

# La ciencia y la experiencia

## *Laboratorio de ensayo de motores*

Félix URBÓN MONTERO \*

### I.- Introducción



De todos es conocido el rápido cambio tecnológico que se está experimentando en el mundo y al que nuestro país no puede permanecer ajeno.

El mecánico «de oído» está siendo sustituido por el técnico especialista que debe conocer aún mejor el motor del automóvil y debe, además, manejar una serie cada vez más numerosa y sofisticada de aparatos de verificación y control.

Actualmente no se exige al motor de un automóvil que funcione, como único requisito, sino que lo haga en condiciones de máximo rendimiento, es decir, de mínimo consumo específico, de mínima contaminación atmosférica y de máxima seguridad de funcionamiento con el mínimo mantenimiento.

La pizarra y la tiza, los murales, el desmontaje y montaje del motor e incluso el estudio de su funcionamiento en marcha pero sin carga, es decir, «al ralenti», no son suficientes para ese mayor conocimiento que actualmente se requiere de las nuevas promociones de técnicos especialistas. En el momento actual la forma más completa de estudiar un motor de automóvil es sumar, a los métodos que acabamos de enumerar, la experimentación de sus características en un *banco de ensayos* donde se someta al motor a cargas crecientes —potencias crecientes— para determinar sus valores

característicos de potencia, par y consumo específico, analizando la influencia que en ellos tiene una serie de variables tales como: revoluciones del motor, posición de la mariposa de gases, riqueza de mezcla, avance o retraso al encendido, temperatura del motor, condiciones en la admisión de mezcla fresca, grado térmico de las bujías, estado mecánico del motor, etc.

Un banco de ensayo de motores representa la posibilidad de profundizar aún más en el estudio de un motor. El alumno, al manejarlo, medir valores y analizar resultados, puede fijar los conceptos teóricos estudiados. Estos últimos son previos y necesarios pero no suficientes para lograr de él la plena comprensión de la complejidad que representa un motor.

Y va más allá. La importancia de conocer más profundamente un motor no se limita al dominio de una tecnología. Incide directamente en tres aspectos de la vida nacional. El primero de ellos influye en la seguridad vial ciudadana: un vehículo mal reparado por desconocimiento del técnico encargado de su reparación pone en peligro vidas humanas, tanto las de los ocupantes de ese vehículo como las de los ocupantes de otros vehícu-

\* Profesor numerario de tecnología de automoción. I.P.F.P. «Carlos M. Rodríguez de Valcárcel», Madrid.

los que circulen cerca de él. Aspecto mucho más acusado actualmente debido al incremento del parque automovilístico y a su mayor velocidad media. El segundo aspecto está relacionado con la economía nacional: si todo el parque automovilístico estuviese correctamente puesto a punto originaría un ahorro de energía al país. El transporte por carretera, predominante en nuestro país, se vería, de otra forma, mejorado. El tercer aspecto incide en la contaminación atmosférica de las ciudades —más acusada en las grandes urbes—: motores correctos en su funcionamiento y cumpliendo las normas disminuyen apreciablemente la contaminación atmosférica, que tiene una relación directa con la salud pública.

Aspectos, todos ellos, no bien considerados por muchos técnicos del automóvil y aun por personas no relacionadas con el mundo automovilístico, para los cuales el hecho de que un coche «ande» es lo único importante.

## 2.— Descripción del laboratorio. Equipos de medida

Para que los alumnos puedan experimentar sobre un motor sometido a ensayo hemos montado en nuestro instituto un laboratorio de ensayo de motores. En él se toman datos del motor para elaborar tablas, dibujar curvas y gráficos y analizar los resultados obtenidos evaluando las actuaciones o «performances» del motor.

Consta de una *sala de ensayos* aislada acústicamente y de una *cabina de control* desde donde se maneja el equipo siguiente:

### Bancada

Masa sísmica de, aproximadamente, 2.500 kgr. de peso. Suspendida de cuatro amortiguadores cuya frecuencia de resonancia es del orden de los 3 Hz. Absorbe las vibraciones del motor.

### Freno

Es el elemento que absorbe la potencia del motor. El rotor, unido al cigüeñal a través de un eje, impulsa el agua contra las paredes del estator provocando en ella movimientos turbilhonarios toroidales, lo cual origina su calentamiento. Una continua circulación de agua mantiene su temperatura constante. Puede absorber hasta 210 kw.

### Medida del par motor

Al ser arrastrado al estator carga, a través de una palanca, una célula con ocho bandas extensométricas. La señal eléctrica va a un módulo electrónico que nos da una indicación digital del par.

### Medida de las revoluciones

Un captador magnético cuenta los sesenta dientes de una rueda fónica situada en el freno. La señal eléctrica va a un tacómetro con indicación digital.

### Medida de temperaturas

Las medimos con termopares cuya señal eléctrica la llevamos a una caja de medidas que está conmutada para seis posiciones y nos indica, digitalmente, la temperatura seleccionada.

### Medida de presiones

Tanto la depresión en el colector de admisión como la contrapresión de los gases de escape o la depresión en la tobera de medida del gasto de aire, las medimos con manómetros de columna. Para la depresión en el colector de admisión es de columna de mercurio, y para las otras dos de columnas de agua.

### Medida de las condiciones del ambiente

Disponemos en la sala de ensayos de una unidad barométrica para medir la presión y temperatura ambiente y la humedad relativa.

### Medida del gasto de aire

El gasto de aire del motor lo medimos por medio de una tobera calibrada. El aumento de la velocidad del aire en la tobera, provocado por un mayor gasto del motor, origina mayor depresión en su garganta. Esta depresión la medimos con un manómetro de columna de agua, como ya hemos indicado. Con la tabla de calibrado transformamos los m.m.c.a. en m<sup>3</sup>/min.

### Medida del gasto horario de combustible

Para medir el gasto de combustible utilizamos un sistema clásico.

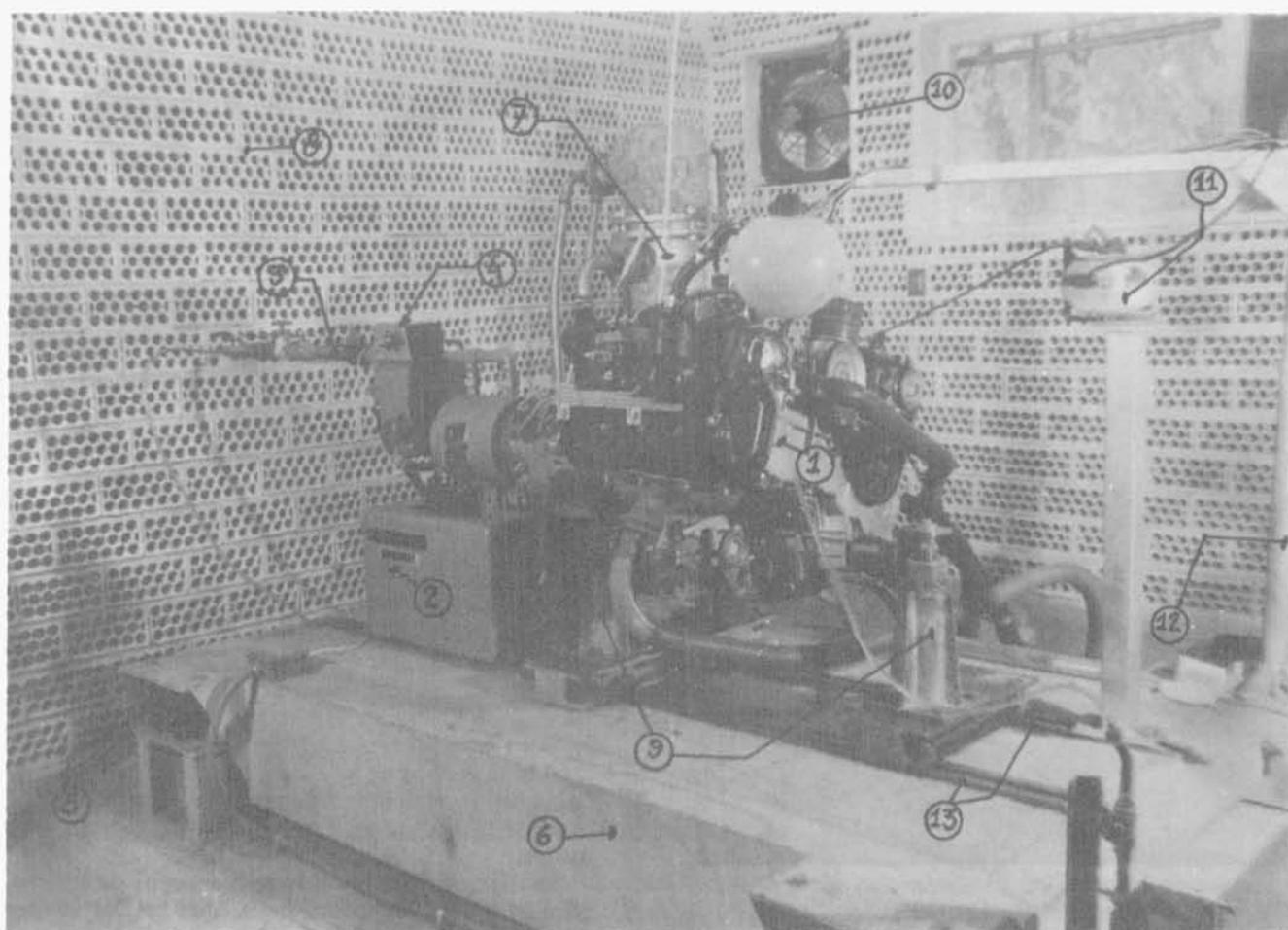
El método es muy didáctico y consiste en medir, con cronómetro en mano, el tiempo que tarda en consumirse un volumen determinado de combustible. Se arranca, y se para el cronómetro cuando el nivel de combustible enrasa dos muescas de una burbuja de cristal de 50 cc.

### Medida del monóxido de carbono

El equipo de medida del CO entra dentro del material modulado que manda el M.E.C. Es del tipo no dispersivo con absorción en el infrarrojo.

### Instalación de agua

Todo el calor que se genera en la sala ha de ser evacuado. Para eso utilizamos circuitos de agua



1. Motor. 2. Freno. 3. Toma de agua para el freno. 4. Servomotor mando freno. 5. Apoyo elástico de la bancada. 6. Bancada. 7. Intercambiador de calor agua-agua. 8. Tabique insonorización de la sala. 9. Soportes universales. 10. Extractor. 11. Servomotor mando acelerador. 12. Columna recogida del cableado. 13. Guías de bancada.

conectados a la red. Hemos instalado cuatro circuitos para el freno, el motor, el aceite y el tubo de escape.

#### Mando del acelerador y freno

Hemos instalado dos servomotores para la apertura y cierre de la mariposa y para accionar la válvula de paso de agua al freno. Se mandan eléctricamente desde la cabina de control.

#### Central de alarmas

En un laboratorio de este tipo no han de faltar una serie de alarmas que paren automáticamente el motor en caso de fallar algún sistema.

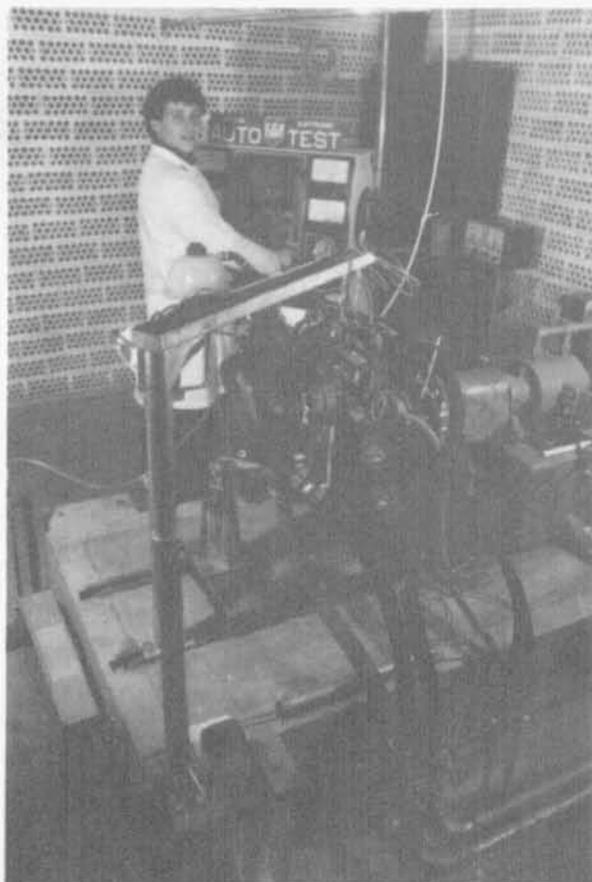
Hemos instalado tres alarmas: presión, temperatura de aceite y temperatura de agua. En caso de sobrepasarse sus valores límites, unos manoccontactos o unos termocontactos cierran un circuito eléctrico que activa un relé, y éste cortocircuita el encendido.

### III.- Experiencias a realizar en el laboratorio

Las posibilidades de un laboratorio de este tipo son inmensas. Las únicas limitaciones vienen condicionadas por el dinero disponible. Limitaciones de otro orden son debidas al nivel de conocimientos del equipo de profesores, a sus ganas de trabajar y a la imaginación que pongan en diseñar experiencias didácticas.

#### Determinación de las curvas características a plenos gases

Para determinarlas, y después de llevar el motor a su temperatura de régimen, se coloca la mariposa de gases a plena apertura. Se actúa sobre el mando de carga para llevar al motor a su máximo régimen de giro. Éste sería un punto de funcionamiento. Otros puntos de funcionamiento se obtie-



16. Célula de carga del freno

nen cargando más al motor para barrer todo el abanico de revoluciones a intervalos discretos.

En cada punto de funcionamiento se miden las  $r/min$ , el par, el vacío en el colector y el consumo horario. Con estas medidas se calculan la potencia y el consumo específico.

Con la tabla de datos obtenida se dibujan las tres curvas características de todo motor térmico: potencia, par y consumo específico en función de las  $r/min$ . Los valores han sido corregidos previamente a la atmósfera «standard» según la norma S.A.E. correspondiente.

Todos los resultados se analizan y se evalúan sacando las conclusiones correspondientes.

#### **Determinación de las curvas características a cargas parciales**

En cada carga parcial se fijan varios puntos de funcionamiento a diversas  $r/min$ . y se miden par y consumo horario calculando potencia y consumo específico. Dibujamos las curvas de potencia, par y consumo específico para diversos regímenes de rotación y diversas cargas del motor.

#### **Influencia del avance al encendido**

La «puesta a punto» es uno de los trabajos más usuales con que va a encontrarse un técnico especialista. Con esta experiencia pretendemos analizar la influencia que tiene el avance o retraso al encendido en el funcionamiento del motor.

Elegimos un punto significativo de funcionamiento del motor. Modificamos la variable «avance» del motor situando dicho ángulo en valores de 5 en 5 grados desde 50 grados de avance hasta 10 grados de retraso (siempre que lo permita el motor). Leemos los valores de:  $r/min$ , par, gasto horario y temperatura de los gases de escape. Calculamos la potencia y el consumo específico.

Dibujamos las curvas de potencia, par, consumo específico y temperatura de los gases de escape en función del ángulo de avance o retraso. Se analiza su forma y se sacan conclusiones.

#### **Influencia del calado de la distribución**

Los ángulos de adelanto y retraso a la apertura y cierre de válvulas son fijos en un motor ya construido y no pueden variarse sin cambiar el árbol de levas. Sin embargo, un mal calado de la distribución hace que todos ellos se modifiquen por igual influyendo en el funcionamiento del motor. Con esta experiencia pretendemos evaluar la influencia de un mal calado en las prestaciones del motor.

Se eligen varios puntos significativos de funcionamiento del motor. Se leen y calculan sus valores característicos.

Calculamos los nuevos ángulos de apertura y cierre de válvulas estimando las prestaciones esperadas. Se adelantan, sucesivamente, uno y dos eslabones de la cadena de la distribución —o del sistema de arrastre que lleve— y se retrasan de la misma forma leyendo y calculando los nuevos valores característicos.

Se analizan los resultados obtenidos comparándolos con los estimados.

Puede hacerse esta experiencia junto con la del rendimiento volumétrico analizando la influencia que tiene el calado de la distribución en el llenado del cilindro.

#### **Determinación del rendimiento volumétrico**

Para posiciones fijas de la mariposa vamos variando la carga. Situamos el motor en distintos regímenes de funcionamiento. En cada posición de la mariposa y en cada régimen de giro medimos el gasto de mezcla real (aire y combustible) y calculamos el gasto teórico. Su cociente nos dará el rendimiento volumétrico. Medimos el par y calculamos la presión media efectiva. Se dibujan las curvas correspondientes y se analizan los resultados.



11. Servomotor mando acelerador. 12. Columna recogida de cableado. 14. Depósito de combustible. 15. Unidad barométrica. 17. Manómetros de columna. 26. Burbujas de combustible.

### Determinación de los rendimientos del motor a $r/min$ constantes

Con ciertas restricciones podemos calcular los rendimientos mecánicos, el indicado y el total de un motor. Utilizamos el método Morse.

Se lleva el motor a un punto de funcionamiento y se mide la potencia que entrega. Se va anulando, sucesivamente, el encendido de cada cilindro midiendo la nueva potencia. Variamos la carga y la posición de la mariposa para mantener constantes las revoluciones y la presión de admisión.

Aplicando ciertas fórmulas se calcula el rendimiento mecánico en ese punto de funcionamiento.

Si medimos el gasto horario y con él calculamos el consumo específico podemos tener el rendimiento total, y con éste y el mecánico hallar el rendimiento indicado.

### Determinación de la riqueza de mezcla

Pretendemos analizar la influencia que tiene la riqueza de mezcla en ciertas variables del motor.

Elegido un régimen de giro vamos fijando varios puntos de funcionamiento sin más que ir variando la carga.

Para cada punto de funcionamiento vamos variando la riqueza que proporciona el carburador sin más que conectar la bomba de vacío del aparato de diagnóstico a la cuba del carburador. De esta forma podemos controlar el gasto de combustible.

Medimos gasto de aire y de combustible así como temperatura de gases de escape, monóxido de carbono y par en el eje.

Obtenidas las tablas de datos, dibujamos las curvas correspondientes.

### Balance térmico

Si la cantidad de energía que entra en un motor es el 100%, pretendemos determinar en esta experiencia qué porcentaje de ella se utiliza en potencia útil en el eje y en calentar el agua de refrigeración, y qué porcentaje se pierde por los gases de escape o por radiación.

Elegido un punto de funcionamiento medimos el gasto horario de combustible para saber la potencia calorífica que entra.

Midiendo la potencia en el eje sabremos el porcentaje útil de esa gasolina.

Midiendo el gasto de agua de refrigeración jun-



17. Manómetros de columna. 18. Tacómetro. 19. Aparato de medida del par. 20. Medida de temperaturas. 21. Central de alarmas. 22. Consola mando acelerador y freno. 23. Consola arranque del motor. 24. Llave de tres vías para el combustible. 25. Mesa pupitre.

to con su temperatura de entrada y salida sabremos la potencia perdida por ese concepto.

Finalmente podemos evaluar la potencia perdida en los gases de escape suponiendo que es el resto hasta el 100%.

Los valores así obtenidos no son totalmente exactos pero dan una idea clara de lo que es un balance térmico en un motor y la influencia relativa de unos y otros sumandos.

#### IV.- Conclusiones

Quisiera subrayar que las posibilidades didácticas de un laboratorio de ensayo de motores vienen limitadas por el dinero disponible y por los conocimientos e imaginación de los profesores implicados.

*¿Qué aprenden los alumnos en un laboratorio de ensayo de motores?*

- A fijar conceptos a través de la experimentación y no sólo a través de la simple escucha. Decía A. Einstein en *Mis ideas y opiniones*: «el alumno debiera experimentar más y escuchar menos».

- A trabajar en equipo. Los que cursamos las enseñanzas medias hace bastantes años sabemos de la soledad de aprender frente a un montón de libros. Y sólo cada uno de nosotros sabe las lagunas que nos dejó ese sistema de aprendizaje, sobre todo en materias experimentales.

- La complejidad que representa un motor y la interrelación de sus múltiples variables. Aprenden mucho mejor qué es un motor térmico.

- A redactar un informe técnico planteando los objetivos, desarrollando la experiencia, elaborando tablas, dibujando gráficos y sacando conclusiones de los resultados.

- A manejar normas, tablas, instrumentos de medida.

- A solucionar los problemas que les surgen en el desarrollo de la experiencia, pues aunque esté muy bien preparada por el profesor siempre aparecen «pegas». Más aún en un laboratorio de este tipo.

- *Aprenden cómo se deben aprender las materias experimentales.* Si lo consigo con mis alumnos, éste sería, a mi entender, un gran logro.

#### Nota final

Las personas en quienes recaiga la responsabilidad de dotar de material a los centros de formación profesional y en concreto al segundo grado de la rama de automoción debieran plantearse la necesidad de un laboratorio de ensayo de motores.

¿Y el dinero? No es necesario salir de España para conseguir equipos. En nuestro país hay tecnología suficiente y empresas dedicadas al tema como para dotar a los centros de un freno y de la instrumentación necesaria por poco dinero.

¿Y los conocimientos del profesorado para sacar cierto provecho al laboratorio? Con adecuados cursos de «reciclaje», debidamente financiados, existe profesorado adecuado para impartirlos.

Las fotografías han sido realizadas por los alumnos de segundo grado del I.P.F.P. «Carlos María Rodríguez de Valcarlos», Rama Imagen y Sonido.

