

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

Facultad Regional La Plata



2016

“BANCO DE ENSAYO DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA”

Alumno: Barreiro Mauricio.

**Docentes a cargo de la Cátedra: Ing. Muriel, Juan José.
Ing. Juan Arrospide.**

MAQUINAS ALTERNATIVAS Y TURBOMAQUINAS BANCO DE ENSAYO DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

INTRODUCCIÓN

Los bancos de prueba para motores nacen a partir de la necesidad de cuantificar la potencia que es capaz de producir una máquina. En un principio, con las máquinas de vapor, lo que se buscaba era tener maneras más simples y repetibles de probar mejoras en los sistemas.

El principio empleado es disipar de manera controlada la potencia que se produce en un motor para así poder cuantificarla. Con el tiempo, estos sistemas fueron mejorando, permitiendo la medición de otros parámetros importantes como la eficiencia, consumo de combustible, rendimiento volumétrico, entre otros.

En los procesos de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías éste sistema juega un papel fundamental permitiendo a los investigadores cuantificar los beneficios de las nuevas ideas y modificaciones en los motores impulsando el progreso y desarrollo de los mismos. De igual manera, la popularización del automóvil y su producción en masa originaron un nuevo uso para los bancos de pruebas para motores, como lo son la certificación de funcionamiento y rendimiento. Una serie de pruebas sencillas pueden predecir la vida útil del motor y detectar fallas en una fase temprana.

En el presente trabajo, se describirán los conceptos básicos necesarios para poder comprender de que se trata, como es que se lleva a cabo un ensayo, que obtenemos al realizarlo y como analizar los datos obtenidos durante un ensayo de motor de combustión interna.

CLASIFICACIÓN DE LOS BANCOS DE PRUEBA PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Pueden ser clasificados desde dos puntos de vista básicos:

- *Según el lugar donde se mide la potencia y torque.*
- *Según el principio de medición de dichos parámetros.*

DE ACUERDO AL LUGAR DONDE SE MIDE LA POTENCIA Y TORQUE

➤ **DINAMÓMETRO DE RODILLOS (BANCO DE PRUEBA SOBRE EL CHASIS)**

Su principio de funcionamiento está basado en la medición de la potencia y torque en las ruedas del vehículo. Es decir, se ensaya el motor instalado en el vehículo para obtener la potencia y torque provista por el motor en aceleración y movimiento del mismo.



Imagen xx: *vista esquemática de un banco de rodillos con dinamómetro de corrientes de Foucault, ensayando una pick-up a propulsión.*

Para realizar dicha medición, comúnmente se utiliza una plataforma tipo puente que consta de rodillos móviles, colocados de forma horizontal, en torno a su eje longitudinal. El vehículo se coloca sobre la plataforma y se estaciona de forma tal que las ruedas que transmiten potencia queden sobre dichos rodillos.

También podemos encontrar la configuración de dos rodillos en paralelo, los neumáticos del vehículo a ensayar queda montado entre ambos rodillos.



***Imagen xx:** podemos ver un banco de dos rodillos y el acoplamiento a los discos inerciales. Vemos que se usan correas, aunque ello no se recomienda porque puede llegar a patinar la correa en la polea generando inconvenientes en la medición.*

Una vez ubicado el vehículo sobre los rodillos, se le colocan amarres de seguridad para evitar que en un momento dado del ensayo pueda salir accidentalmente de la plataforma. Estando sujetado correctamente, se enciende el vehículo y se acelera provocando que las ruedas hagan mover los rodillos, luego por medio de una transmisión se lleva la potencia desde los rodillos hasta el freno dinamométrico o inercial, dispositivos encargados de disipar la potencia para realizar la medición.

Por medio de una serie de sensores ubicados en el freno dinamométrico se obtienen los datos que reflejan las características del motor y del tren de potencia.

El dispositivo empleado para disipar la potencia puede ser de tipo inercial, hidráulico y eléctrico (en cualquiera de sus versiones). En los primeros las mediciones sólo podrán hacerse mediante ensayos de aceleración libre. En cambio, aquellos con freno hidráulico o eléctrico (o cualquier otro tipo de dinamómetro), se podrán llevar a cabo a un determinado número de r.p.m. constante en caso de ser necesario.

Recomendaciones:

- *El diseño del banco debe utilizar una transmisión no deslizante, para obtener mayor exactitud de resultados evitando errores en la medición.*
- *Entre las ruedas del vehículo y los rodillos debe existir la condición de rodadura sin deslizamiento para evitar pérdidas de potencia por fricción, las cuales implican datos erróneos en la medición.*

Desventaja:

- *Para poder llevar la potencia producida por el motor hasta las ruedas del vehículo, es necesario un sistema de transmisión, en donde se pueden encontrar reducciones o ampliaciones de torque que aunque son indispensables, producen pérdidas por fricción, deformación de componentes, movimiento de fluidos y lubricantes. Esto se traduce en una menor potencia de salida en las ruedas en comparación con la potencia provista por el motor.*
- *Muy impreciso si se desea medir la potencia del motor, ya que es imposible determinar las pérdidas reales entre motor y ruedas.*
- *Sin un dinamómetro acoplado es difícil de calibrar.*
- *Influencia de los componentes del vehículo en el resultado de la medición (en rolos sin dinamómetro).*
- *Costo elevado respecto a un dinamómetro de motor.*
- *Requiere de mayor superficie de taller para su instalación.*
- *Mayor dificultad para insonorizar.*

Ventajas:

- *Los datos obtenidos se traducen en el desempeño real y efectivo del vehículo sobre el asfalto.*
- *Rapidez para el montaje y desmontaje del vehículo. Permite ensayar muchos vehículos en poco tiempo o muchos cambios en poco tiempo.*
- *Mide la potencia efectiva que llega al piso.*
- *Mide al mismo tiempo motor y transmisión.*

- *Es posible estimar, aunque con baja exactitud, el desempeño de la transmisión por separado (ensayo de desaceleración).*

➤ **BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES**

Su principio de funcionamiento está basado en la medición de potencia y torque en el eje de salida del motor, evitando todas las pérdidas de potencia debida a al sistema de transmisión ya mencionadas.



Imagen xx: *imagen representativa de un motor de combustion interna acoplado a un banco de ensayo de motores.*

Dicho dispositivo consiste en una base en donde se monta el motor para luego ser ensayado bajo las condiciones que sean necesarias. Los apoyos de dicha base, deben ser capaces de resistir y disipar las vibraciones mecánicas producidas por el funcionamiento del motor. Estas pueden ser universales o no, es decir, pueden estar diseñadas para un solo tipo de motor o ser ajustables para distintos tipos.

La potencia se transmite desde el eje del motor hasta el freno dinamométrico por medio de un acoplamiento cardánico (homocinético) para evitar problemas de alineación y vibraciones en dicho dispositivo.

Desventaja:

- *Debido a que en este caso el motor está fuera del vehículo, es importante proveerle al mismo una serie de recursos necesarios para su funcionamiento, tales como: sistema de refrigeración, sistema de escape, sistema de control en el caso de motores de inyección*

electrónica, sistema de admisión de combustible, sistema de encendido y carga, entre otros.

- *Es necesario desmontar el motor para su ensayo, por lo que requiere una infraestructura externa al vehículo (suministro de combustible, arranque, encendido, cableado y ECU en el caso de inyección electrónica, cable de acelerador, sistema de refrigeración del motor).*
- *Sólo brinda información del motor, lo cual puede ser una desventaja para algunas aplicaciones.*

Ventaja:

- *Libre acceso que el operario tiene hacia el motor, lo cual hace más sencillo llevar a cabo ajustes y modificaciones al mismo durante el transcurso de la prueba.*
- *Rapidez para el montaje y desmontaje del vehículo. Permite ensayar muchos vehículos en poco tiempo o muchos cambios en poco tiempo (rolos).*
- *Se mide sólo el motor, sin influencia de otros elementos de transmisión, a menos que se incorpore algún tipo de transmisión.*
- *Homologables bajo normas.*
- *Puede ensayarse el motor en condiciones muy controladas (temperatura de refrigerante controlada, alternador, arranque y otros subsistemas desmontados)*

SEGÚN EL PRINCIPIO DE MEDICIÓN DE POTENCIA Y TORQUE

➤ BANCO INERCIAL

Consiste en acoplar el eje de potencia a uno varios volantes de gran inercia, y medir la variación de la velocidad de giro en función del tiempo, esta prueba se hace en un régimen transitorio entre la velocidad mínima y máxima permisible del motor bajo condición de aceleración libre. A partir de esta medición es posible obtener la curva de aceleración angular en función de la velocidad de giro, y por medio del momento de inercia del volante es posible obtener el torque y la potencia del motor en función de la velocidad de giro.

Es decir, se basa en el principio físico de la analogía de la segunda Ley de Newton aplicada a la rotación. Dónde:

$$T = I \times \alpha ; [N * M]$$

Dónde:

- *T = torque o momento torsor sobre el eje.*
- *I = momento de inercia del cuerpo que rota en ese eje [kg-m2]*
- *α = aceleración angular [rad/seg2].*

Es importante resaltar, que con este tipo de medición solo se puede calcular la potencia durante la aceleración, es decir, que no podremos realizar ensayos a velocidad constante. Esto reduce el tipo de pruebas que podemos realizar, como por ejemplo el mapeo de inyección y avance para distintas solicitaciones de carga.

Ventajas:

- *Bajo costo*
- *Simplicidad y rapidez del ensayo*
- *Muy repetitivo*
- *Bajo mantenimiento*
- *No requiere infraestructura adicional*

Desventajas:

- *No puede ensayarse a carga estabilizada*
- *La carga es siempre la misma y depende de la aceleración*
- *Requiere de un buen sistema de adquisición y procesamiento para obtener buenos resultados*
- *Baja exactitud ya que hay influencia de factores externos como rozamientos no medidos (rodamientos, rodadura de ruedas, cadenas o correas de transmisión) e inercia de otros elementos en rotación (volante del motor, caja, ruedas)*
- *Elevado peso*
- *No es homologable si no cuenta con un dinamómetro acoplado*

➤ **BANCO DE ABSORCIÓN**

En este caso, ya sea para un banco de rodillos (se acopla el eje del rodillo al freno) o un banco de motor (el eje de salida del motor va acoplado al freno mediante un eje), la potencia

entregada al freno por parte del motor o del automóvil a ensayar es absorbida por una unidad de potencia denominada freno dinamométrico, de esta forma se lleva a cabo la medición de torque y potencia. Utilizando este instrumento podemos frenar al motor en la magnitud que el operario desee, aplicandouna carga de valor constante y así condicionar al motor que opere a un valor de revoluciones por minuto específico.

Es importante resaltar que con este tipo de banco sólo se deben hacer mediciones de torque, potencia y consumo de combustible a velocidad de giro constante del motor. Esto es debido a que si se hace con el motor en etapa de aceleración, implicaría que: no solo el motor gira a mayor velocidad segundo a segundo, sino que cierta potencia del mismo se está usando para acelerar masas inerciales del mismo, esa potencia no llegará al freno dinamométrico y por lo tanto no se podrá registrar por nuestro sistema de medición de torque. Es por este motivo que cuando se utiliza un freno dinamométrico se obtiene menos potencia a aceleración constante que a velocidad de giro constante.

En el freno, se colocan instrumentos para poder medir el torque del motor, estos pueden ser celdas de carga, una balanza, etc. y elementos para medir las revoluciones con la que opera el motor. Los tacómetros pueden ser ópticos, magnéticos o mecánicos. Toda esta información puede ser recolectada por una placa de adquisición de datos la cual está conectada a una computadora. Según el software que se utilice, los datos irán graficándose instantáneamente, se almacenarán para analizarlos una vez finalizado el ensayo o ambos.

Para generalizar la idea de una banco dinamométrico antes de comenzar a detallar como operan cada una de sus posibles configuraciones, es importante resaltar cuales son los parámetros de funcionamiento que se deben controlar del motor, y cuales los obtenidos una vez que se estabilizan estos parámetros.

A controlar:

- Grado de carga (apertura del acelerador).
- Régimen de giro.
- Freno impuesto por el dinamómetro.

Información obtenida:

- Par efectivo (medido en el freno)
- Régimen de giro.
- Consumo específico de combustible.

Recordemos que el torque y la potencia al freno se miden en función de la energía disipada por el freno, el cual puede estar basado en distintos principios como hidráulico, de fricción, eléctrico con corrientes parásitas, de agua, neumático, etc.

DIFERENCIAS ENTRE LOS TIPOS DE BANCOS

Si bien en ambos la exactitud de la medición dependerá de factores ambientales como la temperatura, humedad, presión barométrica, la calibración de los sistemas de adquisición de datos, entre otros, también es importante resaltar que en los bancos de rodillos hay una gran pérdida de potencia en la transmisión, la temperatura de los fluidos de la caja y/o del diferencial, la velocidad de aceleración, el roce en los frenos, el tipo de neumático (su dibujo, el inflado, el material) el peso del vehículo y la deformación que sufren las gomas sobre este. Como vemos, son las variables que inciden en la medición en un banco de rolos. Algunos críticos de este método indican que es “como pesarse vestido”, pero sí es cierto, que este tipo de ensayos realizado correctamente nos brinda información sobre el comportamiento real en un circuito o en ruta, que en un ensayo de banco de motor no es posible.

Una forma de conocer las diferencias entre ambos sistemas de ensayos, sería disponer de ambos equipos y realizar pruebas a diferentes r.p.m. con las condiciones ambientales de la sala iguales para los dos ensayos. De esta forma podríamos obtener dos curvas de potencia y determinar con exactitud cuáles son las diferencias entre realizar un ensayo con el motor acoplado a todo el sistema de transmisión del vehículo y la del motor colocado en un banco que solo va acoplado al freno dinamométrico.

Por último, antes de comenzar a describir los tipos de frenos de absorción, veamos un ejemplo que refleja la diferencia que existe entre la potencia declarada por el fabricante de un motor (obtenida en un banco de ensayo de motores) y la obtenida en los bancos de rodillos más importantes de Estados Unidos para tener noción de la diferencia en la medición de potencia de la cual estamos hablando.

Los valores son:

- *Potencia indicada por el fabricante: 260 HP (Potencia efectiva del motor)*
- *Potencias medidas (en la rueda):*
 - *Dynapack (tipo absorción): 208.9HP*
 - *Dynojet (inercial) 226.9 HP*
 - *Mustang (tipo absorción): 219.1 HP*
 - *Superflow (inercial): 225.0 HP*

Estos datos fueron tomados de la revista "Hotrod" de mayo del 2004. Vemos que aunque sean marcas de banco de rodillos reconocidas mundialmente la variación en las medidas mediciones son notables, aun entre los mismos tipos de medición de potencia y torque.

TIPOS DE FRENOS DE ABSORCIÓN

Se los puede usar midiendo por barrido o punto a punto, ya que la electrónica que comúnmente se utiliza al realizar el ensayo registra y genera las curvas de potencia y torque con los valores de análisis correspondientes o se puede generar en algún sistema de cálculos si la adquisición de datos se hizo de forma manual. Describiremos los más utilizados:

➤ **EL FRENO DE PRONY (GASPARD DE PRONY 1775-1839)**

Es un sistema dinamométrico que se ideó para medir el par de giro de los motores en el siglo XIX. Si bien este sistema en la actualidad solo se utiliza con fines educativos, es importante describir su funcionamiento ya que es la base de operación de los demás frenos que describiremos más adelante.

Para facilitar la lectura del lector se recomienda analizar detenidamente la imagen a continuación:

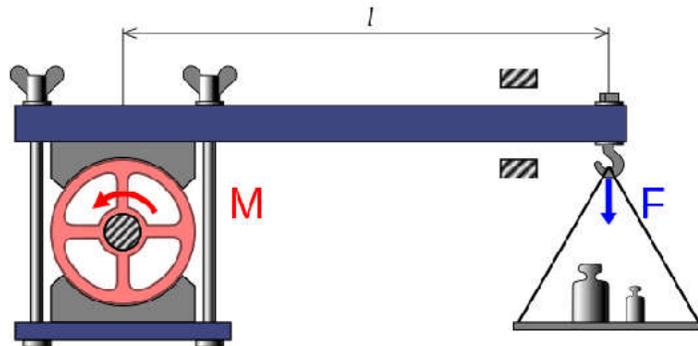


Imagen xx: freno de Prony, donde M:momento, F:fuerza y l:longitud del brazo de palanca.

Como podemos ver en la imagen, el freno está conformado por un brazo en el cual van montados sobre un extremo un dinamómetro con una base para colocar contrapesos y en el otro extremo una rueda, la cual tiene una superficie lisa deslizando y resistente al desgaste. Esta

rueda es la que se conecta al eje del motor del cual se quiere medir su potencia. El ajuste de la cinta es variable y así se puede controlar el torque de carga o freno aplicado al motor.

En otros modelos, se compone de dos zapatas extraíbles montadas sobre una mordaza, adaptada para abrazar un eje de diámetro dado, y conectadas a una palanca. Como puede verse en la figura:

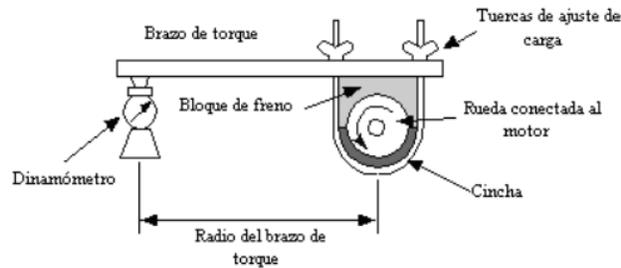


Imagen xx: imagen del “Museo didáctico de física”.

Sin importar cuál sea el modelo utilizado la medición del par motor para una velocidad de rotación determinada del equipo se lleva a cabo de la siguiente forma: se incrementa gradualmente la compresión ejercida sobre las zapatas mediante el aumento de la masa del contrapeso o la longitud del brazo de palanca, con lo que el motor es frenado hasta que se estabiliza en la velocidad de rotación dada. De esta forma, mediante la siguiente relación podemos calcular el momento torsor:

Dónde:

- distancia medida entre las zapatas y la posición del contrapeso.
- : fuerza aplicada, en este caso, el peso de los cuerpos colocados como contrapesos.

Con esta simple relación obtenemos el valor del momento () del motor para una velocidad angular dada.

En cuanto a la potencia desarrollada por el equipo es disipada en forma de calor por el material del freno. Como conocemos el valor del momento torsor, podemos la potencia calcular mediante la expresión:

Dónde:

- : momento torsor

- : velocidad angular de giro del motor
- : potencia efectiva del motor.

Ya que con este procedimiento no es sencillo dejar la palanca en equilibrio con el motor manteniendo una velocidad de giro estable, su uso más frecuente es la medida del par de arranque de los motores eléctricos, cuando la velocidad de giro es prácticamente nula.

Otra disposición muy usada es la que se ve a continuación:

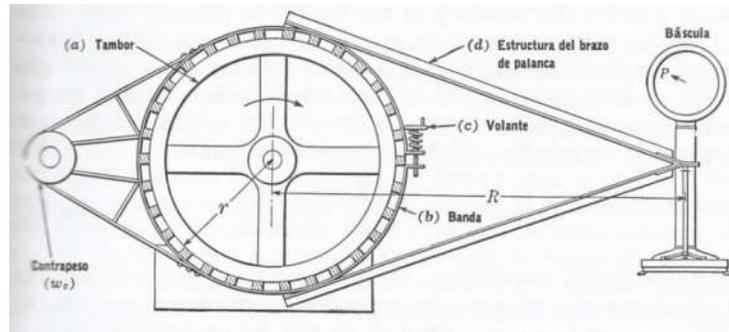


Imagen xx: estraida del libro “Motores de combustión interna” de Edward F. Obert.

En la imagen vemos que en el centro se coloca el motor al cual se desea conocer sus prestaciones. Mediante el volante en (c) podemos regular el apriete de la cinta que se encarga de disipar potencia (b). La estructura simbolizada con (d), se encuentra rigidamente vinculada con la cinta copiando cualquier movimiento que esta intente hacer y registrándolo en la balanza de la derecha como un esfuerzo. Al conocer las dimensiones geométricas del freno y el peso podemos calcular el momento torsor y la potencia específica.

➤ FRENO POR CORRIENTES PARÁSITAS O DE FOUCAULT

Su funcionamiento se basa en acoplar al eje del motor que se está ensayando un disco con alta permeabilidad magnética, el cuál gira en dentro campo magnético una vez que comienza el ensayo. De esta forma, se puede regular la carga sobre el motor puesto a prueba variando la intensidad de corriente que pasa por unas bobinas de excitación que van colocadas a ambos lados del disco y son las encargadas de generar el campo magnético. El frenado del sistema es debido a que el movimiento circular del disco macizo de acero genera una corriente inducida en él (corrientes parásitas), provocando electroimanes con campos magnéticos que se oponen a los campos magnéticos generados por las bobinas del estator. Cuanto mayor sea el campo magnético aplicado o mayor la velocidad relativa del movimiento o mayor la

conductividad del conductor (disco), mayores serán las corrientes parásitas y los campos opositores generados.

Este efecto genera pérdidas de energía transformándola en calor por efecto Joule, por esto, los fabricantes acoplan al sistema o diseñan cuidadosamente circuitos de refrigeración para evitar sobrecalentamientos de los materiales lo cual exige mayor complejidad en el diseño del equipo, lo cual se traduce en costos más altos.

Es importante tener presente que la precisión que se logra con estos equipos es envidiable por otros dinamómetros pero un solo freno que opere con corrientes parásitas no puede cubrir un gran rango de potencias como sí lo puede hacer otros tipos de dinamómetros.

Como ya describimos el principio de funcionamiento físico de este freno, ahora pasaremos a detallar como es que funciona el equipo. El lector debe tener en cuenta que el modelo que se expone a continuación no es el único que se encuentra en el mercado y se pueden encontrar diferencias al compararlo con otro modelo de freno:

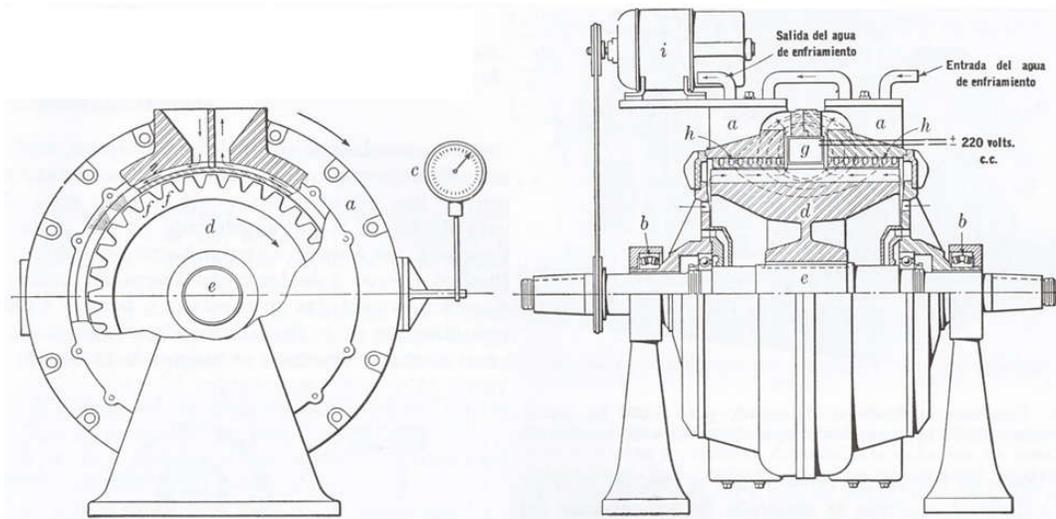


Imagen xx: extraída del libro “Motores de combustión interna” de Edward F. Obert.

En este tipo de dinamómetro (a diferencia de lo anteriormente explicado) las corrientes parásitas se inducen en el estator (a), esto no es solamente con el objetivo de confundir al lector, sino que es más fácil de refrigerar ante el aumento de temperaturas.

El estator va montado sobre los cojinetes (b) que pueden verse en la vista lateral del equipo, estos soportan el peso del estator permitiendo que realice libremente movimientos angulares debido al torque del motor al cual el equipo esta acoplado. Ese desplazamiento se

mide con una balanza (o cualquier otro instrumento que permita medir la fuerza, como una celda de carga, ejercida por el motor) que va acoplado al brazo del dinamómetro (c).

Dentro del estator, se encuentra el rotor (d) que va montado sobre el eje (e), vemos que el rotor cuenta con una serie de dientes rectos (f), estos están separados del estator por un entrehierro de poco espesor.

Cuando comienza el movimiento el flujo magnético penetra en el rotor por los dientes, pero como estos se mueven en torno al eje, provocan que las líneas de flujo se curven dentro del hierro del estator, esto induce a las corrientes parásitas en el estator y tiende a hacerlo girar en el mismo sentido en el que gira el eje acoplado al motor.

Al energizar la bobina (g) con corriente continua se magnetiza el estator y el rotor con las líneas de fuerza que envuelven a la bobina provocando así el frenado del equipo.

Es común colocar un generador (i) que se vincula mediante algún elemento transmisor de potencia al eje principal para lograr que ante un cambio brusco en la operación del motor se asegure la excitación correspondiente a la bobina y de esta forma mantener constante la velocidad de giro del equipo a ensayar.

El flujo de agua para refrigeración se hace pasar por los canales (h), en este tipo de dinamómetro, el agua solo se utiliza como líquido refrigerante y no tiene efecto alguno en el frenado del motor a ensayar.

Ventajas:

- *Alto torque de frenado aún a muy bajas RPM.*
- *Alta precisión en el control aún en rangos muy distintos de torque y RPM.*
- *El control del frenado es independiente de la refrigeración.*
- *Permite un control automático preciso.*
- *Alta durabilidad, mantenimiento simple y menos frecuente.*
- *En el caso de los dinamómetros refrigerados por aire no requiere infraestructura adicional.*

Desventajas:

- *Mayor Costo.*
- *Mayor inercia.*

- En dinamómetros refrigerados por agua es necesaria una instalación de refrigeración (bombas, tanques, torre de enfriamiento) aunque ligeramente más sencilla que para un dinamómetro hidráulico.
- En dinamómetros refrigerados por aire, el frenado a plena potencia sólo puede hacerse por un tiempo corto, pasando luego a un régimen de potencia 1/3 menor que depende de la capacidad de disipación del dinamómetro.

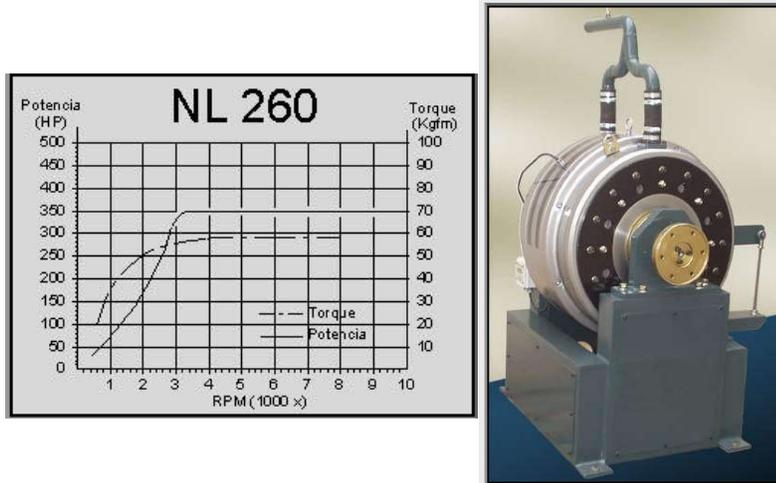


Imagen xx: Freno de corrientes parásitas de la marca MWDYNO, modelo NL 260.

Los datos del freno de la imagen anterior son:

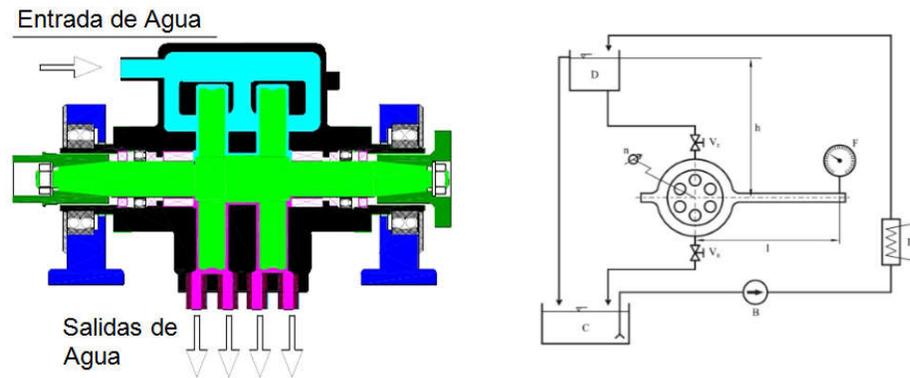
ABSORCIÓN DE POTENCIA	750 CV A 1800 R.P.M
VELOCIDAD MÁXIMA	4800 RPM
TORQUE MÁXIMO	300 KGM
REFRIGERACIÓN	CIRCULACIÓN DE AGUA.

➤ **FRENO DE AGUA (FRENO DE FROUDE)**

Fue ideado en el siglo XX por el ingeniero británico William Froude.

Este tipo de freno funciona por el efecto torbellino de un fluido. El cual cumple las funciones de llevar a cabo el frenado y evacuar el calor generado por la transformación de la potencia del motor.

Una representación simple pero muy útil para explicar el funcionamiento del equipo es la siguiente imagen:



Imagen

xx: A la izquierda, vista en corte longitudinal de freno de Froude con dos discos paralelos. A la derecha vemos el freno con una vista frontal en donde se distingue el depósito de agua a suministrar al tanque, el brazo y medidor de fuerza, el recipiente donde se almacena el agua ya utilizada y el intercambiador de calor para reutilizar el agua.

Esencialmente consta de uno o varios discos rotativos que poseen paletas (con una configuración similar al alabe de una bomba centrífuga) el cual va empotrado a un eje colocado sobre cojinetes que permiten su movimiento pivotante (Color verde). Este eje se acopla mediante una vinculación mecánica al eje de salida del motor. (Color verde oscuro)

Las paredes del recipiente también poseen paletas en su interior que distan a una distancia determinada de las paletas del rotor para evitar que se toquen. (Color negro)

Antes y durante el ensayo, se introduce el fluido a utilizar (generalmente agua) a temperatura ambiente o inferior, mediante una tubería colocada en la parte superior del equipo. (Color celeste)

El fluido lleva a cabo la acción de frenado debido a que cuando es conducida por los alabes del órgano rotativo, adquiere impulso y cantidad movimiento de estos que giran solidario con él motor que se está ensayando, y chocan contra las paletas fijas del cuerpo del freno debido a la centrifugación que sufre el fluido, esto se produce varias veces hasta que el agua sale del freno. Si la velocidad a la cual estamos operando el motor es lo suficientemente alta y la cantidad de agua es la indicada para el número de revoluciones que estamos operando, el choque de las partículas contra la parte estática provoca un movimiento angular de todo el equipo en torno al eje que lo soporta.

La estructura del freno tiene adosado en su exterior un brazo de palanca de longitud conocida, que va conectado a una balanza o algún otro equipo que nos permita conocer la

magnitud de la fuerza que provoca el desplazamiento angular. Como conocemos el valor de la distancia podemos saber el valor del par para ese momento y luego la potencia.

Dado que el rozamiento entre las paletas y el agua engendra calor, la temperatura interior del recipiente se mantiene constante debido a la renovación constante del líquido en uso. Es importante que el operario del banco tenga el tacto suficiente para poder abastecer del agua necesaria para lograr una correcta lubricación sin frenar de más el motor en ensayo.

La energía mecánica disipada dentro del freno se convierte en calor lo cual se ve reflejado en un salto térmico sufrido por el agua a su salida (color magenta).

Antiguamente el sistema de regulación del fluido estaba constituido por unos tornillos, que separan o aproximan al rotor a las paredes del recipiente. Si el espacio existente entre las aletas del rotor y las del recipiente se reduce, aumenta la intensidad con la que el rotor tiende a arrastrar el cuerpo del freno y, consecuentemente, se incrementa el par de resistencia opuesto por el mismo recipiente.

Pero en la actualidad, la circulación del agua se consigue mediante una bomba que provee de fluido al equipo y mediante una válvula el operario regula su caudal. De esta forma, la variación del par frenante se obtiene actuando sobre la válvula, es decir, modificando la cantidad de agua introducida en el freno en lugar de variar la distancia entre las paredes del recipiente y del rotor.



Imagen xx: *despiece de dinamometro hidráulico 50 hp @1500 rpm. En el centro se encuentra el rotor y adosado a la estructura se encuentra los alabes estáticos que recibirán el choque de las partículas.*

Se recomienda al lector mirar los videos:

- <https://www.youtube.com/watch?v=JbPL8MtRH9c>: En este se podrá ver como circula el agua en el freno de la imagen anterior.
- <https://www.youtube.com/watch?v=nSNkBOBXnHM>: Este es una animación muy útil para poder comprender como es que funciona el freno hidráulico a través del análisis de la trayectoria de una partícula de agua en su interior.

Ventajas:

- Menor Costo.
- Tamaño reducido incluso para potencias elevadas.
- Baja Inercia.
- Permite realizar ensayos a carga estabilizada por tiempo indefinido (limitado sólo por la capacidad de disipación de calor de la torre de enfriamiento).

Desventajas:

- Bajo torque de frenado a bajas RPM.
- Infraestructura costosa (bombas, tanques de agua, torre de enfriamiento)
- El elemento de enfriamiento (agua) interviene también en el frenado generando un compromiso entre torque de frenado y potencia disipada.
- Rango de trabajo reducido (relacionado con el punto anterior). Un mismo dinamómetro puede regularse para trabajar a bajas RPM con alto torque o para altas RPM con bajo torque, pero no ambas.
- Desgaste elevado debido a la cavitación y turbulencias.
- Mantenimiento más frecuente.
- Se debe controlar la calidad del agua.

Ejemplo de un tipo de freno hidráulico en el mercado:

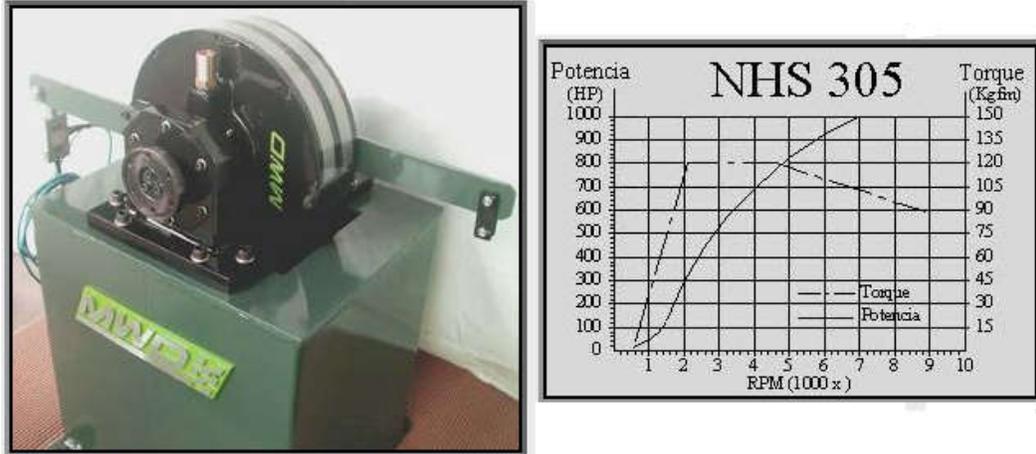


Imagen xx: Freno de hidráulico de la marca MWDYNO, modelo NHS 305.

ABSORCIÓN DE POTENCIA	600 CV A 5000 RPM
VELOCIDAD MÁXIMA	10000 RPM
TORQUE MÁXIMO	120 KGM
FRENADO Y REFRIGERACIÓN	CIRCULACIÓN DE AGUA

➤ FRENO ELÉCTRICO

Están presentes en todas las versiones de motores eléctricos que conocemos, de corriente continua, alterna y sincrónica. Todos ellos funcionan de la misma manera, se encargan de transformar la potencia absorbida desde el motor sometido a ensayo en energía eléctrica. Esta se evacua del freno mediante un circuito diseñado especialmente para hacer circular dicha corriente.

La pérdida de energía en forma de calor (efecto Joule) se transfiere a un medio de enfriamiento, que puede ser mediante agua o un flujo de aire forzado.

Es importante tener presente que estos equipos generalmente son de gran tamaño, contienen alto voltaje y potencia. Además de esto, debido a los sofisticados componentes electrónicos que los componen, es importante que el recinto en donde se lleven a cabo los

ensayos se encuentre en buenas condiciones atmosféricas. Es decir, baja humedad, buena circulación de aire para la refrigeración y la mínima cantidad de partículas en suspensión en el aire como sea posible.

Los tipos de dinamómetros eléctricos son:

- *De corriente continua:*

Es un generador de corriente continua acoplado a motor a ensayar mediante alguna vinculación mecánica. Aunque una de las desventajas más notables de estos equipos es su límite de velocidad máxima y la gran inercia que a altas velocidad genera vibraciones torsionales. A esto hay que sumarle el alto costo de mantenimiento que requieren por los componentes electrónicos que usan.

- *De corriente alterna:*

Consisten de un generador de inducción con rotor de jaula de ardilla, la velocidad de giro se controla variando la frecuencia de suministro de corriente. Una ventaja es que para el mismo rango de potencia, los generadores de corriente alterna tienen menos inercia que los de corriente continua y además requieren de menos mantenimiento.

- *Generador sincrónico (imán permanente):*

Esta clase de dinamómetros son los que más se estudia su desempeño con objeto de lograr mejoras en sus prestaciones, ente los distintos tipos de frenos eléctricos. Su gran ventaja es la baja inercia a altas velocidades.

Ventajas:

- *Las mismas ventajas que los de corrientes parásitas.*
- *Menor inercia que de acuerdo al tipo de generador utilizado.*
- *Posibilidad de usarlos también como motor para ensayo de transmisiones y otros elementos pasivos*

Desventajas:

- *Elevado Costo*
- *Mayor inercia que un hidráulico*
- *El controlador es muy caro*

- Solo disponibles para potencias bajas y moderadas

CONCLUSIÓN

A modo de conclusión de esta parte del trabajo, podemos establecer que el freno, sin importar la forma en que disipe la potencia entregada por el motor, trabaja por el principio de acción y reacción. Esto implica que la fuerza que recibe la transmite al sensor de medición. Por lo tanto, el freno no es quien realiza la medición sino que es un intermediario que no afecta a la medición. Entonces, ¿es lo mismo cualquier freno? No, definitivamente no. Las virtudes de un freno son:

- Poder frenar el motor que se pretende probar.
- Frenarlo de modo que el operador tenga perfecto control del régimen del motor.
- Disipar el calor que se genera en el freno.
- Poder realizar las funciones anteriores sin límite de tiempo.
- Tener baja inercia, lo que permite “sentir el motor” y que siempre el motor lleve al freno y nunca el freno lleve al motor, mucho menos cuando hay una rotura y queremos detenerlo lo antes posible.
- Por ultimo debe estar diseñado de modo que el estator quede libre y sea solo la celda de carga quien detiene el giro asegurando una buena medición del torque.

En la siguiente tabla, se comparan desde distintos puntos de vista los distintos frenos de absorción. En la comparación existen cinco calificativos posibles con los cuales se clasificarán los bancos de prueba para cada aspecto de comparación (Excelente, muy bueno, bueno, regular y pobre).

Características	Freno de Agua	Freno de corrientes parásitas	Freno de fricción	Generador de corriente alterna	Generador de corriente continua
Capacidad de alta potencia en estado estable	Excelente	Bueno	Pobre: requiere enfriamiento	Regular	Regular
Capacidad para altas velocidades	Excelente	Regular	Bueno	Regular	Pobre
Capacidad de mantener	Pobre	Muy bueno	Excelente	Excelente	Excelente

<i>torque en estado estable</i>					
<i>Estabilidad y respuesta al sistema de control</i>	<i>Bueno</i>	<i>Muy bueno</i>	<i>Pobre</i>	<i>Excelente</i>	<i>Muy bueno</i>
<i>Toma de datos a través de computadora</i>	<i>Bueno</i>	<i>Excelente</i>	<i>Regular</i>	<i>Excelente</i>	<i>Muy bueno</i>
<i>Capacidad de mover al motor</i>	<i>Requiere motor auxiliar</i>	<i>Requiere motor auxiliar</i>	<i>Requiere motor auxiliar</i>	<i>Excelente</i>	<i>Excelente</i>
<i>Relación potencia-peso</i>	<i>Excelente</i>	<i>Pobre</i>	<i>Regular</i>	<i>Pobre</i>	<i>Pobre</i>
<i>Relación potencia-tamaño</i>	<i>Excelente</i>	<i>Excelente</i>	<i>Bueno</i>	<i>Regular</i>	<i>Pobre</i>
<i>Costo por unidad de tamaño</i>	<i>Excelente</i>	<i>Bueno</i>	<i>Regular</i>	<i>Pobre</i>	<i>Pobre</i>
<i>Costo por unidad de potencia</i>	<i>Excelente</i>	<i>Muy bueno</i>	<i>Bueno</i>	<i>Bueno</i>	<i>Bueno</i>
<i>Costo y requerimientos de la instalación</i>	<i>Excelente</i>	<i>Muy bueno</i>	<i>Bueno</i>	<i>Bueno</i>	<i>Bueno</i>
<i>Costo de mantenimiento</i>	<i>Excelente</i>	<i>Excelente</i>	<i>Bueno</i>	<i>Excelente</i>	<i>Regular</i>

ELECCIÓN DEL TIPO DE BANCO DE PRUEBAS

Los factores que se deben tener en cuenta para realizar la elección deben ser:

- *Que queremos medir*
- *Como lo queremos medir*
- *Costo o inversión inicial.*
- *Capacidad para sacar el rodaje del motor.*
- *Facilidad de acceso al motor.*
- *Capacidad para encender el motor.*
- *Capacidad para medir temperaturas de aceite y refrigerante.*
- *Mantenimiento requerido por el sistema.*
- *Capacidad para medir la presión de aceite.*
- *Espacio requerido para la instalación.*
- *Capacidad para medir torque y potencia.*
- *Tiempo de preparación de la prueba.*
- *Espacio disponible.*
- *Qué tipo de motor vamos a medir: ciclo Otto y/o Diesel.*
- *Como almacenaremos el combustible necesario.*

CONSTRUCCIÓN DE LA SALA

El factor más importante a tener en cuenta es si se requiere tener acceso o no al banco. Demás está decir, que deben cumplirse todas las condiciones de seguridad necesarias. El esquema de nuestro banco es el siguiente:

TAMAÑO DE LA SALA

El interior de la sala nos debe permitir realizar movimientos cómodos para realizar la instalación del motor y las posibles operaciones en el mismo una vez montado. La altura debe considerarse junto con el sistema que se utilice para ingresar el motor en la sala, ya que debe permitir levantar el motor unos 0,50m sobre la posición de prueba. En el caso de tener la base de motor el ingreso del motor se hace montado por lo cual no se necesita ningún aparejo en el interior de la sala.

PAREDES

Como en cualquier construcción las paredes deben ser adecuadas para soportar la carga a la cual se las va a someter, pero además en el caso particular de la sala de ensayo se debe prever que es necesario reducir al mínimo posible la transmisión de los ruidos generados por el motor durante el ensayo.

La transmisión del ruido a través de una división entre habitaciones es inversamente proporcional a la masa del tabique divisor, esto explica como en las medianeras de las casas antiguas 0,30m y a veces 0,45m de pared maciza no se escuchaban ruidos a diferencia de los departamentos modernos de finas paredes de ladrillo hueco. Si se quiere lograr una buena aislación acústica las paredes se construirán dobles, una pared externa de ladrillo macizo de 15cm de espesor, luego una pared interna de 15cm (Mínimo) de espesor de ladrillo hueco, de forma que los huecos queden mirando hacia el interior de la sala dejando entre ellas una cámara de aire de 5cm de espesor que puede ser rellena con panel de lana de vidrio o algún otro material para una mejor aislación acústica.

ACCESO A LA SALA DE ENSAYOS

La puerta de acceso de motores debe hacerse en el lugar más cómodo, y con el tamaño adecuado para la función, además debe ser de material no combustible y contar con aislación acústica y burlletes que sellen la abertura. Igualmente debe cumplir la puerta de acceso del operador del banco si es que se decide hacer una puerta para esta función específica.

VENTANA

Desde el punto de vista de la operación del banco es conveniente que esta sea lo más amplia posible, que permita una buena visual de todo lo que ocurre dentro de la sala. Desde el punto de vista de la seguridad es usar vidrios laminados de seguridad.

Se colocan dos vidrios uno del lado de la consola, uno posición vertical y el otro del lado interior de la sala inclinado respecto del anterior. Esto es para evitar que ambos elementos entren en resonancia, lo cual produce que se rompan entre ellos.

VENTILACIÓN DE LA SALA

Es necesario recircular el volumen de la misma más el aire consumido por el motor cada cinco segundos, es decir, unas doce renovaciones por minuto. Esto asegura que la temperatura dentro de la sala no aumentará y las pruebas se mantendrán dentro de las condiciones atmosféricas especificadas por las normas de ensayo de motores.

Para lograr esto es recomendable el uso de un ventilador que fuerce la entrada de aire en la sala, este ventilador se coloca de tal manera que el aire impulsado se dirija hacia la zona de los caños de escape y otras zonas del motor que en el vehículo reciben refrigeración por el aire circulante.

El aire llega al ventilador por un conducto con dimensiones adecuadas, (a mayor área de pasaje mejor, siendo lo ideal evitar este conducto si el ventilador pudiera tomar aire directamente del exterior) en ningún caso debe aceptarse medidas que representen un área de pasaje menor que el área del propio ventilador. Como es lógico todo el aire que ingresa debe salir y no podemos hacer entrar más aire del que sale, de aquí que es conveniente el uso de un extractor, de iguales características que el que se usa para ingresar aire a la sala, para extraer el aire y los gases de escape.

Ya pensando en la extracción del aire y los gases que contiene, suele realizar conductos con formas de laberintos, que obliguen al aire y gases de escape a un cambio permanente de dirección, provocando un efecto de amortiguación de la onda sonora.

SISTEMAS DE ESCAPE

De acuerdo con lo especificado en las normas de ensayos de motores, el sistema de escape debe ser el mismo que utiliza el motor en el vehículo en que se instala, lo cual es una condición con un grado de dificultad considerable en un lugar en el cual se ensayan varios motores. Por lo cual, por una cuestión practica estamos impedidos de tener una variedad de salidas acordes con la cantidad de motores que se pueden probar. Por eso y esto también lo consideran las normas, se reemplaza el sistema original por uno equivalente.

Resulta muy práctico dar salida a los gases de escape por las aberturas del conducto de salida de aire, introduciendo el caño por alguna de ellas o bien apuntándolo a la que quede más cómodo ya que la corriente de aire que originan los ventiladores impide el retroceso de los gases.

No es conveniente bajo ningún concepto probar con el escape dentro de la sala, sin orientar a las aberturas, esto trae principalmente dos problemas:

Tenemos una fuente térmica adicional que provocara inevitablemente el aumento de la temperatura de la sala más de lo recomendado.

Dentro de la sala habrá zonas de turbulencia imprevisibles donde los gases permanecerán en cierta proporción y pueden ser aspirados por el motor con los consiguientes perjuicios más allá de tener la renovación de aire prevista.



Imagen xx: aaaaaaa.

INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Se recomienda que la instalación sea hecha por un profesional, quien deberá estar al tanto de las normas de instalación y seguridad dictadas por los organismos especializados.

Se debe colocar un tablero de fuerza motriz con destino a las aplicaciones propias del banco de pruebas de motores, cercano a la consola de comando. Se puede usar un corte por golpe de puño, se recomienda que la alimentación de la bomba que envía agua al freno no sea cortada, ya que si la emergencia se produce por rotura del motor este quedara sin freno siendo esto aún más perjudicial. Puede usarse este tablero para alojar los elementos de seguridad y los contactores que comandaran los distintos motores eléctricos trifásicos y/o monofásicos.

La instalación solo debe facilitar el uso adecuado de todos los componentes eléctricos, pero a la vez, garantizar que el suministro no provoque interferencias (magnéticas, capacitivas y/o inductivas) que alteren las mediciones realizadas en el motor.

TABLERO DE CONTROL

El principal objetivo es que el operario pueda gobernar el motor cómodamente y controlar el par a través del freno y la velocidad. Desde acá el operario controla mediante relojes analógicos las magnitudes como ser la temperatura de agua del motor, presión de aceite, temperatura de los gases de escape, riqueza de la mezcla, entre otros.

Vale la pena aclarar que en bancos más modernos estas magnitudes también se pueden controlar de forma digital por medio de un software de control.

Debe estar ubicado en un lugar que al operario le permita llevar a cabo el ensayo con la comodidad de observar la habitación en donde se encuentra el motor, esto es para estar atento ante cualquier desperfecto durante el ensayo

SISTEMA DE SOPORTE PARA LOS MOTORES (BANCADA)

Debe ser capaz de soportar al motor y permitir su nivelación con respecto al freno, es decir, que el eje quede perfectamente horizontal.

Pueden ser carros deslizables o estructuras rígidas que van abulonadas al piso. Estas últimas permiten configurarla de acuerdo al tamaño del motor.

También, en su diseño, debe tenerse en cuenta el tipo de motor que se ensayará, ya que en función de su tamaño, régimen de operación y cantidad de cilindros y su disposición (leer equilibrado de fuerzas de motores multi-cilíndricos), será el tipo y magnitud de las vibraciones que ocasionará su funcionamiento. Es importante que se monte de forma tal que las vibraciones no dañen el motor, los accesorios que realizan mediciones sobre este, mangueras ni cables que asistan a la medición o formen parte del proceso operativo del motor.

En los motores de autos se acostumbra a realizar el montaje en los mismos lugares en donde se ajusta al chasis del auto, lo cual a veces suele generar inconvenientes porque los lugares en donde se puede acoplar están en zonas de difícil acceso y no se pueden usar los acoples universales. Esto es más sencillo en los motores de camiones porque cuentan con más lugares en donde se pueden colocar los soportes y además tienen mejor acceso.

CIMENTACIÓN

Este sistema másico elástico se diseña en base a las dimensiones, geometrías, torque máximo y peso máximo de los motores a ensayar. Se recomienda que en su diseño tenga en cuenta las vibraciones a las cuales va a estar sometido el motor. Cumple la difícil tarea de tener

que asegurar que las fuerzas transmitidas por el motor al soporte sean absorbidas o disipadas de alguna forma para garantizar un funcionamiento estable del motor.

SISTEMA CONTRA INCENDIOS

Debido a las altas temperaturas alcanzadas por los motores durante los ensayos, sumado la inflamabilidad de los fluidos y equipos que forman parte del ensayo se recomienda contar con equipos capaces de:

- *Detectar gases inflamables y explosivos.*
- *Extinguir el fuego.*
- *Alarmas de incendios.*

DEPÓSITOS DE COMBUSTIBLE

Deben ser almacenados y transportados en condiciones que minimicen la pérdida de componentes volátiles, conocido como envejecimiento de combustibles. Existen normas que reglamentan la forma en que debe realizarse el depósito, transporte e indicación del sistema de transporte de combustibles con el fin de evitar incendios.

Generalmente, los depósitos se encuentran fuera de la sala de ensayo del motor colocados al ras del piso para evitar incidentes en caso de derrame. Debido a esto se colocan elementos que elevan la presión de circulación del fluido y elementos que permitan controlar su temperatura

REGISTRO DE DATOS

El registro de datos se lleva a cabo con dos fines específicos, el de conocer las prestaciones del motor sometido a ensayo y a la vez, la de controlar las condiciones operativas del motor para evitar cualquier tipo de falla del mismo.

En los dinamómetros antiguos, un observador debía registrar con lápiz y papel las lecturas simultáneas del tacómetro, el medidor de torsión y consumo de combustible, entre otros (en nuestra facultad a menudo se hace de esta forma, aunque es una buena práctica para la formación del alumnado y que él mismo trace las curvas con los datos obtenidos). Hoy, la mayoría de los dinamómetros reemplazan las notas del observador por placas electrónicas de adquisición de datos conectada a un computador. Esto evita no solo no incluir error humano en

la toma de datos, sino que el que constructor y/o el operario encargado de realizar el ensayo de motores altere las lecturas para su beneficio.

Un sistema de adquisición de datos adecuado debe tener una tasa rápida de muestreo, en especial para probar motores de un solo cilindro y de cuatro tiempos. Los especialistas en el tema, recomiendan 100 muestras por segundo (100Hz), como mínimo, de todos los canales sensores que estemos usando. Una tasa de registro de 200Hz es aún mejor. ¿Por qué? Hay que comprender que, entre las chispas de las bujías hay una caída mensurable en la torsión instantánea del cigüeñal y las revoluciones con las que gira el motor. El cigüeñal se acelera en los momentos posteriores a la combustión, luego comienza a detenerse hasta llegar a casi dos revoluciones, después la bujía se vuelve a encender, efecto que es menos notable en los motores multicilíndricos o que cuentan con un gran volante de inercia. Este efecto no es posible sentirlo mientras se conduce un automóvil, pero si se puede ver en un dinamómetro con los instrumentos de medición indicados.

En cambio, si la muestra es a 50Hz, por debajo del mínimo recomendado, se registrará una única torsión y una muestra de rpm revolución de por medio. Esto puede provocar que una serie de muestras se sincronicen con las chispas de las bujías, en tanto que en otras ocasiones, las muestras se sincronizarán con los tiempos de compresión con potencia más baja. En conclusión si usamos un sistema rápido de adquisición de datos para leer cada ciclo de encendido varias veces, se capturan los datos suficientes para extraer el promedio de este fenómeno. Es importante que el operario del banco de pruebas cuente con la habilidad para determinar la frecuencia de muestro para no almacenar datos de más, pero tampoco llevar a cabo falsas lecturas.

Pero no solo se deben realizar mediciones sobre los parámetros de funcionamiento del motor. Los datos climáticos de la sala, es decir, la temperatura del aire, la presión barométrica y la humedad, deben ser registradas para cada sesión de prueba con un dinamómetro. Supongamos estar ensayando un motor con la sala a baja presión barométrica, temperaturas altas de aire y elevados porcentajes de humedad, estas condiciones provocarán una disminución de la potencia entregada por el motor. Pero, si ensayamos el motor con las condiciones inversas a las anteriormente citadas, la potencia será notablemente mayor. Por lo tanto se deben realizar correcciones atmosféricas, las cuales se especifican en las normas (en las secciones próximas de este trabajo las detallaremos), pero su función es la de poder comparar de manera directa gráficas de motores ensayados en condiciones totalmente diferentes.

Teniendo en cuenta las consideraciones que deben tenerse en cuenta para la adquisición de datos, describiremos algunos de los factores que se analizan:

- Temperatura de agua del motor.
- Temperatura de aceite del motor.
- Temperatura de aire: suele medirse la temperatura de la masa de aire que ingresa a la sala y la de salida.
- Sensor Lambda para medición de la carburación.
- Temperatura de escape.
- Temperatura de tapa de cilindros.
- Presión de aceite.
- Presión de agua.
- Presión combustible.
- Sensor de venteo para carter normal y carter seco.
- Sensor de presión de turbo.
- Velocidad de giro del motor.
- Torque generado en el dinamómetro.
- Eficiencia volumétrica.
- Condiciones ambientales de la sala, temperatura, humedad y presión atmosférica.

Para estos elementos se puede utilizar los instrumentos que detallaremos a continuación en el siguiente cuadro comparativo:

Método	Aplicación	Medición
Tacómetro Engranaje de anillo Lector en el eje Lector de simple impulso	Velocidad de rotación	Intervalo de tiempo
Balanza de resorte y contrapeso Celda de carga hidráulica Transductor tipo strain gauge.	Dinamómetro	Fuerza cuasi-estática
Transductor tipo strain gauge	Investigaciones de tensión y	Fuerza cíclica

<i>Transductor piezoeléctrico</i>	<i>tipo</i>	<i>carga de fatiga</i>	
<i>Tubo de Bourdon</i> <i>Manómetro</i> <i>Transductor tipo strain gauge</i>		<i>Presión en los sistemas de lubricación, refrigeración, combustible, compresión, gases de escape</i>	<i>Presión cuasi-estática</i>
<i>Transductor piezoeléctrico</i> <i>Transductor tipo capacitivo</i>	<i>tipo</i>	<i>Inyección de combustible, gases de escape, evolución del fluido dentro del cilindro</i>	<i>Presión cíclica</i>
<i>Acelerómetro piezoeléctrico</i> <i>Acelerómetro tipo strain gauge</i>	<i>tipo</i>	<i>Vibración</i>	<i>Aceleración</i>
<i>Vinculaciones mecánicas y sistemas de medición punto a punto</i> <i>Transductor LVDT</i> <i>Motor paso a paso</i>		<i>Acelerador y otros controles</i>	<i>Posición</i>
<i>Transductor inductivo</i> <i>Transductor capacitivo</i>		<i>Movimiento de válvulas</i>	<i>Desplazamiento cíclico</i>
<i>Termocupla</i> <i>PRT</i> <i>Termistor</i> <i>Resistencia eléctrica</i> <i>Pirómetro óptico</i> <i>Pirómetro de succión</i>		<i>Agua de refrigeración, lubricantes, aire en admisión y gases de salida, componentes.</i>	<i>Temperatura</i>
<i>Sonda lambda</i>		<i>Porcentaje de combustible quemado luego de la carburación</i>	<i>Riqueza de la mezcla</i>

Si bien en el recuadro anterior se describieron los instrumentos de medición que podemos encontrar en cualquier sala de ensayo de motores sin entrar en detalle de su funcionamiento, hay que hacer un estudio crítico de cómo se equipara un banco de prueba. No solo contemplar el precio de cada equipo, que aumenta a medida de su precisión en la medición, sino que también en cómo vamos a hacer las mediciones. Por ejemplo, si decidimos adquirir balanzas, manómetros, tubo de Bourdon, termómetros, entre otros, no podemos conectarlos a

una placa adquisidora de datos. Aunque estos equipos acoplarse en paralelo a los sensores para comparar las mediciones y llevar a cabo las calibraciones necesarias.

CALIBRACIÓN DEL BANCO

Para los bancos que cuentan con dinamómetros (ya que los inerciales no pueden calibrarse a no ser que tengan un dinamo acoplado) se puede llevar a cabo una rápida verificación, punto a punto, para corroborar que los instrumentos de medición están bien colocados. Para ello usaremos la expresión:

$$P = \frac{T * r.p.m.}{716} \text{ [CV]}$$

Dónde:

- *P*: potencia medida en [CV].
- *r.p.m.*: velocidad de giro del motor.
- *T*: torque en [kgm]

Con esta simple fórmula podemos ver en que parámetro tenemos mal calibrado los equipos.

Generalmente las revoluciones se miden de forma digital, son instrumentos que no se calibran y no suelen tener grandes errores en la medición. Si hay un tacómetro digital colocado en el banco, se recomienda compararlo con uno digital.

Para la medición del torque se usan celdas de carga (strain cague), estas necesitan ser calibradas para que puedan convertir sin error la fuerza transmitida por el freno en una señal eléctrica que es leída por el sistema de adquisición de datos. Aquí es donde es muy importante la habilidad del operario en poner a punto el sensor y que no induzca a un error en la medición. Para esto, se cuelga un cuerpo de peso conocido en el brazo del dinamómetro provocando un torque de valor conocido. Claro está que el brazo del dinamómetro es un valor conocido por el operario, ya que viene indicado en el freno.

Antes de colocar el peso debe leerse que la carga es nula, de lo contrario esto ya nos estaría indicando un gran problema. Verificando que lo anterior se cumple, procedemos a colocar nuestro cuerpo patrón y verificar el valor del torque.

A veces el factor de corrección atmosférico suele generar inconvenientes. Por eso en los informes luego de cada banqueada se deben proporcionar los datos:

- *Valor de temperatura, humedad y presión al momento de hacer el ensayo.*
- *Norma utilizada, para saber que formula usar para corregir. (Generalmente es la SAE J1349).*
- *Valor de corrección aplicado (entre 0.95-1.05)*
- *Valor de la potencia corregida y sin corregir.*

Con todos estos valores, la potencia calculada por el software debería ser igual a la que calculamos con la fórmula propuesta.

NUESTRO BANCO

Por último, teniendo en cuenta todos los conceptos abordados en este trabajo, vamos a describir brevemente la sala de ensayo de motores de nuestra facultad:

Consta de un banco de pruebas para motores de acople directo en el eje de salida del motor. A continuación se detallan las posibles mediciones que en él se pueden realizar y las curvas características del mismo:

- *Capacidad para probar desde motores grandes o pequeños. Proveyendo al mismo todos los recursos necesarios para su funcionamiento.*
- *Potencia máxima de motor.*
- *Torque máximo de motor.*
- *Capacidad de probar motores alimentados con nafta o gasoil.*
- *Capacidad de probar motores carburados y de inyección indirecta.*
- *Capacidad de realizar las siguientes mediciones a tiempo real: Torque al freno, Potencia al freno, velocidad de giro, temperatura de refrigerante, temperatura de aceite, presión de aceite, relación aire-combustible, consumo específico de combustible, c.*
- *Temperatura de gases de escape*

EL FRENO DINAMOMÉTRICO

En nuestra facultad se optó por adquirir un dinamómetro Saenz DS-2. Su principio de funcionamiento del freno es por torbellino de agua, es decir que estamos hablando de un freno hidráulico o freno de Froude. El método de trabajo ya fue descripto anteriormente cuando tratamos los dinamómetros de mayor utilización. Este cuenta con las siguientes características:

- *Modelo de Freno: DS2.*
- *Tipo de absorción: Freno Hidráulico.*
- *Material constructivo del rotor: Fundición Nodular.*
- *Material constructivo del Estator: Fundición Gris.*
- *Material eje: Acero de alta resistencia.*
- *Lubricación rodamientos: Grasa de litio.*
- *Rango de operación: 2000 – 12000 rpm.*
- *Potencia máxima: 400 CV.*
- *Torque máximo: 420 Lbs/pies (569.4 N-m).*
- *Requerimiento de agua: 15 litros/Hp hora.*
- *Medición de torque: Balanza analógica.*
- *Sensor de velocidad: Pulsos magnéticos (engranaje de 60 dientes).*
Diámetro del rotor: 200mm
- *Diámetro del Estator: 240mm*
- *Peso: 85kg*
- *Arranque: Sistema de trinquete*
- *Motor de Arranque: 7,5Hp.*

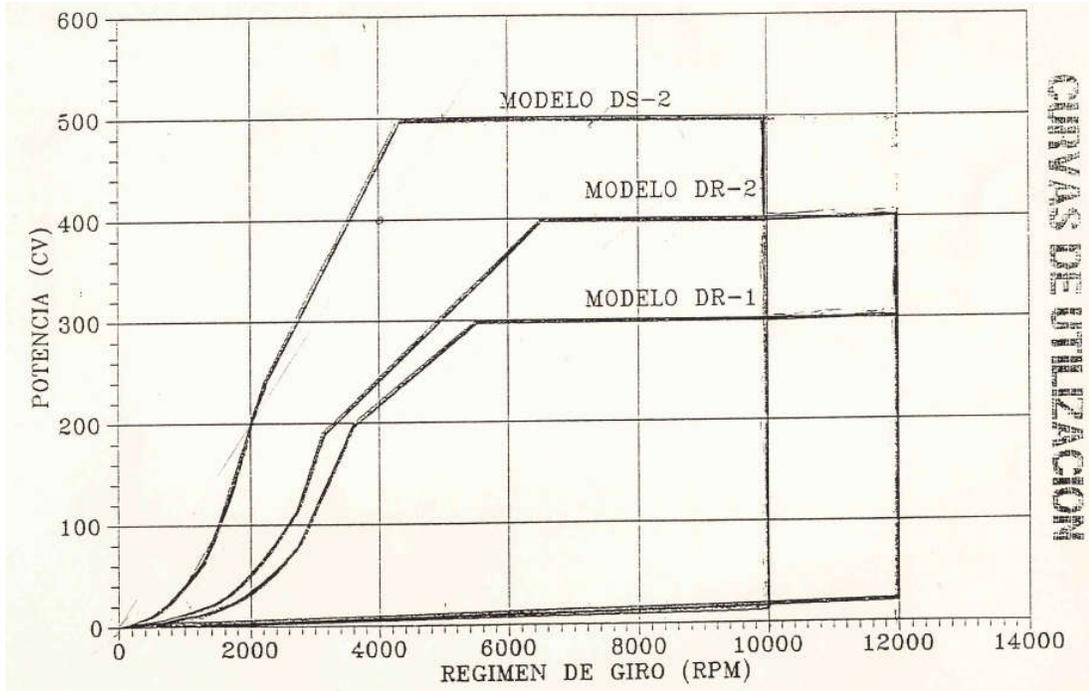


Imagen xx: curva de utilización del freno hidráulico, régimen de giro vs potencia.

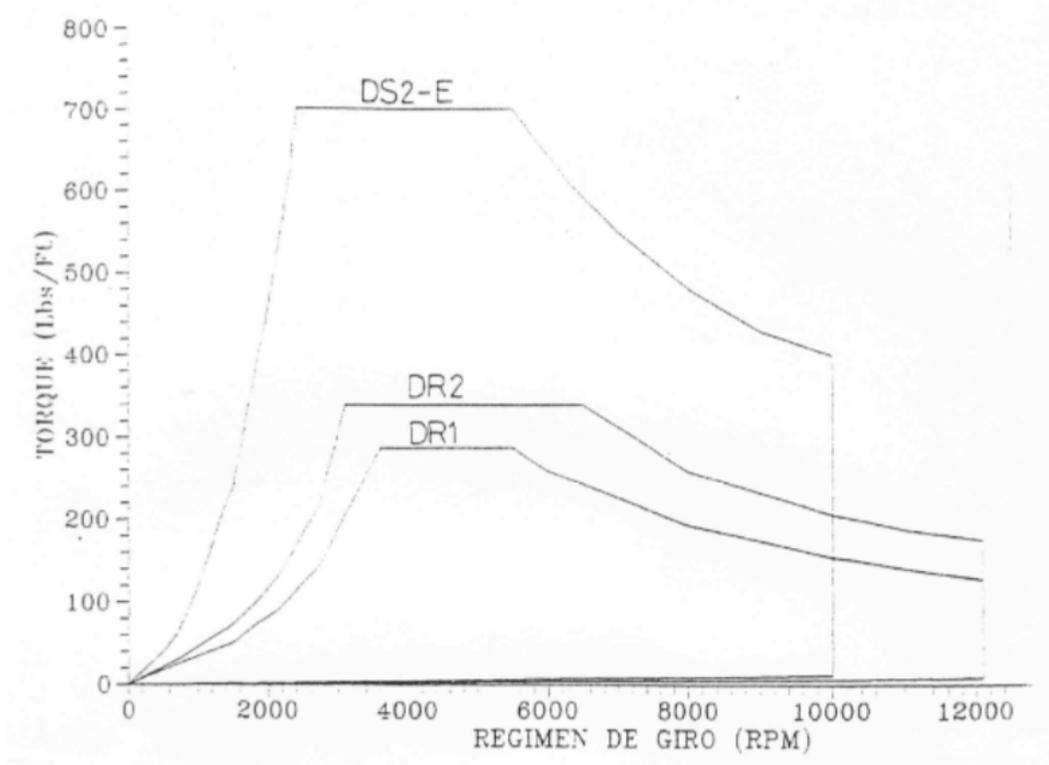


Imagen xx: curva de utilización del freno hidráulico, régimen de giro vs torque.

CONSTRUCCIÓN DE LA SALA

El esquema de la sala de ensayos es el siguiente:

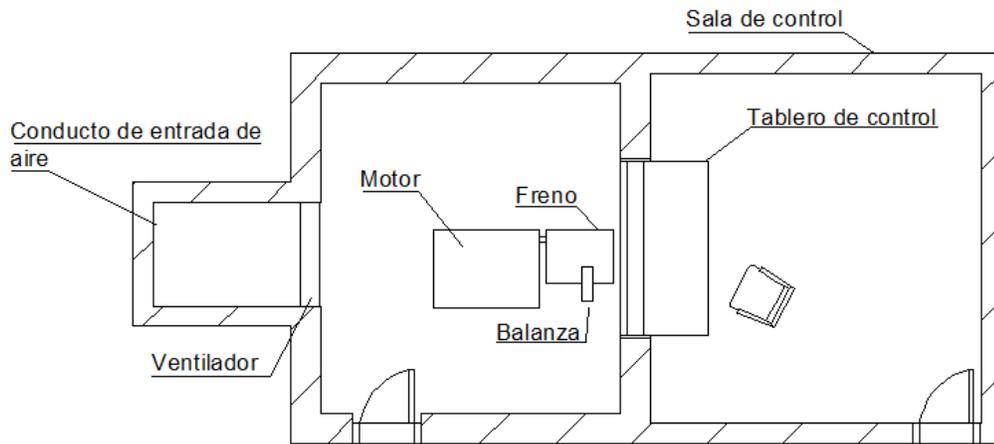


Imagen xx: Esquema de la sala de ensayo de motores del Departamento de Ingeniería mecánica en la UTN FRLP.

PAREDES

Las paredes se construyeron dobles, una pared externa de ladrillo macizo de 15cm de espesor, luego una pared interna de 15cm de espesor de ladrillo hueco, de forma que los huecos queden mirando hacia el interior de la sala (perpendicular al ladrillo común), dejando entre ellas una cámara de aire de 5cm de espesor para una mejor aislación acústica.

ACCESO A LA SALA DE ENSAYOS

La puerta de acceso a la sala se ubicó en uno de los vértices de esta. Cuenta con el tamaño adecuado para facilitar el acceso de personal y el equipamiento necesario, motores a ensayar, y el freno dinamométrico. Es de material no combustible, gracias a su construcción cuenta con aislación acústica y burletes que sellan la abertura.

VENTANA

Se colocan dos vidrios uno del lado de la consola de comando del banco, en posición vertical y el otro del lado interior de la sala inclinado con un cierto ángulo respecto del anterior. Esto es para evitar que ambos elementos entren en resonancia, lo cual produce que se rompan entre ellos.

VENTILACIÓN DE LA SALA

Como es necesario recircular el volumen de la sala más el aire consumido por el motor cada cinco segundos, es decir, unas doce renovaciones por minuto. Lo cual asegura que la temperatura dentro de la sala no aumentará y las pruebas se mantendrán dentro de las condiciones atmosféricas especificadas por las normas de ensayo de motores.

Para lograr esto se instaló un ventilador que fuerza la entrada de aire en la sala, esta colocado de tal manera que el aire impulsado se dirija hacia la zona de los caños de escape y otras zonas del motor que en el vehículo reciben refrigeración por el aire circulante.

El aire llega al ventilador por un conducto con dimensiones adecuadas para llevar a cabo la refrigeración. Como es lógico, todo el aire que ingresa debe salir, por eso se utiliza un extractor, de iguales características que el que se usa para ingresar aire a la sala, para extraer el aire y los gases de escape.

CAÑERÍA DE REFRIGERACIÓN

A continuación se utilizará un esquema representativo, pero muy similar a las instalaciones de banco de nuestra casa de estudios. Está compuesto por:

La bomba del freno (3) será la encargada de introducir el agua con el caudal y presión necesaria en el dinamómetro. La cañería (2) alimenta a la bomba (3) con agua fría de la torre de enfriamiento (1) y debe tener el diámetro requerido por la bomba (3). La válvula (6) (se provee con el tablero de control, no con el freno) es una válvula de 1" BSP tipo globo, debe instalarse en un lugar cómodo para su operación, con ella se comanda el caudal de agua que ingresa al freno para su regulación.

El agua llega al freno (8) mediante un flexible (7), que permite el libre péndulo del freno. Se debe buscar que la distancia entre la válvula (6) y el freno sea la menor posible y evitar entre ellos las curvas de cañería, de esta manera se favorece la velocidad de respuesta del freno. Luego de pasar por el cuerpo del freno y absorber la energía disipada, el agua cae en la batea de la base del freno. A continuación, la bomba recicladora (11) toma el agua caliente (9) y retorna a la pileta (1) por la cañería (12).

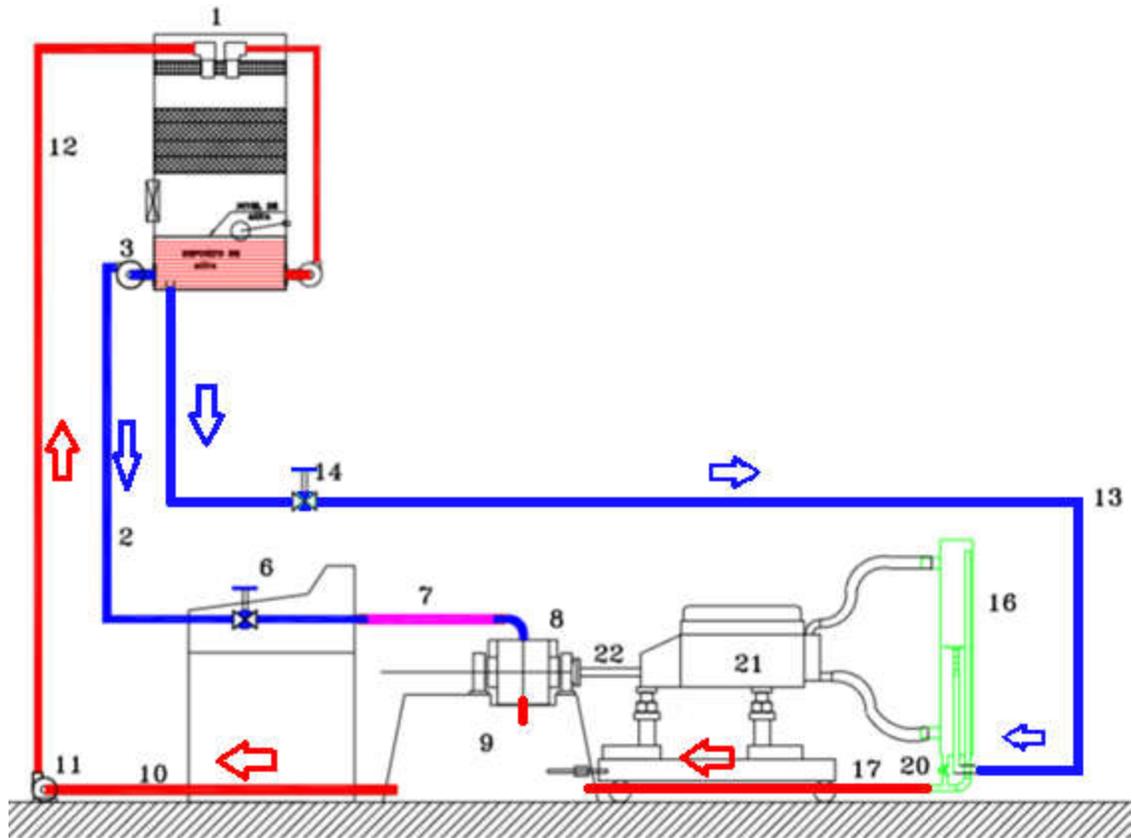


Imagen xx: Esquema representativo de la instalación de agua para el funcionamiento del freno hidráulico.

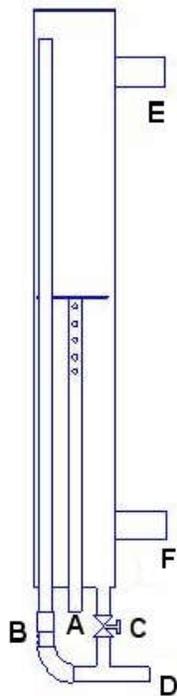
A la derecha de la ilustración anterior colorado de verde (16), podemos ver un intercambiador de calor tipo que se encarga de refrigerar el motor sometido a ensayo.

El sistema más utilizado es el denominado como “abierto o mixto” donde el agua del motor se mezcla con agua fría en un intercambiador de calor de mezcla y regresa fría al motor.

Otros bancos hidráulicos cuentan con el “sistema cerrado”. Consiste en un intercambiador de casco y tubos, que se coloca en lugar del intercambiador (16), en este caso el agua de enfriamiento circula por el interior de los tubos y el agua del motor entre el casco y los tubos enfriándose al tomar contacto con ellos, en este caso el agua del motor circula en un circuito cerrado, puede presurizarse y usar adictivos, siendo esta su principal ventaja. Existen varios fabricantes de intercambiadores de "casco y tubos" con quienes se debe consultar si se desea usar este sistema por el tamaño de los mismos. Esto dependerá de la potencia de los motores a ensayar y de las temperaturas de agua que se prevén tener.

En nuestra casa de estudios, actualmente se cuenta con un “sistema de enfriamiento con intercambiador de mezcla”. Se utiliza un tanque como el esquematizado en la imagen

siguiente, donde el agua proveniente de la torre de enfriamiento (1) se mezcla con el agua del motor. El agua fría se hace llegar al intercambiador de calor (16) mediante la cañería (13) una válvula esclusa (14) que debe ubicarse en un lugar cómodo en la consola de comando, sirve para regular el caudal de agua en forma manual y así controlar la temperatura del motor. Para una instalación que proyecta probar motores de 1000 CV el agua de enfriamiento al intercambiador debe hacerse llegar con una bomba que asegure un caudal adecuado que tendrá relación con la temperatura del agua que se ingresa, y la altura de donde proviene.



- A) Entrada de agua de refrigeracion se controla con la valvula 14 en el croquis de instalacion
- B) Salida de agua Caliente, Va a la base del freno
- C) Salida para desagote del sistema de refrigeracion se junta con B en D y van a la base del freno.
- E) Salida de Agua del Motor
- F) Entrada de Agua del Motor



Imagen xx: sistema de refrigeración del agua del motor.

Este sistema empieza a manifestar inconvenientes en cuanto a su capacidad de evacuar calor durante ensayos con mucho tiempo de duración, o cuando se llevan a cabo muchos ensayos de manera consecutiva. Por este motivo, se va a reemplazar por un radiador que tiene acoplado un ventilador para favorecer el flujo de aire para su refrigeración.

INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Se cuenta con un tablero de fuerza motriz con interruptores para los componentes eléctricos del banco. Este está cercano a la consola de comando, para suspender el funcionamiento del equipo de toda la instalación en caso de que sea necesario.

EL ACOPLA EJE-MOTOR

El volante de inercia del motor será el elemento que se acoplará con uno de los extremos del eje. Para lograr esta unión, deberá contarse con un volante de inercia modificado de tal forma que pueda acoplarse con la brida del eje transmisor por medio de una serie de pernos. Se recomienda que para cada tipo de motor se cuente con un volante de inercia, distinto al original, preparado exclusivamente para la realización de la prueba.

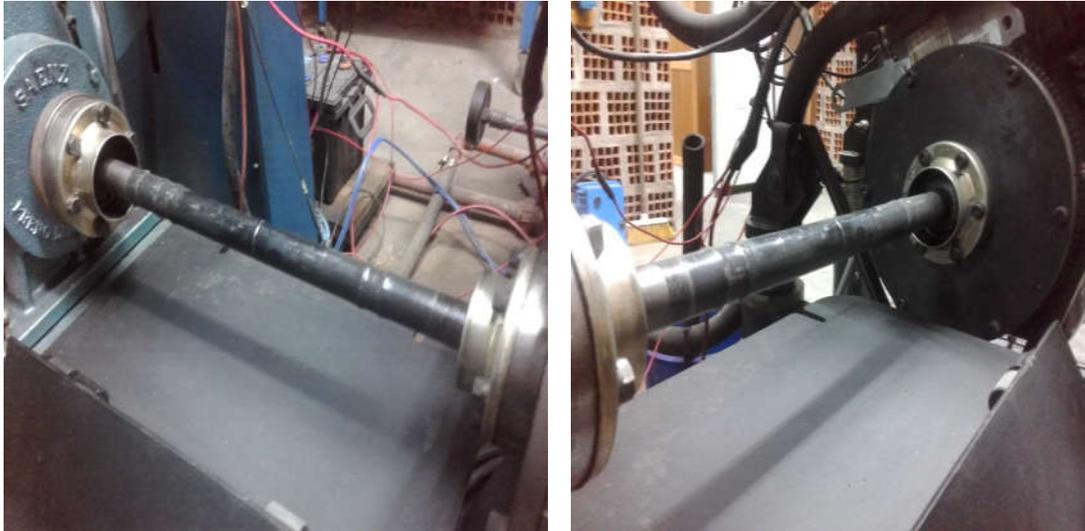


Imagen xx: sistema de refrigeración del agua del motor.

SISTEMA DE CONTROL

Se encarga de la adquisición de los datos característicos del funcionamiento de los motores, así como llevar el control de todos los parámetros de funcionamiento. Todas las señales provenientes de los sensores y controles se conectan en un tablero central donde se transforman en señales visuales para ser monitoreadas por el operario.

Lo primero es definir los principios básicos de funcionamiento del banco y definir las especificaciones de diseño del sistema. El método consiste en dividir el banco de pruebas en subsistemas concretos que cumplen funciones totalmente distintas, pero esenciales para el funcionamiento y monitoreo del motor en el banco de pruebas.

TABLERO DE CONTROL

En nuestra facultad, el tablero de control consta de relojes analógicos, en los cuales los operarios pueden visualizar magnitudes como la temperatura de agua del motor, presión de

aceite, temperatura de los gases de escape, riqueza de la mezcla. Además cuenta con los interruptores para encender o apagar las bombas, ventiladores y el arranque del motor a ensayar.



Imagen xx: sistema de refrigeración del agua del motor.

En la siguiente imagen podemos ver la parte izquierda del control que contiene a los relojes de temperatura, presión y calidad de mezcla:



Imagen xx: sistema de refrigeración del agua del motor.

A continuación, se muestra el sector derecho del tablero del banco de pruebas en donde el operario puede encender los ventiladores, las bombas para refrigeración y el motor a ensayar. Esto es:



Imagen xx: sistema de refrigeración del agua del motor.

MEDICIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Se utilizan buretas graduadas que permiten ver el consumo de combustible durante el ensayo:



Imagen xx: sistema de refrigeración del agua del motor.

MEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL MOTOR

La sala cuenta con los equipos esenciales como balanzas acoplada al brazo de palanca del dinamómetro, tacómetro con pantalla led para determinar la velocidad de giro del motor pero al mismo tiempo cuenta con una placa adquisidora que permite realizar las mediciones de: torque a través de una celda de carga, presión de aceite, sensor de r.p.m., consumo de combustible, sonda lambda, temperatura de gases de escape, datos ambientales, temperatura de agua y temperatura de aceite, tiempo de la prueba.

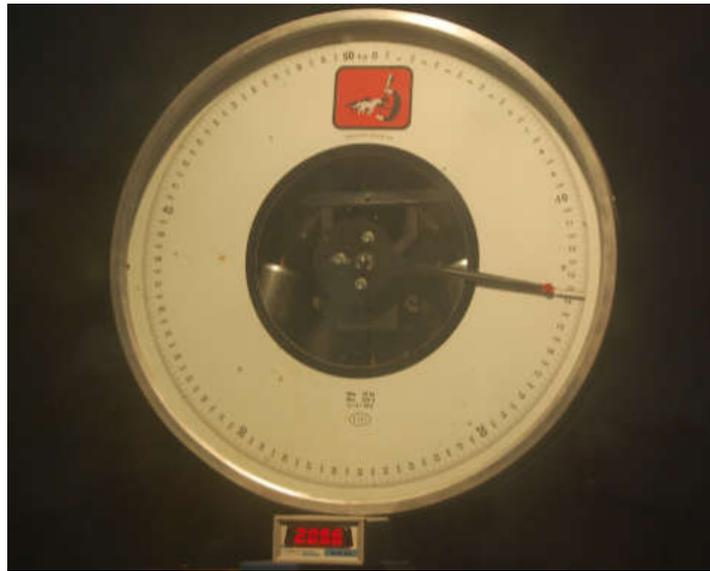


Imagen xx: balanza marcando el esfuerzo que le transmite el dinamómetro, en la vase se puede ver el indicador del tacómetro.

MEDICIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES

Están colocadas en la sala donde está el motor a ensayar, esto nos permite observar los valores de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica. Los equipos son:



Imagen xx: En la parte superior vemos un medidor de presión (para este caso está indicando 1010 hPa) y el instrumento de abajo indica un 59% de humedad relativa.

SISTEMA DE ARRANQUE

Está integrado al dispositivo de freno, el acople se realiza mediante un eje que es accionado por un motor eléctrico. Para realizarlo el operador realiza primeramente el acople de este al conjunto freno-eje-motor de combustión y darle marcha al equipo, comandado desde el tablero.

En la imagen que se presenta a continuación, se puede ver el motor eléctrico vinculado mediante un sistema de poleas y correas al eje. Además, podemos identificar con facilidad, el mecanismo encargado de realizar el desplazamiento de dicho eje para conectarlo al freno y poner en marcha el motor.

Todos estos procedimientos los realiza el operario del banco desde la sala de control.

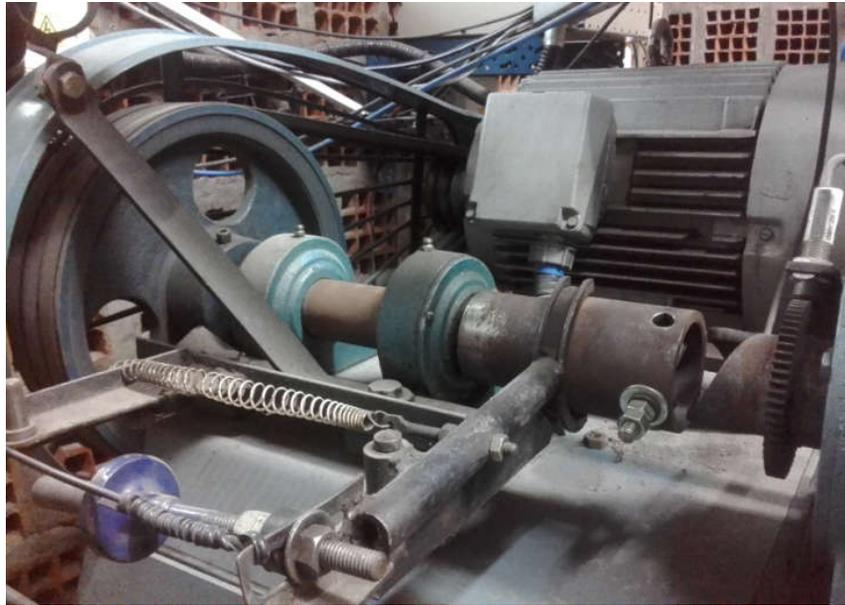


Imagen xx: aaa.

SISTEMA DE SOPORTE PARA LOS MOTORES (BANCADA)

Actualmente, en el banco de nuestra facultad tiene las siguientes dimensiones: 1.58m x 1.16m. Es una estructura rígida de acero que va abulonada al suelo de acuerdo al tamaño del motor a ensayar, lo cual permite ciertas libertades a la hora de alinear el motor.

OBTENCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

Durante el dictado de clases de la cátedra de “Maquinas alternativas y turbo máquinas” se ensayó en el banco de pruebas de nuestra facultad un motor Fiat de 1.600 cc aspirado.

PROCESO DE OBTENCIÓN DE DATOS

El ensayo se realizó de mayor a menor potencia: se empezó por el máximo régimen y se termina con el motor frenado, con el objetivo de que la variación de temperatura afecte lo menos posible a los resultados.

Se comienza actuando sobre el mando de carga del motor (acelerador) y sobre el mando de freno del banco hasta conseguir la carga máxima del motor y el número de revoluciones correspondiente a máxima potencia, en estas condiciones se toman los datos. A partir de aquí de actúa solamente sobre el mando del freno y se tomaran datos para cada número de revoluciones hasta completar la prueba.

Los datos obtenidos fueron a través de la balanza de resorte para la medición del par, el tacómetro para poder calcular la potencia, un sensor para verificar la posición del sensor y un tubo de Bourdon y cronómetro para la medición de combustible.

Las expresiones utilizadas para obtener los datos fueron:

Momento torsor:

$$M_t = 0,716 * T \quad [kg * m]$$

Dónde:

- M_t : Momento torsor, par motor o torque [Kgm].
- 0,716: Constante del freno dinamométrico [m].
- T : Tiro en la balanza [Kg].

Potencia efectiva:

$$N_e = \frac{T_x n}{1000} \quad [CV]$$

Dónde:

- T : Tiro en la balanza [Kg].
- n : Régimen de giro en el motor [r.p.m.].

Consumo específico de combustible:

$$CEC = 3,6 * 105 * \left[\frac{\delta}{N_e * t} \right] \quad \left[\frac{gr}{CV * h} \right]$$

Dónde:

- CEC : Consumo específico de combustible [gr de combustible / CV-h].
- N_e : Potencia específica (CV).
- δ : Densidad de combustible [gr/cm³].

Factor de corrección:

$$K_a = \left(\frac{760}{P_{atm}} \right) * \left(\frac{T_{amb}}{293} \right)^{0.5}$$

Dónde:

- T_{amb} : Temperatura medida en la sala [K].
- P_{atm} : Presión medida en la sala [mmHg].

Una vez calculados el par, la potencia efectiva y el consumo específico de combustible con las ecuaciones anteriormente citadas, se dividió a cada uno de los valores por el factores de corrección, una vez realizado esto, podemos proceder a trazar las curvas.

Estas se hicieron para cada uno de los parámetros del motor en función del grado de apertura del acelerador y de revolución. Estas son:

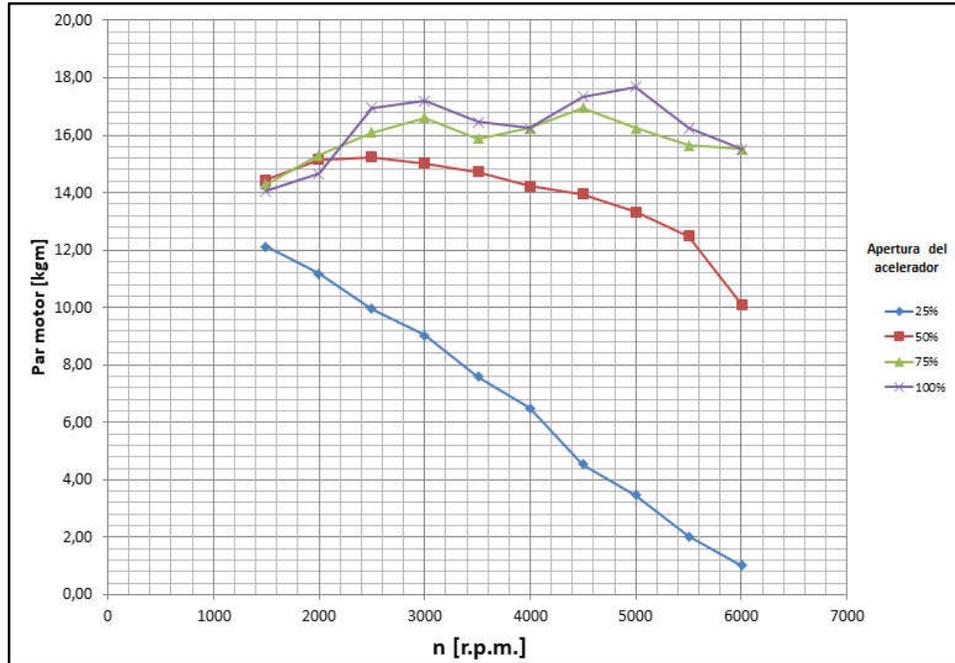


Imagen xx: Par motor vs r.pm en función de la apertura del acelerador.

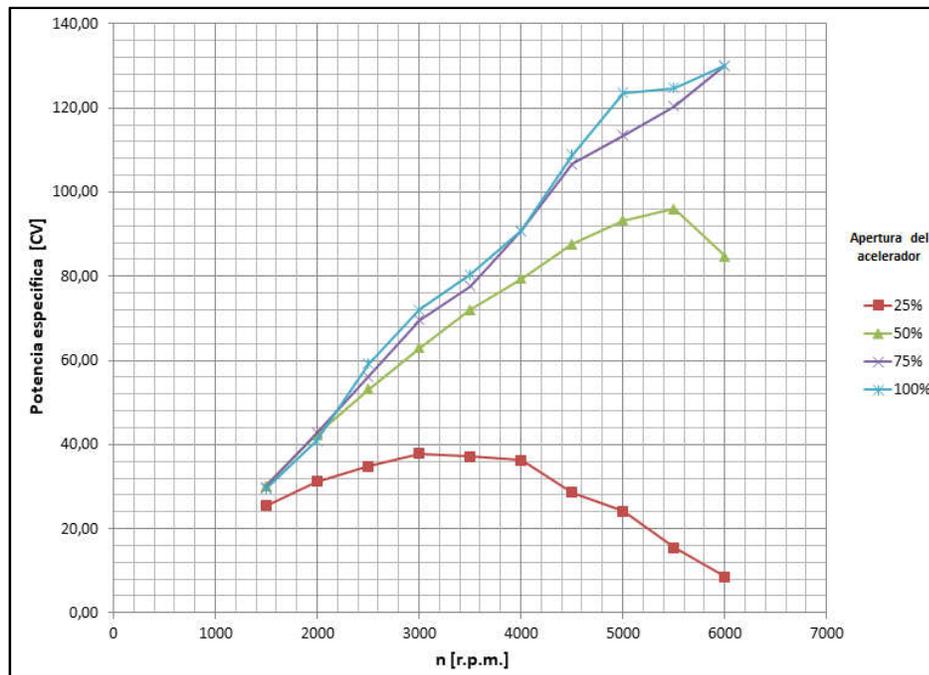


Imagen xx: sistema de refrigeración del agua del motor.

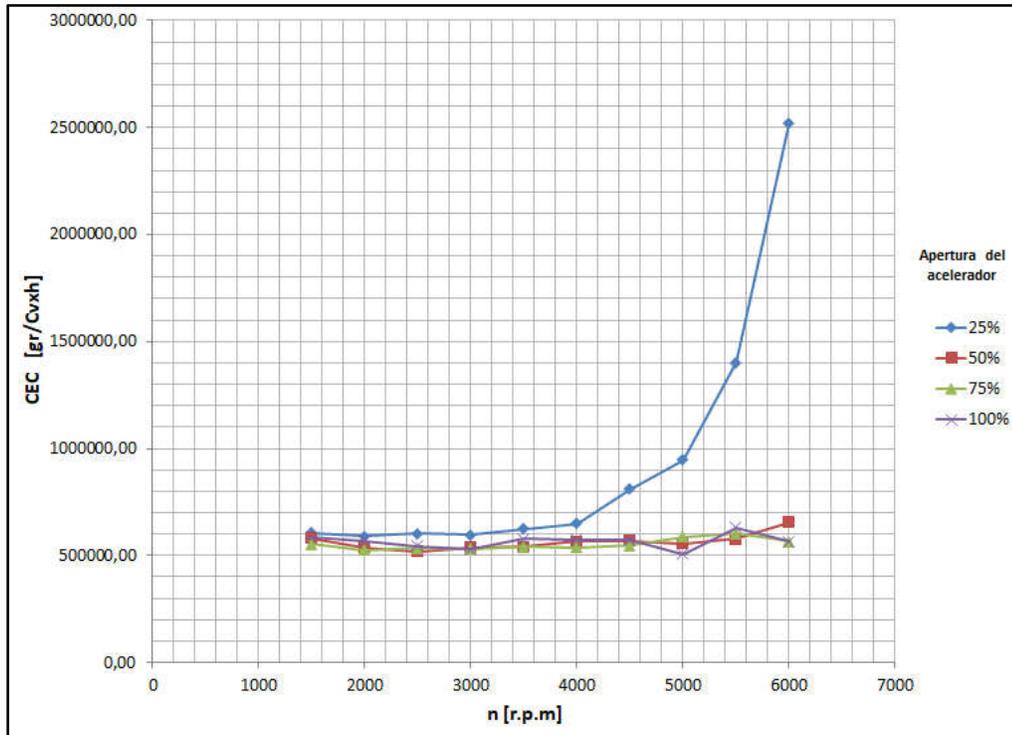


Imagen xx: CEC vs r.p.m., las curvas en función de la posición del acelerador.

Vemos que el motor presenta una gran elasticidad con aceleración total en su máxima capacidad. Así mismo, el valor de la potencia bajo la misma condición, presenta una pendiente moderada. Por lo que no será costoso aumentar gradualmente la potencia

En cuanto al consumo, vemos que no hay muchas variaciones de acuerdo al porcentaje de apertura del acelerador. Si se puede ver, que para un 50% de apertura, el consumo es mayor que con 75% y 100% de apertura.