

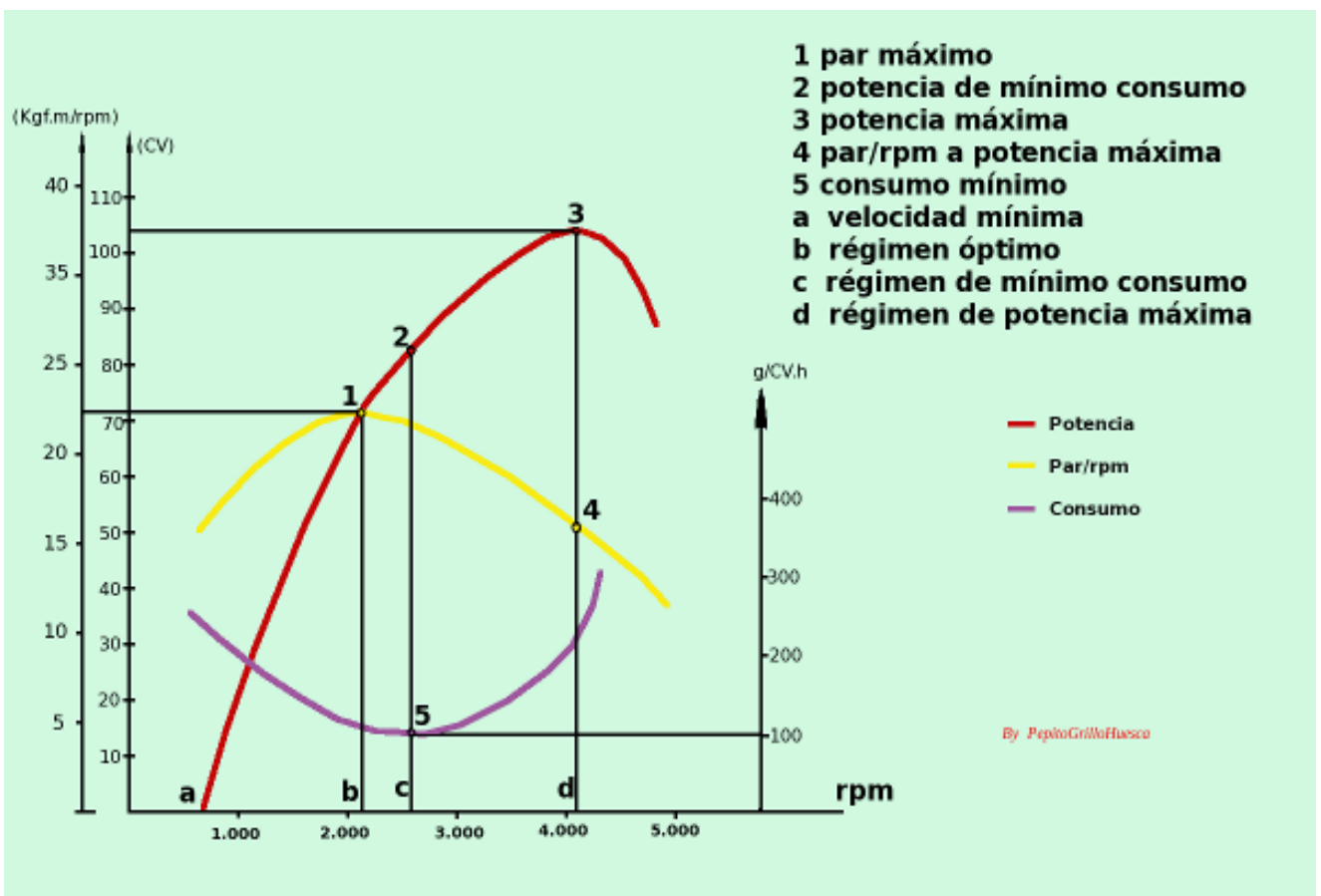
## ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE N° 09

### **CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA**

#### I. BANCO DE ENSAYO DE MOTORES

Los bancos de ensayos para motores son de vital importancia para el desarrollo de éstos (o el de alguno de sus componentes) ya que permiten tener un registro de su comportamiento tanto en las condiciones normales de funcionamiento como en situaciones extremas a las que puedan verse obligados a trabajar. Es importante definir la finalidad del banco de ensayos (para producción, investigación, rectificación,...); el tipo de pruebas a realizar (ensayo de potencia, emisión de contaminantes, control de temperaturas,...); y, por último, el tipo de motor a probar, pudiendo ser éstos de combustión (gasoil, gasolina, gas,...)

#### 1.1. CURVAS CARACTERÍSTICAS



#### Objeto:

Conocer las técnicas de ensayo de los motores alternativos. Determinar la variación de distintos parámetros de funcionamiento del motor al variar sus condiciones operativas.

#### Material:

- ❖ Motor térmico alternativo.
- ❖ Banco de pruebas con la instrumentación correspondiente. Sistema de refrigeración y ventilación.

### **Fundamento teórico:**

Los frenos dinamométricos son los encargados de crear un par resistente que es el que proporciona la "carga" al motor. Esta carga ha de ser variable para ensayar distintas condiciones operativas del motor.

Se han desarrollado varios tipos de frenos basados en distintos principios. Los más difundidos son:

- Frenos de fricción
- Frenos hidráulicos
- Frenos eléctricos
- De corriente continua
- De corriente alterna
- De corrientes de Foucault.

El banco de ensayo dispone de un freno hidráulico de tipo Froude. Los frenos hidráulicos son adecuados para mediciones de potencia de la mayor parte de los M.C.I. Se componen de un rotor que gira accionado por el eje del motor y un estator o carcasa fija al sistema de medida de fuerza. Entre el rotor y el estator hay una cantidad variable de agua.

En el freno Froude que es el más comúnmente usado, carcasa y rotor están provistos de cavidades y álabes oportunamente conformados, que imparten al agua un movimiento turbulento, que transforma en calor el trabajo mecánico desarrollado por el motor. Las variaciones de carga se consiguen variando la cantidad de agua en el interior del freno.

La resistencia que el agua opone a la rotación del rotor reacciona sobre el estator produciendo un par resistente igual al par motor.

### 1.2. FASES DE DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.

- Explicación de los distintos tipos de frenos dinamométricos y de las curvas características de los motores térmicos alternativos.
- Utilización y manejo de los instrumentos de medida.
- Toma de datos en un banco de ensayo para distintos regímenes de giro del motor.
- Cálculo de los distintos parámetros.
- Representación gráfica de los resultados obtenidos.

### 1.3. TIPOS DE ENSAYOS.

Existen dos tipos de ensayos de los motores de combustión interna: ensayos de investigación y desarrollo, y, ensayos de producción.

**Los ensayos de investigación y desarrollo**, se efectúan en naves especialmente equipadas (celdas de ensayos), siendo su objetivo el desarrollo de un motor o de alguno de sus componentes, o bien el análisis de alguno de los procesos que tienen lugar en el mismo, por lo que en general se precisa una instrumentación sofisticada.

Las principales pruebas experimentales son aquellas que sirven para determinar los valores de:

- par motor.
- potencia.
- presión media efectiva.
- potencia absorbida por rozamiento.
- consumo de combustible.
- rendimientos.
- etc.

También se efectúan otras pruebas con el objeto de investigar el desarrollo de los fenómenos físicos y químicos, determinando por ejemplo:

- evolución de las presiones en el cilindro.
- composición de los gases de escape.
- pérdidas de calor.
- etc.

Todos los motores de nuevo proyecto (prototipos) son sometidos a una larga serie de pruebas experimentales, hasta alcanzar las presiones previstas.

**Los ensayos de producción**, son aquellos que se realizan a los motores ya fabricados en serie, y que sirven para controlar que sus características corresponden a las de los prototipos y al mismo tiempo efectuar un periodo de rodaje o asentamiento del motor. Por tanto la instrumentación necesaria es relativamente simple.

#### 1.4. BANCO DE PRUEBAS.

Para ensayar un motor es necesario instalarlo en un banco de pruebas o de ensayos. Este consta básicamente de los siguientes elementos:

- 1) Una cimentación que absorba las vibraciones que se producen debido a la existencia en el motor de fuerzas de inercia no equilibradas y de los correspondientes momentos resultantes.
- 2) Bancada, cuya misión es soportar el motor.
- 3) Soportes para montar y fijar el motor en la bancada, así como regular la altura y alinear el motor con el freno.
- 4) Freno dinamométrico que absorba la potencia desarrollada por el motor, ofreciendo una resistencia al giro de éste, y que esté provisto de un dispositivo para medir el par motor.
- 5) Transmisión que permita la conexión freno-motor con una cierta elasticidad y capacidad de absorber desalineaciones.
- 6) Sistema de alimentación de combustible al motor con instrumentos de medición de consumo.
- 7) Sistema de refrigeración del motor:
- 8) Si los motores son refrigerados por agua, normalmente se mantiene la bomba de agua del propio motor. Esta impulsa el agua a través del motor hacia un cambiador de calor (agua/agua o aire/aire), en general con regulación termostática por medio de válvulas motorizadas. En instalaciones más económicas se suele recurrir a un depósito de mezcla en donde se añade una pequeña cantidad de agua fría a la caliente, que proviene del motor.

- 9) Si los motores son refrigerados por aire se suele utilizar una soplante dirigida hacia las aletas del motor.
- 10) Sistema de refrigeración de aceite.
- 11) En ocasiones también se refrigera el aceite del motor, ya que al no existir una corriente de aire al cárter, éste tiende a sobrecalentarse. El sistema consta de un intercambiador aceite/agua y en ocasiones una bomba auxiliar.
- 12) Red de agua.
- 13) Los frenos dinamométricos transforman toda la energía mecánica que reciben del motor en calor. Este calor es eliminado por el sistema de refrigeración del freno que suele ser mediante un abastecimiento continuo de agua.
- 14) En los frenos hidráulicos se ha de mantener la presión del agua dentro de unos límites, ya que por ser el agua el elemento frenante, cualquier variación de presión provocaría una variación en el par resistente y por tanto una variación en la medida
- 15) El agua se calienta a su paso por el freno y en algunos casos se suele emplear un circuito cerrado, enfriándose el agua en una torre de refrigeración.
- 16) Sistema de evacuación de los gases de escape.
- 17) Los gases de escape son enviados tras pasar por un silenciador a la atmósfera.
- 18) Sistema de ventilación de la sala. Debe evitar el sobrecalentamiento del local por la radiación de calor del motor. Se efectúa mediante ventiladores axiales o centrífugos de impulsión y extracción.

Cuando el banco se instala en una habitación o cámara cerrada y aislada se habla de una celda o cabina de ensayo de motores. En este caso existe un pupitre de instrumentos en el exterior de la celda con los órganos de puesta en marcha y de gobierno del motor y freno, así como los instrumentos de control y registro.

#### 1.5. MEDICIÓN DE LA POTENCIA EFECTIVA DEL MOTOR.

Cuando un motor en funcionamiento mueve algún conjunto de elementos mecánicos que ofrecen una resistencia a su propio movimiento, el trabajo lo realiza contra dicha resistencia (carga resistente) que, por tanto, hace el efecto de freno del motor.

La potencia efectiva de un motor es:

$M_e$ : par motor (par disponible en el eje motor) x velocidad angular

Siendo el par motor proporcional a la magnitud de la carga resistente aplicada al motor (generador eléctrico, unidad propulsora de un buque, etc.). La naturaleza física de la carga no tiene influencia sobre la producción de potencia siendo esta la misma si el par resistente es el mismo para la misma velocidad de giro del motor.

El par motor se mide acoplado al motor un dispositivo frenante cuya característica resistente se puede variar (variar la carga resistente), pudiéndose obtener, si medimos el régimen de giro del motor, la potencia correspondiente desarrollada por el mismo. Este dispositivo frenante se denomina freno dinamométrico, y consta básicamente de una parte móvil (rotor), una fija (estator) y un dispositivo de medida de fuerza. El rotor del freno está acoplado al árbol de salida del motor. El par motor se transmite desde el rotor al estator generalmente por medio de un fluido o de un campo

magnético. Al poseer el estator un montaje basculante, que permite que gire sobre su propio eje, aquél intentaría girar en el mismo sentido que el rotor. Un brazo unido al estator, que posee un punto de apoyo a una distancia del eje de giro, impide este giro, dando lugar a la aparición de una fuerza  $F$  en dicho punto. Este punto de apoyo actúa sobre el dispositivo de medida de fuerza. Por lo tanto el par resistente que ofrece el freno dinamométrico será:

#### 1.6. TIPOS DE FRENOS DINAMOMÉTRICOS.

##### **Frenos de fricción.**

El freno de fricción mecánico por zapata y tambor fue el primero utilizado, llamado "Freno de Prony", si bien debido a su inestabilidad y dificultad de regulación y refrigeración, hoy es sólo un antecedente histórico.

##### **Frenos hidráulicos.**

El freno hidráulico es similar a un convertidor hidráulico de par, en el que se impidiese girar al eje de salida. Se compone de un rotor y una carcasa o estator llena de agua que sirve tanto de elemento frenante como refrigerante.

La potencia del motor absorbida por el freno se transforma en calor, necesitándose una alimentación continua de agua fría. Para una temperatura de entrada al freno de 200 C y una salida de 600 C se necesita por kW frenado, un caudal de 20 dm<sup>3</sup> /h aproximadamente. Para evitar el deterioro del freno la temperatura del agua a la salida no debe sobrepasar en general los 600 C.

De los diversos frenos dinamométricos hidráulicos que se han desarrollado vamos a ver dos tipos constructivos:

- Rotor interior
- Rotor exterior

Así como dos tipos de regulación:

- Por compuertas
- Por nivel de líquido

La figura 2 representa un freno hidráulico tipo Froude en el que el rotor gira en el interior del estator, siendo este el caso más frecuente.

Tanto el rotor como el estator están provistos de una serie de alvéolos o cavidades, que tienen forma de elipsoide. Los del estator están enfrentados a los del rotor.

Durante el funcionamiento, el agua de los alvéolos del rotor es expulsada a gran velocidad por la acción de la fuerza centrífuga introduciéndose en los alvéolos del estator por el perímetro externo. Estos últimos poseen una forma tal que hace que el agua retorne a los del rotor a menor velocidad por la parte más próxima al eje de rotación.

De esta forma la trayectoria del agua es helicoidal, produciendo el torbellino de este movimiento un efecto de frenado entre el rotor y el estator, como consecuencia del rozamiento entre las superficies del freno y el agua existente en su interior. La resistencia que el agua opone al giro del rotor reacciona sobre el estator, produciendo un par igual al par motor.

Determinados modelos de los frenos hidráulicos Schenck tienen las partes móviles dispuestas exteriormente al estator, el cual está montado en forma basculante y unido al sistema de medida de fuerza. Esta disposición permite añadir un freno de fricción sobre la cara exterior del rotor para aumentar el par de frenado a bajo régimen.

La regulación de la carga resistente se puede efectuar interponiendo unas compuertas en el espacio entre los alvéolos del estator y del rotor. Accionando un volante exterior al estator se aproximan o alejan del eje de rotación las dos compuertas haciendo inactivo a los efectos de frenado un número menor o mayor de cavidades.

En la regulación por nivel de líquido, al girar el rotor el agua que hay dentro del freno sufre la acción de las fuerzas centrífugas formando un anillo, cuyo espesor se puede regular estrangulando la salida o la entrada de agua.

El par de frenado de los frenos dinamométricos hidráulicos es aproximadamente proporcional al cuadrado del número de revoluciones (curva característica de respuesta aproximadamente cuadrática), lo que les hace muy estables,

Las ventajas de este tipo de freno son:

- Bajo costo para potencias absorbidas importantes.
- Gran duración.
- Reparación rápida y poco costosa.

Como inconvenientes podemos citar:

- Poca versatilidad de las curvas de par resistente.
- Par de frenado fuertemente dependiente de la presión de la red hidráulica, lo que puede producir inestabilidad.

Estas consideraciones hacen que el freno hidráulico sea el más utilizado en producción y en ensayos de resistencia.

Frenos eléctricos.

Para determinar la potencia efectiva se pueden utilizar generadores de corriente eléctrica. Así por ejemplo si se acopla un motor térmico a una dinamo conectada a una resistencia eléctrica, la potencia del motor se utilizará en accionarla. Esta potencia se puede determinar midiendo con un voltímetro y un amperímetro la potencia eléctrica suministrada por la dinamo. En este método debe tenerse en cuenta, que existirán pérdidas por rozamiento, por efecto del aire y pérdidas eléctricas dependientes de la carga en el generador por lo que la medida no es muy precisa. Esto hace que sea mucho más común medir la potencia del motor indirectamente a través del par motor.

#### **Frenos de corriente continúa.**

Igual que en los frenos hidráulicos, el estator posee un montaje basculante y está unido a un sistema de medida de fuerza. El par motor se transmite del rotor (inducido) al estator (inductor en anillo) por medio del campo magnético.

La regulación de la carga, cuando las variaciones no son demasiado grandes, puede ser hecha variando la excitación de la dinamo con un reóstato. Haciendo crecer la reacción electromagnética entre el rotor y el estator, efecto que trasmite el par del rotor al estator, aumenta la carga resistente y viceversa. La corriente producida puede ser disipada en forma de calor en unas resistencias eléctricas.

Ahora bien, una ventaja de este tipo de freno es que la energía eléctrica generada durante el ensayo puede aprovecharse de alguna forma útil ya que la potencia del motor no se pierde como energía degradada en un sistema de refrigeración. Así podría llevarse a la red, aunque esto solamente se hace cuando el tiempo de trabajo es lo suficientemente grande como para amortizar los costes de acoplamiento.

En este último caso la dinamo-freno se conecta a un grupo constituido por un motor de corriente continua unido a un alternador asimismo trifásico acoplado a la red, y un motor de corriente alterna que acciona las dinamos excitatrices que suministran la corriente de extracción para el motor c.c. y la dinamo-freno.

La regulación de la excitación de las dos máquinas de corriente continua puede efectuarse por medio de reóstatos: uno varía la excitación del motor y, por tanto la tensión de los extremos del inducido de la dinamo-freno, el otro varía la excitación de la dinamo-freno.

La energía eléctrica desarrollada por la dinamo-freno es enviada al motor de c.c. del grupo, arrastrando al alternador asíncrono. Se recupera, por tanto, bajo forma de energía eléctrica trifásica la energía mecánica suministrada por el motor térmico.

Este tipo de dinamo-freno presenta la gran ventaja de poder ser usado también como motor eléctrico y puede servir no sólo como arrancador del motor, sino también como medio para arrastrarlo, una vez suprimido el encendido y medir directamente la potencia necesaria para vencer los rozamientos. En este caso el alternador actúa como asíncrono accionando un generador de c.c. (anteriormente motor c.c.) que alimenta a la dinamo-freno, que ahora actúa como motor.

Actualmente el grupo motor c.c.-alternador se sustituye por sistemas electrónicos de potencia.

## 1.7. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR TÉRMICO ALTERNATIVO.

Curvas características de grado de carga constante.

Para la obtención en el banco de ensayos de las curvas características de grado de carga constante, se fija el elemento regulador de carga del motor (cremallera de los M E C y válvula de mariposa en los M E P) en la posición que se desee ensayar, y actuando sobre la regulación de la carga resistente del freno se barre escalonadamente todo el campo de regímenes admisible.

### **Curvas de potencia y par.**

Las curvas más características en el ensayo de un motor son las de potencia y par a plena carga. Estas curvas se obtienen ensayando el motor en las condiciones de máxima apertura del elemento regulador de carga del motor.

Los regímenes de giro y los valores de los puntos A y B dependen de infinidad de características y parámetros del motor y tienen un campo de variación muy amplio para diferentes motores. En la mayoría de los motores Diésel (excepto los extrarrápidos) el punto B no llega a alcanzarse dentro del rango de regímenes de giro permisible, por actuar antes el regulador de máxima de la bomba de inyección.

En ocasiones se completa el ensayo de un motor obteniendo curvas de potencia y par a cargas parciales.

### **Potencia corregida.**

El estado atmosférico de referencia para la determinación de la potencia de un motor viene fijado por cada Norma.

En condiciones de prueba diferentes a las del estado de referencia en motores de aspiración natural, debe multiplicarse la potencia medida del motor por el factor de corrección  $k$  que indique la Norma.

En España se utiliza la norma UNE 10-050 que se corresponde con la Norma Internacional ISO 2534 (74) y DIN 70020.

Curva de presión media efectiva.

Obsérvese que la forma de estas curvas es igual a las de par motor.

Curvas de consumo específico.

Estas curvas representan el consumo específico de combustible ( $\rho$ ) para un determinado grado de carga en función del régimen de giro, y dan una idea del rendimiento del motor.

### **Práctica Virtual**

Existe la posibilidad de trabajar sobre una simulación informática del comportamiento de éste equipo, de forma que el alumno pueda "jugar" con el equipo sin limitaciones, pudiendo modificar parámetros que no se podrían variar sobre el equipo real de laboratorio. No es necesario ceñirse a una sola unidad de prácticas. Enlace al Laboratorio Virtual.

Este software está diseñado para obtener el máximo provecho al trabajo práctico en los estudios técnicos, y proporciona tanto ayuda en línea como información adicional para que el alumno pueda relacionar más estrechamente la teoría y la práctica.



## II. RELACIÓN DE MÁXIMA POTENCIA

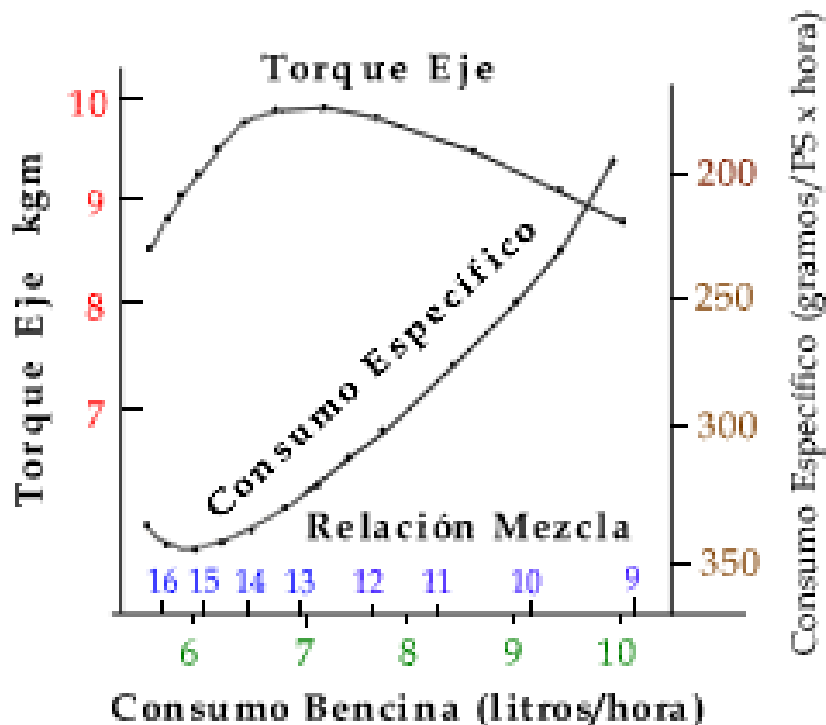
Esta se obtiene con una mezcla que presenta 20% menos de aire que la proporción económica, es decir, 1 gramo de gasolina por cada 12,5 gramos de aire.

### 2.1. Rendimiento de Motor

El desempeño de un motor varía de acuerdo a la relación de mezcla que utiliza. Si un motor funciona a velocidad constante y variamos la proporción de aire combustible que lo alimenta su potencia varía de acuerdo al gráfico siguiente.

A medida que se mejora el rendimiento volumétrico de un motor, mayor cantidad de mezcla alcanza los cilindros y por consiguiente su potencia aumenta. Otras mejoras se obtienen si se ajusta apropiadamente lo siguiente:

- Atomización de la gasolina.
- Uniformidad de alimentación a cada cilindro.
- Aumento de relación de compresión.
- Punto de encendido eléctrico.



Si el armado o los ajustes de un motor no son realizados correctamente su potencia máxima es imposible de conseguir y su consumo de combustible disminuye.