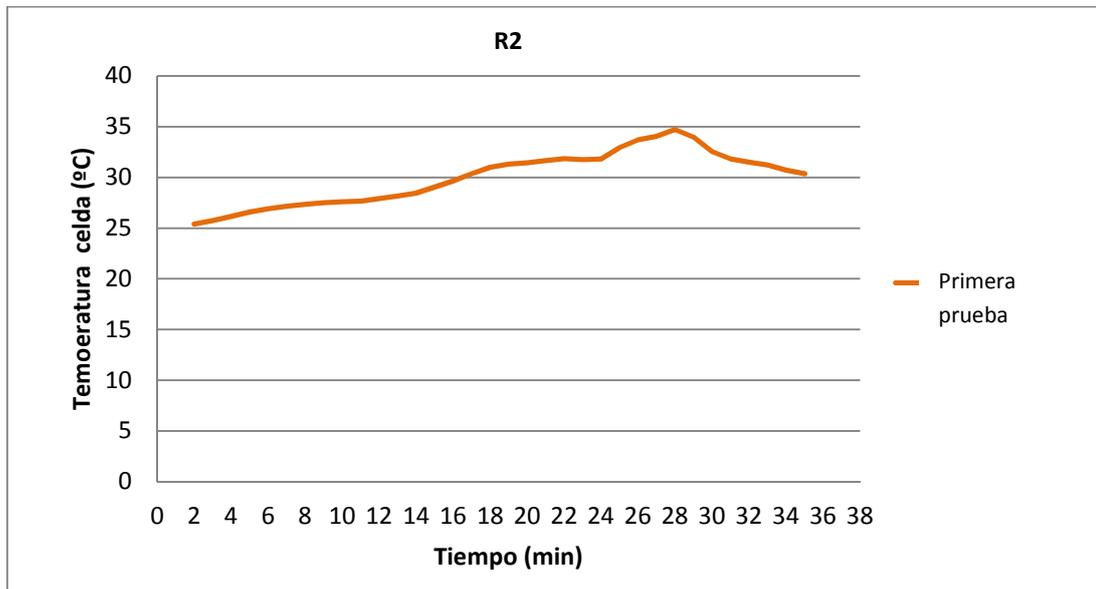


Figura 5.12: Variación de las temperaturas a lo largo del ensayo de un ciclo R2.

- **Ensayo 4.** Para el ensayo número 4 mantenemos de nuevo los tipos de refrigeraciones como en los anteriores casos; *refrigeración del motor por agua y refrigeración del RAS por aire* y mismo caudal de aire de la climatización, 70% del Q_{max} . El cambio que realizamos de unos ensayos a otros será la disposición de las toberas del segundo bloque, las toberas 5, 6, 7 y 8. Ahora todas las toberas que se encuentran abiertas, las redirigiremos

hacia el motor, o punto caliente, para crear una corriente de aire que barra en primer lugar la zona más caliente para luego repartirse por el resto de la sala. Esta nueva disposición intenta subsanar el problema anterior, en el cual, suponíamos que el caudal de refrigeración de esa zona, no era el correcto, sino que necesitábamos que se elevase para poder descender la temperatura visiblemente.

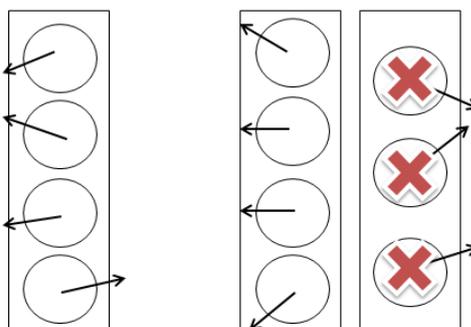


Figura 5.13: Sup.: Representación de la orientación de las toberas. Inf.: Vista de la situación de las toberas para el ensayo 4.



A la vista de los resultados obtenidos en la figura 5.14, donde se encuentran plasmados los resultados de este nuevo conjunto de datos, vemos que se realizan en este caso 4 tipos de ciclos distintos: V2 (con 4 ensayos distintos), R2 (con 3 tomas de datos) y para finalizar el R1 (con solo uno) y el A1 (con 3 repeticiones) que aún no se habían estudiado hasta el momento. A mayores, como en los anteriores casos, tomaremos la crónica del estado de la sala en el momento en el que no se encuentra ningún ensayo realizándose, el motor se encuentra a en modo pollution, y viendo los resultados obtenidos, se puede comprobar que los valores obtenidos para las tres sondas se encuentran entre los límites establecidos, lo que hace que hasta el momento esta nueva disposición sirva para los posteriores ensayos.

En la ejecución del ensayo para los ciclos de V2 llama la atención las temperaturas de las tres sondas. Estas temperaturas a lo largo de todo el proceso se mantienen dentro del rango establecido y prácticamente semejantes. Si comprobamos la diferencia entre este último promedio y los resultados de los primeros ensayos para este mismo tipo de ciclo, comprobamos que hemos conseguido descenderla desde un promedio de 4.75°C hasta uno de 0.21°C, pudiendo dar como aceptable este resultado.

Los ciclos R2, al igual que pasa para el caso anterior, conseguimos descenderlos en más de 4°C el promedio de los ensayos que se han realizado, pasando en los primeros ensayos de estar en una media de 8.43°C y en los terceros en 8.8°C a estar ahora en 4.23°C, más cerca de nuestro objetivo inicial.

	Régimen de giro (rpm)	Par (Nm)	T_{ent}^a (°C)	T_{ret}^a (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T_{Cel}^a (°C)	T_{ref}^a (°C)	ΔT^a (°C)	Promedio ensayo (°C)
Pollution	0	0	12,0	24,2	22,7	20,8	21,7	22,0	-0,3	-0,3
V2	-	-	11,8	24,8	21,6	22,8	22,0	22,0	0,0	0,21
	-	-	11,5	25,1	21,9	23,4	21,9	22,0	-0,1	
	-	-	13,7	24,6	21,4	22,3	21,8	22,0	-0,2	
	-	-	11,7	25,0	21,8	22,4	22,5	22,0	0,5	
	-	-	13,0	24,3	21,2	21,6	22,6	22,0	0,6	
	-	-	11,9	25,3	21,8	23,1	22,6	22,0	0,6	
	-	-	12,6	24,7	21,3	21,8	21,6	22,0	-0,4	
	-	-	12,4	25,2	21,7	22,7	22,7	22,0	0,7	
R2	-	-	14,4	26,7	23,8	25,4	24,9	22,0	2,9	4,23
	-	-	12,0	28,1	25,6	27,3	26,0	22,0	4,0	
	-	-	11,9	26,1	23,3	25,1	24,9	22,0	2,9	
	-	-	11,7	27,0	24,9	26,5	26,6	22,0	4,6	
	-	-	13,4	26,8	23,2	26,0	26,6	22,0	4,6	
R1	-	-	11,8	26,2	22,6	25,0	24,5	22,0	2,5	2,1
	-	-	11,5	25,9	23,0	23,9	23,7	22,0	1,7	
A1	-	-	13,8	25,9	22,6	23,9	23,8	22,0	1,8	7,4
	-	-	11,5	28,8	26,3	28,4	34,5	22,0	12,5	
	-	-	13,6	25,7	22,4	23,6	23,6	22,0	1,6	
	-	-	13,6	29,6	27,0	29,9	36,0	22,0	14,0	
	-	-	12,2	25,7	24,2	22,3	22,8	22,0	0,8	
-	-	12,1	29,5	29,6	26,6	35,7	22,0	13,7		

Figura 5.14: Tabla de temperaturas tomadas del ensayo 4.

Por último cabe destacar los dos tipos de ensayos nuevos. Estos dos, al igual que el R2, son ciclos con grandes requerimientos térmicos por las altas velocidades a lo largo de su recorrido. Aunque es cierto que para el ciclo R1 alcanza menores velocidades máximas que el R2, y por lo tanto, las temperaturas que se espera que se alcancen en la sala sean inferiores que para el caso del R2, como ocurre situándose en una temperatura promedio

de 2.1°C. También es cierto que para el ensayo de A1, las velocidades que se alcanzan son superiores a las del R2, por lo que las temperaturas que se esperan que se alcancen sean superiores a ellas, como ocurre en este caso alcanzando una temperatura de la sala de 7.4°C.

Con los resultados obtenidos en este ensayo, continuaremos nuestro estudio más detallado del ciclo R2 para comprobar su variación a lo largo del tiempo con los anteriores casos. Igualmente realizaremos para los ciclos R1 y A1, realizaremos un estudio del estado térmico con el fin de poder comparar los resultados obtenidos con los siguientes grupos de ensayos posteriores.

Comenzaremos con el estudio del ciclo R2, mostrado en la figura 5.15, donde se muestran tres ensayos del mismo ciclo. Aunque las temperaturas de la tabla 5.14 referidas a este tipo de ensayos eran prácticamente parecidas, ahora podemos ver claras diferencias de térmicas entre los tres ensayos, en particular, entre los dos primeros y el tercero, en el cual, la temperatura sube una media de 2°C con respecto a los otros dos ensayos en el punto de mayor subida. Aún con esta clara diferencia de temperaturas, se puede comprobar que la temperatura del ensayo ha descendido con respecto a la mostrada en anteriores ensayos, figuras 5.7 y 5.12. Este descenso hace pensar que aunque todavía no hemos llegado a ajustar la temperatura vamos realizando un buen trabajo.

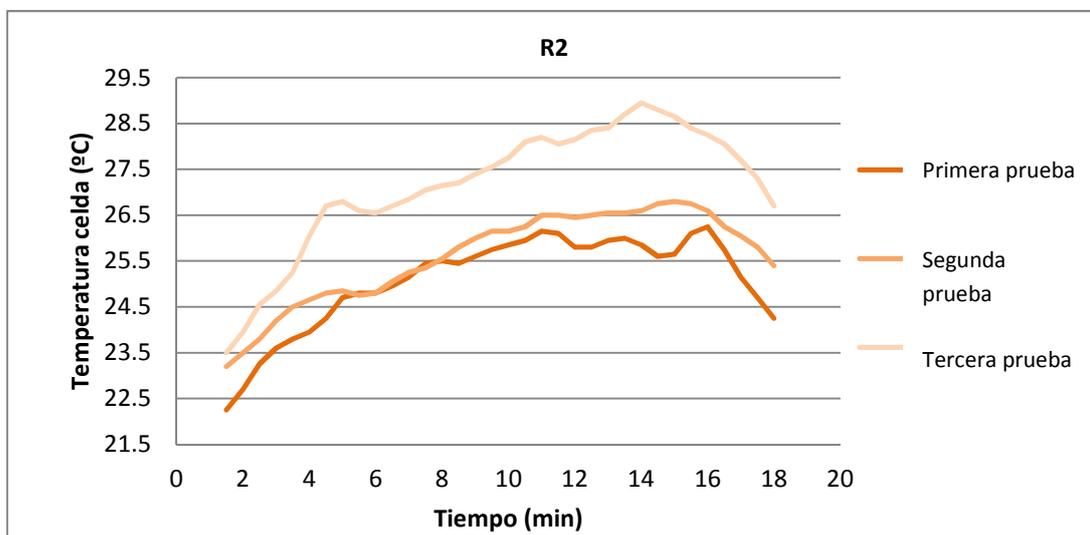


Figura 5.15: Variación de las temperaturas a lo largo del ensayo de un ciclo R2.

A partir de este momento, comenzamos a añadir una nueva representación de otro de los ciclos que no conciernen en el estudio. Empezaremos con el estudio del R1 representado en la figura 5.16, donde podemos observar ante los resultados, que es un ciclo menos agresivo que el anterior, las temperaturas que se evacuan hacia el ambiente son menores y la temperatura máxima que alcanza ronda los 24.5°C, muy inferior a los 29°C

que se llegan a alcanzar en el R2. Por eso mismo, dicho ensayo no será tan representativo como el anterior ante un estudio de altas temperaturas en la sala.

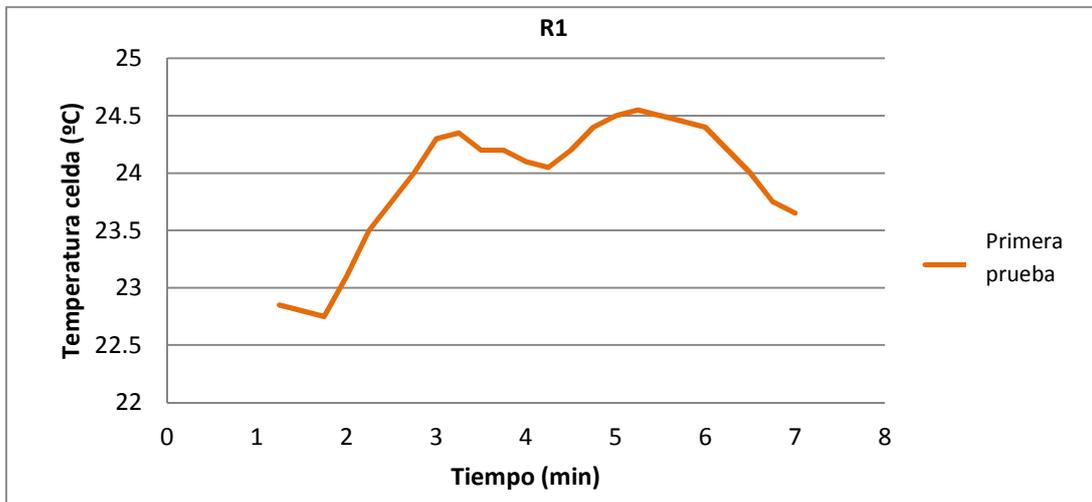


Figura 5.16: Variación de las temperaturas a lo largo del ensayo de un ciclo R1.

Por último, realizaremos el estudio del ciclo que, según se muestra en la figura 5.14, mayores temperaturas promedio alcanza. Observando la figura 5.17 donde se representan tres ciclos A1, podemos comprobar que la tendencia de las altas temperaturas no es un hecho puntual en los tiempos tomados para este ciclo, sino que en los primeros minutos de ciclo, esta aumenta rápidamente hasta mantenerse prácticamente invariable, coincidente con la zona constante de 120 km/h del ciclo, para posteriormente aumentar hasta alcanzar la máxima temperatura concurrente con la máxima velocidad del ensayo. Esta máxima que se alcanza, ronda los 38°C, temperatura que se aleja bastante de la permitida, y por lo tanto, no podemos dar como válida para los ensayos.

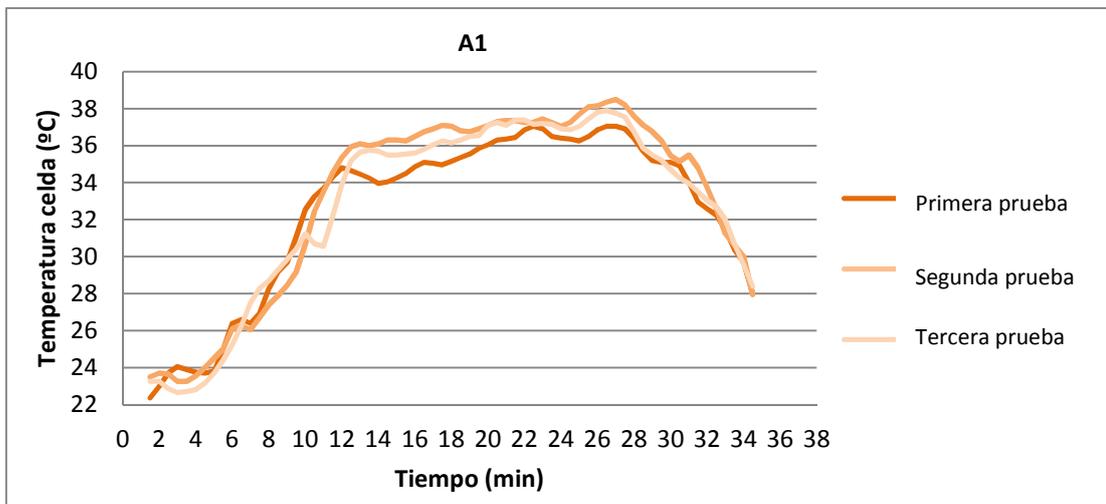


Figura 5.17: Variación de las temperaturas a lo largo del ensayo de un ciclo A1.

- **Ensayo 5.** A la vista de los buenos resultados obtenidos en el último conjunto de ensayos R2, nos planteamos bajar un poco la cantidad de calor que se cede a la sala, y así, ajustar más el promedio de temperaturas al intervalo que necesitamos alcanzar.

En estos nuevos ensayos, cambiamos el tipo de *refrigeración a una refrigeración por agua en ambos casos*, tanto en el intercambiador como en el motor, mientras que los demás parámetros quedan iguales, el caudal de refrigeración y la disposición y aperturas de las toberas que utilizaremos las usadas en la figura 5.13.

Esta tanda de resultados solo consta de 2 ensayos de A1 realizados con la misión de comprobar si existe alguna diferencia entre los ensayos 4 de este mismo tipo, como se puede observar en la figura 5.18.

	Régimen de giro (rpm)	Par (Nm)	T_{ent}^a (°C)	T_{ret}^a (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T_{cel}^a (°C)	T_{ref}^a (°C)	ΔT^a (°C)	Promedio ensayo (°C)
A1	-	-	24,2	25,0	21,5	24,1	22,4	22,0	0,4	2,75
	-	-	12,9	26,4	23,1	26,6	27,1	22,0	5,1	
	-	-	15,7	25,4	22,0	24,2	22,5	22,0	0,5	
	-	-	11,1	27,1	24,4	27,2	27,0	22,0	5,0	

Figura 5.18: Tabla de temperaturas tomadas del ensayo 5.

Comparando los resultados obtenidos con los anteriores de la figura 5.14, vemos que la temperatura se ha conseguido descender desde una media de 7.4°C hasta llegar a los 2.75°C. Ese descenso se ha visto representado en la primera toma de datos realizada a los 4 min, donde la temperatura ha descendido hasta mantenerse aproximadamente en el valor de referencia. Sin embargo, al cabo de los 13 min la diferencia que hay es de 5°C, aunque sin conseguir los resultados anteriores, esta es inferior a los 12°C que existían con anterioridad, haciendo que se reduzca visiblemente.

Continuando con el estudio de estos buenos resultados, comprobaremos como ha seguido la tendencia de los resultados mediante las graficas térmicas de la pluma a lo largo de la duración del ciclo y comparándola con el único caso anterior que tenemos para hacerlo.

Con esta nueva orientación de la refrigeración, la tendencia del ciclo A1 vuelve a resultar parecida, aumenta la temperatura hasta un punto donde se estabiliza, para posteriormente, al cabo de los minutos, aumentar hasta obtener el máximo del proceso. Bajo este cambio, la temperatura máxima que se aprecia en la figura 5.19 desciende hasta rondar los 29 °C, en contraposición de los 38°C que se alcanzaban en el ensayo 4. Esta nueva orientación de las toberas hace que para todo el proceso disminuya el

problema y se ajuste más durante todo el tiempo transcurrido a la opción definitiva.

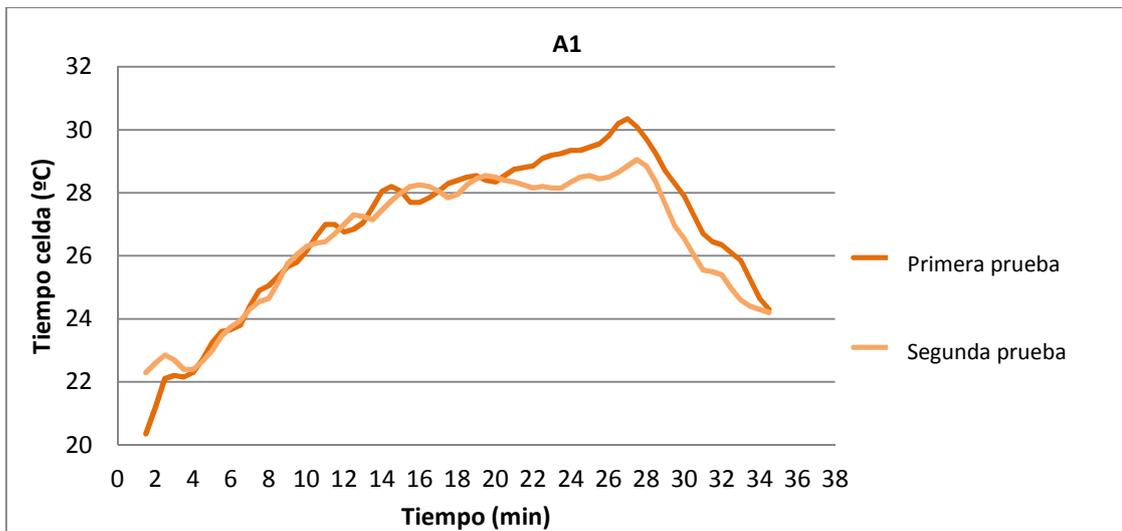


Figura 5.19: Variación de las temperaturas a lo largo del ensayo de un ciclo A1.

- **Ensayo 6.** Con la misma línea que se ha seguido en el anterior estudio, donde hemos conseguido descender tanto la térmica de la sala, seguimos intentando bajarla más para mantenerla en la franja de temperaturas indicadas. Esta modificación que haremos será referente al caudal de salida por las toberas. Modificaremos la apertura de las válvulas logrando que el caudal que dispensa la climatización pase de un 70% del caudal máximo a un 80%. Esta apertura de las válvulas no se podrá hacer en su totalidad, ya que la instalación no se encuentra preparada climatizar todo el aire que circularía, por lo consiguiente, el máximo de caudal que podremos inyectar es el utilizado en este momento.

Bajo este nuevo cambio, realizamos de nuevo un estudio de un ciclo A1 para comprobar las modificaciones que ha traído consigo. Como se puede observar en la figura 5.20, el promedio de los ensayos, para los mismos puntos que antes, ha descendido hasta situarse cerca del intervalo establecido en los estándares. Ahora no solo la temperatura de la primera medida desciende hasta situarse en temperaturas alrededor de la de referencia, sino que la segunda medida consigue estabilizarse solo 2°C por encima de la estimada.

En el caso de los ensayos R1 y R2 realizados bajo este mismo marco de ensayos, se puede comprobar que en relación con los resultados obtenidos en la tanda de ensayos 4 de la figura 5.14, en el cual, las temperaturas sobrepasaban los márgenes establecidos con excesivas temperaturas, ahora si conseguimos mantenerlos entre el intervalo de temperaturas los ensayos R1 y acercarnos a él en el ciclo R2.

	Régimen de giro (rpm)	Par (Nm)	T ^{a_{ent}} (°C)	T ^{a_{ret}} (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T ^{a_{Cel}} (°C)	T ^{a_{ref}} (°C)	ΔT ^a (°C)	Promedio ensayo (°C)
A1	-	-	17,2	25,6	21,3	22,6	22,3	22,0	0,3	1,9
	-	-	17,1	26,2	21,9	24,3	24,0	22,0	2,0	
	-	-	18,4	23,2	20,3	19,2	21,9	22,0	-0,1	
	-	-	10,7	25,5	22,9	26,0	27,4	22,0	5,4	
R1	-	-	17,0	25,6	22,8	21,5	22,7	22,0	0,7	0.70
	-	-	14,5	24,8	21,8	22,6	22,7	22,0	0,7	
R2	-	-	17,0	24,4	20,2	22,3	23,2	22,0	1,2	1.19
	-	-	17,4	25,1	20,8	23,8	24,6	22,0	2,6	

Figura 5.20: Tabla de temperaturas tomadas del ensayo 6.

Con estos buenos resultados, comparamos los ciclos realizados ahora con los anteriores del ensayo 5 mediante graficas. En esta comparación pretendemos comprobar la repercusión que tienen sobre los ciclos el aumento del caudal de la climatización, si este cambio repercute de la manera que se muestra en la figura 5.20.

En la gráfica de la figura 5.21, que representa dos ciclos A1, podemos comprobar que bajo este marco de mejoras, las temperaturas de los ensayos difieren en al menos 1 grado, cuando el ciclo alcanza los 120 km/h, para a continuación, mantener más igualadas las temperaturas al final del ciclo. Esta discrepancia de un ciclo a otro, hace pensar en el porqué de esta diferencia tan grande que con los datos conocidos hasta el momento no podemos conocer. Aún con esta problemática, la temperatura máxima que se alcanza para el modelo más desventajoso es de 28 °C, dos grados menos que para el ensayo anterior en el que estaba rondando los 30°C. Por lo tanto, seguimos aceptando dicho modelo frente al anterior.

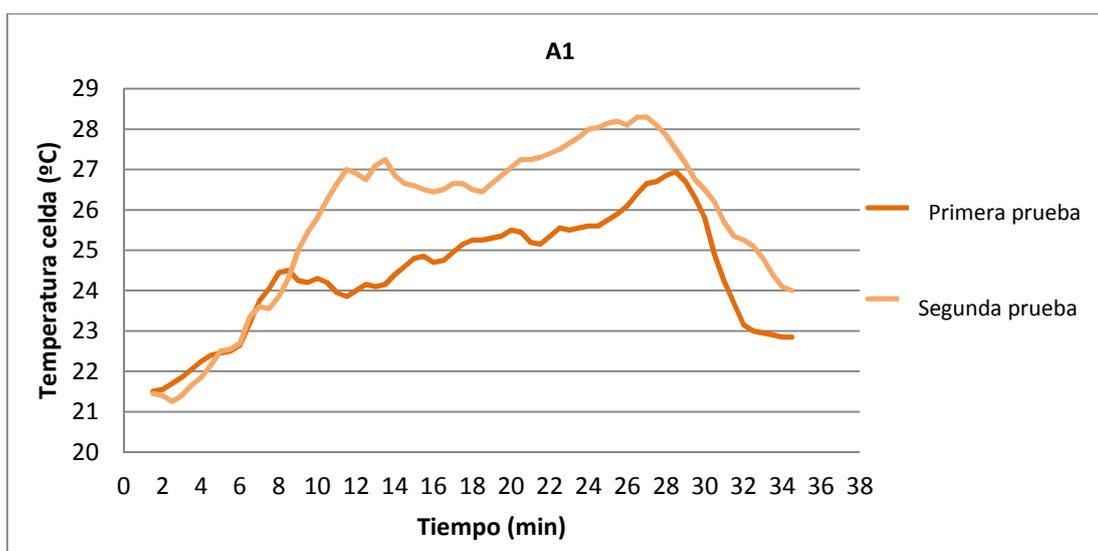
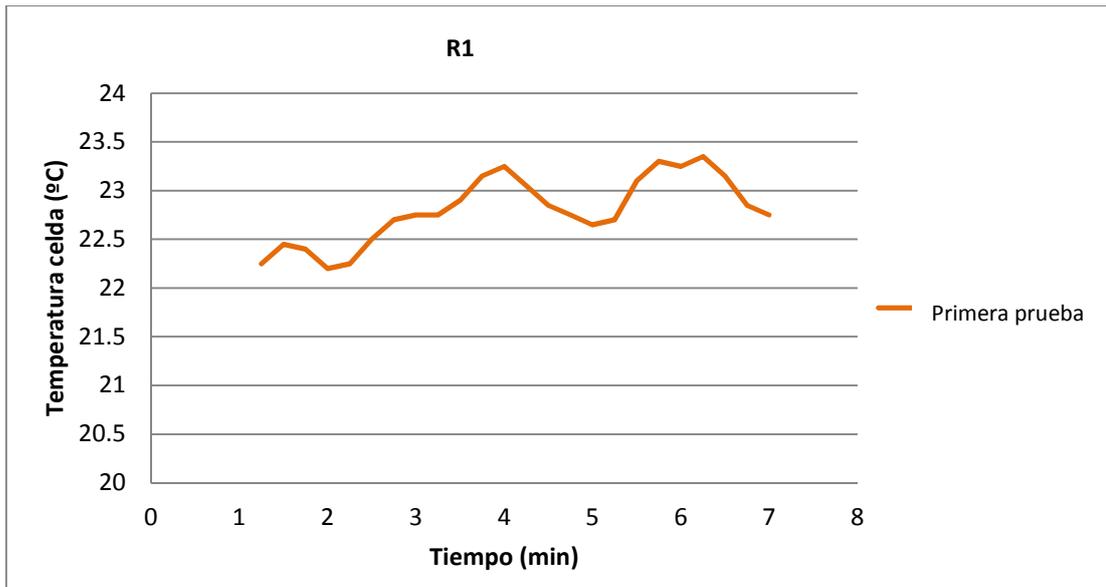


Figura 5.21: Variación de las temperaturas a lo largo del ensayo de un ciclo A1.



Figuras 5.22: Variación de las temperaturas a lo largo del ensayo de un ciclo R1.

El seguimiento del ciclo R1 con respecto al tiempo se puede observar en la figura 5.22. En ella podemos comprobar que aunque algunos puntos se salgan del intervalo establecido como válido, muchos otros puntos sí que se encuentran en él, haciendo que se pueda concretar que es una buena aproximación al modelo que requieren en los estándares, donde todos los puntos se deberían encontrar dentro del intervalo.

Al igual ocurre para el caso del R2, aunque la temperatura no se ajusta en todos los puntos al intervalo obligado, la temperatura máxima que se alcanza ronda los 24.5°C, muy en contraposición de los 28.5°C que se alcanzan en el ensayo 4 en el ciclo R2 más desfavorable.

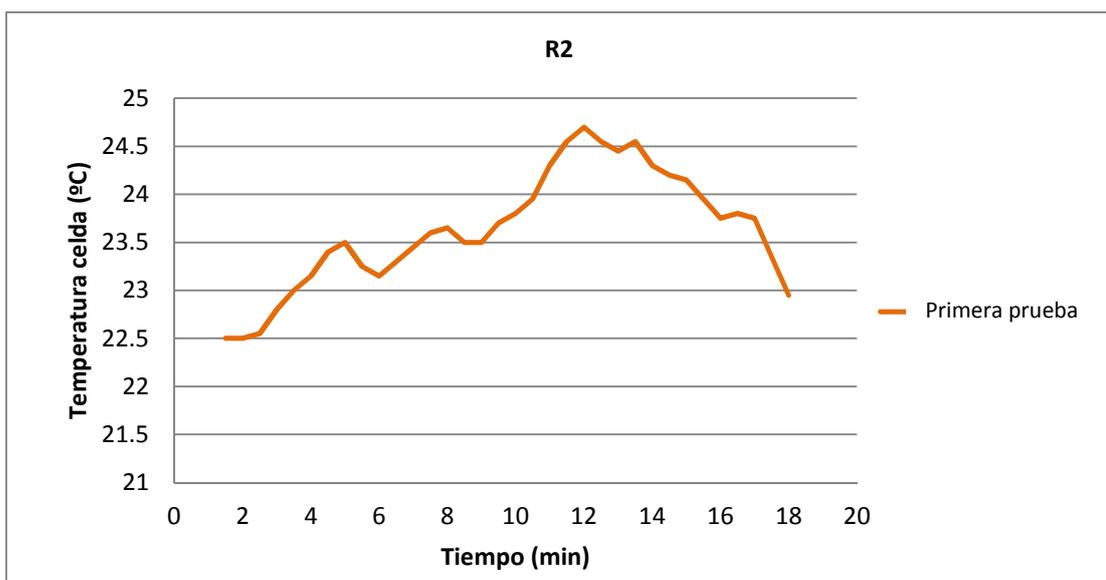


Figura 5.23: Variación de las temperaturas a lo largo del ensayo de un ciclo R2.

Por lo tanto, con los datos obtenidos hasta el momento, podemos decir que esta es la mejor solución para mejorar la climatización de la sala, pero con el impedimento, de la refrigeración del RAS mediante agua. Como este último requisito normalmente en ensayos de ciclos no es permitida, tendremos que intentar buscar una nueva disposición, que al igual que este caso, descienda la temperatura hasta establecerla dentro de los límites de $22\pm 1^{\circ}\text{C}$.

- **Ensayo 7.** Ante los resultados tomados anteriormente, volvemos a la senda de los antiguos ensayos 4 donde la refrigeración del motor se realizaba mediante agua y la del RAS mediante aire. Partiendo de esta situación, realizamos un cambio importante, cambiamos la refrigeración del motor de agua a aire, lo que en un principio conllevará un aumento de la temperatura de la sala significativo. Para lo concerniente a la refrigeración de la sala, utilizaremos la última modificación realizada de este aspecto, el caudal de las toberas es el 80% del caudal total que permite la instalación y la orientación y apertura utilizada también en los últimos ensayos, con 3 toberas de las 11 cerradas.

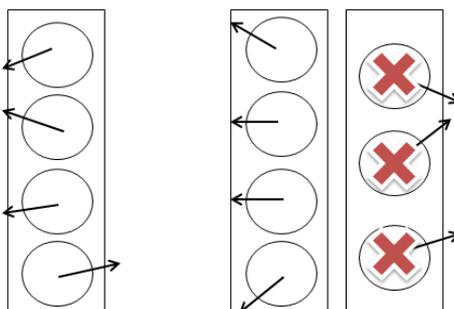


Figura 5.24: Representación de la orientación de las toberas para el ensayo 7.

Comprobando los resultados obtenidos recogidos en la figura 5.25, podemos comprobar cómo en el caso del modo pollution, la temperatura que se alcanza es más elevada que en el caso del ensayo 4, donde la disposición de las toberas era la misma pero el caudal era inferior. Esta diferencia puede ser entendida por varias razones: porque la climatización no funciona correctamente (no se puede dar por válida dicha razón ya que la impulsión y la extracción está funcionando dentro de los parámetros establecidos y las temperaturas de entrada y retorno son correctas) o porque la refrigeración del motor, al ser por aire, hace que aumente la temperatura de la sala como se esperaba desde un principio. A la vista de los datos que tenemos hasta el momento, podemos concluir que ese aumento de la temperatura está dentro de lo que cabría esperar al realizar ese cambio.

Si estudiamos los demás resultados obtenidos y los comparamos con los resultados conseguidos en los anteriores ensayos, observamos como para el

caso del PaP, referenciándolo con el último generado correspondiente al ensayo 3 y recogido en la figura 5.11, la temperatura se eleva en más de dos grados, pasando de tener una temperatura media de 2.2°C, a medir ahora 4.53°C. Este hecho se explica, al igual que para el caso del V2, por el tipo de refrigeración que conlleva el motor. Al igual ocurre en este caso con los ciclos R2, donde se puede ver más acusado el aumento de las temperaturas, debido, además del tipo de refrescamiento, a los altos requerimientos del ensayo.

Este resultado obtenido en estos casos hace que se intente eliminar el enfriamiento del motor mediante aire, ya que conlleva un aumento muy agresivo de la temperatura, a la cual, la climatización de la sala no está preparada, quedando parte de ese calor acumulado en la celda.

	Régimen de giro (rpm)	Par (Nm)	T_{ent}^a (°C)	T_{ret}^a (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T_{Cel}^a (°C)	T_{ref}^a (°C)	ΔT^a (°C)	Promedio ensayo (°C)
Pollution	0	0	14,3	25,8	25,4	22,5	24,7	22,0	2,7	2,7
V2	-	-	13,5	24,3	23,0	22,0	26,0	22,0	4,0	4,75
	-	-	13,2	24,7	23,4	23,0	27,5	22,0	5,5	
R2	-	-	13,5	24,8	23,4	23,5	27,1	22,0	5,1	8,3
	-	-	12,2	26,0	24,6	24,6	34,9	22,0	12,9	
	-	-	12,8	25,5	23,2	24,4	26,6	22,0	4,6	
	-	-	12,5	25,7	24,0	24,0	32,7	22,0	10,7	
	-	-	12,9	25,4	22,9	23,9	27,2	22,0	5,2	
	-	-	13,1	25,9	24,6	24,5	33,3	22,0	11,3	
PaP	-	-	13,8	24,4	22,8	22,1	27,7	22,0	5,7	4,53
	-	-	13,6	24,4	22,9	22,3	28,0	22,0	6,0	
	-	-	11,1	22,6	21,6	20,5	25,6	22,0	3,6	
	-	-	10,8	22,6	21,6	20,9	25,9	22,0	3,9	
	-	-	11,0	22,4	21,3	20,3	25,7	22,0	3,7	
	-	-	11,2	22,6	21,4	20,8	26,3	22,0	4,3	
	-	-	11,5	23,2	22,1	20,8	26,0	22,0	4,0	
	-	-	11,8	23,2	22,2	21,5	26,3	22,0	4,3	
	-	-	11,5	23,1	21,9	21,0	26,6	22,0	4,6	
	-	-	11,2	23,2	22,4	22,4	26,6	22,0	4,6	
-	-	13,6	24,5	23,3	23,0	26,7	22,0	4,7		
-	-	13,2	24,4	23,2	23,0	27,0	22,0	5,0		

Figura 5.25: Tabla de temperaturas tomadas del ensayo 7.

Al igual que para los casos anteriores, intentaremos hacer un pequeño estudio del ciclo R2 experimentado en este apartado, que compararemos con el caso anterior a realizar el cambio de la climatización del RAS con agua, al ensayo 4.

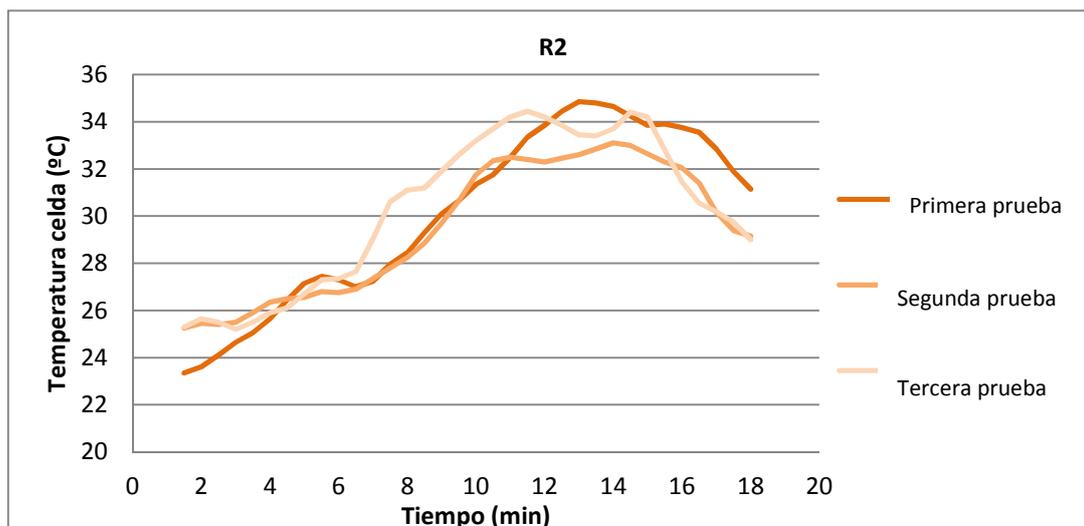


Figura 5.26: Variación de las temperaturas a lo largo del ensayo de un ciclo R2.

Con la vuelta a la configuración anterior, volvemos a ver aumentada la temperatura de los ciclos, sobretudo en el R2, como se puede comprobar en la figura 5.26. En ella se observa que la temperatura máxima que alcanzan estos ciclos es alrededor de los 34°C, muy por encima de los 28.5°C que se alcanzaban en los ensayos anteriores número 4 que se muestran en la figura 5.15. Este aumento del promedio de la sala hace que tengamos que seguir buscando una nueva configuración que se ajuste más a los requerimientos que se nos piden.

- **Ensayo 8.** En este nuevo ensayo volvemos hacia atrás en cuanto a la refrigeración, volvemos a *refrigerar el motor con agua y el RAS con aire*, ya que según se han ido comprobando los distintos resultados, obtenemos los mejores resultados en la celda de ensayo. Para la climatización, seguimos conservando el caudal inyectado, pero las disposiciones y el número de toberas abiertas cambia. Ahora redirigiremos las toberas como se muestra el esquema de la figura 5.27, donde comprobamos que sigue sin variar la orientación de la tobera 1 que refrigera el freno y se ha procedido a cerrar las toberas 2, 7, 8 y 10.

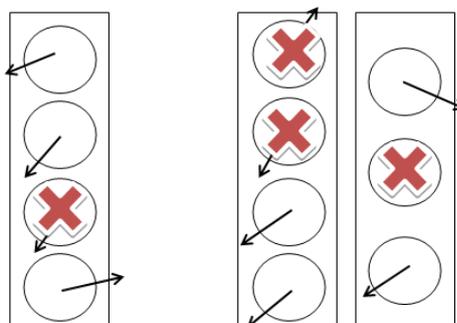


Figura 5.27: Representación de la orientación de las toberas para el ensayo 8.

Con la tabla adjunta presente, figura 5.28, podemos comprobar el resultado de las temperaturas que aparecen en este nuevo conjunto de ensayos. Lo primero que evidenciamos es el promedio cuando el motor esta en modo pollution y observamos que se ajusta al intervalo obligatorio que deben cumplir los ensayos. Como este resultado le encontramos satisfactorio, extendemos el estudio a dos nuevos ensayos de ciclos, a la ejecución de un A1 (con dos pruebas de él) y a un R1 (con otros 2 reconocimientos).

Estudiando los resultados obtenidos, observamos que las temperaturas vuelven a ascender a valores fuera de los límites constituidos, pero comparándolo con los resultados que se tenían antes de cambiar el tipo de refrigeración, ensayos 4, hemos conseguido descender la diferencia de la celda con la de referencia en algunos ciclos. Estas temperaturas pasan de situarse para el A1 de 7.4°C a 3.5°C y para el R1 de 2.1°C a 3°C. Este último caso, en vez de conseguir una disminución del promedio, hemos conseguido elevarlo en unas décimas. Esto puede deberse a una cantidad de calor no evacuada aún en la sala, después de realizar un ciclo anteriormente, a un fallo en la instalación de acondicionamiento o simplemente a otros fenómenos que no se pueden estudiar en nuestro caso. A la vista de los resultados de la figura 5.28, se puede concluir que el caso más probable es el primero, ya que las temperaturas para el primer ensayo no superan los 25°C, en cambio para el segundo sí, llegando casi a rozar los 37°C. Con esto dicho podemos suponer que si se hubiese esperado más tiempo del que se ha esperado, el calor del interior de la sala hubiese sido inferior, y con ello, la temperatura promedio del ensayo.

	Régimen de giro (rpm)	Par (Nm)	T ^a _{ent} (°C)	T ^a _{ret} (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T ^a _{Cel} (°C)	T ^a _{ref} (°C)	ΔT ^a (°C)	Promedio ensayo (°C)
Pollution	0	0	12,4	24,0	19,9	20,4	22,1	22,0	0,1	0,1
A1	-	-	12,3	23,9	18,2	22,2	24,1	22,0	2,1	3,5
	-	-	12,3	25,2	19,6	25,0	26,4	22,0	4,4	
	-	-	12,4	24,0	16,6	19,9	24,6	22,0	2,6	
	-	-	12,6	24,6	19,9	25,2	26,9	22,0	4,9	
R1	-	-	13,7	23,9	17,4	21,3	24,7	22,0	2,7	3,0
	-	-	13,5	24,0	17,5	20,0	24,1	22,0	2,1	
	-	-	13,8	23,8	17,5	20,9	24,6	22,0	2,6	
	-	-	13,8	23,9	17,4	19,9	26,6	22,0	4,6	

Figura 5.28: Tabla de temperaturas tomadas del ensayo 8.

Una vez vistos los problemas que se nos plantean en este momento, realizaremos un estudio del ciclo que hemos ido estudiando hasta el momento, el A1, para comprobar si existe algún cambio entre lo logrado en ocasiones anteriores. En este caso, no realizaremos un estudio del ciclo R1

porque dichos ciclos no se consideren representativos por el aumento de temperaturas que tienen, y que no se les conoce motivo alguno.

En el estudio del ciclo A1 para esta configuración de las toberas se observa que las temperaturas máximas que se alcanzan entre ambos ensayos son distintas, así como el punto donde se encuentra. Mientras que para el primer ensayo la temperatura máxima es aproximadamente de 31.5°C, para el segundo ensayo la superior es de un grado menos que la del primero pero ese máximo se alcanza alrededor del minuto 24 no del 32 como sucede en todos los ensayos hasta el momento del A1, como se puede observar en la figura 5.29. Esta diferencia puede ser debida a algún contratiempo en el motor mientras el ciclo estaba en marcha. Dichos errores, con los datos que disponemos, no podemos asegurarlos de una manera segura pero si ahondamos en los resultados de los ensayos seguramente en el segundo ensayo se ha producido una adversidad.

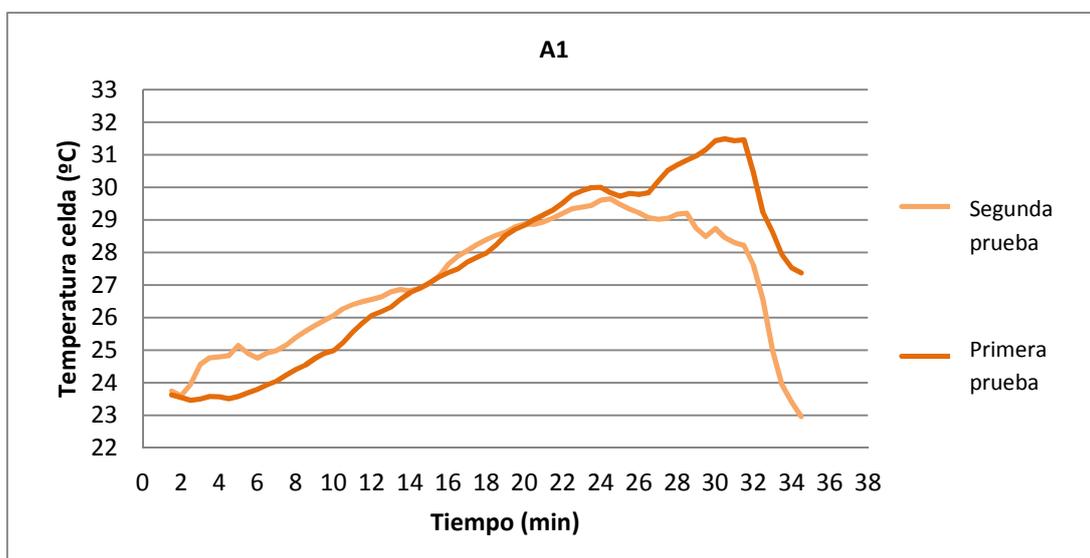


Figura 5.29: Variación de las temperaturas a lo largo de los tres ensayos de un ciclo A1.

Una vez realizadas las pruebas para los ciclos, añadimos unos nuevos modelos de ensayos como son los ensayos DeSOx, basados en los ciclos anteriores con la particularidad que en el minuto 5 se lanza la purga DeSOx, precediendo de un ciclo de envenenamiento del NOx-TRAP mediante las botellas. Este nuevo cambio, hace que en el momento de la purga aumente la temperatura del NOx-TRAP (alrededor de los 700°C) para eliminar la cantidad de azufre sedimentada en él, generando una transferencia adicional de calor con el aire de la sala, que provoca un aumento la temperatura de la misma. Como en los ensayos anteriores los datos de las temperaturas se cogían en el ciclo, ahora aunque tengamos un ensayo a mayores de envenenamiento, los datos se cogerán en el mismo momento, obviando los resultados del primero donde no se

alcanzan altas temperaturas. Este fenómeno se podrá comenzar a estudiar a partir de los resultados que obtenemos a continuación en los ensayos 9 y 10.

- **Ensayo 9.** Como se ha dicho anteriormente, creamos un cambio en el tipo de ensayos, pero no en los parámetros que teníamos hasta el momento. Como se ha realizado este nuevo cambio, queremos cuantificar cuál es la diferencia que provoca en nuestras temperaturas de la sala si seguimos manteniendo una refrigeración del *motor mediante agua y una refrigeración del RAS por aire* y la configuración de las toberas sigue siendo la misma del ensayo 8 vista en la figura 5.27.

En esta nueva tabla, figura 5.30, comenzamos el estudio de las temperaturas de la misma manera que hemos realizado hasta el momento, con el estudio del motor en modo pollution. En este proceso la temperatura que alcanzamos se ajusta al intervalo interpuesto por lo que hasta el momento, dichos ensayos se pueden ir dando por válido.

Durante este grupo de ensayos obtenemos datos de tres tipos distintos de ciclo, todos con una DeSOx incluida: dos ensayos del ciclo A1, uno del R1 y uno del R2. Bajo estos resultados y relacionándolos con los casos anteriores, podemos concluir que las temperaturas suben alrededor de dos grados en el promedio del ensayo con respecto a la misma configuración pero sin la presencia de la purga DeSOx. Para el caso del A1 la temperatura promedio ha pasado de encontrarse de 3.5°C a 5.8°C, mientras que para el R1 de 3°C hasta 4.5°C. En referencia al ciclo R2, no tenemos datos del mismo número de ensayo que para los anteriores casos con el que compararlo, pero, a la vista de los resultados, comprobamos que la temperatura promedio de este ciclo es superior a la obtenida a la A1, situación que hasta el momento no había ocurrido. Estas altas temperaturas pueden deberse a la mala o nula refrigeración existente entre un ensayo y otro, donde el calor se ha quedado concentrado en la sala produciendo un aumento de las temperaturas a lo largo de todo el ensayo.

	Régimen de giro (rpm)	Par (Nm)	T_{ent}^a (°C)	T_{ret}^a (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T_{Cel}^a (°C)	T_{ref}^a (°C)	ΔT^a (°C)	Promedio ensayo (°C)
Pollution	0	0	14,2	25,9	20,2	21,4	22,3	22,0	0,3	0,3
A1 con DeSOx	-	-	15,0	26,9	17,5	21,6	25,8	22,0	3,8	5,8
	-	-	14,8	27,6	19,8	27,3	27,9	22,0	5,9	
	-	-	15,3	26,2	18,6	23,2	27,3	22,0	5,3	
	-	-	15,4	29,3	21,5	29,8	30,1	22,0	8,1	
R1 con DeSOx	-	-	15,9	25,8	18,8	23,2	25,9	22,0	3,9	4,5
	-	-	15,8	26,5	19,1	24,0	27,1	22,0	5,1	
R2 con DeSOx	-	-	15,4	26,7	19,7	25,0	28,2	22,0	6,2	6,6
	-	-	15,7	27,9	20,4	26,9	29,0	22,0	7,0	

Figura 5.30: Tabla de temperaturas tomadas del ensayo 9.

A la vista de las subidas que se han generado, necesitamos realizar un nuevo estudio de los ciclos en el tiempo para conocer cómo afectan dicho cambio a los ensayos. Para ello, nos centraremos en los casos que nos hemos ido trabajando hasta el momento, en el estudio del ciclo A1 y del R2. El ciclo del R1 en este caso tampoco lo realizamos porque pensamos que puede estar influenciado con las altas temperaturas provenientes del ensayo anterior.

En el ciclo A1 representado en la figura 5.31 se puede comprobar la diferencia entre los dos ciclos del mismo tipo. Ambos ciclos, hasta que alcanzan el punto máximo de velocidad, se equidistan alrededor de 1°C a lo largo de todo ese recorrido, para finalizar el ciclo con resultados muy parejos. La temperatura máxima que se alcanza ronda los 31°C , de la misma manera que ocurría en el ensayo anterior. La diferencia, por lo tanto, entre los dos ensayos no es la temperatura máxima ya que esta es la misma, sino que es la manera a la cual se llega, es decir, en este segundo caso la temperatura comienza a ascender antes debido a la entrada de la DeSO_x , mientras que para el otro, la subida es más prolongada en el tiempo y al cabo de más tiempo. Este hecho hace que la temperatura promedio de este ciclo sea mayor, aunque la máxima resulte la misma.

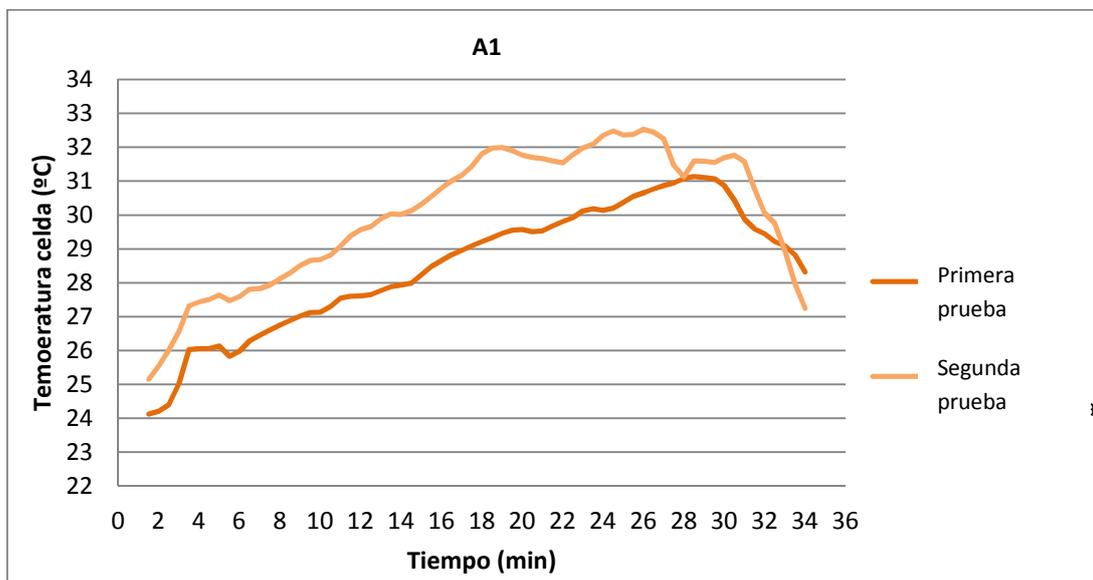


Figura 5.31: Variación de las temperaturas a lo largo de los tres ensayos de un ciclo A1.

Para el estudio del R2, figura 5.32, comprobamos que sigue la misma tendencia que en los casos anteriores, comienza con una subida, hasta llegar a una pequeña estabilización para luego descender, en este caso muy ligeramente. Esta gráfica, por lo tanto, se diferencia de la anterior en el cambio que aparece a partir del minuto 5, momento en el que se lanza la purga, pero a diferencia de lo esperado, la temperatura instantáneamente

no sube en este momento, se mantiene constante en el tiempo hasta llegar al final que es donde se produce la subida esperada. Por consiguiente, la temperatura máxima se encuentra al final de todo el recorrido, llegando a obtenerse un valor alrededor de los 30°C, un dato muy superior a lo pactado en los estándares.

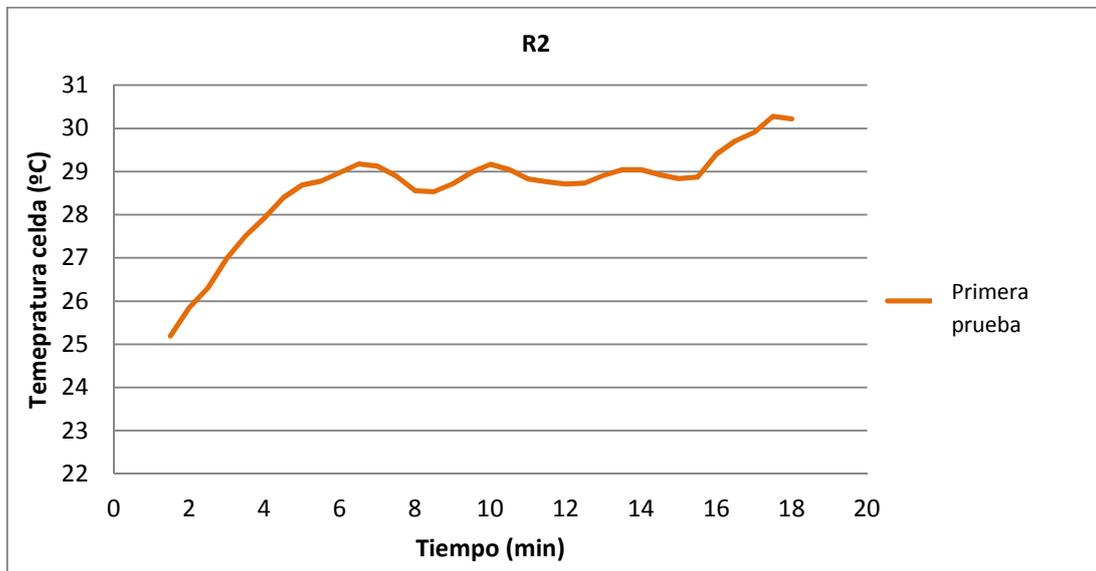


Figura 5.32: Variación de las temperaturas a lo largo de los tres ensayos de un ciclo R2.

- **Ensayo 10.** Para estos últimos ensayos volvemos a cambiar las configuraciones, para comprobar cómo se modifican los valores de las temperaturas para estos tipos de ensayos. Estas modificaciones no se realizan en el ámbito de la refrigeración, ya que se sigue manteniendo una refrigeración del RAS por aire y la del motor mediante agua, si no que las realizamos en el ámbito de la climatización, en la redirección de las toberas y su apertura. Estas toberas las redireccionaremos como se muestra en la figura 5.33 y mantendremos cerradas las toberas 2, 8 y 10, conservando abiertas 8 de las 11 toberas que disponemos.

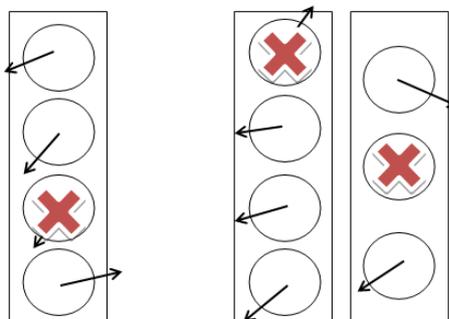


Figura 5.33: Representación de la orientación de las toberas para el ensayo 10.

Con los datos plasmados en la figura 5.34, vemos que al igual que para todos los casos, se empieza con el estudio del motor en modo pollution, donde se observa que la temperatura alcanzada se iguala a la de referencia, dejando a la diferencia entre las dos en cero.

A mayores del estado de pollution, nos encontramos con la realización de 3 tipos distintos de ciclos, todos ellos con purga DeSOx, un R2 (que cuenta con 4 ensayos con resultados), un A1 (con 3 ensayos) y para finalizar contamos con un R1 (con dos ensayos). Comenzaremos comprobando que en este caso ocurre lo mismo que en el anterior con el ciclo R2, las temperaturas promedio que se alcanzan son superiores a las del ciclo con más requerimientos, y por lo tanto, con mayores cesiones de calor hacia el ambiente. Este caso, al repetirse en ambos casos con purgas DeSOx, podemos decir que es común que la temperatura aumente hasta alcanzar mayores valores que para otro ciclo, daremos por lo tanto como válidos los resultados que anteriormente habíamos puesto en cuarentena. En cuanto a los demás ciclos, observamos como en los otros casos la temperatura disminuye de unos ensayos a otros. En el ciclo de A1 pasamos de tener en los últimos ensayos una temperatura de 5,8°C de media en la sala a pasar a tener ahora 4,3°C, grado y medio menos de una configuración a la otra. En el caso del R2 ocurre lo mismo que para este caso pero con un descenso menor, pasamos de tener una temperatura de 6.6°C a una de 5.3, un grado con tres menos.

	Régimen de giro (rpm)	Par (Nm)	T ^a _{ent} (°C)	T ^a _{ret} (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T ^a _{Cel} (°C)	T ^a _{ref} (°C)	ΔT ^a (°C)	Promedio ensayo (°C)
Pollution	0	0	14.3	25.0	19.9	21.8	22.0	22,0	0.0	0.0
R2 con DeSOx	-	-	14.2	24.6	22,3	25,2	27,6	22,0	5,6	5,3
	-	-	14.2	25.1	22,3	25,0	27,2	22,0	5,2	
	-	-	14.3	25.3	21,1	23,4	26,1	22,0	4,1	
	-	-	14.5	25.4	21,2	23,4	26,4	22,0	4,4	
	-	-	13.7	24.6	22,4	25,7	28,0	22,0	6,0	
	-	-	14.1	24.1	22,6	25,7	28,0	22,0	6,0	
	-	-	14.0	24.3	22,1	25,0	27,6	22,0	5,6	
A1 con DeSOx	-	-	14.2	24.8	22,5	25,2	27,4	22,0	5,4	4,3
	-	-	14.6	24.3	19,9	23,0	25,6	22,0	3,6	
	-	-	14.7	24.3	21,3	24,7	27,2	22,0	5,2	
	-	-	13.5	25.1	18,4	21,7	24,2	22,0	2,2	
	-	-	13.8	25.2	19,0	24,6	27,2	22,0	5,2	
R1 con DeSOx	-	-	14.1	25.3	20,7	24,1	26,1	22,0	4,1	4,7
	-	-	14.1	25.0	20,6	24,9	27,5	22,0	5,5	
	-	-	15.3	24.9	22,8	24,8	27,4	22,0	5,4	
	-	-	15.2	24.6	22,4	25,4	27,0	22,0	5,0	
R1 con DeSOx	-	-	15.2	23.8	21,2	25,1	26,8	22,0	4,8	4,7
	-	-	15.1	24.1	21,0	24,9	25,7	22,0	3,7	

Figura 5.34: Tabla de temperaturas tomadas del ensayo 10.

A la vista de los resultados obtenidos en este caso, y al no tener posibilidad de tomar más datos, tomamos dicha configuración la más aproximada al resultado final. Así que con estos resultados obtenidos, solo nos queda realizar las gráficas que ilustran el desarrollo de las temperaturas a lo largo de los ciclos. En este caso, al igual que para el caso anterior, solo realizaremos el estudio de los ciclos A1 y R2 para poder compararlos con los anteriores resultados.

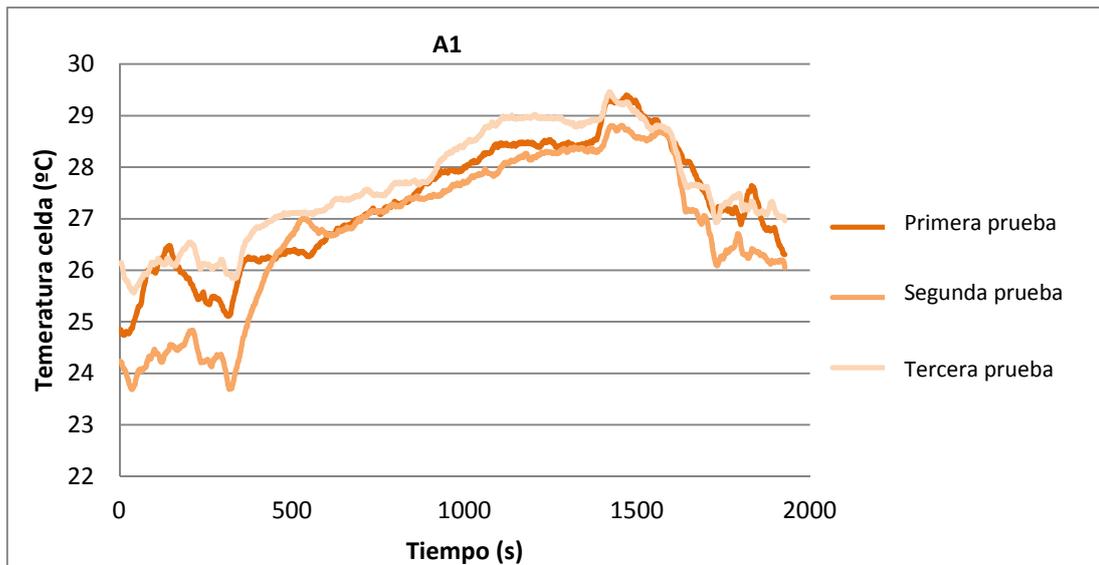


Figura 5.35: Variación de las temperaturas a lo largo de los tres ensayos de un ciclo A1.

La variación de las temperaturas para ambos ensayos, A1 y R2 graficados, figuras 5.35 y 5.36, se desarrollan, a diferencias de las anteriores figuras, en segundos en vez de minutos. Esto es debido a que al ser los últimos ensayos con los que se cuenta en dicho trabajo, y como tomaremos como resultado final el resultado obtenido para este ensayo, necesitamos observar con mejor detalle todos los aspectos que ocurren en él.

Para el ensayo A1, comprobamos que la temperatura al cabo de los primeros 5 minutos asciende drásticamente, momento en el que se lanza la purga y la temperatura aumenta. Ese mismo efecto se puede comprobar para el caso en la gráfica del R2, donde se aprecia un pequeño aumento en ese momento.

Las temperaturas máximas que se alcanzan en el A1 ronda los 29°C, alrededor de 2.5°C menos que en el caso anterior. Esto mismo ocurre para el caso del ciclo R2, donde se ve una clara diferencia entre el primer ensayo y los otros tres, siendo para este primero una temperatura máxima de 27°C, mientras que para los otros la temperatura máxima se alcanza para los 28°C, un grado de diferencia. Pero si lo comparamos con el caso anterior, la

temperatura se encontraba cerca de los 31°C, por lo que hemos conseguido también descender la temperatura máxima para este caso.

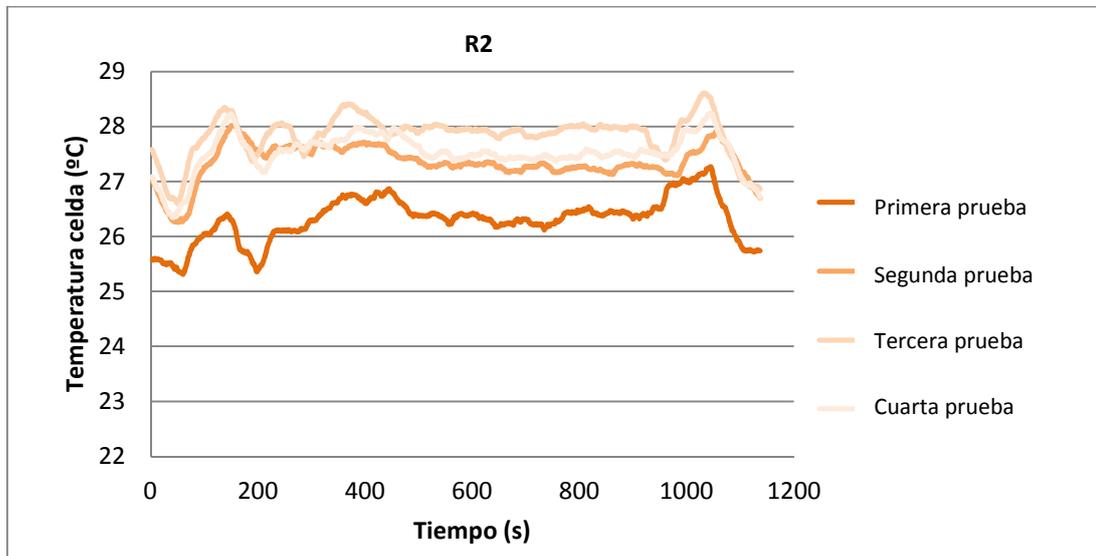


Figura 5.36: Variación de las temperaturas a lo largo de los tres ensayos de un ciclo R2.

6. Conclusiones y líneas de futuro

Llegados a este punto solo nos queda echar la vista atrás y reflexionar sobre todo lo expuesto en este trabajo. Como ha quedado patente, existe un inconveniente a la hora de validar los resultados obtenidos en los distintos tipos ensayos dentro de la normativa impuesta por la Unión Europea. Este inconveniente resulta ser la temperatura que se llega a alcanzar en el interior de la celda de ensayo, haciendo que muchos de los ensayos validados no pudiesen ser distintos si las temperaturas de la sala se encontrasen entre los valores establecidos. Durante este trabajo se ha ido planteando el problema y dando posibles soluciones a todo acontecimiento que iba sucediendo en el interior de la sala.

Una vez ejecutados los ensayos que se me han permitido realizar, y bajo este marco de pruebas que permite la modificación de tres parámetros: el cambio de la refrigeración del motor entre agua y aire, el del RAS y la modificación de la dirección de las toberas de climatización, pudiendo modificar además su apertura o caudal que inyecta, generan una serie de resultados que se han de tratar y estudiar para dar una solución al problema inicial.

Ante lo comentado hasta el momento y a la vista de los resultados obtenidos, una de las configuraciones más viables y certeras para la disminución de la temperatura es la utilizada en los ensayos 6. En este caso, no hemos podido enmarcar todos los valores dentro de los límites que marcan los estándares, pero si, acercarlos lo suficiente como para que se pueda dar como aceptable dicho resultado. La refrigeración de ambos casos, motor y RAS, en este ensayo, se ha realizado de la misma manera, mediante agua. Este hecho hace que se genere un inconveniente bajo este resultado, y es que, no siempre se puede conseguir refrigerar el RAS con agua, sino que solo ocurre en casos puntuales, por lo que dicho modelo de ensayos, no se puede considerar como válido cuando el enfriamiento del RAS necesita hacerse con aire, como se puede ver en los ensayos anteriores.

Como dicho modelo anterior no puede ser extrapolado para todo tipo de ensayos, debemos buscar otro tipo de configuración que nos intente acercar a unos resultados aceptables. Echando la vista hasta los resultados obtenidos, podemos llegar a la conclusión que la proposición de los ensayos número 10 son los que más se ajustan a un resultado válido, no consiguen alcanzar el intervalo impuesto, pero ante todos los resultados obtenidos, son los que más se ajustan a los requerimientos impuestos. En este caso la refrigeración que utilizamos se realiza para el motor mediante agua y para el intercambiador mediante aire, configuración que podemos extrapolar a otros ensayos y salas con buenos resultados.

Con los resultados vistos hasta el momento, hemos podido comprobar que en ningún caso conseguimos realizar un ajuste idóneo a los estándares y aunque se puedan dar por válidos los resultados obtenidos, propondremos las bases para continuar con posibles nuevos estudios para intentar mejorar la térmica de las salas y que no surjan mayores problemas en tiempos futuros.

A la vista de los resultados anteriores y cálculos realizados durante el trabajo, se puede llegar a la conclusión de que el aire de refrigeración que utilizamos para enfriar no es suficiente para conseguir disminuir las altas temperaturas de la celda. Estas temperaturas provienen en gran cantidad de los cuantiosos focos de aire caliente que aparecen en el interior de la sala, y que no podemos conocer el calor que desprenden con exactitud. Para solucionar esos inconvenientes, considero fundamental revisar las baterías de acondicionamiento del aire de entrada para conseguir descender la temperatura del aire, y así obtener más margen de refrigeración del aire de la sala.

Otro de los cambios que se proponen es cambiar el tipo de climatización de los bancos, es decir, si fuese posible cambiar la situación de los conductos de salida del aire de ubicación y situarlas en vertical a lo largo de una pared. Esto genera que el aire que impulsamos por las toberas se reparta más uniformemente y genere un barrido más amplio, pudiendo llegar a puntos donde antes el aire frío no conseguía llegar, zonas interiores del motor que en los casos anteriores no llegaba el aire, y si sucedía, estaba caliente por todos los obstáculos que se encontraba a su camino.

7. Bibliografía

7.1. Libros, artículos y normativa

- [1.1] *Payri F. y Descantes J.M.* Motores de Combustión Interna Alternativos. Ed: Reverté y UPV. Universitat Politècnica de València. 3º reimpresión (2013). Pág 92-122, 272-300.
- [1.2] *Heywood J.B.* Internal Combustion Engine Fundamentals. Ed: McGraw-Hill Book Company. (1988). Pág. 185-186.
- [1.3] *Creus Sole A.* Instrumentacion industrial. Ed: Marcombo, ediciones técnicas. 7º edición. (2005). Pág 281-282.
- [1.4] *Levich.* Teoría del Campo Electromagnético y Teoría de la Relatividad. Volumen 1. Ed : Reverté S.A. (1995). Pág 269-275.
- [1.5] *DGT (Dirección General de Trafico).* Reglamento General de Circulación. Artículo 48: Velocidades máximas en vías fuera de poblado. (Julio 2011). Pág. 34.
- [1.6] *AENOR.* UNE-EN 779:2013. Filtros de aire utilizados en ventilación general para eliminación de partículas. Determinación de las prestaciones de los filtros. (Febrero 2013). Pág. 1.
- [1.7] *CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente).* Lección 3: La estructura dinámica de la atmósfera. Conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación del aire. Circulación Atmosférica. Pag 2.
- [1.8] *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.* Real Decreto. 681/2003. 99/92/CE (ATEX-137). (Junio 2003). Pág. 3-10. Y *The European Parliament and of the Council.* 99/92/CE (ATEX-137). (Diciembre 1999). Pág. 2-7.
- [1.9] *Dean J.A.* Lange´s Handbook of Chemistry. 15ª edition. Ed: Mc Graw Hill. (1998). Pág. 1524.
- [1.10] *Kyte R.* City transport: It´s about moving people, not vehicles. (October 2013). The World Bank.
- [1.11] *González López, J.C.* Estudio técnico de un sistema integral de revisión vehicular y control de contaminación ambiental, para el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda, Provincia Bolívar. Facultad de Ingeniería Automotriz. Quito, Ecuador. (2014).
- [1.12] *PRTR, Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes.* NOx (óxidos de nitrógeno). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. (2007).
- [1.13] *Parlamento Europeo.* Reglamento (CE) nº 459/2012, 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). (Mayo 2012).
- [1.14] *Parlamento Europeo.* Reglamento (CE) nº 715/2007, sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos. (Junio 2007).

- [1.15] *BOE*. Real Decreto 61/2006 por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes. (Enero 2006). Núm. 41, pág. 6342-6357.
 - [1.16] *BOE*. Real Decreto 1700/2003 por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes. (Diciembre 2003). Núm. 307, pág 45961-45971.
 - [1.17] *Parlamento Europeo*. Reglamento (CE) nº 443/2009, por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los turismos nuevos como parte del enfoque integrado de la Comunidad para reducir las emisiones de CO₂ de los vehículos ligeros. (Abril 2009).
 - [1.18] *Johnson T.* Diesel Engine Emissions and their Control. *Platinum Metals rev.* 2008, 52, (1), 23. (2008).
 - [1.19] *Klein, H., Lopp, S., Lox, E. y others.* Hydrocarbon deNO_x catalyst - system development for diesel passenger cars and trucks. *SAE International* 1999-01-0109. (1991).
 - [1.20] *Incropera F.P. y DeWitt D.P.* Fundamentos de transmisión de calor. Ed: Pearson, Prentice hall. Cuarta edición (1999). Pag 100-133.
-

- **Anexo A:**

- [A.1.1] *White F.M.* Fluid Mechanics. 6ª edition. Ed: Mc Graw Hill. (1979).
 - [A.1.2] *Crespo Martínez A.* Mecánica de Fluidos. Ed: Thomsom. (2006). Pág 134-197, 158-197 y 333-373.
 - [A.1.3] *Moran M.J. y Shapiro H.N.* Fundamentals of Engineering Thermodynamics . First volume. Ed: Reverté, S.A. (1988). Pág. 31-77.
-

- **Anexo B:**

- [B.1] *S.A.E. International (Society of Automotive Engineers)*. SAE-J153 - Operator Precautions. (Octubre 2013).

7.2. Manuales, notas técnicas y apuntes

- [2.1] *Renault*. Fonctionnement du banc moteur MODULE 2.3 (2013). Pag 1-150.
- [2.2] *AVL. Renault*, procedimiento de utilización PU.965.BE315.V2/2011. (Septiembre, 2011). Pág. 10-28.
- [2.3] *AVL*. Manual del usuario ACS 800 F, Equipo acondicionamiento del aire de admisión PU-965.BE023/V1. (2006). Pág. 4-8.
- [2.4] *Renault*. Conditions d'essais standards. Bancs moteur MAP ENERG Diesel et Essence. (Noviembre 2013). Pág. 6-15.
- [2.5] *Melgar Bachiller, A.* Apuntes de Maquinas Hidráulicas y Térmicas. Tema 2: Motores de Combustión Interna Alternativos. Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecanica. Grado Ingeniería Mecánica. Universidad de Valladolid. (Curso 2013-2014).
- [2.6] *Fernández Fernández, J.* Información sobre el estado de los diferentes CM. (2005). Pág. 2-7.

- [2.7] *Renault*. Gama de trabajo. Carro motor COP. UET Mantenimiento 965-SMEV. (2014). Pág. 1-4.
- [2.8] *Renault España*. Pliego de condiciones. Puesta a nivel carro motor MAP_Mecánica. (2006). Pág. 2-14.
- [2.9] AVL. Commands for AVL KMA 4000. Operations instructions. (2006). Pág. 3.
- [2.10] AVL. Fuel measurement system. Fuel consumption measurement. (2009). Pág. 1-3.
- [2.11] AVL. User manual. AVL boostblower series. (Marzo, 2013). Pág. 3-21.
- [2.12] TCA, *Renault*. Manual de instrucciones Analizadores de gases Horiba Meza 7100DEGR. (Septiembre 2012). Pág. 6-24.
- [2.13] *Analyced-Und messtechnik GMBH*. Process Mass Spectrometer. Online process Gas Analysis (abril 2010). Pág. 1-2.
- [2.14] *Ruiz Aguado, D*. Espectrómetro de masas. Formación. (Febrero 2014). Pág. 4-7.
- [2.15] *Renault*. Spectromètre de masse. Utilisation du spectromètre de masse. (Agosto 2008). Pág. 5-8.
- [2.16] *Gomis Yagües V*. Apuntes de Técnicas Instrumentales en el Análisis Industrial. Tema 5: Espectrómetro de masas. Departamento Ingeniería Química. Grado en Ingeniería Química. Universidad de Alicante. (Curso 2008-2009).
- [2.17] *Daviau R., Baudu N. y Otros*. Charior d'empoisonnement soufre pour essais NOxTrap. (Enero 2012). Pág. 3-8.
- [2.18] *Carbueros Metálicos S.A*. Pilotado carretilla envenenamiento azufre. Pilotado y fabricación carros para Bancos Motor. (Agosto 2010). Pág. 3-9.
- [2.19] *Herráez Sánchez M*. Apuntes de Vibraciones Mecánicas. Tema 5 : Control del ruido y vibraciones en la industria. Departamento de CMelM. Universidad de Valladolid. (Curso 2013-2014).
- [2.20] *AVL Iberia S.A*. Manual de climatización de los nuevos bancos. (Noviembre 2004). Pág 3-10.
- [2.21] *Renault*. Esquema y parámetros de climatización: BE312, BE313, BE314, BE315 y BE316. UET-Mantenimiento M.E. (Noviembre 2004). Pág. 1.
- [2.22] *Renault*. Banco ensayo 316: Sistema de ventilación. Características generales CG.xxx.BE316. (Mayo 2002). Pág. 1-10.
- [2.23] *Podar Cristea. S*. Apuntes de Fundamentos de Automática. Tema 4: Definición y objetivos de control. Controladores PID. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Grado en Ingeniería Mecánica. Universidad de Valladolid. (curso 2012-2013).
- [2.24] *Comefri*. List of Radials Fans. Double inlet. Fordward and backward curve. Cat. C-0024 (April 2008). Pág. 2-10.
- [2.25] *Koolair S.A*. Catálogo seria DLA. (2014-2015). Pag 14.27.
- [2.26] *Tran Vu M. y Pajares Velasco, A*. Banc faible dynamique (BFD). Formación banco baja dinámica. Parte 1. (Febrero 2013). Pág. 9-20.
- [2.27] *Renault*. Cycles Primaires Pour Carafap V1, V2, R1, R2, A1. Normalisation Renault Automobiles DMI / service 65810. (Enero 2008). Pág. 4-28.
- [2.28] *Renault*. Cycles PAP (Porte A Porte) SUR BRAP (banc à rouleaux auto-pilote). Normalisation Renault Automobiles DMI / service 65810. (Febrero 2008). Pág. 4-13.

- [2.29] *Renault*. Contrôle et MAP du Post-traitement Diesel. Présentation Générale NOx-Trap au RTS. (Diciembre 2014).
- [2.30] *Renault*. Formation aux méthodes d'essai NOx Trap. (Junio 2012).
- [2.31] *Peugeot*. El Filtro Anti Partículas (FAP), la revolución ecológica. (Septiembre 2013).
- [2.32] *Tran Vu M y Rabillier A*. Formación motor K9K Gen6 – Euro 6 NOX-Trap. Resultados campaña X95 K9K618, 20/05/2013 – 09/07/2013 – Banco BE162. (Abril 2013).
- [2.33] *Charbeau A*. Guide chapeau « NOx Trap ». Document global définissant toutes les étapes nécessaires à la réalisation et au déploiement des essais liés au NOx Trap (NT) au banc d'essai. Banc moteur équipé de PUMA OPEN. (Abril 2013).
- [2.34] *Arian, Control & instrumentación*. Aplicaciones de termocuplas. (Octubre 2011). Pág. 1-2.
- [2.35] *Valero Garcia. F.J. y Solana Ampoy D*. Sistema de Refrigeración en los Vehículos Actuales. (Enero 2015). PAG 451-463.
- [2.36] *Morales Blancas E. F*. Tablas de Ingeniería de Servicios (ITCL286). Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL). Universidad Austral de Chile.
- [2.37] *Velasco Gómez E*. Apuntes de ingeniería térmica. Lección 4: Conceptos de intercambiadores, temas 1, 2 y 3. Departamento Ingeniería Energética y Fluidomecánica. Grado en Ingeniería Mecánica. Universidad de Valladolid. (Curso 2013-2014).

- **Anexo A :**

- [A.2.1] *Castro Ruiz F*. Apuntes de Mecánica de fluidos. Temas 4, 5 y 6: Ecuaciones generales de la fluidomecánica. Departamento Ingeniería Energética y Fluidomecánica. Licenciatura de Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid. (Curso 2011-2012).
- [A.2.2] *Méndez Bueno C. y Sierra Pallares J.B*. Apuntes de Mecánica de Fluidos II. Tema 13: Movimiento estacionario casi-unidimensionales de gases ideales en conductos. Departamento Ingeniería Energética y Fluidomecánica. Grado en Ingeniería Mecánica. Universidad de Valladolid. (Curso 2012-2013).
- [A.2.3] *Merino F*. Apuntes Física III. Tema 1: Electrostatica en el vacío. Departamento Física Aplicada. Licenciatura en Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid. (Curso 2009-2010).
- [A.2.4] *Segovia Puras J.J*. Apuntes de Termodinámica Técnica y Transmisión del Calor. Tema 1: Primer principio de la termodinámica. Departamento Ingeniería Energética y Fluidomecánica. Grado en Ingeniería Mecánica. Universidad de Valladolid. (Curso 2012-2013).

7.3. Páginas webs y blogs citados

- [3.1] <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/bancomot.htm> (Febrero 2015).
- [3.2] <http://www.avl.com>. (Febrero 2015).
- [3.3] <http://www.julabo.com/es/productos/termostatos-de-circulacion>. (Febrero 2015).

- [3.4] *Blog : Aficionados a la Mecánica por Meganeboy D.* Cursos de Mecánica. (2014).
 - Órganos auxiliares del motor. Refrigeración del motor.
 - Gases de Escape y Sistemas Anticontaminación. EGR – válvula de recirculación de los gases de escape
- [3.5] Blog: Lluvia ácida: causas y efectos. Cátedra UNESCO sobre desarrollo sostenible y Educación Ambiental de la UPV/EHU. Universidad de País Vasco. (2012).
- [3.6] Blog: El catalizador: que es y cómo saber si está fallando este dispositivo. RODES, red operativa de desguaces españoles. (Julio 2014).
- [3.7] <http://www.directindustry.es/prod/scaime/product-6999-495162.html> (Junio 2015).
- [3.8] Blog: Sistema de refrigeración del motor. *Aficionados a la Mecánica por Meganeboy D.* (Mayo 2014).
- [3.9] <http://curso-mecanica-motos.f1cf.com.br/es/motorcycle-10-por-la-pertenencia-de-las-aletas-del-motor.html>. (Julio 2015).

7.4. Páginas webs complementarias

- <http://www.edibon.com/products/catalogues/es/units/thermodynamicsthermotechnics/enginestestbenches/TBMC12.pdf>. (Febrero 2015).
- <http://riunet.upv.es/handle/10251/7604>. (Febrero 2015).
- <http://politube.upv.es/play.php?vid=3672>. (Febrero 2015).
- <http://www.dicyt.com/noticias/la-factoria-de-motores-renault-incorpora-10-bancos-de-pruebas-con-mejoras-tecnologicas>. (Marzo 2015).
- <https://www.pilz.com/es-ES/eshop/00010000207002/PNOZ-X-safety-relays>. (Abril 2015).
- <http://www.staubli.com/es/connectors>. (Abril 2015).
- <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/bancomot.htm>. (Abril 2015).
- <http://idm-instrumentos.es/escaner-de-baja-f-e-m>. (Junio 2015).
- <http://www.aficionadosalamecanica.net/cursos-de-mecanica-2/>. (Julio 2015).
- <http://www.esis.jrc.ec.europa.eu/index.php?PGM=ein>. (Julio 2015).

Anexo A: Cálculo de las expresiones para el bloqueo de las toberas.

Como hemos explicado anteriormente, la salida del aire de impulsión hacia la sala de ensayos se realiza mediante 11 toberas convergentes o difusores esféricos situados en tres hileras distintas colocadas en la zona superior de la sala de ensayo. Los conductos que dan lugar a las salidas no se les conocen una geometría exacta, por lo que supondremos para los posteriores cálculos y explicaciones, que poseerán unas geometrías variables a lo largo de su recorrido, como por ejemplo los representados en la figura A.1, donde tenemos variaciones lineales o de cualquier otra disposición aleatoria, donde el área no será constante, $A(\ell) \neq \text{cte}$.

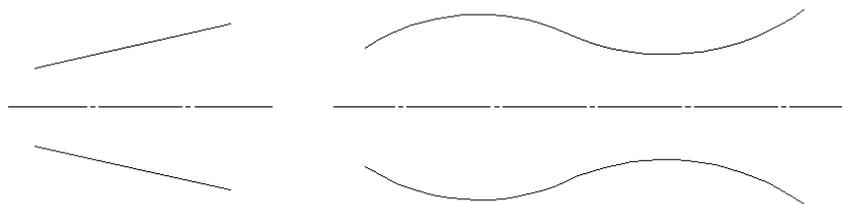


Figura A.1. Sección de toberas de sección variable. Izq.: sección de variación lineal. Dcha.: sección de variación arbitraria.

A dichos conductos anteriores, le aplicaremos las ecuaciones de la mecánica de fluidos, es decir, utilizaremos la ecuación de la conservación de la masa o de continuidad, la ecuación de la conservación de la cantidad de movimiento y la ecuación de la conservación de la energía, aplicándolas para un volumen de control (VC), o lo que es lo mismo, un volumen arbitrario que engloba la zona de estudio que elegimos, a la cual, aplicamos las ecuaciones, y que sea significativa del problema que se necesita estudiar. Dicho volumen de control puede ser fijo o móvil, deformable o indeformable. En el que nos incumbe para nuestro problema, de obtener una ecuación, a partir de la cual podemos llegar a sacar conclusiones en nuestro verdadero problema, le tomaremos fijo e indeformable, para facilitar posteriormente los cálculos, como se puede comprobar en la figura A.2. Además, el estudio mediante las ecuaciones de la mecánica traerá consigo el estudio de diferentes variables, que de la misma manera como el área, son variables que cambiarán su valor a lo largo de la longitud, por no mantenerse esta constante, como son: la velocidad ($v(\ell)$), densidad del aire ($\rho(\ell)$), las presiones que se generan ($P(\ell)$) y las temperaturas ($T(\ell)$).

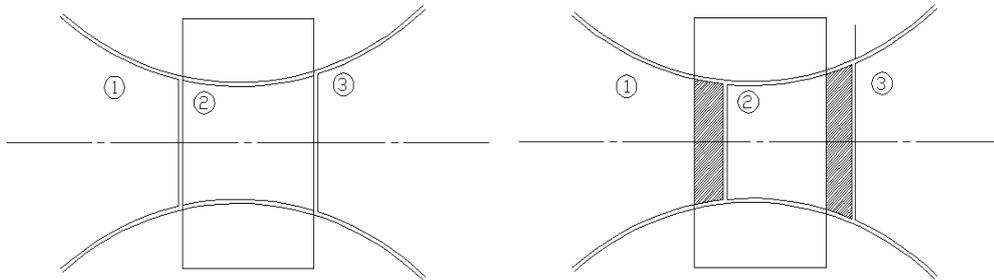


Figura A.2. Tubería o conducto arbitrario con un volumen de control y tres sistemas a través de él. Izq.: el sistema 2 ocupa el VC en el tiempo t . Dcha.: el VC está compuesto por el sistema 1 y 2 al cabo de un cierto tiempo $t+dt$.

Para comenzar con el estudio de dichas ecuaciones, primero empezaremos partiendo del estudio de la ecuación de Reynolds, donde deberemos convertir el análisis de un sistema en el análisis de un volumen de control, es decir, partiendo del problema inicial que poseemos, deberemos poder elegir un volumen característico del problema, al cual, le podremos aplicar las anteriores ecuaciones citadas. Esta conversión la conseguiremos mediante el llamado teorema del transporte de Reynolds. [4.1.1].

Para explicar dicho teorema tomaremos B como una propiedad cualquiera del fluido (energía, cantidad de movimiento, etc.) y como β a la propiedad intensiva o cantidad de B por unidad de masa de una pequeña porción de fluido, donde $\beta = dB/dm$. Con lo dicho hasta el momento y expresándolo bajo el anterior VC citado y mostrado en la figura A.2, la cantidad total de B en el volumen de control viene dada por las ecuaciones [Ec. A.1] y [Ec. A.2], donde el término ρdV es la masa de un diferencial de fluido arbitrario.

$$B_{VC} = \int_{VC} \beta \rho dV \quad [\text{Ec. A.1}]$$

$$\beta = \frac{dB}{dm} \quad [\text{Ec. A.2}]$$

Derivando con respecto al tiempo la anterior ecuación, [Ec. A.1], tomando como referencia el VC, y teniendo en cuenta el volumen que ha entrado y ha salido de en ese espacio de tiempo, reagrupamos los términos obtenidos de dicha derivada y obtenemos una relación de cualquier propiedad de B con lo que ocurre en el volumen de control fijo e inmóvil establecido con anterioridad que encierra al sistema, [Ec. A.3]. En dicha ecuación podemos distinguir tres términos: el primero que representa la variación temporal de B dentro del volumen de control, el segundo, el flujo de B hacia el exterior a través de la superficie de control y el tercero, el flujo de B hacia el interior a través de la superficie de control. [A.1.1].

$$\frac{d}{dt}(B_{sist}) = \frac{d}{dt} \left(\int_{VC} \beta \rho dV \right) + (\beta \rho Av)_{sal} - (\beta \rho Av)_{ent} \quad [\text{Ec. A.3}]$$

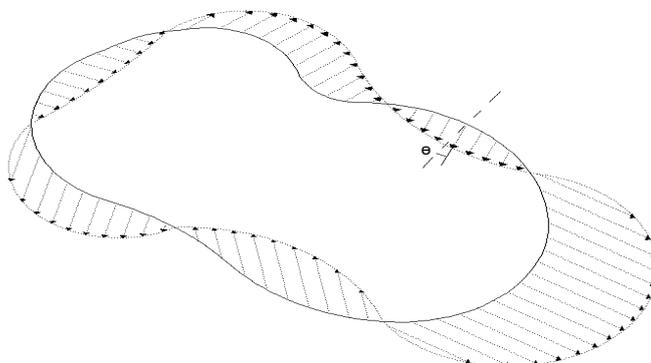


Imagen A.3. Generación de flujo en dirección arbitraria bajo un volumen de control cualquiera formando con la normal a la superficie un ángulo θ .

Como hemos tomado un volumen de control fijo con una configuración arbitraria, no conocemos lo que ocurre en las entradas y salidas de él, donde encontramos el problema más grande a la hora de realizar los cálculos. Por lo tanto cada elemento diferencial de área, dA , relacionado con ello tendrá una velocidad distinta, V , y un ángulo θ , también distinto con el vector local normal a dA con respecto a la superficie del volumen de control, SC , como en la figura A.3. Así por lo tanto, ciertas entradas tendrán flujos volumétricos de entrada $(VA \cos \theta)_{ent}$ y al igual ocurrirá a la salida, $(VA \cos \theta)_{sal}$. Como partes de la superficie puede corresponder a líneas de corriente, donde $\theta = 90^\circ$, o a paredes solidas, $V=0$, dichos términos no aparecerán en la ecuación con lo que nos resultará la ecuación [Ec. A.4] referida toda ella al volumen y la superficie tomada de control. [A.1.1].

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(B_{sist}) = & \frac{d}{dt} \iiint_{VC} \beta \rho dV + \\ & + \iint_{SC} (\beta \rho v \cos \theta dS)_{sal} - \iint_{SC} (\beta \rho v \cos \theta dS)_{ent} \end{aligned} \quad [\text{Ec. A.4}]$$

Esta expresión anterior, es la denominada teorema del transporte de Reynolds para un volumen de control fijo y arbitrario y expresa el resultado de que la derivada temporal de un sistema es igual a la variación dentro del volumen de control más el flujo de salida a través de la superficie de control menos el flujo de entrada.. Agrupando los términos y representándolo más compacto obtenemos la ecuación [Ec. A.5], que será de la que partiremos para las siguientes ecuaciones. [A.2.1].

$$\frac{d}{dt}(B_{sis}) = \frac{d}{dt} \iiint_{VC} \beta \rho dV + \iint_{SC} \beta \rho (\vec{v} \cdot \vec{n}) dS \quad [\text{Ec. A.5}]$$

- **Ecuación de conservación de la masa o de continuidad:** con esta ecuación pretendemos expresar la no variación de la masa de un volumen con el paso del tiempo. Ello nos lleva a que necesitamos tomar significado de B, e este caso, como valores referidos a la masa, B = m. Esto nos lleva a aplicar la ecuación [Ec. A.2] resultando la ecuación [Ec. A.6]. Dicho resultado le combinamos con la ecuación [Ec. A.5] para obtener la ecuación de conservación de la masa [Ec. A.7].

$$B_{sis} = m \rightarrow \beta = \frac{dB}{dm} = 1 \quad [\text{Ec. A.6}]$$

$$\frac{d}{dt}(B_{sis}) = 0 = \frac{d}{dt} \iiint_{VC} \rho dV + \iint_{SC} \rho (\vec{v} \cdot \vec{n}) dS \quad [\text{Ec. A.7}]$$

Si el flujo es estacionario, es decir, el proceso no depende del tiempo, $d/dt = 0$, como ocurre en nuestro caso, y además nuestro VC es fijo e indeformable, el volumen conteniente en nuestro volumen de control es constante y por lo tanto siempre el mismo. Esto hace que el primer término de la ecuación se anule quedando solo como relevante lo que ocurre en la superficie de control.

$$\iint_{SC} \rho (\vec{v} \cdot \vec{n}) dS = 0 \quad [\text{Ec. A.8}]$$

Aplicando la ecuación [Ec. A.8] para el volumen de control representado en la figura A.2, donde dicha superficie, como podemos observar, tendrá una entrada y una salida de fluido a través de él. Si además suponemos que esa entrada y salida corresponde con flujos unidimensionales, la expresión que se obtiene es la mostrada en [Ec. A.9], donde denotaremos e para referirnos a la entrada y s para la salida.

$$\sum(\rho Av)_{ent} = \sum(\rho Av)_{sal} \rightarrow \rho_e A_e v_e = \rho_s A_s v_s \quad [\text{Ec. A.9}]$$

La cantidad ρAv se denomina flujo másico o gasto másico que pasa a través de la sección del volumen de control y tiene unidades de kilogramo por segundo, kg/s. así la ecuación anterior puede quedar escrita como indica la ecuación [Ec. A.10]. Pero como hemos comentado anteriormente, para generalizar sabemos que las propiedades dependerán de la posición en la que se tomen debido a que variarán dependiendo de la posición a la cual se midan, por lo tanto, generalizando llegamos a la siguiente expresión. [A.1.2].

$$G_e = G_s \rightarrow G = cte \rightarrow \boxed{G = cte = \rho(\ell)A(\ell)v(\ell)} \quad [\text{Ec. A.10}]$$

- **Ecuación de conservación de la energía interna:** con esta nueva ecuación conseguiremos estudiar la variación de la energía total de un volumen fluido o sistema material es igual al trabajo por unidad de tiempo de las fuerzas exteriores que actúan sobre el volumen fluido, más el calor recibido del exterior por unidad de tiempo. El estudio de energía que se intercambia con un sistema lo estudiaremos mediante el primer principio de la termodinámica, [Ec. A.11], que expresa que la variación de energía interna de un sistema se debe al trabajo que realizan las fuerzas exteriores sobre el mismo y al calor añadido al mismo, tal como observamos en la figura [A.4]. [1.8]. Tomaremos como valores positivos aquellos que entran en el sistema y como negativos a los que salen de él.

$$\Delta E = \Delta W + \Delta Q \quad [\text{Ec. A.11}]$$

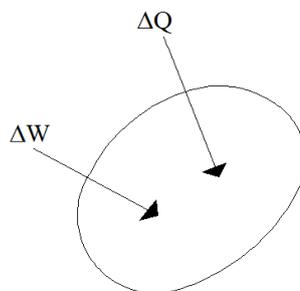


Figura A.4: el trabajo, ΔW , y el calor, ΔQ , añadidos a un sistema arbitrario, representados en sentidos positivos.

A través de la expresión [Ec A.11] y tomando una partícula fluida, es decir, una partícula que recorre el sistema en su interior a través del volumen de control, llegamos a obtener la ecuación [Ec. A.12], la cual, tendrá 3 términos diferenciados: el primero representará la energía de la partícula, energía interna y energía mecánica, el segundo, la variación de trabajo, o potencia, de la partícula fluida, diferenciando entre trabajo de superficie y másico, y el tercero, la variación de calor por conducción térmica, por radiación y por transmisión por reacción química.

$$\begin{aligned} & \Delta t \left[\iiint_{VC} \rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) dV \right] = \\ & = \Delta t \left[\iint_{SC} (\bar{n} \bar{\zeta}) \bar{v} dS + \iiint_{VC} \bar{v} \rho \bar{f}_m dV \right] \quad [\text{Ec A.12}] \\ & + \Delta t \left[\iint_{SC} -\bar{q} \bar{n} dS + \iiint_{VC} (\dot{Q}_r + \dot{Q}_q) dV \right] \end{aligned}$$

Normalmente usaremos fluidos de una sola composición, por lo tanto, no podrá aparecer ninguna reacción química entre ellos, por lo consiguiente, el término de la variación por transmisión química no debería existir y la variación en el tiempo la haremos tender hacia cero para, poder estudiarlo en un determinado momento. Reorganizando la anterior expresión [Ec A.12], y aplicando el teorema del transporte de Reynolds para tener la misma composición que las anteriores ecuaciones, obtenemos la llamada ecuación de la energía en forma diferencial que se muestra a continuación en [Ec. A.13]. [A.2.2].

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left[\iiint_{VC} \rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) dV \right] + \iint_{SC} \rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) (\bar{v} \bar{n}) dS = \\ = \iint_{SC} (\bar{n} \bar{\zeta}) \bar{v} dS + \iiint_{VC} \bar{v} \rho \bar{f}_m dV \\ - \iint_{SC} \bar{q} \bar{n} dS + \iiint_{VC} (\dot{Q}_r + \dot{Q}_q) dV \end{aligned} \quad [\text{Ec A.13}]$$

La ecuación a la que necesitamos llegar deberá estar expresada en forma diferencial, no integral como la obtenida en la expresión anterior, [Ec. A.13], además de ser necesario para obtener los resultados deseados que esté relacionada con la entropía. Para llegar a obtener dichos resultados, necesitamos continuar con el proceso de transformación de la ecuación obtenida. A dicha expresión le aplicaremos el teorema de Gauss, [A.2.3], relacionando el flujo de un campo vectorial a través de una superficie cerrada con la integral de su divergencia en el volumen delimitado por dicha superficie, transformando las integrales de superficie en integrales de volumen, expresión [Ec. A.14].

$$\begin{aligned} \iiint_{VC} \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) \right] dV + \iint_{VC} \text{div} \left[\rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) \bar{v} \right] dV = \\ = \iiint_{VC} \text{div} [(\bar{n} \bar{\zeta}) \bar{v}] dV + \iiint_{VC} \bar{v} \rho \bar{f}_m dV \\ - \iiint_{VC} \text{div} \bar{q} dV + \iiint_{VC} (\dot{Q}_r + \dot{Q}_q) dV \end{aligned} \quad [\text{Ec A.14}]$$

En principio el volumen escogido, V, puede ser cualquiera que satisfaga la expresión [Ec. A.14], así el integrando de V debe de ser cero, es decir necesitamos un volumen suficientemente pequeño para que cumpla la anterior expresión y decir que no varían las propiedades a los largo del volumen de control, pero que $\delta V \neq 0$. Con estas indicaciones y agrupando los términos obtenemos la ecuación de la energía en forma diferencial, [Ec. A.15]. Esta ecuación se podría dividir en dos partes los

términos situados a la izquierda y los situados a la derecha. Desarrollando los primeros, la parcial con respecto al tiempo y la divergencia, y aplicando la ecuación de la masa conseguimos simplificar los términos, expresión [Ec. A.16], y obtener una ecuación más compacta.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) \right] + \text{div} \left[\rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) \bar{v} \right] &= \\ &= \text{div}[\bar{\zeta} \bar{v}] + \bar{v} \rho \bar{f}_m - \text{div} \bar{q} + \dot{Q}_r + \dot{Q}_q \end{aligned} \quad [\text{Ec. A.15}]$$

$$\rho \frac{D(e + \frac{v^2}{2})}{Dt} = \text{div}[\bar{\zeta} \bar{v}] + \bar{v} \rho \bar{f}_m - \text{div} \bar{q} + \dot{Q}_r + \dot{Q}_q \quad [\text{Ec. A.16}]$$

Cualquiera de las ecuaciones que se han ido obteniendo hasta el momento, [Ec. A.13] y [Ec. A.16], representan la conservación de la energía total de una partícula fluida de un sistema, incluyendo las energías térmicas y mecánicas. Restando las ecuaciones de la energía, [Ec. A.16], y la de la energía mecánica relacionada con la de Navier-Stokes, [A.1.2], [Ec. A.17], obtenemos la ecuación de la energía interna, donde el primer termino representa la variación de la energía interna, el segundo y tercero el trabajo de las fuerzas de superficie para deformar una partícula y los últimos las diferentes variación de de energía que suceden en el volumen de control.

$$\rho \frac{D(\frac{v^2}{2})}{Dt} = \bar{v} \text{div}[\bar{\zeta}] + \bar{v} \rho \bar{f}_m \quad [\text{Ec. A.17}]$$

$$\rho \frac{D(e)}{Dt} = \text{div}[\bar{\zeta} \bar{v}] - \bar{v} \text{div}[\bar{\zeta}] - \text{div} \bar{q} + \dot{Q}_r + \dot{Q}_q \quad [\text{Ec. A.18}]$$

Aplicando ahora la relación termodinámica de la entropía, $Tds = de + Pd(1/\rho) = de - (P/\rho^2)d\rho$, [2.26], y transformando los términos que representan las fuerzas de deformación de las partícula por el termino de disipación de Rayleigh, ϕ_v , que representa el trabajo de las fuerzas de viscosidad que se ejercen sobre una partícula al deformarla, [A.1.2], obtenemos la ecuación anterior reescrita con los términos de la entropía, [Ec. A.19]. Dicha expresión nos indica que la entropía de una partícula fluida aumenta debido al calor que recibe por conducción, radiación y reacción química, y al trabajo de deformación producido por las fuerzas viscosas.

$$\rho T \frac{Ds}{Dt} = \phi_v - \text{div}[\bar{q}] + \dot{Q}_r + \dot{Q}_q \quad [\text{Ec. A.19}]$$

Para finalizar con dicha ecuación se deberán tomar ciertas consideraciones; supondremos despreciables los efectos relacionados con los términos de calor, calor por radiación y por reacción química, y los efectos de la viscosidad. Por lo que, de acuerdo con lo dicho, vemos la entropía es invariante y por lo tanto no varía su valor a lo largo del tiempo. [Ec. A.20].

$$\rho T \frac{Ds}{Dt} = 0 \rightarrow \frac{Ds}{Dt} = 0 \rightarrow \boxed{s = cte} \quad [\text{Ec. A.20}]$$

- **Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento:** a través de esta nueva expresión pretendemos relacionar la ecuación del transporte de Reynolds con la cantidad de movimiento de Newton [Ec. A.21], [A.1.1]. Así por lo tanto conociendo que $B = m\bar{v}$ y utilizando la ecuación [Ec. A.2] obtenemos la ecuación [Ec. A.22] la cual sustituiremos en la ecuación de partida [Ec. A.5] para obtener la ecuación de la cantidad de movimiento [Ec. A.23].

$$\sum \bar{F} = m\bar{a} = m \frac{d\bar{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\bar{v}) \quad [\text{Ec. A.21}]$$

$$B = m\bar{v} \rightarrow \beta = \frac{dB}{dm} = \bar{v} \quad [\text{Ec. A.22}]$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(B_{sis}) &= \frac{d}{dt}(m\bar{v}) = \sum \bar{F} \\ &= \frac{d}{dt} \iiint_{VC} \rho \bar{v} dV + \iint_{SC} \rho \bar{v}(\bar{v} \cdot \bar{n}) dS \end{aligned} \quad [\text{Ec. A.23}]$$

Ahora solo nos queda desarrollar el término de las fuerzas que intervienen en la ecuación anterior. Para ello, conocemos que las fuerzas que aparecerán son las relacionadas con fuerzas de volumen y fuerzas superficiales que actúan sobre el volumen de control, expresión [Ec. A.24]. Así con todos estos cambios, obtenemos la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento de forma diferencial, pero, para conseguir llegar a los resultados que necesitamos alcanzar deberemos conseguir expresarla en forma diferencial.

$$\begin{aligned} \sum \bar{F} &= \iint_{SC} \bar{n} \bar{\zeta} dS + \iiint_{VC} \rho \bar{f}_m dV = \\ &= \frac{d}{dt} \iiint_{VC} \rho \bar{v} dV + \iint_{SC} \rho \bar{v}(\bar{v} \cdot \bar{n}) dS \end{aligned} \quad [\text{Ec. A.24}]$$

La conversión dicha anteriormente comenzará transformando todas las integrales de superficie a integrales de volumen. Para hacer dicha

transformación deberemos aplicar a la anterior expresión [Ec. A.24], a un volumen de control arbitrario, fijo e indeformable, el teorema de Gauss, para obtener la ecuación [Ec. A.25].

$$\begin{aligned} & \iiint_{VC} \frac{\partial}{\partial t} [\rho \bar{v}] dV + \iiint_{VC} \text{div} [\rho \bar{v} \bar{v}] dV \\ & = \iiint_{VC} \text{div} [\bar{\zeta}] dV + \iiint_{VC} \rho \bar{f}_m dV \end{aligned} \quad [\text{Ec. A.25}]$$

Usando un volumen de control infinitesimal, prácticamente nulo, pero que $\delta V \neq 0$, transformamos la anterior ecuación en la [Ec. A.26], donde, el primer termino representará la variación temporal de la velocidad dentro de un volumen de control, el segundo corresponde con la cantidad de movimiento del flujo neto que atraviesa el volumen de control, el tercero tiene que ver con las fuerzas de superficie y el cuarto con las fuerzas másicas.

$$\frac{\partial(\rho \bar{v})}{\partial t} + \text{div} [\rho \bar{v} \bar{v}] = \text{div} [\bar{\zeta}] + \rho \bar{f}_m \quad [\text{Ec. A.26}]$$

Derivando el primer termino de la expresión [Ec. A.26], desarrollando el segundo de la divergencia y simplificando los valores obtenidos, obtenemos la ecuación de conservación de la cantidad de energía en forma diferencial, [Ec. A.27]. esta indica que la aceleración de una partícula fluida de un volumen de control por su densidad es igual a las fuerzas se superficie y de volumen que intervienen sobre el volumen de control.

$$\rho \frac{D\bar{v}}{Dt} = \text{div} [\bar{\zeta}] + \rho \bar{f}_m \quad [\text{Ec. A.27}]$$

La ecuación anterior posee un termino de fuerzas viscosas, ζ , el cual, todavía podemos realizar más operaciones para obtener una ecuación más sencilla en el sentido operacional, es decir, a la hora de aplicar dicha ecuación a un problema. Para ello aplicamos el teorema de Navier Poisson que establece que los esfuerzos viscosos son proporcionales a las componentes del tensor deformaciones que sufre el volumen de control cuando sufre deformaciones, [A.1.2]. Esto se enuncia en la ecuación [Ec. A.28], donde el segundo término indica la variación de la velocidad en las dos coordenadas de un sistema cartesiano y siendo μ_v un coeficiente equivalente a $\mu_v = \lambda + \frac{2}{3}\mu$.

$$\zeta_{ij} = \mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) + \left(\mu_v - \frac{2}{3}\mu \right) \text{div} \bar{v} \delta_{ij} \quad [\text{Ec. A.28}]$$

Sustituyendo la relación de esfuerzos y deformaciones de la expresión [Ec. A.28] en la ecuación [Ec. A.27] obtenemos la ecuación [Ec. A.29]. para el caso de líquidos $div \bar{v} = 0$ y la viscosidad al tratarse de fluidos de un solo componente o de composición fija se pueden despreciar sus términos, [Ec. A.30].

$$\rho \frac{D\bar{v}}{Dt} + \frac{\partial P}{\partial x_i} = \rho \bar{f}_m + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu_v - \frac{2}{3} \mu \right) div \bar{v} \delta_{ij} \right] \quad [\text{Ec. A.29}]$$

$$\rho \frac{D\bar{v}}{Dt} + \frac{\partial P}{\partial x_i} = \rho \bar{f}_m \quad [\text{Ec. A.30}]$$

Y escribiéndolo en notación vectorial obtenemos la expresión [Ec. A.31].

$$\rho \frac{D\bar{v}}{Dt} + \nabla P = \rho \bar{f}_m \quad [\text{Ec. A.31}]$$

Además de esta manera de escribir la ecuación de la cantidad de movimiento, si hacemos caso a la ecuación para la aceleración convectiva, [A.1.2], podemos reescribirla atendiendo a la expresión [Ec. A.32], donde el tercer término desaparece al ser perpendicular a \bar{v} . Reagrupando los términos de la anterior expresión y teniendo en cuenta que las fuerzas másicas derivan de un potencial, U, obtenemos la ecuación [Ec. A.33], denominada ecuación de Euler Bernouilli, en la que tomamos l como una coordenada a lo largo de una línea de corriente.

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \nabla \left(\frac{v^2}{2} \right) - \bar{v} \wedge \nabla \wedge \bar{v} + \frac{\nabla P}{\rho} - \bar{f}_m = 0 \quad [\text{Ec. A.32}]$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{v^2}{2} + U \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial l} = 0 \quad [\text{Ec. A.33}]$$

Cuando el fluido que se utiliza es de densidad constante y estamos en un proceso estacionario, no tendremos términos relacionados con el tiempo e incluso también podemos decir que los potenciales se pueden despreciar debido a que las densidades suelen ser muy pequeñas para el caso de los gases, la ecuación [Ec. A.33] toma la forma de la expresión [Ec. A.34].

$$\frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{v^2}{2} + \frac{P}{\rho} \right) = 0 \quad [\text{Ec. A.34}]$$

Aplicando la ecuación de la entropía de la termodinámica [Ec. A.35], la ecuación anterior se transforma en la [Ec. A.36], la cual, es la que

pretendíamos obtener en todo el desarrollo de la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento.

$$Tds = 0 = dh - \frac{dP}{\rho} \rightarrow \frac{\partial h}{\partial l} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial l} \quad [\text{Ec. A.35}]$$

$$\frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{v^2}{2} + h \right) = 0 \rightarrow \boxed{\frac{v^2}{2} + h = cte} \quad [\text{Ec. A.36}]$$

Una vez obtenidas las ecuaciones de las que partiremos para obtener las expresiones para conductos convergentes, son los que necesitaremos en nuestro problema, tenemos que relacionar las ecuaciones [Ec. A.10], [Ec. A.20] y [Ec. A.36] con las propiedades de remanso, es decir, cuando el fluido se encuentre sin movimiento y tengamos un proceso estacionario. Para ello, si el fluido viene de una región de reposo, de remanso, todas las líneas de corriente vienen de la zona de remanso, por lo tanto, las constantes en todo el campo fluido han de ser iguales y se han de conservar, como podemos observar en las ecuaciones [Ec. A.37], [Ec. A.38] y [Ec. A.39], donde el subíndice 0 nos indicara que estamos hablando de las propiedades de remanso.

Ecuación de la masa: $G = cte = \rho(\ell)A(\ell)v(\ell) = G_0$ [Ec. A.37]

Ecuación de la energía: $s = cte = s_0$ [Ec. A.38]

Ecuación de la cantidad de movimiento: $\frac{v^2}{2} + h = cte = h_0$ [Ec. A.39]

Una vez conocidas las propiedades de remanso de nuestro campo fluido y una propiedad termodinámica, distinta a la entropía, o el módulo de velocidad, podemos calcular las propiedades que no conocemos hasta el momento. Aunque las ecuaciones anteriores las podemos aplicar para cualquier tipo de gas que tengamos, suponemos que el gas que tenemos para los ensayos es un gas perfecto, y por lo tanto, se le podrán aplicar las ecuaciones de termodinámicas de los gases perfectos. Aplicando por lo tanto dichas ecuaciones a la ecuación [Ec. A.39] podemos relacionar las propiedades termodinámicas con sus respectivas propiedades de remanso, expresión [Ec. A.40], donde γ es el coeficiente adiabático de valor 1.4 según [A.1.3] para el aire seco y M es el número adimensional de Mach que relaciona la velocidad del fluido con la velocidad del sonido ($a = \sqrt{\gamma RT}$, siendo R la contante universal de los gases), $M = v/a$, y nos cuantifica como de compresible es el fluido al que le aplicamos dicha ecuación.

$$\frac{h_0}{h} = 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 = \frac{T_0}{T} = \frac{e_0}{e} \quad [\text{Ec. A.40}]$$

Si además de un gas perfecto contamos con un proceso isotrópico obtenemos la ecuación siguiente, [Ec. A.41]:

$$\frac{P_0}{P} = \frac{\rho_0}{\rho} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^{\gamma/\gamma-1} \quad [\text{Ec. A.41}]$$

Una vez relacionadas todas las propiedades de remanso con las propiedades termodinámicas solo nos queda relacionar el área de los conductos con el área crítica, a partir de la cual, se generará una onda de choque que no permitirá el paso de caudal por dicho conducto. Para ello, relacionaremos las expresiones [Ec. A.37] y [Ec. A.41] para poder expresar el valor del área en función del número de Mach, [Ec. A.42]. [A.2.2].

$$A(l) = \frac{G}{\rho_0 a_0} \frac{1}{M} \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} \pi^2\right)^{\gamma+1/2(\gamma-1)} \quad [\text{Ec. A.42}]$$

Mediante las anteriores ecuaciones y según [A.2.2], el área crítica se alcanza cuando $M=1$. Esto supone que se alcance cuando se alcance una sección de área máxima o mínima. De hecho, esto solo sucede en gargantas, es decir, secciones en el interior del conducto que se estrechan siendo estas las de menor sección de todo el conducto. Por lo tanto, el área crítica, A^* (denotando el área con un superíndice de *, corresponde, sustituyendo en la ecuación [Ec. A.42], a la expresión [Ec. A.43], la cual sólo es dependiente del movimiento y de las condiciones de remanso.

$$A^* = \frac{G}{\rho_0 a_0} \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2}\right)^{\gamma+1/2(\gamma-1)} 1.728 \frac{G}{\rho_0 a_0} \quad \text{para } (\gamma = 1.4) \quad [\text{Ec. A.43}]$$

Ahora solo nos queda relacionar el un área arbitrario, [Ec. A.42], con el área crítica de un conducto, [Ec. A.43]. dividiendo una ecuación entre la otra obtenemos la expresión [Ec. A.44].

$$\frac{A}{A^*} = \left[\frac{2}{\gamma + 1} \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} \pi^2\right)\right]^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \quad [\text{Ec. A.44}]$$

Todas las ecuaciones anteriores se recogen en las figuras A.5 y A.6, donde están representados los valores de las ecuaciones relacionadas con sus propiedades de remanso, tomando como coeficiente adiabático 1.4. [A.1.2] y [A.2.4].

Tabla 1. Flujo Compresible
Movimiento cuasi-unidimensional con propiedades de remanso constantes ($\gamma=1,4$)

M	A/A*	p/p ₀	ρ/ρ_0	T/T ₀	M	A/A*	p/p ₀	ρ/ρ_0	T/T ₀	M	A/A*	p/p ₀	ρ/ρ_0	T/T ₀
0,00	1,00000	1,00000	1,00000	1,26	1,050	0,3809	0,5019	0,7590	2,54	2,737	0,0550	0,1260	0,4366
0,01	57,874	0,99993	0,99995	0,99998	1,28	1,058	0,3708	0,4923	0,7532	2,56	2,789	0,0533	0,1232	0,4328
0,02	28,942	0,99972	0,99980	0,99992	1,30	1,066	0,3609	0,4829	0,7474	2,58	2,842	0,0517	0,1205	0,4289
0,04	14,481	0,9989	0,9992	0,9997	1,32	1,075	0,3512	0,4736	0,7416	2,60	2,896	0,0501	0,1179	0,4252
0,06	9,666	0,9975	0,9982	0,9993	1,34	1,084	0,3417	0,4644	0,7358	2,62	2,951	0,0486	0,1153	0,4214
0,08	7,262	0,9955	0,9968	0,9987	1,36	1,094	0,3323	0,4553	0,7300	2,64	3,007	0,0471	0,1128	0,4177
0,10	5,822	0,9930	0,9950	0,9980	1,38	1,104	0,3232	0,4463	0,7242	2,66	3,065	0,0457	0,1103	0,4141
0,12	4,864	0,9900	0,9928	0,9971	1,40	1,115	0,3142	0,4374	0,7184	2,68	3,123	0,0443	0,1079	0,4104
0,14	4,182	0,9864	0,9903	0,9961	1,42	1,126	0,3055	0,4287	0,7126	2,70	3,183	0,0430	0,1056	0,4068
0,16	3,673	0,9823	0,9873	0,9949	1,44	1,138	0,2969	0,4201	0,7069	2,72	3,244	0,0417	0,1033	0,4033
0,18	3,278	0,9776	0,9840	0,9936	1,46	1,150	0,2886	0,4116	0,7011	2,74	3,306	0,0404	0,1010	0,3998
0,20	2,964	0,9725	0,9803	0,9921	1,48	1,163	0,2804	0,4032	0,6954	2,76	3,370	0,0392	0,0989	0,3963
0,22	2,708	0,9668	0,9762	0,9904	1,50	1,176	0,2724	0,3950	0,6897	2,78	3,434	0,0380	0,0967	0,3928
0,24	2,496	0,9607	0,9718	0,9886	1,52	1,190	0,2646	0,3869	0,6840	2,80	3,500	0,0368	0,0946	0,3894
0,26	2,317	0,9541	0,9670	0,9867	1,54	1,204	0,2570	0,3789	0,6783	2,82	3,567	0,0357	0,0926	0,3860
0,28	2,166	0,9470	0,9619	0,9846	1,56	1,219	0,2496	0,3710	0,6726	2,84	3,636	0,0347	0,0906	0,3827
0,30	2,035	0,9395	0,9564	0,9823	1,58	1,234	0,2423	0,3633	0,6670	2,86	3,706	0,0336	0,0886	0,3794
0,32	1,922	0,9315	0,9506	0,9799	1,60	1,250	0,2353	0,3557	0,6614	2,88	3,777	0,0326	0,0867	0,3761
0,34	1,823	0,9231	0,9445	0,9774	1,62	1,267	0,2284	0,3483	0,6558	2,90	3,850	0,0317	0,0849	0,3729
0,36	1,736	0,9143	0,9380	0,9747	1,64	1,284	0,2217	0,3409	0,6502	2,92	3,924	0,0307	0,0831	0,3696
0,38	1,659	0,9052	0,9313	0,9719	1,66	1,301	0,2151	0,3337	0,6447	2,94	3,999	0,0298	0,0813	0,3665
0,40	1,590	0,8956	0,9243	0,9690	1,68	1,319	0,2088	0,3266	0,6392	2,96	4,076	0,0289	0,0796	0,3633
0,42	1,529	0,8857	0,9170	0,9659	1,70	1,338	0,2026	0,3197	0,6337	2,98	4,155	0,0281	0,0779	0,3602
0,44	1,474	0,8755	0,9094	0,9627	1,72	1,357	0,1966	0,3129	0,6283	3,00	4,235	0,0272	0,0762	0,3571
0,46	1,426	0,8650	0,9016	0,9594	1,74	1,376	0,1907	0,3062	0,6229					
0,48	1,380	0,8541	0,8935	0,9559	1,76	1,397	0,1850	0,2996	0,6175					
0,50	1,340	0,8430	0,8852	0,9524	1,78	1,418	0,1794	0,2931	0,6121					
0,52	1,303	0,8317	0,8766	0,9487	1,80	1,439	0,1740	0,2868	0,6068					
0,54	1,270	0,8201	0,8679	0,9449	1,82	1,461	0,1688	0,2806	0,6015					
0,56	1,240	0,8082	0,8589	0,9410	1,84	1,484	0,1637	0,2745	0,5963					
0,58	1,213	0,7962	0,8498	0,9370	1,86	1,507	0,1587	0,2686	0,5910					
0,60	1,188	0,7840	0,8405	0,9328	1,88	1,531	0,1539	0,2627	0,5859					
0,62	1,166	0,7716	0,8310	0,9286	1,90	1,555	0,1492	0,2570	0,5807					
0,64	1,145	0,7591	0,8213	0,9243	1,92	1,580	0,1447	0,2514	0,5756					
0,66	1,127	0,7465	0,8115	0,9199	1,94	1,606	0,1403	0,2459	0,5705					
0,68	1,110	0,7338	0,8016	0,9153	1,96	1,633	0,1360	0,2405	0,5655					
0,70	1,094	0,7209	0,7916	0,9107	1,98	1,660	0,1318	0,2352	0,5605					
0,72	1,081	0,7080	0,7814	0,9061	2,00	1,688	0,1278	0,2300	0,5556					
0,74	1,068	0,6951	0,7712	0,9013	2,02	1,716	0,1239	0,2250	0,5506					
0,76	1,057	0,6821	0,7609	0,8964	2,04	1,745	0,1201	0,2200	0,5458					
0,78	1,047	0,6691	0,7505	0,8915	2,06	1,775	0,1164	0,2152	0,5409					
0,80	1,038	0,6560	0,7400	0,8865	2,08	1,806	0,1128	0,2104	0,5361					
0,82	1,030	0,6430	0,7295	0,8815	2,10	1,837	0,1094	0,2058	0,5313					
0,84	1,024	0,6300	0,7189	0,8763	2,12	1,869	0,1060	0,2013	0,5266					
0,86	1,018	0,6170	0,7083	0,8711	2,14	1,902	0,1027	0,1968	0,5219					
0,88	1,013	0,6041	0,6977	0,8659	2,16	1,935	0,0996	0,1925	0,5173					
0,90	1,009	0,5913	0,6870	0,8606	2,18	1,970	0,0965	0,1882	0,5127					
0,92	1,006	0,5785	0,6764	0,8552	2,20	2,005	0,0935	0,1841	0,5081					
0,94	1,003	0,5658	0,6658	0,8498	2,22	2,041	0,0906	0,1800	0,5036					
0,96	1,001	0,5532	0,6551	0,8444	2,24	2,078	0,0878	0,1760	0,4991					
0,98	1,000	0,5407	0,6445	0,8389	2,26	2,115	0,0851	0,1721	0,4947					
1,00	1,000	0,5283	0,6339	0,8333	2,28	2,154	0,0825	0,1683	0,4903					
1,02	1,000	0,5160	0,6234	0,8278	2,30	2,193	0,0800	0,1646	0,4859					
1,04	1,001	0,5039	0,6129	0,8222	2,32	2,233	0,0775	0,1609	0,4816					
1,06	1,003	0,4919	0,6024	0,8165	2,34	2,274	0,0751	0,1574	0,4773					
1,08	1,005	0,4800	0,5920	0,8108	2,36	2,316	0,0728	0,1539	0,4731					
1,10	1,008	0,4684	0,5817	0,8052	2,38	2,359	0,0706	0,1505	0,4688					
1,12	1,011	0,4568	0,5714	0,7994	2,40	2,403	0,0684	0,1472	0,4647					
1,14	1,015	0,4455	0,5612	0,7937	2,42	2,448	0,0663	0,1439	0,4606					
1,16	1,020	0,4343	0,5511	0,7879	2,44	2,494	0,0643	0,1408	0,4565					
1,18	1,025	0,4232	0,5411	0,7822	2,46	2,540	0,0623	0,1377	0,4524					
1,20	1,030	0,4124	0,5311	0,7764	2,48	2,588	0,0604	0,1346	0,4484					
1,22	1,037	0,4017	0,5213	0,7706	2,50	2,637	0,0585	0,1317	0,4444					
1,24	1,043	0,3912	0,5115	0,7648	2,52	2,686	0,0567	0,1288	0,4405					

Figura A.5: Tabla 1. Flujo Compresible. [A.2.2]

Tabla 2. Flujo Compresible
Salto de propiedades a través de la onda de choque normal ($\gamma=1,4$)

M_1	M_2	$\frac{P_2}{P_1}$	$\frac{T_2}{T_1}$	$\frac{(P_0)_2}{(P_0)_1}$	M_1	M_2	$\frac{P_2}{P_1}$	$\frac{T_2}{T_1}$	$\frac{(P_0)_2}{(P_0)_1}$
1,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	2,20	0,5471	5,4800	1,8569	0,6281
1,02	0,9805	1,0471	1,0132	1,0000	2,22	0,5444	5,5831	1,8746	0,6191
1,04	0,9620	1,0952	1,0263	0,9999	2,24	0,5418	5,6872	1,8924	0,6100
1,06	0,9444	1,1442	1,0393	0,9998	2,26	0,5393	5,7922	1,9104	0,6011
1,08	0,9277	1,1941	1,0522	0,9994	2,28	0,5368	5,8981	1,9285	0,5921
1,10	0,9118	1,2450	1,0649	0,9989	2,30	0,5344	6,0050	1,9468	0,5833
1,12	0,8966	1,2968	1,0776	0,9982	2,32	0,5321	6,1128	1,9652	0,5745
1,14	0,8820	1,3495	1,0903	0,9973	2,34	0,5297	6,2215	1,9838	0,5658
1,16	0,8682	1,4032	1,1029	0,9961	2,36	0,5275	6,3312	2,0025	0,5572
1,18	0,8549	1,4578	1,1154	0,9946	2,38	0,5253	6,4418	2,0213	0,5486
1,20	0,8422	1,5133	1,1280	0,9928	2,40	0,5231	6,5533	2,0403	0,5401
1,22	0,8300	1,5698	1,1405	0,9907	2,42	0,5210	6,6658	2,0595	0,5317
1,24	0,8183	1,6272	1,1531	0,9884	2,44	0,5189	6,7792	2,0788	0,5234
1,26	0,8071	1,6855	1,1657	0,9857	2,46	0,5169	6,8935	2,0982	0,5152
1,28	0,7963	1,7448	1,1783	0,9827	2,48	0,5149	7,0088	2,1178	0,5071
1,30	0,7860	1,8050	1,1909	0,9794	2,50	0,5130	7,1250	2,1375	0,4990
1,32	0,7760	1,8661	1,2035	0,9758	2,52	0,5111	7,2421	2,1574	0,4911
1,34	0,7664	1,9282	1,2162	0,9718	2,54	0,5092	7,3602	2,1774	0,4832
1,36	0,7572	1,9912	1,2290	0,9676	2,56	0,5074	7,4792	2,1976	0,4754
1,38	0,7483	2,0551	1,2418	0,9630	2,58	0,5056	7,5991	2,2179	0,4677
1,40	0,7397	2,1200	1,2547	0,9582	2,60	0,5039	7,7200	2,2383	0,4601
1,42	0,7314	2,1858	1,2676	0,9531	2,62	0,5022	7,8418	2,2590	0,4526
1,44	0,7235	2,2525	1,2807	0,9476	2,64	0,5005	7,9645	2,2797	0,4452
1,46	0,7157	2,3202	1,2938	0,9420	2,66	0,4988	8,0882	2,3006	0,4379
1,48	0,7083	2,3888	1,3069	0,9360	2,68	0,4972	8,2128	2,3217	0,4307
1,50	0,7011	2,4583	1,3202	0,9298	2,70	0,4956	8,3383	2,3429	0,4236
1,52	0,6941	2,5288	1,3336	0,9233	2,72	0,4941	8,4648	2,3642	0,4166
1,54	0,6874	2,6002	1,3470	0,9166	2,74	0,4926	8,5922	2,3858	0,4097
1,56	0,6809	2,6725	1,3606	0,9097	2,76	0,4911	8,7205	2,4074	0,4028
1,58	0,6746	2,7458	1,3742	0,9026	2,78	0,4896	8,8498	2,4292	0,3961
1,60	0,6684	2,8200	1,3880	0,8952	2,80	0,4882	8,9800	2,4512	0,3895
1,62	0,6625	2,8951	1,4018	0,8877	2,82	0,4868	9,1111	2,4733	0,3829
1,64	0,6568	2,9712	1,4158	0,8799	2,84	0,4854	9,2432	2,4955	0,3765
1,66	0,6512	3,0482	1,4299	0,8720	2,86	0,4840	9,3762	2,5179	0,3701
1,68	0,6458	3,1261	1,4440	0,8639	2,88	0,4827	9,5101	2,5405	0,3639
1,70	0,6405	3,2050	1,4583	0,8557	2,90	0,4814	9,6450	2,5632	0,3577
1,72	0,6355	3,2848	1,4727	0,8474	2,92	0,4801	9,7808	2,5861	0,3517
1,74	0,6305	3,3655	1,4873	0,8389	2,94	0,4788	9,9175	2,6091	0,3457
1,76	0,6257	3,4472	1,5019	0,8302	2,96	0,4776	10,0552	2,6322	0,3398
1,78	0,6210	3,5298	1,5167	0,8215	2,98	0,4764	10,1938	2,6555	0,3340
1,80	0,6165	3,6133	1,5316	0,8127	3,00	0,4752	10,3333	2,6790	0,3283
1,82	0,6121	3,6978	1,5466	0,8038					
1,84	0,6078	3,7832	1,5617	0,7948					
1,86	0,6036	3,8695	1,5770	0,7857					
1,88	0,5996	3,9568	1,5924	0,7765					
1,90	0,5956	4,0450	1,6079	0,7674					
1,92	0,5918	4,1341	1,6236	0,7581					
1,94	0,5880	4,2242	1,6394	0,7488					
1,96	0,5844	4,3152	1,6553	0,7395					
1,98	0,5808	4,4071	1,6713	0,7302					
2,00	0,5774	4,5000	1,6875	0,7209					
2,02	0,5740	4,5938	1,7038	0,7115					
2,04	0,5707	4,6885	1,7203	0,7022					
2,06	0,5675	4,7842	1,7369	0,6928					
2,08	0,5643	4,8808	1,7536	0,6835					
2,10	0,5613	4,9783	1,7705	0,6742					
2,12	0,5583	5,0768	1,7875	0,6649					
2,14	0,5554	5,1762	1,8046	0,6557					
2,16	0,5525	5,2765	1,8219	0,6464					
2,18	0,5498	5,3778	1,8393	0,6373					

Figura A.6: Tabla 2. Flujo Compresible. [A.2.2]

Anexo B: Pliego de condiciones.

En este pliego de condiciones trataremos de poner las bases para un perfecto funcionamiento del sistema. En los apartados que aparecen a continuación se hablará de ello. El primero se encargará de crear un procedimiento, de obligado cumplimiento, a la hora de comenzar y finalizar con los ensayos del motor; y el segundo apartado será el encargado de presentar las seguridades y obligaciones que se han de cumplir en el manejo del sistema para evitar posibles accidentes.

B.1. Puesta en funcionamiento del motor y sus equipos

Los elementos que intervienen en el sistema son de compleja manipulación y en parte peligrosos. Por lo tanto, se necesitará crear ciertos estándares o procedimientos de utilización de la distinta maquinaria que se utiliza a lo largo de los ensayos realizados para este trabajo fin de grado. Esto creará, a mayores, una disminución de fallos del sistema, e incluso, una disminución del número de accidentes por una mala utilización de cada equipo.

Estos estándares no solo recogerán de la puesta en marcha de los equipos, sino que también se encargarán de poner las bases para el manejo de los sistemas y la parada del motor.

Las rutinas que se desarrollarán a continuación, son de obligado cumplimiento para todas y cada una de las veces, sin excepción alguna, que se necesite realizar ensayos con el motor, siendo de forzoso cumplimiento por toda persona relacionada con la sala y sus ensayos.

B.1.1. Rutina de puesta en marcha de la instalación

A la hora de comenzar a trabajar con la instalación, se deberá poner en marcha los distintos procedimientos que garanticen, un perfecto funcionamiento de la instalación y una seguridad hacia los trabajadores, para evitar posibles accidentes ante una incorrecta manipulación.

- Conectar el armario del freno dinámico situado en la sala de ensayos. Para ello, girar el interruptor del armario a la posición I.
- Conectar el armario del sistema de alimentación del acondicionador de combustible (KMA) situado en la sala de ensayos. Para ello, girar el interruptor que hay en la puerta del armario a la posición I, y comprobar que se enciende el piloto verde situado en el frontal.

- Conectar el armario general de control situado en la sala de control. Para ello, girar el interruptor del módulo de suministro eléctrico ESM que alimenta a todo el sistema
- Establecer la comunicación con la ECU del motor mediante el encendido de este.
- Conectar los equipos auxiliares de la instalación (consolas Hroiba Mexa 7100, espectrómetro de masas, etc.), si se fuesen a utilizar para el ensayo. Para ello consultar la rutina y metodología de trabajo de los equipos.
- Poner en marcha la sala de ensayos. Para ello seguir la rutina de arranque de la sala de ensayos.
- Poner en marcha el motor. Para ello ver la rutina de arranque del motor.

Todos los sistemas electrónicos deben conectarse al menos 30 minutos antes de realizar los ensayos.

B.1.2. Rutina de arranque de la sala de ensayos

Una vez seguidos los pasos anteriores deberemos tener una rutina de arranque de la sala de ensayos para evitar así posibles daños; ya sean materiales o personales.

- Conectar la batería. Para ello comprobar que los bornes están conectados a la batería y girar el interruptor situado en un lateral del armario general de la sala de ensayos a la posición I.
- Comprobar los niveles de aceite y agua del motor.
- Encender la fuente de alimentación del codificador angular.
- Comprobar que las llaves de by-pass de las válvulas de control de los sistemas de refrigeración de aire de admisión, combustible y refrigeración del motor están cerradas.
- Conectar las bombas de la línea de agua de red (girar el interruptor situado al lado de la puerta que comunica la sala de control con la sala de ensayos a la posición I), y comprobar que la presión que se alcanza es de 2 bar.
- Abrir la llave de paso de entrada del agua de red a la sala y salida al desagüe.
- Abrir la línea de aire comprimido y comprobar presión.

- Comprobar nivel del depósito de combustible y abrir la llave de paso de combustible a la sala.
- Encender la ventilación de la sala avisando a la empresa AVL, encargados de ella.

Es importante, y de obligado cumplimiento, comprobar que no existe ninguna herramienta suelta encima del motor, del freno o del protector de la transmisión, y comprobar, por lo tanto, la existencia de la tapa del freno y laterales situados en su correspondiente sitio.

B.1.3. Rutina de arranque del motor

Ahora cabe destacar el proceso de arranque del motor. Este procedimiento es importante debido a que el motor es un prototipo, es decir, solo existe uno o, a lo sumo, dos unidades de él. Si este sufriese desperfectos, no se podrían realizar los ensayos, y por lo tanto, la comprobación de su funcionamiento en un estado idóneo. Por ello mismo, necesitamos seguir ciertos estándares que nos asegurarán un encendido correcto para evitar una mala utilización del motor, y por consiguiente, tener la posibilidad de estropearlo.

- Con la comunicación establecida con la ECU del motor, mantenemos pulsada la tecla START ENGINE del cuadro de control situado en el pupitre hasta el arranque del motor.
- Automáticamente se activará la tecla IDLE, la cual permite seleccionar el modo de regulación, a través del cuadro de control, para realizar el ensayo:
 - PAR/CARGA
 - RPM/CARGA
 - RPM/PAR

El modo de regulación dependerá establecido dependerá del tipo de regulación que se quiera obtener. Esto solo se realizará si el ensayo se realiza en manual. Si por el contrario, se realiza en automático, la tecla se activará pero no se deberá elegir ningún modo.

- En este momento el motor y la sala están preparados para ensayar, siendo aconsejable que el motor permanezca en marcha durante unos minutos a una velocidad de entre 1000 a 1500 r.p.m. y una baja carga hasta que alcance el régimen térmico adecuado, de 80 a 85 °C, para ensayos en manual. Para ensayos en automático, los programas generados con anterioridad, incluyen dicha espera.

- Además, durante esta fase de calentamiento, se comprueba que no existen ruidos o vibraciones extrañas en freno y motor, que no existen fugas de ningún tipo de fluido, pudiéndose también, purgar el circuito de combustible.

B.1.4. Rutina y metodología de trabajo del equipo Horiba Mexa 7100

Para el perfecto funcionamiento del sistema se han de seguir ciertos procesos hasta poder decir que las consolas de gases están capacitadas para realizar mediciones, realizarlas correctamente y darlas como verdaderas:

- Antes de comenzar con el arranque del sistema se ha de verificar que la presión de todos los gases en la pantalla del software de las consolas de gases se encuentren a 1 bar, a excepción del O₂ que deberá encontrarse a 1.5 bar.
- Encender las consolas mediante los interruptores automáticos que se encuentran en cada una de ellas (en la parte trasera), asegurándonos que primero se encuentre encendido el botón principal de la Mexa situado en el frontal de la consola.
- Esperar un par de minutos a que se conecten entre ellas y, a continuación, conectar la MCU de las consolas.
- Arrancar el software de las consolas, siendo necesario unos 2 a 3 minutos de espera.
- Después del encendido de todo el sistema, es necesario esperar 4 horas de calentamiento antes de la realización de ningún ensayo.
- Una vez que se encuentra en disposición de realizar los ensayos, se necesita realizar el encendido de la llama del horno y el enfriamiento del sistema Mexa mediante la tecla “standby” en la pantalla del software. Una vez realizado dicho proceso, se deberá esperar una hora hasta llegar a las temperaturas necesarias.
- Se realizará el Leak check, para comprobar la existencia o no de fugas en el sistema.
- A continuación, ya se puede comenzar con la calibración de la medida de los gases mediante dos rangos de medida para cada uno. Esta calibración se realizará independientemente para cada rango, estableciéndole en cada gas y seleccionando la tecla “cal.”. Este proceso se deberá realizar dos veces, uno para cada rango de medidas.

Una vez realizados dichos pasos, ya se puede utilizar la consola de gases para la medición de la concentración de ellos en el catalizador.

Al igual que se ha seguido un procedimiento para la puesta a punto de la consola, también debemos tener un procedimiento para su apagado, aunque éste solo es recomendable cuando el equipo vaya a estar una larga temporada apagado:

- Apagado del ordenador MCU en cualquier momento, sin necesidad de otros requerimientos, mediante el desplegable de “menú” y “utility”.
- Apagado de las consolas de gases de la misma manera que se encendieron.

B.1.5. Rutina y metodología de trabajo de la soplante del vehículo

Al igual que el caso de la consola de gases, la soplante del vehículo también necesitará ciertos requerimientos para que funcione correctamente.

- Colocar perpendicularmente la boca de impulsión del aire de la soplante con el RAS para conseguir un mayor caudal de incisión, y una mayor refrigeración.
- Enchufar la soplante a la red eléctrica de la sala de ensayo y conectarla con los equipos exteriores de control, y posteriormente, presionar el interruptor principal para su encendido.
- Presionar las flechas del panel de control para ajustar la altura de la boca de impulsión al Ras para dejarla a la misma altura.
- Ajustar mediante la pantalla de PUMA o mediante la pantalla principal del acondicionador del aire el caudal que deberá insuflar y dar a la tecla “On” para comenzar su funcionamiento.

Dicha soplante estará configurada para comenzar su funcionamiento solo si el ensayo se encuentra en marcha. Cuando se encuentre en parada los ensayos, esta permanecerá apagada para evitar corrientes en el interior de la sala.

B.1.6. Rutina y metodología de trabajo del carro de envenenamiento

El carro de envenenamiento es un sistema muy delicado debido a la manipulación de gases tóxicos para el ser humano. Por lo tanto, deberemos tomar conciencia de su uso y transporte para no causar daños a los trabajadores.

Para evitar posibles accidentes, las botellas van conectadas bajo 5 electroválvulas que no permiten el vaciado de las botellas si no se está realizando ninguna operación de su uso. Además de ello, dicho carro, se conectara a la corriente eléctrica y a los sistemas de control del pasillo para poder ser manipulada desde el exterior mediante la pantalla de PUMA.

Para la manipulación de dichas botellas se han de seguir ciertos pasos para evitar accidentes relacionados con un mal transporte, utilización o desconexión de ellas.

- Traslado de las botellas, posicionamiento y amarre.

Las botellas de gases de envenenamiento deberán estar situadas en una sala en la que no exista peligro alguno su almacenamiento, es decir, que no interfieran los gases con demás maquinaria o gases de la atmosfera que les haga reaccionar.

Una vez transportadas a la sala de ensayos se deberán colocar de tal forma que permitan una conexión holgada y fácil al motor, debiendo situarse en posición vertical y con la cadena del soporte enganchada a las botellas para evitar vuelcos de ellas.

Para su manipulación debemos tener en cuenta que:

- Se han de evitar golpes y caídas de las botellas.
- No coger los envases por las válvulas al moverlas (podrían abrirse).
- No rodar los envases por el suelo
- Las botellas deberán estar siempre perfectamente sujetas al carro.
- Nunca intentar coger una botella que se está cayendo.
- Utilizar siempre los equipos de protección individual para su manipulación: gafas, guantes, pantallas, etc.

- Montaje y funcionamiento del carro de envenenamiento

Además del traslado, se deberá conocer el perfecto manejo del carro en el interior de la sala para evitar posibles accidentes.

- Colocar las botellas en un lugar de fácil conexionado al motor y ventilación suficiente para evitar posibles percances.
- Comprobar la estanqueidad de las válvulas de las botellas, así como, de las válvulas de nitrógeno que poseen la sala.
- Verificar la ausencia de presión en las líneas de las botellas si no se encuentra en funcionamiento.

- Verificar la ausencia de fugas del conjunto haciendo pruebas de estanqueidad al sistema. Si apareciesen fugas, se deberá reparar antes del comienzo del ensayo con las botellas.
- Se regulará la presión de las botellas y se abrirán las válvulas de control manuales para dejar el control del carro al sistema eléctrico.
- *Interrupción del suministro y desconexión del carro de envenenamiento*

Al igual que se ha tenido precaución a la hora del transporte y del montaje de las botellas, también se deberá tener cuidado con el desmontaje del sistema para evitar en este momento fugas o contratiempos.

- Barrer con nitrógeno todo el circuito del panel para limpiar los conductos de residuos de los gases.
- *Para paradas funcionales cortas:* cerrar las botellas y las válvulas manuales de salida.
- *Para paradas funcionales medias:* eliminar toda presión del sistema, para mantener los manómetros en cero.
- *Para paradas funcionales largas:* dejar el panel de control purgado y con una ligera presión de nitrógeno.
- Desmontar el sistema de conexión del carro de envenenamiento, con cuidado, por la posibilidad de que exista aun algo de gas residual en el sistema.

Con todos estos pasos para manejar el carro de envenenamiento, nos aseguramos un perfecto manejo y utilización del mismo.

B.1.7. Rutina y metodología de trabajo del espectrómetro de masas

Al igual que todos los instrumentos utilizados anteriormente, el espectrómetro de masas necesita un estándar de montaje y funcionamiento del mismo para evitar fallos, alargar su vida y evitar horas de funcionamiento innecesarias.

Como se ha dicho en los primeros capítulos del trabajo, el espectrómetro de masas ha de funcionar junto con un carro de 5 gases auxiliares para interactuar con las moléculas de los gases y obtener la medida adecuada, además de la línea de nitrógeno del banco de ensayos. Por lo tanto, para la utilización del espectrómetro de masas, además de él, necesitamos el carro con las 5 botellas de gases. Su manipulación se realizará de la misma manera que se realiza para

el carro de envenenamiento (capítulo B.1.7.). Solo nos queda ahora, establecer las bases para el espectrómetro de masas.

- Colocar el espectrómetro de masas en un lugar cercano al motor y que la conexión entre ellos se haga de forma sencilla y holgada.
- Conectar la línea entre el espectrómetro y el motor en el picaje posterior al catalizador, conectar el carro de gases al espectrómetro y conectarlos a la toma eléctrica de la sala de ensayo. Además, conectar las conexiones con la pantalla de control del espectrómetro de masas y la línea de nitrógeno con una presión de 0.5 bar.
- Encender el espectrómetro de masas en el botón situado en el frontal del aparato. Esta acción conecta el espectrómetro con la pantalla de control y activa la bomba de vacío interna del espectrómetro.
- Esperar 8 horas a que se realice el vacío en el interior del aparato. Si llevase mucho tiempo sin utilizarse, habrá que esperar 24 horas para asegurarnos que está bien realizado el vacío.

Hasta este punto el espectrómetro de masas quedará montado para su posterior uso pero antes de comenzar los ensayos se deberán hacer varias comprobaciones para evitar medidas erróneas.

- La calibración de los gases es la etapa más importante hasta el momento. La realizaremos a través de la pantalla del espectrómetro siguiendo un orden estricto en los gases y creciente en su masa molar: gas inerte, gases ionizados por mercurio (H_2S Y C_6H_6) y gases ionizados por xenón (CH_4 , COS Y SO_2). Si la calibración fuese errónea, líneas de calibración inclinadas, no se podría continuar con el ensayo y se deberá para y subsanar el error.
- Realizar un test de presión antes de cada ensayo. En él, comprobaremos que la presión del sistema se encuentra estanco y no tenemos fugas en la instalación. Indicar dicha acción en la pantalla del espectrómetro de masas; “Measure”, “Menú/Service/Preassure regulator”, y poner a 0 la presión inicial. Si se encuentra la medida final entre 1 y 1.2 V no existen pérdidas de presión.
- Realizar el test de fugas de las botellas de gases auxiliares, para poder realizarlo, no deberá existir ninguna pérdida de presión en la instalación. Iniciar dicha acción en la pantalla del espectrómetro de masas; “Trend test”, “Measure”, “Sample riet/Sample” y esperar la estabilización. Si la medida tomada no es correcta, no se podrá continuar con los ensayos hasta subsanar el problema.

Hay que tener en cuenta que no se podrá trabajar con el espectrómetro de masas a una temperatura máxima superior a 40 °C y una humedad relativa máxima del 80%. Por lo que, deberemos asegurarnos para los ensayos, que dichos valores son inferiores en el interior de la sala de ensayo.

B.1.8. Rutina de realización de ensayos

Una vez realizados todos los puntos anteriores toca realizar los ensayos para obtener los resultados finales.

Como hemos dicho con anterioridad, tenemos dos maneras diferentes para realizar las pruebas; una en manual, en el cual, vamos cambiando, mediante el cuadro de mandos, los puntos en los que queremos ensayar el motor y esperados unos segundos a que se establezcan los valores de presiones y temperaturas en ese punto y damos a grabar los resultados, o en automático, como es nuestro caso. Para lanzar un ensayo en automático, necesitaremos los programas de cada tipo de programas, los cuales, son creados como estándares y son imposibles de modificar. Solo nos queda, por lo tanto,

- Elegimos el programa a lanzar para el ensayo mediante el desplegable de la pantalla de PUMA.
- Vigilar durante el ensayo el valor de las medidas que van tomando los captadores. Si no fuesen correctas, se debería parar el programa inmediatamente, mediante la tecla de “stop”, para no realizar horas innecesarias de motor, y comprobar donde puede estar el error para subsanarlo.

B.1.9. Rutina de parada

Al igual que anteriormente, para finalizar los ensayos y evitar la pérdida de información obtenida en los ensayos se deberá seguir los siguientes pasos:

- Descender la carga del motor y el régimen de giro de forma moderada, evitando grandes contrastes, hasta llegar a valores bajos de movimiento en ambos casos, para ensayos en manual. Si fuese, por el contrario, un ensayo en automático, deberemos esperar a que dicho programa finalice o pararlo mediante la tecla “stop”.
- Presionar la tecla “Ralentí control” situada en el panel de control, posteriormente la tecla de “Stop” y, a continuación, la de “Ignition ON/OFF”, la cual desactivará la conexión con los dispositivos y con la alimentación del motor.
- Cerrar las ventanas de los diferentes softwares utilizados.

- Cortar la corriente que llega al armario de potencia, así como, la del armario de alimentación.
- Desconectar el Rack de control.
- Cerrar las válvulas manométricas de agua, las válvulas manuales del combustible y apagar el extractor de ventilación de la sala.
- Desconectar todo equipo eléctrico y electrónico del interior de la sala de la corriente.

B.1.10. Rutina de parada de emergencia.

Las paradas de emergencia son detenciones bruscas del sistema de ensayos del interior de la sala. Por lo tanto, solo se deberá llevar a cabo dicha detención cuando sean realmente necesarias y puedan existir daños ya sean personales o materiales.

Estas interrupciones del sistema de ensayo se realizarán mediante el accionamiento de los pulsadores de parada de emergencia, situados dos en el interior de la sala y de perfecto acceso, y un tercero situado sobre el panel de control del pasillo de control.

Estas paradas, por lo tanto, pueden deberse a:

- Detención del sistema por la presencia de un ***incendio*** en el interior de la sala.
- Detención por ***la integridad física o de salud*** del trabajador debida a la manipulación de cualquier dispositivo.
- Detención por la ***rotura*** de cualquier elemento provocando la destrucción completa del sistema de ensayo.

Una vez se active la parada de emergencia, para poder reanudar el funcionamiento del sistema, lo primero que ha de ocurrir es comprobar que dicho problema se ha subsanado. Si esto no ocurriese, no se podría continuar con dichos ensayos bajo ninguna circunstancia. Una vez solucionado el problema, se estudiará el alcance de los hechos y se comprobará el estado del resto de dispositivos que hayan podido ser afectados por este contratiempo.

B.1.11. Manual de mantenimiento de la instalación

La realización de ensayos mediante la instalación presentada en capítulos anteriores, conlleva la necesidad de obtener resultados aceptados por los clientes sin poder realizar muchas horas de ensayo o de funcionamiento, es

decir, necesitamos obtener buenos resultados con el mínimo número de pruebas ,y por lo tanto, el mínimo número de horas de rodamiento del sistema.

Para que este fin sea posible, se han de mantener todos los equipos en un perfecto mantenimiento, indispensable para un funcionamiento idóneo en un mayor tiempo posible. Así, por consiguiente, dicha instalación deberá estar sometida a un seguimiento (diario, mensual, anual...), por el cual, nos aseguraremos que la instalación funciona sin ningún contratiempo y por lo tanto los resultados obtenidos pueden darse por satisfechos.

Durante el manual de la instalación que plantearemos a continuación, intentaremos recopilar las recomendaciones por parte de los fabricantes de los componentes utilizados en los ensayos para facilitar al operario de la sala un plan para alargar, tanto como sea posible, la vida de los componentes de la instalación.

- Antes de cada ensayo

Como hemos comentado antes de la realización de cualquier ensayo deberemos comprobar que toda la instalación está lista para iniciar el trabajo. Para comprobar que esto es correcto debemos comprobar principalmente que:

- Observar posibles ruidos y vibraciones extrañas.
- Observar posibles incidencias en el interior de la sala; como charcos de líquidos provocados por fugas o herramientas sueltas que puedan causar daños o imperfectos a la instalación (encima de los equipos, sujetas de zonas prohibidas, etc.).
- Revisar el nivel del agua en el vaso de expansión del motor, si este está muy sucio cambiarle.
- Revisar el nivel de aceite del motor y cambiar cada 75 horas de funcionamiento o al menos una vez al mes.
- Comprobar mediante PUMA, que todos los captadores de medidas estén en funcionamiento y dentro de su rango. Si no fuese así, cambiarle por otro de correcto funcionamiento.
- Comprobar el funcionamiento de la ventilación del interior de la sala de ensayos.
- Comprobar periódicamente el apriete de la transmisión y su buen estado.

- Comprobar la carga de las baterías mediante el medidor disponible en la ventana de PUMA.

- Mensualmente

Al igual que anteriormente necesitábamos comprobar ciertos aspectos antes de cada ensayo, también tenemos algunos que se deberán comprobar cada mes o cada varios meses.

- La calibración de las vías de medida de los captadores se deberán comprobar si funcionamiento y su perfecta medición. Si no fuese correcta, esa vía de medida queda precintada hasta su reparación.
- Mantenimiento mensual o anual, dependiendo de su uso, de las medidas en los equipos auxiliares de la instalación, como el espectrómetro de masas o las consolas de gases. Si no fuese realizado, dicho equipo no se podría utilizar en los ensayos.
- Comprobar horizontaneidad del eje de la transmisión.
- Limpiar la sala de ensayos (suelo, foso, equipos, etc.).

- Otras

A mayores de lo dicho anteriormente tendremos otras pautas de mantenimiento complementarias para terminar de conseguir un buen mantenimiento de la instalación.

- Cambiar los filtros de gasoil y aceite cada 1000 horas o cada dos cambios de aceite.
- Eliminar posibles fugas de la instalación inmediatamente después de su detección.
- Comprobar en cualquier momento, mediante la ventana de PUMA, la temperatura de los conductos de agua, aceite y aire que circulan por el motor.
- Calibrar cualquier equipo en el que se detecten vibraciones o errores en la medida realizada.

Todas estas normas de mantenimiento nos llevarán a una prolongación de la vida útil de funcionamiento de los equipos en perfecto estado.

B.2. Sistemas de seguridad e higiene

Los sistemas de seguridad que utilizaremos en los ensayos son de obligado cumplimiento por parte de toda persona relacionada con el banco y sus ensayos. Estos sistemas implantados pretenden disminuir el número de accidentes laborales, y por lo tanto, no poner en riesgo en ningún momento la integridad física ni la salud de los empleados en el transcurso de la realización de los ensayos.

Como se ha comprobado anteriormente, un banco de ensayo es un espacio muy complejo y con posibilidad de fallos o errores que puedan ser dañinos para el hombre, pudiendo llegar a considerarse como un espacio altamente peligroso. Y por consiguiente, se deberán plantear distintos tipos de seguridades para evitar contratiempos y salir dañados. Parte de esos inconvenientes que nos podemos encontrar en el interior de la celda y, por lo tanto, deberemos intentar minimizar serán el alto nivel de ruidos que se emite en el transcurso del ensayo, las altas temperaturas que se alcanzan en determinados puntos, la mala disposición de los aparatos y sistemas auxiliares (como son tubos, cables, etc.,) que pueden provocar obstrucciones de paso, golpes, resbalones o simplemente tropezones y en ocasiones desniveles o mala colocación de las planchas de metal colocadas en el suelo, entre otros muchos posibles problemas que pueden surgir.

Todos estos problemas que nos iremos encontrando y que pretenderemos darles un sistema de seguridad para intentar evitarlos, se pueden clasificar en tres grupos: los referidos a la seguridad en el interior de la sala de ensayo, los de la instalación en general y los referidos a la prevención de riesgos de los trabajadores encargados del sistema.

B.2.1. Sistemas de seguridad en la sala de ensayo

Entre los sistemas de seguridad o de prevención de riesgos en el trabajo relacionados con la sala de ensayo podemos encontrar (como podemos ver en el manual de utilización [2.1]):

- Existe un sistema de parada inmediata pulsando cualquiera de los botones disponibles rojos, en forma de seta. Estos pulsadores están situados dos en el interior de la sala, situados en la zona más accesible para su accionamiento, y otro en el pupitre de ensayo. Su accionamiento provoca un corte eléctrico en el interior de la sala, cortando toda actividad que se esté realizando en ese preciso momento en la sala y provocando un frenado de emergencia en el motor, y así, minimizar los posibles daños que se puedan causar.
- Suelo antideslizante y nivelados para evitar tropiezos o resbalones.

- Sala aislada acústica y térmicamente.
- Sistemas de seguridad de detención de incendios mediante, atmósferas explosivas con extracción para los gases, y balizas de seguridad para la detención del sistema al alcanzar cierto niveles de CO, HC, ATEX, etc,
- Sistemas de parada de incendios mediante duchas de agua situadas en el techo y extintores colocados estratégicamente para acceder con rapidez a ellos en caso de ser necesitados.
- Iluminación de la celda suficiente y que los recubrimientos de las paredes no reflejen la luz.
- Depósito de combustible separado de la sala del motor situado en una sala en el exterior del edificio.
- Sala de ensayo independiente del edificio evitando transmitir vibraciones a la estructura del edificio y evitando, por lo tanto, posibles daños estructurales.
- Control exterior de la instalación mediante el pupitre de ensayos.
- Sistema de paro inmediato del motor con la apertura de las puertas de acceso a la sala si el motor se encuentra en funcionamiento, a excepción de ralentí que si se podrá acceder a la sala.

B.2.2. Sistema de seguridad de funcionamiento de la instalación

En cuanto a las seguridades que se deberán cumplir para la instalación cabe destacar entre las más importantes, las relacionadas con el motor y cualquier percance que pueda aparecer en él y en general todas las que afecten a la instalación, como se puede observar en el manual de utilización [2.1]:

- Para temperaturas relacionadas con el motor, debemos asegurarnos que no alcancen ciertos valores límites obtenidos de los estándares. Si dicho valor lo sobrepasa deberá o avisarnos mediante una alarma sonora o mediante la parada inmediata del motor dependiendo si es más o menos peligroso ese exceso de temperatura.
- Las presiones, al igual que las temperaturas, al alcanzar cierto valor podrá o solo avisar o parar el motor inmediatamente.
- Seguridades que se encargarán de comprobar una buena medida de par y evitar excesos de velocidad en el motor, realizando una parada inmediata del motor, si estos valores, no estuviesen dentro de los dados en los estándares.

- La transmisión de unión entre el freno dinámico y el motor ha de poseer una protección de metal, (suficientemente anclada pero de fácil desmontaje y rígida), que proteja de posibles desprendimientos de piezas debido a roturas inesperadas o desanclado de algunas partes que lo componen o incluso enganches, por parte del operario en su manipulación, de la parte móvil del sistema.
- Todos los elementos de la instalación deberán estar accesibles sin peligro de lesión por interferencia de otras piezas. Se ha de asegurar una accesibilidad de manejo y obtención libre y rápida.
- La instalación eléctrica debe contener suficientes elementos de seguridad contra subidas de intensidad, de voltaje o de fugas a tierra. Además, todos los aparatos eléctricos de la instalación, deben tener su conexión a tierra, y así, para evitar el peligro de posibles derivaciones de los aparatos eléctricos de la instalación.

B.2.3. Sistema de prevención de riesgos para los operarios

Lo siguiente que debemos tener en cuenta son las seguridades y el sistema de prevención de riesgos que se han de llevar a cabo para evitar posibles accidentes. Estas medidas las deberán tener en cuenta los operarios o toda persona manipuladora de la instalación, las cuales, podrían sufrir algún accidente laboral.

- Uso obligatorio de zapatos de seguridad para el acceso al interior de la sala de ensayo.
- Uso obligatorio de mascarillas de gases ante la posibilidad de gases nocivos en el interior de la celda.
- Uso obligatorio de tapones en los oídos o cascos insonorizados al entrar en la celda de ensayo si el ruido proveniente de ella puede ascender de los límites permitidos.
- Uso obligatorio de guantes de protección para la manipulación de piezas del motor.
- Para los ensayos de envenenamiento, es obligatorio el acceso al interior de la sala con un detector de partículas peligrosas para la salud para evitar gases tóxicos.
- Evitar prendas o cabellos sueltos que puedan dar lugar a obstrucciones o enganchadas de ellos para evitar posibles accidentes.

- Evitar derrames de aceites o líquidos sobre las superficies que puedan provocar resbalones. Si esto se produjese se deberán recoger y limpiar con la mayor celeridad posible.
- Se deberá realizar ensayos siempre con los accesos a la sala cerrados e imposibilitando la estancia de ninguna persona en el interior de la sala.
- Para evitar acumulaciones de gases, el trabajador ha de asegurarse que la ventilación de la sala de ensayo esté en funcionamiento al igual que la ventilación por ATEX. Si este hecho no se diese, hasta el momento en el que no se solucione tal error no se podrá iniciar los ensayos.
- Obligación, por parte de los trabajadores, de conocer las rutinas de funcionamiento de los aparatos usados en los ensayos y sus posibles contratiempos para evitar posibles accidentes.
- En el espacio de trabajo deberán existir medios necesarios para afrontar pequeñas lesiones. En caso de lesiones de mayor envergadura se deberá acudir a los servicios sanitarios de Renault o al centro médico más cercano.

B.2.4. Recomendaciones de seguridad por la S.A.E.

A mayores de todas las normas que se han de seguir internas al reglamento de Renault, existe un reglamento internacional, SAE-J153 [B.1], en el cual, se establecerán normas de obligatorio cumplimiento para los operadores en el ámbito de los ensayos de banco motor; como podremos comprobar a continuación:

- Perfecto conocimiento, por parte de los operadores, de las funciones de todos los controles, antes de comenzar las operaciones.
- Asegurarse de verificar todos los controles en el área de seguridad, antes de comenzar el trabajo.
- El personal deberá desprenderse de prendas de abrigo y utilizar ropa adecuada.
- Conocimiento del equipo de seguridad requerido para la máquina y utilización del mismo.
- Corregir los defectos de la máquina antes de comenzar su función.
- Recoger todos los objetos o herramientas abandonados junto sobre la máquina.
- Poner especial atención si se trata de una máquina con la que normalmente no se ha operado.

- Evitar prisas en operaciones de montaje y desmontaje.
- Nunca desatender la máquina mientras está en funcionamiento.
- Comprobar el funcionamiento de los elementos de alarma, luces de emergencia, etc.
- Tener constancia de cualquier defecto en la máquina durante la operación.
- Observar los instrumentos frecuentemente.
- Mantener la máquina bajo el control de sus limitaciones, no apresurarse en los ensayos.
- No realizar manipulaciones manuales sobre la máquina en funcionamiento.
- No fumar dentro del área de las salas de ensayo.
- Descargar toda la presión antes de trabajar en sistemas que posean acumuladores de presión.
- No intentar reparar equipos desconocidos, asesorarse de expertos y de manuales.