

1.- INTRODUCCION.

1.1.- CONTEXTO

1.2.- NECESIDAD DE LA EXPERIMENTACION → EL BANCO DE ENSAYOS

1.3- ELECCIÓN DEL TIPO DE BANCO

1.4- EL BANCO DE ENSAYOS INERCIAL

1.5- EL BANCO INERCIAL PARA EL PROYECTO MOTOSTUDENT – OBJETIVO DEL PFC

1.1 – CONTEXTO

El proyecto que se describe nace fruto de la participación del equipo de la universidad de Sevilla, en el concurso MOTOSTUDENT.

La competición MotoStudent promovida por la fundación *Moto Engineering Foundation*, es un desafío entre equipos universitarios de distintas universidades españolas y europeas, en el que los alumnos han tenido que diseñar y desarrollar un prototipo de moto de competición de pequeña cilindrada. Para el propósito de esta competición, el equipo universitario se ha tenido que considerar integrado en una empresa fabricante de motos de competición, para desarrollar y fabricar un prototipo bajo unos condicionantes técnicos y económicos dados. La competición en sí misma, ha sido un reto para los estudiantes, donde en un periodo de tiempo de tres semestres el equipo ha tenido que demostrar y probar nuestras capacidades de creación e innovación, y la habilidad de aplicar directamente nuestras capacidades como ingenieros en comparación con los otros equipos del resto de universidades.

Algo que tuvimos claro todos los miembros del equipo desde el principio fue que no todos podíamos centrarnos a plena carga en todos los elementos constituyentes de la moto. Por las claras limitaciones temporales, estimamos necesaria la subdivisión del proyecto en diferentes elementos constitutivos claramente diferenciadores, y de los que cada uno sería responsable. Esto no quita que en mayor o menor medida todos los miembros hayamos participado en el resto de partes.

A tal efecto, el autor del presente trabajo se encargó de la parte motriz del proyecto, tratando de encontrar aquellas modificaciones y la puesta punto que más conviniese al motor de combustión interna alternativo de 2 tiempos y 125 cc. de cilindrada.

La normativa técnica de la competición motostudent es la que ha dictado las posibilidades y limitaciones a la hora de modificar el grupo motor. Los motores han sido todos proporcionados por la organización del concurso, y se prohíbe cualquier modificación interna de éste. Por lo tanto, las posibles líneas de acción y mejora se han limitado a la optimización de los sistemas de admisión, y escape, dos de los elementos claves del motor. Una vez conocidas las posibilidades de actuación, el trabajo se centró en ver cómo intentar sacar el máximo rendimiento a cada una de ellas y al funcionamiento del motor en conjunto.

El proceso de preparación de un motor implica la optimización de la fluidodinámica del conjunto, y en esto, los sistemas de admisión y sobre todo el de escape tienen una gran influencia, puesto que se trata de un motor de 2 tiempos. A diferencia de un motor de 4 tiempos, en este tipo de motores el proceso de renovación de la carga (evacuación de gases quemados e introducción de mezcla aire-gasolina nueva) está encomendado al movimiento del pistón a través de unos orificios o transferes en la camisa del cilindro.

El sistema de escape actúa activamente en este proceso de renovación de la carga ayudando a evacuar los gases quemados y evitando que gases nuevos se escapen sin quemar. Esto se realiza con la ayuda de la acción de las ondas de presión y rarefacción que se propagan por el interior del mismo, y que llegan al cilindro en los instantes precisos para contribuir bien al llenado o bien al taponamiento del mismo.

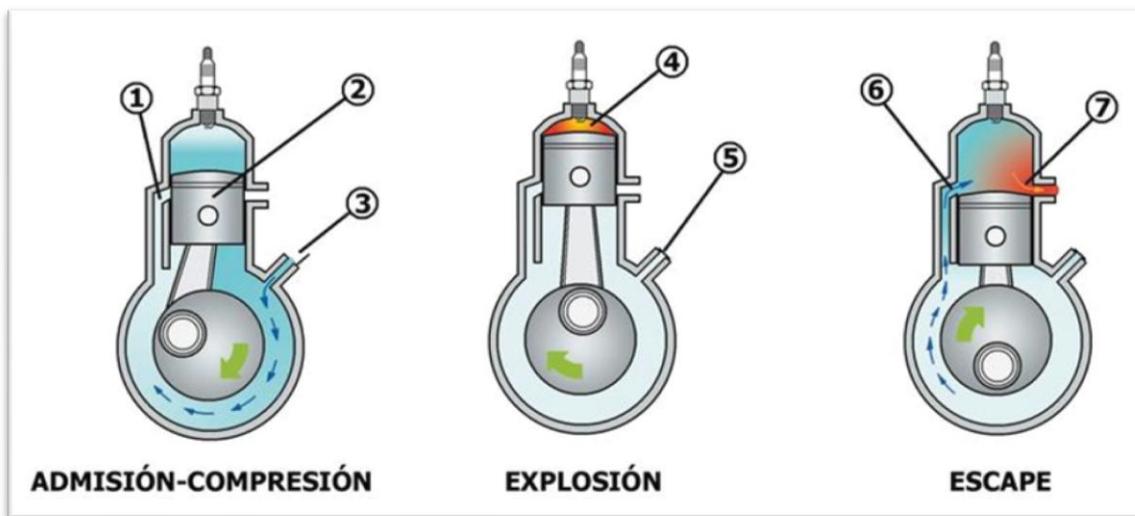


Fig.1.1.- Esquema simplificado de los ciclos de un motor de 2T

Optimizar el sistema de escape pasa por la elección correcta de las dimensiones de los conductos que lo forman (truncos de cono y cilindros), para garantizar que las ondas lleguen al cilindro en los momentos y con la intensidad adecuados. En general los escapes se diseñan optimizándolos para un régimen de funcionamiento fijo, que suele ser más ancho o estrecho en función del uso que se pretenda dar al motor.

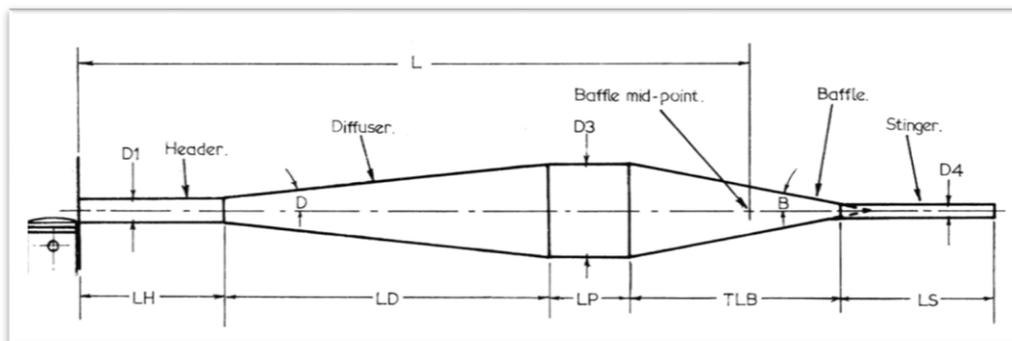


Fig.1.2.- Esquema de las dimensiones principales de un sistema de escape.

El lograr optimizar un escape para lograr una potencia máxima alta suele implicar que esta potencia se hace efectiva en una banda o intervalo de revoluciones estrecho. Esto es lo

que se busca por ejemplo en las motos de de alta velocidad, cuyos regímenes de revoluciones se mantienen siempre muy elevados. Por el contrario, las motos de campo o enduro buscan mejorar el funcionamiento medio del motor, al estar expuestas a condiciones de trabajo más variables. En este tipo de aplicaciones nos interesa por tanto estirar la banda de funcionamiento, a expensas de reducir los valores máximos de la potencia.

El sistema formación de la mezcla es a través del que entra el aire atmosférico en el motor, mezclándose con la gasolina (o mezcla de gasolina y aceite en motores 2T) en la proporción adecuada para garantizar una correcta combustión. Es generalizado el uso de carburadores para realizar esta función en los motores de 2T, dados su sencillez y buen funcionamiento. Aunque en la actualidad hay algunos motores que lo emplean, los sistemas de inyección están aun en desarrollo para los motores de mecánica 2T. La introducción de la inyección directa augura buenas posibilidades, aunque bien es verdad que le restaría la sencillez, característica clásica de este tipo de motores.

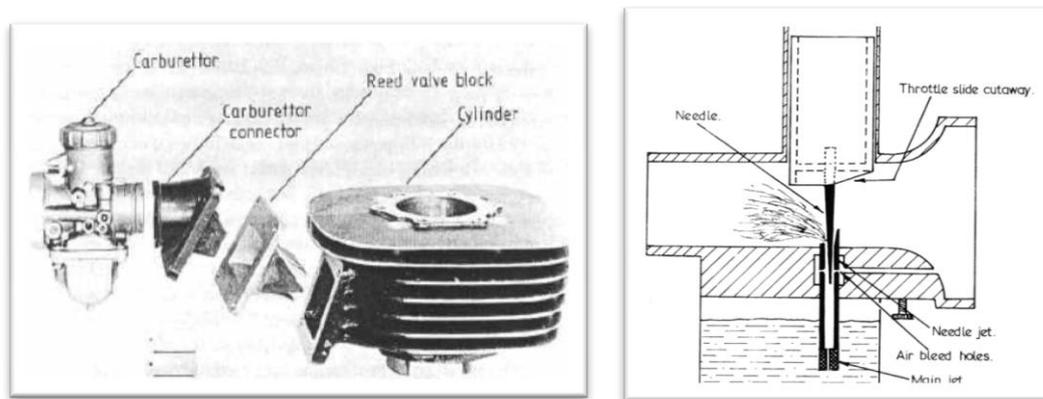


Fig.1.3.- Esquema de los componentes del sistema de admisión y sección típica de un carburador.

El proceso de diseño y selección de los elementos antes vistos puede realizarse principalmente por dos vías que se complementan entre sí: una vía más experimental, y basada en la experiencia y recomendaciones de autores con gran conocimiento sobre la materia. Generalmente esto se traduce en la aplicación de algunas fórmulas recomendadas y obtenidas teórica o experimentalmente, y que han de ser particularizadas para las características geométricas de cada motor. Esta vía, aunque muy válida, tiene el problema de que requiere de una previa construcción y ensayo de los elementos para tener una idea del comportamiento que ofrecen en cada situación particular, por lo que la realización de numerosos prototipos y pruebas con el motor son casi obligatorios.

Otra vía que ha ido cogiendo más fuerza con el desarrollo de los ordenadores, ha sido la de realizar modelos computacionales del movimiento de los fluidos en la geometría del motor, así como de los procesos de combustión y barrido. Esto permite simular el efecto de la acción de ondas por la geometría interna del motor, obtener datos del rendimiento del motor, así como la toma de medida de propiedades del fluido que son difícilmente medibles de forma experimental. De esta forma se permite la prueba de infinidad de geometrías sin necesidad de tener que fabricar cada una de ellas para tener datos tangibles de su comportamiento.

Sea cual sea el proceso que se siga para diseñar los elementos, siempre es necesario realizar pruebas finales sobre el motor para comprobar el funcionamiento real de éste y

conocer cuán lejos se estaba de los supuestos o modelos empleados. Sería más coincidencia que otra cosa el acertar a la primera con el diseño de un escape por ejemplo. Normalmente suelen prepararse diferentes geometrías con ligeras modificaciones, para ver cuánto y en qué dirección afectan los cambios. Con frecuencia suelen obtenerse comportamientos muy dispares ante pequeños cambios geométricos que serían muy difíciles de prever exactamente de forma teórica, pues son muchos los factores que afectan. Tenerlos todos en consideración a la hora de abordar los modelos es algo prácticamente imposible, de forma que las pruebas finales se presentan como la única alternativa fiel para comprobar el comportamiento final.

A modo de ejemplo la Fig.1.4 se representan 4 geometrías de escape con pequeñas variaciones para una misma configuración de motor. Se trata de un motor rotax de 250cc. La Fig.1.5 muestra las diferentes curvas de potencias que se obtienen, a pesar de la similitud de geometrías.

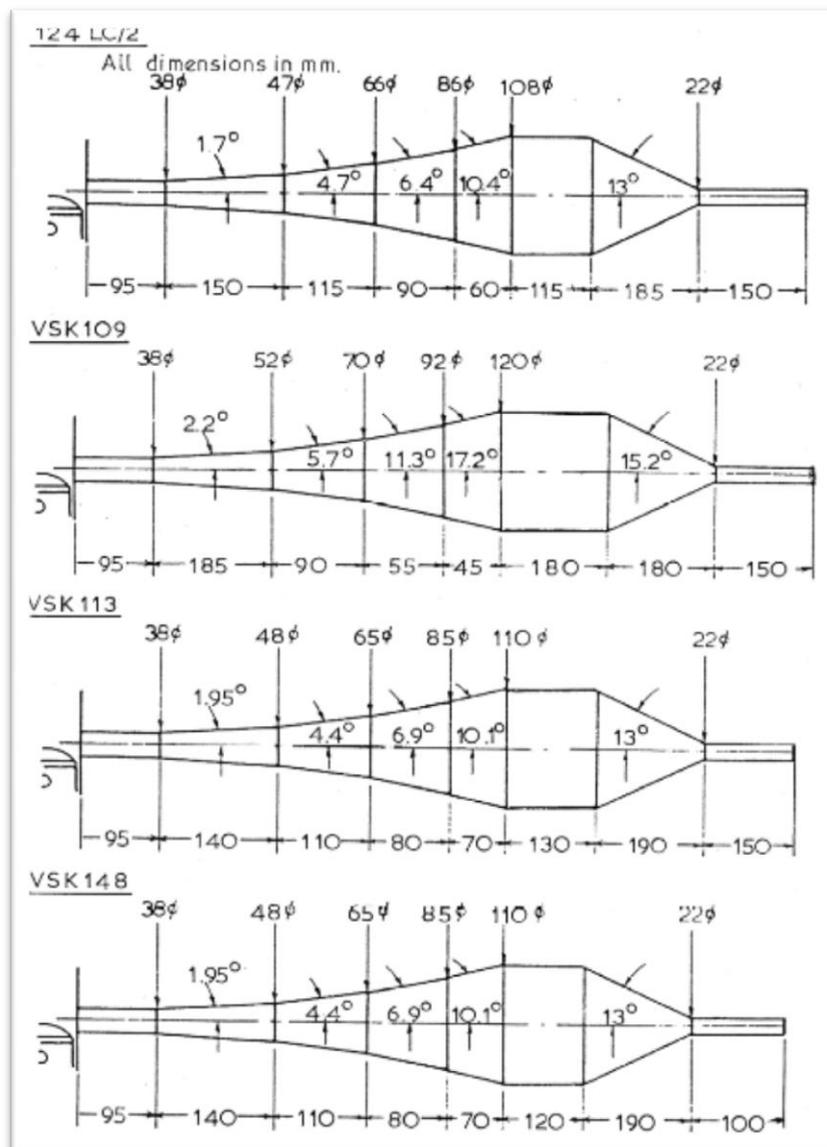


Fig.1.4.- Comparación de diferentes geometrías de escape para un mismo motor.

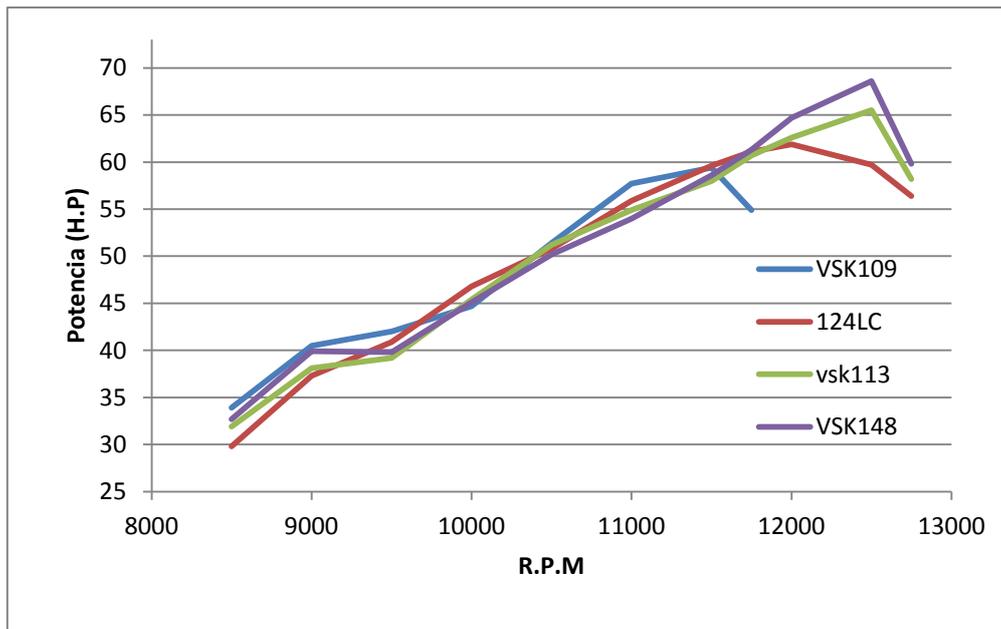


Fig.1.5.- Comparación de diferentes curvas de potencia para distintas geometrías de escape de un mismo motor.

Con lo anterior se ha intentado poner de manifiesto la necesidad de contar con algún procedimiento necesariamente experimental, que permita obtener resultados cuantitativos y precisos del comportamiento del motor en su configuración final, y que facilite de forma objetiva, la toma de decisiones en cuanto a los elementos y las geometrías a emplear.

1.2- NECESIDAD DE LA EXPERIMENTACION → EL BANCO DE ENSAYOS

El desarrollo y puesta a punto de los motores de 2 tiempos orientados a competición, como el que se ha empleado en el concurso motostudent, suele implicar una combinación de pruebas en banco de ensayos en laboratorio con pruebas en campo en un circuito.

Las pruebas en banco son la única forma precisa de aislar y cuantificar un parámetro en particular (en este caso la potencia del motor) del rendimiento del vehículo en general. Existe tal cantidad de parámetros en los que actuar en un motor de competición para modificar su comportamiento, que se requiere mucho tiempo y experiencia para diferenciar y apreciar los cambios si solo se contara con una pista de pruebas para comprobar los resultados. Con frecuencia pequeños cambios producen ganancias de un 1% en el rendimiento final, que sumadas entre sí ayudan a mejorar los tiempos por vuelta. Los bancos de ensayos se muestran pues como una herramienta objetiva para comprobar los cambios de comportamiento del motor.

Para ello, con miras a intentar optimizar en la medida de lo posible el propulsor del se disponía, nos planteamos la construcción de un banco de ensayo adaptado a nuestras necesidades.

A continuación se describen brevemente las configuraciones de bancos más comunes en la industria. Se intentará ver la conveniencia de uno u otro a los requerimientos de nuestro proyecto.

1.2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Existen multitud de tipologías de bancos de ensayos disponibles, en función de las características del motor que se quiera ensayar, y de la forma en que se quiera ensayar, pero todos parten de un mismo principio común de funcionamiento: someter al motor a una carga de valor conocido.

El objetivo que se pretende conseguir con el banco es el de obtener la curva característica de par motor frente al régimen de giro, o equivalentemente, la curva de potencia frente al número de giro del motor.

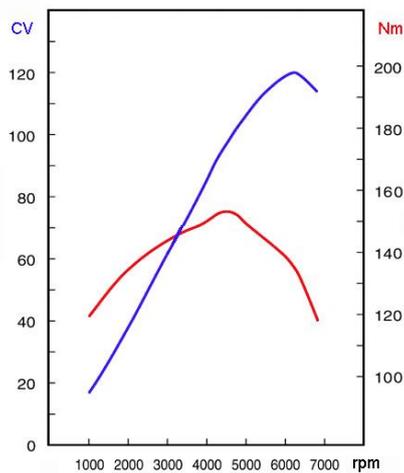


Fig.1.6.- Ejemplo de curvas de PAR y POTENCIA frente al régimen de giro del motor.

Para ello se acopla el motor a través de alguna forma de transmisión mecánica a un elemento absorbente o freno, que ejercer un par resistivo dentro del rango de momentos y velocidades que el motor es capaz de entregar. De ahí la necesidad de un sistema de medida y control del par motor y de la velocidad de giro. Normalmente estos sistemas funcionan fijando o el par o la velocidad de giro, y midiendo la otra magnitud. La potencia se calcula como producto de ambas.

La topología del elemento absorbente es diferente en función del principio físico que se emplee para disipar la energía, existiendo así medios mecánicos inerciales o friccionales, hidráulicos, electromagnéticos o alguna combinación de ellos. De esta forma, la energía del motor se emplea bien para hacer girar algún elemento másico, o bien para calentar algún fluido refrigerante como el aire ambiental o algún líquido de aporte, o bien para producir energía eléctrica. Dependiendo de las características mecánicas del motor, los requerimientos, así como de los medios instrumentales de medición, se emplearán unos u otros.

Podemos distinguir los bancos existentes atendiendo a algunas de sus características:

1.2.2 TIPO DE MONTAJE:

- Bancos de Motor: ensayan el motor desmontado del vehículo portante donde va instalado. De esta forma se permite un acople directo entre el motor y el elemento absorbente, obteniéndose gran precisión y repetitividad en las pruebas. Al ensayarse el motor independientemente, las pérdidas parasitas correspondientes al roce de rodamientos, engranajes... son despreciables.



Fig.1.7.-Ejemplo de Banco de motor

- **Bancos de Chasis:** ensayan el motor estando éste montado sobre el propio vehículo al que va instalado. Los más comunes son los bancos de rodillos, en los que la transferencia de carga se realiza entre los neumáticos del vehículo y uno o varios rodillos entre los que está en contacto. Puesto que todo el sistema de transmisión del vehículo se encuentra en funcionamiento durante el ensayo, las potencias obtenidas serán siempre menor que en un banco de motor, aunque esto puede ser algo que se positivo si lo que se desea medir es el rendimiento global, incluyendo el de la transmisión.



Fig.1.8.-Ejemplo de Banco de chasis

Un defecto de este tipo de bancos es el posible deslizamiento existente entre el rodillo y el neumático, además de la deformación de estos. Diferentes configuraciones de rodillo serán necesarias para los rangos de tamaños de ruedas y potencias existentes, pero sea cual sea la configuración, siempre existirá la presencia de una pérdida de energía.

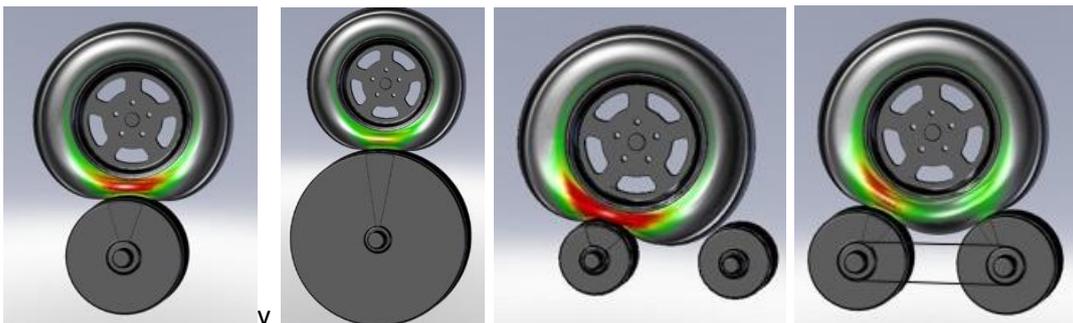


Fig.1.9.- Ejemplo de las distintas configuraciones de rodillos y posibles deformaciones del neumático.

Una posibilidad que elimina la problemática del deslizamiento y deformación del neumático son los llamados frenos "Axle-Hub". Ésta modalidad se acopla directamente a través de los ejes de transmisión o de las propias ruedas, eliminando la problemática de la transferencia de potencia. Suelen ofrecer gran versatilidad de portabilidad.

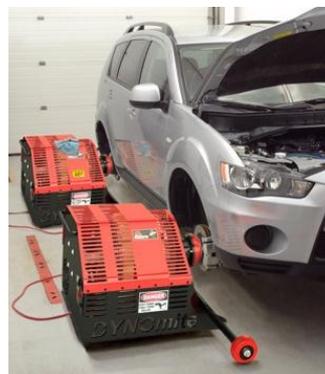
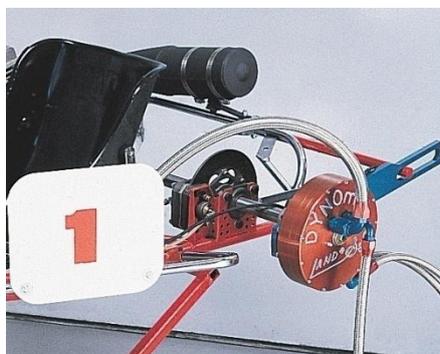


Fig.1.10.-Ejemplo de frenos "AXLE-HUB", montados directamente sobre los ejes motrices de los vehículos.

1.2.3 TIPO DE ENSAYO:

- Ensayos a regímenes permanentes → **bancos de freno**

En estos test el motor se ensaya manteniendo éste a diferentes regímenes fijos de rpm un tiempo determinado. Este suele ser el necesario para que todos los elementos trabajen a temperatura constante. Variando la carga introducida por el freno, se varía el punto de funcionamiento. A más regímenes de velocidades ensayados, más puntos se tendrán en la curva de potencia.

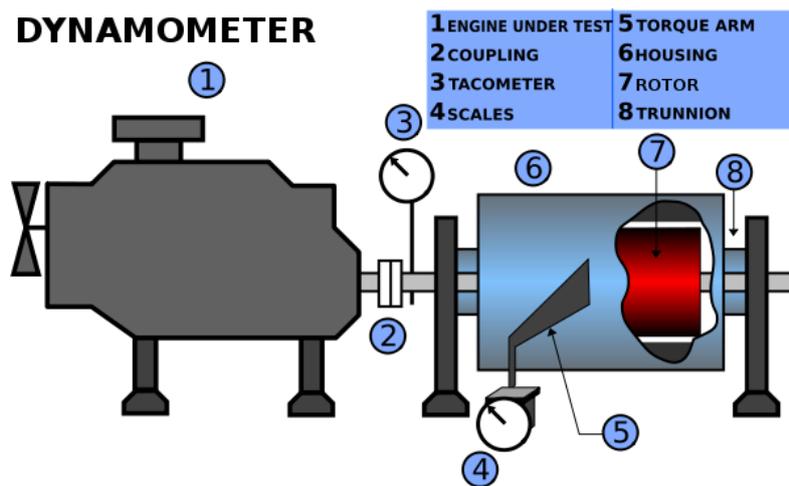


Fig.1.11- Esquema básico de montaje de un freno para ensayos a regímenes permanentes.

A diferencia del elemento empleado como freno, la estructura de este tipo de bancos es en esencia la que se muestra en la imagen. El motor se une con el rotor del freno mediante algún tipo de acoplamiento mecánico. Son comunes las juntas elásticas, para suavizar las transiciones y evitar altas tensiones, así como algún tipo de embrague, para poder desacoplar del freno si se desea.

El rotor transmite el par motor a la carcasa de diferente forma según el principio de funcionamiento del freno (electromagnetismo, rozamiento viscoso...). Es en ésta donde un brazo calibrado, conectado a una célula de carga, permite la medida del par entregado. Todo tipo de instrumentación y sonorización puede añadirse, según se requiera para los ensayos.

- Ensayo transitorios → **bancos inerciales**

Aunque el esquema básico de éstos es similar a los anteriores, aquí se simplifica el montaje, pues se sustituye el freno, que suele ser el elemento más complejo del banco, por volante de inercia de valor conocido. De ahí la transitoriedad de este ensayo, pues se necesita una variación de la velocidad de giro para que el elemento inercial suponga una carga en sí para el motor puesto a prueba. De esta forma, se hace acelerar el motor desde su velocidad de ralentí hasta el régimen máximo de giro. La tasa de aceleración del volante determina la entrega de potencia del motor a cada régimen de giro. Se obtiene por tanto una curva continua de potencia para todo el rango de rpm ensayado.



Fig.1.12- Disposición de un pequeño banco de ensayos inercial para un motor de 35cc de aplicación en modelismo.

1.2.4 TIPO DE FRENO

- Freno electromagnético o de corriente Eddy: funcionan haciendo girar un núcleo rotorico conductor dentro de un campo magnético que produce la resistencia al movimiento. La mayoría suelen emplear rotores de hierro fundido, similar a los rotores de los frenos de disco de los vehículos.



Fig.1.13- Ejemplo de freno electromagnético

Un control computacional del voltaje electromagnético permite cambiar la intensidad del campo magnético inducido y con ello la cantidad de de freno ejercido. Esto permite introducir cambios casi instantáneos en el freno a aplicar, permitiendo realizar ensayos a regímenes permanentes o en aceleración.

La energía se disipa calentando el rotor que ha de mantenerse refrigerado.

- Freno eléctrico: en este caso se emplea un motor o generador eléctrico que puede ser de corriente alterna o continua. Cuando se conectan a las debidas unidades de control, que suelen ser un variador de frecuencia para el caso de corriente alterna, o un controlador DC para el caso de corriente continua, este tipo de dinamómetros puede configurarse como un freno universal que permite un reajuste desde cero a máxima carga de forma casi instantánea, permitiendo un rápido ajuste de la velocidad. Al emplearse un motor/generador, este tipo o de unidades absorbentes no solo puede emplearse como freno sino que puede utilizarse como unidad motriz y encargarse de

mover al motor en cuestión para la medida de las pérdidas de fricción, bombeo u otros factores.

Uno de los inconvenientes que suelen presentar este tipo de frenos es la elevada inercia que presentan, que puede presentar algún problema dependiendo de la potencia del motor a ensayar. Por lo tanto este tipo de frenos son más apropiados para ensayos a regímenes constantes que transitorios.

- **Freno hidráulico:** este tipo de sistema de freno consta de una bomba hidráulica, generalmente de engranajes, y un reservorio de fluido hidráulico, ambos conectados por un circuito hidráulico. En éste se inserta una válvula ajustable que permite restringir en mayor o menor medida el flujo de aceite, lo que permite aumentar o disminuir el freno ejercido sobre el motor. La potencia puede calcularse conociendo el flujo hidráulico (conocido por el diseño de la bomba), la presión hidráulica y el régimen de giro. Suelen emplearse para motores de regímenes de giro y rangos potencia moderados.



Fig.1.14- Ejemplo de bomba de engranajes empleada en los frenos hidráulicos.

Este tipo de frenos son conocidos por tener la mayor rapidez en el cambio de la carga, ligeramente superior a los de corriente Eddy, además de poca inercia. El inconveniente es que requieren de grandes cantidades de aceite a alta presión y temperatura, lo que hace frecuente el uso de intercambiadores de calor para mantener los niveles temperatura seguros.

- **Freno por agua:** son otro tipo de freno hidráulico que emplean agua como fluido

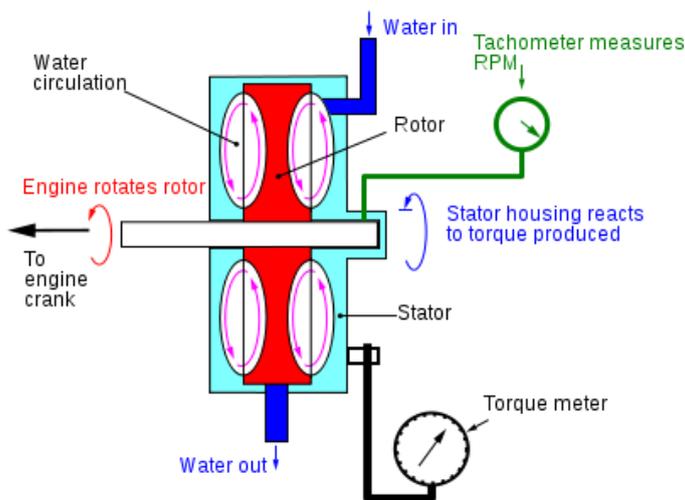


Fig.1.15- Esquema de funcionamiento de una bomba hidráulica por agua.

transferente de energía. A

diferencia de las antes descritas, éstas emplean una bomba hidráulica formada por un rotor giratorio y un estator.

Para variar la carga, se aumenta o disminuye el nivel de agua en su interior a través de unos orificios de entrada y salida ajustables, hasta alcanzar el régimen de funcionamiento deseado. Más nivel de agua incrementa la carga rotacional del rotor de la bomba.

Para su refrigeración es necesario también mantener en recirculación

un flujo entrante y saliente de agua. Como resultado del movimiento inducido al agua, la carcasa estática va a intentar girar de forma restringida por la célula de medida del par.

Dado su diseño, se trata por tanto de una bomba hidráulica muy ineficiente. Su mejor característica es la alta relación de capacidad de potencia frente a tamaño, comparada con otros frenos.



Fig.1.16- Comparativa entre freno Eddy (300 libras) y de agua (8 libras) para capacidades energéticas similares. La diferencia de masa y volumétrica es notable.

En la imagen de abajo se muestran comparados dos frenos, uno de corriente Eddy y otro de agua, de capacidades de potencia similares. Se aprecia claramente la diferencia volumétrica e inercial que presentan. Por lo tanto estos últimos son prácticamente la única opción cuando se requieren ensayar motores de muy alta potencia.

Como punto en contra se muestra la relativamente pequeña velocidad que tienen para cambiar el punto de funcionamiento, pues se requiere de cierto tiempo para estabilizar la carga.

- **Freno por fricción:** este tipo de frenos emplean la fricción mecánica de algún elemento giratorio y su calentamiento como forma de disipar la energía que entrega el motor. Suelen emplearse discos de fricción, similar a los que se encuentran en los automóviles, en los que la presión que se ejerce sobre ellos es la encargada de crear de forma directamente proporcional, la carga al motor. Se caracterizan por su relativa sencillez y bajo coste. Uno de los problemas que presentan es la pérdida de la efectividad de los frenos. La capacidad de absorción se ve muy disminuida en gran medida tras un corto periodo de tiempo. Hay que asegurar que este periodo es el suficiente para realizar el ensayo.

La forma de proceder con este ensayo suele empezar con una aceleración del motor hasta máximo régimen. Posteriormente se aplica el freno hasta la detención del motor. Un posible montaje del ensayo puede ser el que se muestra a continuación.

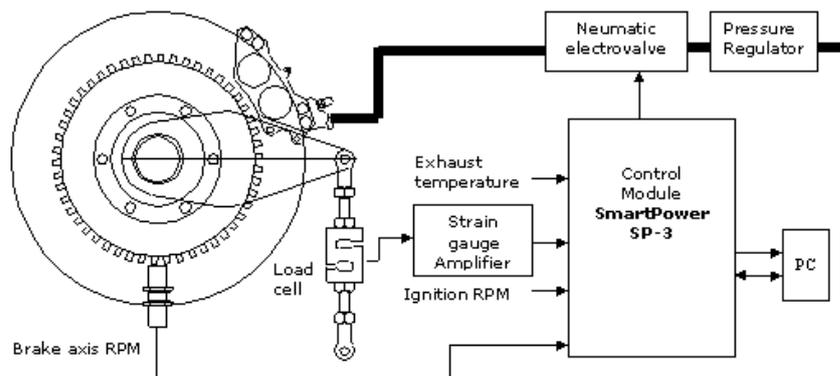


Fig.1.17- Posible esquema de montaje de un banco de freno por fricción.

- **Freno aeromotriz:** en este caso se emplean una hélice o aspas para impulsar aire y generar la carga en el motor. La variación de la carga se efectúa cambiando el paso de las hélices. Por las características de funcionamiento, este tipo de ensayos está casi exclusivamente reservado a motores de bajas potencias. Un ejemplo de aplicación son los pequeños motores de combustión que se emplean en modelismo, como se muestra en el montaje de la imagen.

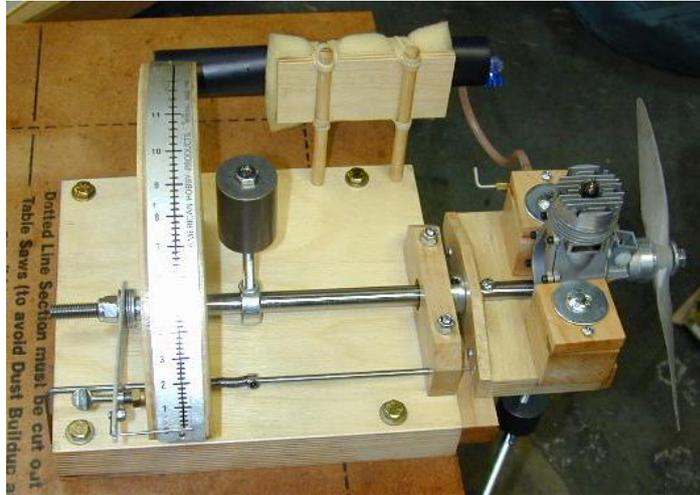
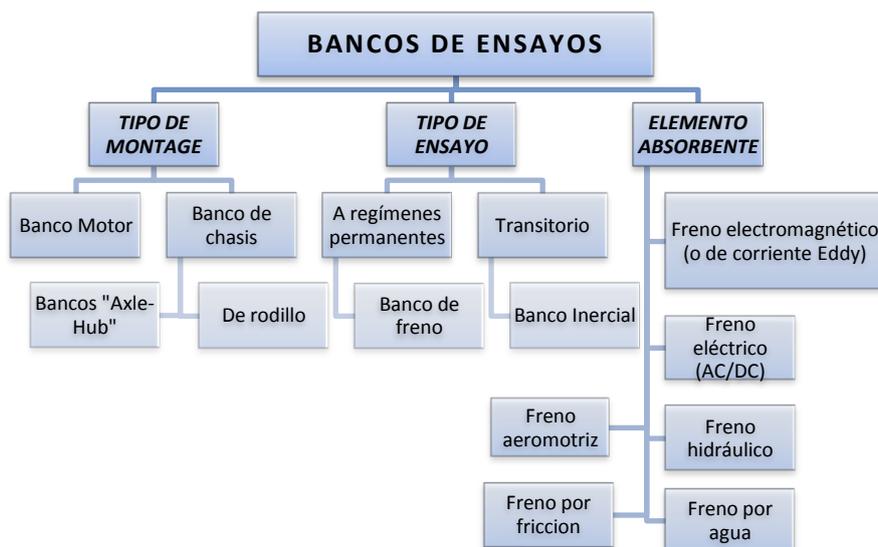


Fig.1.18- Ejemplo de montaje para la medida del par motor de un pequeño motor de aeromodelismo.

A continuación se muestra un esquema que resume las diferentes subdivisiones que se han comentado relativas a los tipos de bancos de ensayo, así como un cuadro comparativo con algunas de las características principales que se pueden diferenciar.



Característica	Frenos por agua	Rodillo Inercia	Freno corriente Eddy	Freno de fricción	Bomba hidráulica	Motor-Generador AC	Motor-Generador DC
Alta potencia para régimen permanente	Excelente	n/a*	Buena	Pobre	Razonable	Buena	Razonable
Alta capacidad de RPM's	Excelente	n/a	Razonable	Buena	Pobre	Razonable	Pobre
Capacidad de toque a bajas RPM's	Razonable	n/a*	Muy Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Estabilidad en el control de las RPM's	Buena	n/a*	Muy Buena	Pobre	Razonable	Excelente	Muy Buena
Tiempo de respuesta a un 90% de cambio en la carga	Buena (menos de 0.5 segundos)	n/a*	Muy Buena (menos de 0.05 segundos)	Pobre (menos de 1s)	Razonable (menos de 0.75 s)	Excelente (menos de 0.005 segundos)	Muy Buena (menos de 0.01 segundos)
Simulación bajo control computacional.	Buena	n/a*	Excelente	Razonable	Normalmente no disponible	Excelente	Muy Buena
Capacidad de monitorización	Requiere motor separado	Excelente	Excelente				
Capacidad de tests de larga duración.	Excelente	n/a*	Excelente (con refrigeración líquida)	Razonable	Buena	Excelente	Buena
Facilidad de arranque del motor	Requiere starter por separado	Excelente	Excelente				
Capacidad de potencia frente al peso	Excelente	Pobre	Razonable	Razonable	Razonable	Pobre	Pobre
Capacidad de potencia frente al volumen	Excelente	Excelente	Razonable	Buena	Buena	Razonable	Pobre
Portabilidad	Excelente	Depende tamaño inercia	Razonable	Razonable	Buena	Pobre	Pobre
Precisión de la medida de RPM, Torque, & Hp	Determinado por el sistema adquisición de datos						
Repetitividad	Determinado por el sistema adquisición de datos						
Resistencia a la histeresis	Buena	Excelente	Muy Buena	Buena	Pobre	Muy Buena	Buena
Relación precio potencia en régimen permanente	Excelente	n/a*	Buena	Razonable	Razonable	Pobre	Pobre
Facilidad de instalación	Excelente (Si se dispone de agua)	Razonable	Muy Buena (Requerido 115v AC)	Buena	Buena	Buena	Buena
Facilidad de mantenimiento	Excelente	Excelente	Excelente	Razonable	Buena	Excelente	Buena

1.3- ELECCIÓN DEL TIPO DE BANCO

Una vez expuestas las principales características, virtudes y defectos de los diferentes tipos de bancos de ensayo más representativos que se emplean, la elección pasa por ver qué tipología se adapta más a las necesidades impuestas dentro del contexto motostudent.

Las propias características del concurso y las circunstancias del equipo de trabajo nos han definido unas condiciones que por sí mismas han acotado este rango de elección. De esta forma, dos de las necesidades que se plantean como críticas para poder abordar el proyecto, son:

- Bajo coste: junto como para el resto de cosas, el factor económico se presenta como un factor a tener en cuenta. Los fondos para éste provienen en su totalidad de la subvención de patrocinadores buscados por el grupo de trabajo, y de la colaboración de la escuela de ingenieros de Sevilla. A pesar de nuestro esfuerzo, no es sencillo buscar elevado número de colaboradores para proyectos de este tipo, por lo que nuestra capacidad para sufragar gastos que se alejen en exceso de los requerimientos básicos está limitada. El banco de ensayos se presenta como una posibilidad de desarrollo muy atractiva, siempre que no implique renunciar a otras necesidades fundamentales del proyecto.
- Rápido desarrollo: aún más importante que lo anterior si cabe y como elemento clave durante todo el proyecto, lo presenta el factor tiempo. Los limitados recursos humanos junto con el estrecho margen temporal hace que cualquier desarrollo que implique más de un mes sea inabordable por los medios de que disponemos. De ahí que la solución adoptada debe de poderse llevar a la práctica lo antes posible.

Estas dos características llevan implícitas algunas peculiaridades con las que debemos de contar si queremos que se cumplan. A destacar:

- La fabricación debe de ser propia, si queremos mantener el coste dentro de los márgenes asequibles.
- De lo anterior se desprende que tiene que ser un diseño sencillo, fácil de llevar a cabo mediante las técnicas de fabricación de que disponemos, y fácil de poner a punto.
- Puesto que se requiere poder seguir trabajando con el resto de la moto mientras el banco se construye, es necesario que éste sea un banco motor. De esta forma se aprovecharíamos el segundo motor del que disponemos, y que inicialmente estaba reservado a casos de avería.
- Debe de contar con las funcionalidades suficientes para nuestro propósito; el facilitar la puesta a punto del motor para su uso en circuito. Para ello éste debe de intentar simular lo mejor posible el tipo de carga al que va estar sometido.

De las restricciones anteriores se desprende que, de los bancos de ensayos vistos con anterioridad, el único que, casi de forma unánime puede cumplirlas, es el **BANCO INERCIAL**.

1.4- EL BANCO DE ENSAYOS INERCIAL

La elección del banco de ensayos inercial se debe principalmente, a su sencillez mecánica. Al prescindir del elemento absorbente o freno, y todo lo que ello conlleva, como su control y refrigeración, el diseño se simplifica y abarata. Además es el único banco que podría construirse de forma íntegra con los medios de que disponemos.

Por la naturaleza del mismo, los únicos tipos de ensayos que permite realizar son transitorios. Esto más que ser una desventaja es un punto a favor, pues las pruebas en aceleración reflejan más fielmente las condiciones de funcionamiento a las que finalmente va a estar sometido el motor.

Los ensayos a regímenes permanentes, suelen emplearse para el estudio de diversos puntos específicos y detallados en el diseño del motor, como pueden ser el diseño de las lumbreras, cámaras de combustión, consumo... Sin embargo, bajo condiciones típicas de competición, el motor rara vez funciona en regímenes permanentes, por lo que las pruebas estáticas suelen complementarse con pruebas dinámicas en pistas.

Éste es el tipo de pruebas que se pretenden simular con un banco inercial, pruebas en las que no solo se determine el par que el motor puede entregar bajo cierto régimen de giro, sino cómo es la tasa de entrega del par bajo ciertas condiciones. De nada nos serviría un motor que pueda alcanzar altas entregas de par si éste tarda demasiado en alcanzarlo.

Algunos inconvenientes adicionales que presentan las pruebas de ensayos a regímenes permanentes frente a las transitorias debidos a la naturaleza de los motores de dos tiempos son:

- El deterioro del pistón por un exceso de carga térmica. Aunque en condiciones de carrera los motores suelen operar cerca de los límites de diseño, el promedio de entrega de potencia es ligeramente menor al máximo disponible del motor. En los ensayos a carga completa en régimen permanente el límite del motor puede excederse cierto tiempo necesario para que la toma de una medida sea estable. Para evitar dañar el motor suelen emplearse mezclas de combustible-aire más ricas, y un reglaje del encendido algo retardado. Estas precauciones reducen la carga térmica del pistón pero no dan un resultado totalmente representativo del comportamiento real del motor.
- La dependencia de la entrega de potencia con la temperatura del motor y del sistema de escape. Como ya se ha comentado, en los motores de dos tiempos los procesos de carga y escape de gases al cilindro están solapados cierto tiempo. De ahí la importancia de la acción de las ondas en los conductos de entrada y escape para lograr unos rendimientos de carga y potencias adecuados. Puesto que la velocidad de las ondas depende en gran medida de la temperatura del medio en que se desplazan, es importante intentar asimilar la temperatura del ensayo a la que realmente tiene el motor en condiciones de carrera. Éstas se asemejan más como se ha comentado, a las que se tienen en un ensayo transitorio.

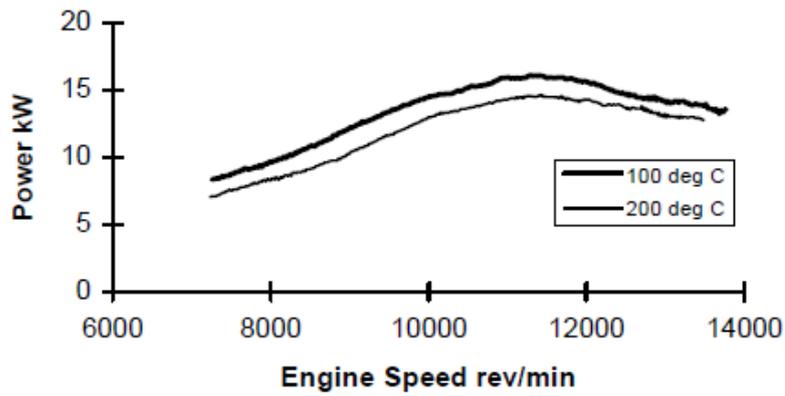


Fig.1.19.- Influencia de la temperatura de los gases en la entrega de potencia del motor.

Las temperatura en ensayos a regímenes permanentes suelen ser significativamente más elevadas.

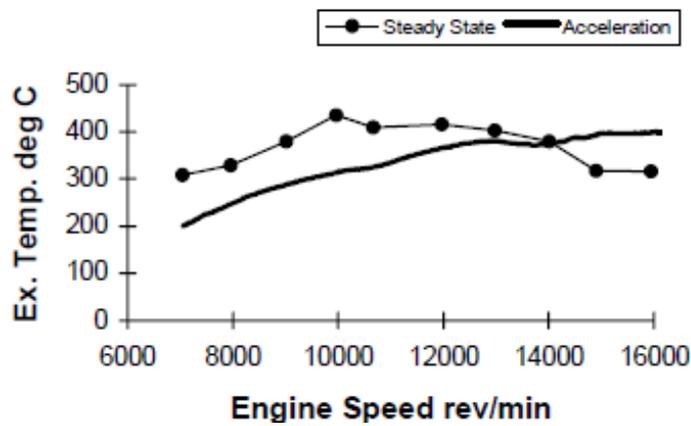


Fig.1.20.- Comparación de la temperatura de los gases de salida entre ensayos a regímenes permanentes y ensayos transitorios.

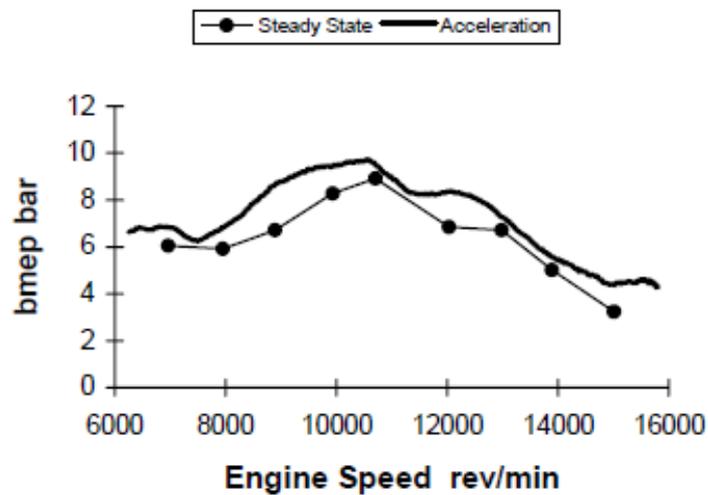


Fig.1.21.- Comparación de las curvas de presión media efectiva de los gases del cilindro entre ensayos a regímenes permanentes y ensayos transitorios.

- El empleo de sistemas mecánicos de control de la geometría de las lumbreras. Estos elementos varían la geometría en función del régimen de giro del motor y por tanto requieren de cierto lapso tiempo para cambiar la posición. Para maximizar el rendimiento durante las aceleraciones se emplean avanzados sistemas de gestión en los que el encendido, el abastecimiento de combustible y la geometría de escape, dependen del régimen de giro. Para este tipo de motores, como el empleado, parece claro esperar que los ensayos en régimen permanente no provean de resultados totalmente representativos.
- La necesidad de realizar un número finito de ensayos. Puesto que no podemos realizar infinitos ensayos a régimen permanentes, tenemos que conformarnos con un número discreto de puntos, generalmente cada 500 ó 1000 rev/min. Esto puede enmascarar algunos puntos que resulten entre estos márgenes.
Con los ensayos transitorios sin embargo, se hace un barrido continuo por todo el rango de funcionamiento del motor, quedando a relucir todo su comportamiento.

1.5- EL BANCO INERCIAL PARA EL PROYECTO MOTOSTUDENT – OBJETIVO DEL PFC

Con la idea clara de que un banco inercial era la opción más conveniente dentro de nuestras pretensiones, dos meses antes del comienzo del concurso motostudent se comenzó la fabricación del mismo. Las miras estaban puestas en emplear un primer mes en su fabricación y puesta a punto, dejando el segundo y último para su uso práctico mediante pruebas al motor enfocadas a la puesta a punto final previa al concurso.

La realidad fue muy diferente. Puesto que su fabricación se fue alternando con la finalización de la construcción de la motocicleta, el tiempo a él dedicado se vio en la práctica reducido. Esto, junto a los numerosos problemas que se tuvo con la moto las últimas semanas, hicieron que finalmente no pudiéramos contar con un prototipo lo suficientemente avanzado a tiempo como para que resultará útil. La prioridad pasó a ser tener una motocicleta construida a tiempo, objetivo principal, antes que un motor bien puesto a punto, por lo que todos los miembros del pasamos a aunar nuestras fuerzas para terminar su consecución.

El proyecto que aquí se desarrolla tiene por objetivo el aprovechar el esfuerzo ya empleado hasta el momento en su elaboración, para, continuando con un estudio más profundo y riguroso del mismo que la mayor disposición temporal permite, *finalizar la construcción, puesta a punto y puesta en servicio del banco de ensayos*. Éste podría emplearse en futuros trabajos de puesta a punto de motores de características similares, ya fuera del contexto del proyecto motostudent, o quién sabe, en futuras ediciones del mismo.