

105



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DINAMOMETRO HIDRAULICO PARA BANCO
DE PRUEBA

Tesis Profesional

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

P R E S E N T A :

MIGUEL LOZANO RODRIGUEZ

Director de Tesis :

Ing. Armando Maldonado Susano



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

México, D. F.

1994



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MIS PADRES

Quienes siempre apoyaron mi esfuerzo
y me alentaron en momentos difíciles
Asimismo agradezco la colaboración -
de mis hermanos, profesores y amigos
para la realización de la presente -
obra.

Tabla de Contenido

INTRODUCCION	1
ALCANCES	3
CAPITULO 1	
GENERALIDADES	4
¿Que es un centro de ensayo de motores ?	4
La necesidad de un centro de ensayo de motores.	6
Objetivos del Laboratorio de Control de Emisiones.	10
CAPITULO 2	
PRUEBAS SOBRE MOTORES	12
Tipos de pruebas sobre motores.	12
Parámetros a medir y equipo requerido en las pruebas sobre motores.	17
Parámetros Utilizados para Definir las Prestaciones de un Motor	34
Curvas Características de Motores.	37
Curvas de plan a carga.	37
Curvas a Cargas Parciales.	44
CAPITULO 3	
DINAMOMETRO HIDRAULICO	45
Antecedentes	45
Curvas características.	46
Criterios de Estabilidad.	48
Dinamómetro hidráulico Clayton 250-E	51
Funcionamiento	55
Instalación	57
Consideraciones	58

	Verificación operacional	61
Calibración	Sistemas de control y lectura	61
	65
	Preparación	65
Operación	Procedimiento	67
	70
	Principio de operación	70
	Controles e instrumentos	71
	Chequeo diario	72
	Operación	72
	Prueba típica	73
	Procedimiento para probar un motor	74

CAPITULO 4.

BANCO DE PRUEBAS 76

	Procedimientos preliminares a cualquier prueba	80
	PRUEBA N° 1	84
	Acelerador totalmente abierto como instalado en el vehículo	84
	Procedimiento	85
	PRUEBA N° 2	91
	Sistema de escape	91
	Procedimiento	92
	PRUEBA N° 3	97
	Potencia a acelerador totalmente abierto	97
	Procedimiento	98

APENDICE 104

CONCLUSIONES 118

BIBLIOGRAFIA 121

INTRODUCCION

En los últimos años, el uso de los motores de combustión interna, especialmente en el área de automoción, se ha incrementado notablemente. Este fenómeno ha traído consigo una serie de inconvenientes, como son: la emisión de gases contaminantes, el ruido, la necesidad de un abastecimiento de energéticos cada vez mayor, etc. De esta forma ha sido necesario que los motores de combustión interna sufran cambios para cumplir con las siguientes exigencias:

- Menor consumo de combustible, debido a la escasez de energéticos y su alto costo.
- Disminución de las emisiones contaminantes, debido a las normas anticontaminantes cada vez más exigentes.
- Satisfacer las necesidades de un mercado cada vez más amplio y exigente.
- Enfrentar la fuerte competencia que representan las fuentes energéticas alternativas, entre otras.

Para cumplir con estos requerimientos surge la necesidad de crear centros de investigación y desarrollo dedicados al mejoramiento de los motores. Particularmente en nuestro país la necesidad de un centro de estudios de esta naturaleza resulta innegable, ya que los niveles de contaminación y la crisis de energéticos alcanzan niveles críticos en los grandes centros urbanos. De aquí surge el interés

que tiene la Facultad de Ingeniería en desarrollar el Laboratorio de Control de Emisiones.

Actualmente, en el laboratorio se trabaja en la instalación de dinamómetros de banco y de un dinamómetro de chasis que pueden utilizarse en un gran número de motores de combustión interna de diferentes tipos. Con este equipo se pretende poner en marcha el Laboratorio de Emisiones mediante pruebas sencillas de caracterización en distintos motores, así como en distintos vehículos.

El documento que se presenta a continuación forma parte de las actividades de dicho centro de investigación. Cabe señalar que los alcances de un centro de investigación de este tipo son muy alentadores, ya que en laboratorios similares se logran mejoras significativas en las prestaciones de los motores, y sobretodo, porque se tiene la posibilidad de formar una institución de investigación de carácter independiente y con grandes perspectivas de crecimiento, participando así en el desarrollo del país.

ALCANCES

El presente trabajo pretende dar una breve explicación sobre los parámetros importantes a medir durante el ensayo de motores y sobre el tipo de pruebas que se pueden realizar en estos. Posteriormente se describe la instalación de uno de los bancos de prueba con que cuenta el laboratorio, y, finalmente, se explican los pasos a seguir para realizar algunas pruebas sencillas sobre motores utilizando el dinamómetro hidráulico Clayton CAM 250-E.

El punto central de la instalación del banco de pruebas está enfocado al aspecto térmico e hidráulico necesarios para la operación del dinamómetro antes mencionado. El sistema de aire acondicionado, la instalación eléctrica y el cálculo de cimentaciones, involucradas en el sistema, han sido objeto de trabajos realizados de forma independiente en la División de Estudios de Posgrado.

Las actividades aquí descritas representan los trabajos iniciales para la puesta en marcha del laboratorio, y se pretende que sean el punto de partida para lograr implementar un centro de investigación y, tal vez, de desarrollo de motores, más completo y relevante.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

¿Qué es un centro de ensayo de motores ?

En el campo de los motores térmicos, existen centros de investigación que cuentan con las instalaciones y el equipo necesarios para realizar distintos tipos de pruebas sobre motores o sobre vehículos en general. En la actualidad existen centros de ensayo con características diferentes y que realizan pruebas con fines diversos. De manera muy general, podemos decir que existen dos grandes tipos de centros de ensayo para motores de combustión:

- Por un lado, se encuentran los laboratorios independientes, que trabajan principalmente en investigación y mediante convenios con otras industrias, instituciones u organismos.
- Y por el otro lado, están los centros con los que cuentan las compañías automotrices, dedicadas a la manufactura de los motores. Estos centros trabajan, naturalmente, desarrollando sus propios modelos de vehículos, y, por supuesto, sus propios modelos de motores.

De acuerdo con sus objetivos, un centro de ensayo puede realizar pruebas en motores para obtener parámetros de funcionamiento que sean de su particular interés. Así, un laboratorio tiene la posibilidad de efectuar pruebas de control de calidad en líneas de producción (en industrias constructoras de vehículos automotores); pruebas de investigación sobre motores o vehículos experimentales, o bien, sobre alguna parte específica de un motor (inyectores, carburadores, múltiples de escape o de admisión, válvulas, culatas, cámaras de combustión, etc.) e incluso, sobre algún tipo de combustible o carburante especial; y, finalmente, pruebas destinadas a la certificación de motores, para avalar las prestaciones de un motor o un vehículo destinado a un uso específico (contando, por supuesto, con el reconocimiento de algún organismo oficial, una asociación, una cámara, etc.).

Dejando un poco de lado los ensayos que se practican sobre vehículos automotores ya ensamblados, ya sea de transporte o de carga, los centros dedicados a realizar pruebas en motores representan la gran ventaja de poder practicar ensayos exhaustivos en una máquina antes de que sea utilizada de manera definitiva, evitando así las dificultades obvias que traería consigo el ensayo de un motor instalado en un automóvil, una planta de poder, un equipo pesado, etc.

Como puede observarse, un centro de ensayo de motores no limita su campo de acción a las pruebas que pueden realizarse en un motor térmico o partes del mismo, sino que puede realizar investigaciones sobre nuevos productos, como aditivos, lubricantes, combustibles alternativos, nuevos materiales o aleaciones; o bien, sobre otras posibles fuentes de energía para la automoción o la generación de potencia.

La necesidad de un centro de ensayo de motores.

El innegable auge de los motores de combustión interna alternativos, como ya se ha mencionado, ha creado la necesidad de contar con centros de investigación dedicados a mejorar las prestaciones de los mismos. Pero ¿porqué se ha dado un aumento tan notable en el uso de este tipo de motores?

En los últimos años, México ha evolucionado notablemente en casi todos sus aspectos fundamentales. Desafortunadamente, este crecimiento no ha podido encauzarse hacia el desarrollo pleno de la nación debido, principalmente, a una falta de planeación. En el caso de los motores de combustión interna, debe de reconocerse la gran popularidad que ha ganado en el campo de la automoción, al no haber contado, prácticamente, con otro tipo de transporte que pudiera haber representado una competencia seria desde hace más de 50 años.

El gran desarrollo de los motores térmicos alternativos no es un fenómeno exclusivo de nuestra nación, y se debe a una serie de características entre las que podemos destacar:

- La posibilidad de utilizar combustibles líquidos de elevado poder calorífico, una característica de gran importancia, porque le da autonomía al vehículo.
- Un amplio campo de potencias, que puede ir desde 0.1 KW hasta 32 MW.

- **Diversos diseños de construcción, que permiten adaptar el motor a gran cantidad de usos.**
- **Eficiencia térmica aceptable, dependiendo del tipo de motor y de las condiciones de operación, pero que raramente alcanza el 50%.**

Es también la gran variedad de usos como planta motriz la característica que hace de los motores de combustión interna una fuente de poder tan utilizada. Entre sus campos de aplicación se encuentran:

A. La automoción

- **Transporte terrestre (automóviles, camiones, etc.)**
- **Maquinaria pesada**
- **Maquinaria agrícola**
- **Propulsión ferroviaria**
- **Propulsión marina**
- **Motores pequeños para propulsión aérea**

B. Uso estacionario

- **Plantas generadoras de energía eléctrica y térmica (centrales y de emergencia)**

- Fuente motriz industrial (bombas, compresores, etc.)
- Fuente motriz rural (motobombas, sierras, podadoras, etc.)

El motor de combustión interna alternativo seguirá siendo, al menos en el presente y en el futuro próximo, el más utilizado en nuestra sociedad. Parece ser que el único competidor serio en estos momentos es otro motor térmico: la turbina de gas. Este tipo de motor es especialmente importante en aquellos usos en que se dan una o varias de las siguientes condiciones: necesidad o preferencia de una elevada potencia específica (potencia/peso del motor), costo de adquisición (especialmente en grupos de elevada potencia) y moderada importancia del consumo de combustible a plena carga o a cargas parciales.

En cuanto al motor eléctrico, éste está siendo utilizado cada vez con mayor frecuencia en el transporte urbano colectivo (metro, trolebuses, tren ligero, tranvía, etc.) y es una buena solución para ciudades de tamaño considerable que cuenten con un buen plan de desarrollo, en lo que se refiere a contaminación y transporte de pasajeros. Por otro lado, el motor eléctrico podría ser un posible competidor para vehículos ligeros, pero siempre y cuando se redujeran los pesos y volúmenes de las baterías; además, debe resolverse el problema de la vida útil y el mantenimiento de las mismas, para una autonomía del vehículo aceptable.

La utilización de los motores de combustión interna alternativos se enfrenta en la actualidad a dos problemas centrales: la contaminación y los combustibles. La previsible escasez y el agotamiento del petróleo a mediano plazo, así como el proble-

ma del encarecimiento del mismo, han condicionado de manera muy especial el diseño de los motores, y han encauzado a la investigación hacia la búsqueda de soluciones que eleven el rendimiento del motor, al igual que de combustibles sustitutos viables. Las reservas de petróleo en países productores como el nuestro garantizan el suministro de combustibles derivados del petróleo durante unos 35 o 40 años al menos. Para México, tomando en cuenta que se mantendrá más o menos estable el índice de exportaciones, este periodo puede ampliarse sensiblemente por el descubrimiento de nuevos yacimientos, y por la explotación y utilización mas eficiente y selectiva de los combustibles actualmente usados.

Desde 1965 han entrado en vigor en América normas que limitan las emisiones de escape de los motores, haciéndose progresivamente más exigentes desde 1973. En ese mismo año, comenzaron las restricciones en la Comunidad Económica Europea, a la cual se unen países no pertenecientes del resto de Europa. En nuestro país, si bien se puede hablar de una legislación en ese aspecto, no se ha contado con una norma especialmente diseñada a nuestras condiciones; en los años '70 se adoptó la norma de los Estados Unidos de Norteamérica que estuvo en ese país en vigor hasta finales de los '60, y posteriormente se adoptó la norma de 1975. Desde entonces, la norma de contaminación mexicana no cambió sino hasta principios de los noventa (finales de los ochentas). Desgraciadamente, las normas actuales tampoco han sido diseñadas con un criterio apropiado para nuestra situación. Las normas de emisiones contaminantes para vehículos automotores que están en vigor en nuestro país son el resultado de una mezcla de reglamentos extranjeros de los cuales se han tomado sólo fragmentos que, al parecer, fueron seleccionados sin ningún criterio de-

finido de evaluación. Es decir, en México no se ha elaborado ningún reglamento que parta de las necesidades y circunstancias particulares del país (o de las grandes ciudades del mismo), para lo cual sería necesario realizar estudios profundos tanto de los hábitos de manejo de los conductores y de sus necesidades, como de los combustibles que deberían de ser utilizados y el tipo de motor que debe ser aceptado para uso de transporte, principalmente.

Un comentario breve: En el mejor de los casos, el caso ideal, un motor de combustión produciría únicamente bióxido de carbono y vapor de agua. Pues bien, desde hace 3 años, aproximadamente, se están realizando estudios acerca del efecto que tiene del CO₂ en el "calentamiento" del globo terráqueo, fenómeno que trae graves consecuencias en el medio ambiente. No sería nada extraño que con las cada vez mas exigentes normas de contaminación se llegara incluso a restringir la emisión del mencionado gas... ¡vaya reto para los ingenieros!

Objetivos del Laboratorio de Control de Emisiones.

El Laboratorio de Emisiones responde a la necesidad de conocer más a fondo los motores de combustión interna y los parámetros que rigen su comportamiento para poder mejorar sus prestaciones. Como se dijo anteriormente, el interés se centra en mejorar la eficiencia y disminuir las emisiones de gases contaminantes.

La capacidad del laboratorio permitirá, en principio, realizar pruebas sencillas en motores para certificar sus prestaciones para un uso en especial. Algo que

puede tener buen resultado para fabricantes pequeños o medianos, al contar con un "sello de aprobación" emitido por una institución de investigación de la Universidad.

Por otro lado, se espera trabajar de manera conjunta con las autoridades responsables para la creación de una serie de normas técnicas que controlen o que rijan el funcionamiento óptimo de un motor. Por supuesto, la elaboración de estas normas tendría que tomar en cuenta el estado actual de desarrollo en el campo de los motores, de manera que los fabricantes las puedan cumplir en un plazo adecuado y con un esfuerzo razonable de su parte.

Posiblemente, en nuestro país algunos fabricantes trabajarán conjuntamente con los laboratorios de investigación para lograr tanto el desarrollo de nuevos motores o partes de los mismos, como el cumplimiento de normas y la creación de nuevas reglamentaciones.

Con base en estas normas, o bien, con base en procedimientos establecidos por el fabricante, se podrán llevar a cabo pruebas de "homologación" de motores, las cuales se explicarán en capítulos posteriores. De manera muy breve, se dirá que este tipo de pruebas consisten en someter a un motor a ensayos exhaustivos predeterminados que indicarán si el motor está en condiciones de dar el servicio para el cual fue destinado, con un margen de seguridad. Cabe mencionar que estas pruebas no son necesariamente de certificación, porque pueden realizarse con un fin diverso al de éstas; aunque para otorgar una certificación, primero debe realizarse la homologación de una máquina.

CAPITULO 2

PRUEBAS SOBRE MOTORES

Este capítulo presenta un panorama general de las actividades relacionadas con los trabajos experimentales que se llevan a cabo sobre los motores de combustión. En principio, se desarrolla una clasificación de los distintos tipos de pruebas, antes de abarcar las pruebas en sí y los parámetros que interesa obtener en cada caso.

Tipos de pruebas sobre motores.

Las pruebas o ensayos sobre motores pueden clasificarse, primeramente, desde el punto de vista del objetivo perseguido al ensayar un motor de la siguiente manera:

a) Pruebas de control de calidad.

Realizadas generalmente por el fabricante, este tipo de pruebas tiene como objetivo comprobar el nivel de acabado y las prestaciones de un motor al término de su fabricación, y antes de que sea destinado al usuario. Se puede decir que existen dos tipos de pruebas de ésta clase de acuerdo con el número de unidades a ensayar:

Las pruebas que se realizan sobre todas las unidades producidas son generalmente cortas, en las cuales se analiza un número reducido de variables con el único requisito de superar un mínimo. Estas pruebas son usuales en series reducidas de una cadena de fabricación.

Por otro lado, es posible realizar pruebas de control de calidad sobre algunas muestras de una serie producida, lo que permite realizar ensayos mucho más a fondo. Así, puede analizarse el desgaste de ciertos elementos en periodos largos de funcionamiento o estudiar la evolución de ciertos parámetros con el tiempo, por ejemplo.

b) Pruebas de homologación.

En ocasiones es necesario realizar pruebas para comprobar las prestaciones de un motor frente a algún organismo oficial o frente a posibles usuarios. Las pruebas de homologación suelen realizarse de acuerdo a alguna norma internacional conocida (SAE, ISO, ASME, etc.), la cual describe los pasos a seguir durante el ensayo, al igual que los parámetros a medir en una secuencia definida.

Este tipo de pruebas someten al motor a ensayos exhaustivos generalmente con el fin de obtener los parámetros más característicos del motor, como curvas de par, consumo específico y potencia.

c) Pruebas de recepción.

Las pruebas de recepción son normalmente realizadas a petición del futuro usuario. Son muy parecidas a las pruebas de homologación y pueden realizarse de

acuerdo a alguna norma Internacional o bien de acuerdo a procedimientos establecidos por el usuario. En el caso de los grandes motores estacionarios o marinos, este tipo de ensayos sustituyen en parte a los de control de calidad.

d)Pruebas de investigación.

Una prueba de investigación tiene por objetivo la obtención experimental de parámetros de los diversos sistemas de que está formado un motor. Los ensayos de investigación tienen características muy diversas, dependiendo del sistema específico que se va a observar, la metodología y el fenómeno mismo que se va a estudiar, así como de la orientación de la investigación, las instalaciones y recursos con que se cuente para ello, etc. Por lo tanto, resultaría muy difícil realizar una generalización.

Por ejemplo, dependiendo del fenómeno a estudiar, podemos mencionar estas líneas de investigación diferentes:

- Proceso de admisión/escape (renovación de la carga)
- Proceso de combustión
- Lubricación
- Enfriamiento, etc.

De manera general, los fenómenos que ocurren en un motor pueden dividirse en dos grandes grupos: Por un lado están los procesos termo-fluidodinámicos, y

por el otro, se encuentran los procesos puramente mecánicos e hidrodinámicos. Ambos grupos presentan una gran variedad de fenómenos que pueden ser estudiados individualmente. Dentro del primer grupo se encuentran, como ejemplo: La admisión de mezcla o de combustible a la cámara de combustión, la combustión misma, la expulsión o escape de los gases, el tratamiento de los mismos (relacionado con el problema de la contaminación), la formación de la mezcla aire-combustible (carbura-ción) o la inyección directa e indirecta de combustible, etc., fenómenos que se hallan relacionados unos con otros de alguna manera.

En cuanto al segundo grupo, este se encuentra formado por fenómenos más desligados entre sí, como: el desgaste de piezas diversas sometidas a fricción (cigüe-ñal, bielas, cilindros, etc.), incluyendo el ensayo de nuevos materiales, el tipo de transmisión entre elementos del motor, o bien, el fenómeno de la lubricación, entre otros.

De acuerdo a la manera de como se ejecuta una prueba, éstas pueden divi-dirse para su estudio en tres grupos principales:

a) Ensayos con combustión.

Es el tipo de prueba que se realiza con el motor en funcionamiento normal, generalmente con todos sus sistemas auxiliares conectados. El motor puede probar-se en estado estable, trabajando en ciertas condiciones deseadas, o bien, en estado transitorio, para determinar el estado de cierto(s) elemento(s) sobre algún pará-me-tro específico, por ejemplo.

Como puede observarse, este tipo de pruebas puede reflejar fielmente las condiciones de funcionamiento reales de un motor y su influencia sobre los diversos parámetros a medir. Pero a veces es necesario medir algún parámetro cuya determinación resultaría muy complicada con el motor funcionando bajo estas condiciones (reales). Por lo tanto, algunos ensayos de investigación se realizan bajo las condiciones siguientes.

b) Pruebas sin combustión.

A diferencia de las pruebas anteriores, en este caso el motor no trabaja a tracción moviendo un dinamómetro que disipa su potencia, sino que el motor es arrastrado mediante un motor eléctrico o también mediante un dinamómetro.

Resulta obvio que el motor se aleja de las condiciones de operación reales. Sin embargo, dada su sencillez, las pruebas sin combustión se utilizan en muchas ocasiones para determinar las pérdidas mecánicas, el movimiento de fluidos dentro del cilindro, velocidades de descarga, etc.

c) Pruebas sobre modelos.

El objetivo principal de los ensayos sobre modelos es el de simplificar las mediciones durante una prueba. En ellos, se pretende simular alguno o algunos procesos del motor real en bancos de pruebas especialmente diseñados para tal fin.

Al igual que en cualquier otra prueba sobre modelos, es necesario encontrar relaciones entre los parámetros obtenidos en el modelo y los parámetros que se re-

quiere mejorar en el motor real, procurar que los parámetros del modelo no sean dispersos o aleatorios, todo esto con el fin de validar el ensayo. Algunos ejemplos de pruebas sobre modelos incluyen estudios de flujo y vorticidad en cabezas de motor (culatas), flujo en múltiples, barrido en cilindros transparentes, medición de velocidades de propagación y caracterización del frente de flama (motores monocilíndricos), presiones en el interior del cilindro, etc.

Parámetros a medir y equipo requerido en las pruebas sobre motores.

En esta sección se detallarán los parámetros y magnitudes más comunes utilizadas en la caracterización y prueba de motores, así como la instrumentación general necesaria para poder obtenerlos.

A. Par Efectivo (M_e)

Esta es una de las características fundamentales del motor, ya que de ella se obtienen las curvas características del mismo. El par efectivo puede medirse de dos formas habituales: Directa o Indirectamente.

a) Métodos directos.-

En los métodos directos no existe un sistema que absorba o disipe la potencia generada por el motor. Por esto, no se requieren instalaciones complejas para

efectuar la medición; incluso, puede realizarse con el motor en funcionamiento normal. Esto se hace, generalmente, conectando la transmisión del motor a un elemento resistente, con el cual se realiza la lectura (un alternador eléctrico, rodillos, etc.). Los métodos directos, salvo in situ, no suelen utilizarse.

b) Métodos directos.-

En este método el motor es acoplado a un sistema que absorbe y disipa su potencia. Estos sistemas permiten medir el par al freno, que es igual al par efectivo una vez que el motor está estabilizado. El nombre común que reciben estos sistemas es el de freno dinamométrico, dinamómetro o banco de pruebas.

El elemento frenante que disipa la potencia del motor consiste esencialmente en un rotor acoplado al eje del motor (cigüeñal) directamente, sin reducciones por lo general, y un estator balanceado respecto al rotor, el cual, a su vez, está conectado por medio de una barra a una balanza o celda de carga. Este método se conoce como método extensométrico.

Los primeros dinamómetros utilizados para este fin fueron los dinamómetros de fricción o Freno Prony, cuyas dificultades de operación y mantenimiento han provocado que en la actualidad se utilicen otro tipo de dinamómetros. Los tres principales tipos de dinamómetros utilizados hoy en día son:

- **Dinamómetro Hidráulico.**

Un dinamómetro hidráulico está formado fundamentalmente por un rotor con paletas que, al girar, agitan el agua alojada dentro de un estator. La potencia producida por el motor se disipa en el agua por fricción y calentamiento. De esta forma, un dinamómetro hidráulico requiere una alimentación continua de agua.

En el siguiente capítulo se dará una explicación más amplia del funcionamiento de este tipo de dinamómetros. Por ahora, vale la pena mencionar algunas de sus características más importantes:

- Su construcción es generalmente sencilla
- Fácil mantenimiento
- Operación sencilla
- Costo comparativamente reducido
- Presenta dificultades de automatización

- **Dinamofreno.**

Este segundo tipo de dinamómetros están formados por un dínamo que absorbe la potencia del cigüeñal del motor, aprovechando la corriente de éste para generar energía eléctrica, provocando un par de giro sobre la carcasa que, como en los demás casos, está balanceada con el rotor.

La potencia del motor se puede medir con una balanza o celda de carga, o bien midiendo la energía eléctrica que se genera. En este caso, por ejemplo, si se tratara de un generador de corriente continua, la potencia vendría dada por

$$N_e = V \cdot I / (1000 \cdot \eta_g)$$

donde:

N_e - potencia en Kw

V - voltaje en V (tensión)

I - corriente en A (intensidad)

η_g - eficiencia del generador

La regulación de la carga en este tipo de dinamómetros se consigue variando el voltaje en el inducido y la excitación del dinamo. Los inconvenientes que presenta este freno son su alto precio, una gama de utilización relativamente reducida, una velocidad máxima de giro baja y un volumen grande para la potencia absorbida. Por otro lado, entre sus ventajas principales están:

- El poder utilizar la energía eléctrica generada para aportarla a la red de distribución, transformada adecuadamente. De no ser esto posible, se debe de tener un sistema de disipación regulable (banco de resistencias, por ejemplo).

- La posibilidad de utilizar el dinamómetro como motor eléctrico para realizar pruebas con el motor arrastrado, con el mismo equipo que se utiliza para el frenado.

- Ya sea que funcione como dinamómetro o fuente motriz, este tipo de dinamómetros permite medir el par efectivo.

- **Dinamómetro Electromagnético.**

El dinamómetro electromagnético consta de un rotor que se asemeja a un engrane de dientes anchos con un paso elevado, y un estator en el cual existen una o varias bobinas de campo que son excitadas mediante una pequeña corriente continua. Este dinamómetro funciona de la siguiente manera:

Al aplicar la corriente en las bobinas de campo, se produce un campo magnético que une el rotor con el estator. En las cabezas de los engranajes del rotor se producen fuertes concentraciones de flujo; así, cuando gira el rotor en cualquier sentido, el flujo concentrado en los dientes da lugar a la formación de corrientes de Foucault cerca de la superficie interna del estator.

A su vez, estas corrientes de Foucault crean campos magnéticos que actúan recíprocamente a las concentraciones del campo principal (de excitación) de manera que tienden a impedir el giro del rotor. Es de esta forma que el dinamómetro tiene la capacidad de frenar y absorber potencia del motor térmico.

La absorción de potencia en el dinamómetro puede controlarse mediante la variación de la corriente de excitación de las bobinas. Esta potencia se convierte en calor, el cual es absorbido por una corriente de agua que circula por el estator o carcasa, que es el lugar donde, por el efecto del dentado del rotor, se producen las co-

rrientes de Foucault. Las características más sobresalientes de este tipo de dinamómetros son:

- Pueden ser automatizados con una gran facilidad y con la posibilidad de hacerlo con varias leyes de control.
- No constan de elementos mecánicos importantes sujetos a desgaste.
- Su precio es elevado comparado con los otros tipos de dinamómetros.

B. Velocidad de Giro (RPM).

Por lo general los dinamómetros o bancos de pruebas llevan incluido un tacómetro de tipo magnético en su instrumentación, el cual cuenta los impulsos de una rueda fónica. De esta forma, con la velocidad de giro y la medida del par puede determinarse la potencia.

Hay otros tipos de tacómetros con un funcionamiento diferente a los magnéticos. Los tacómetros ópticos reciben señales o reflejos del sistema de inyección o de ruedas marcadas (con engranes, espaciamentos, etc.) Otro tipo de tacómetro magnético utiliza los impulsos provenientes del sistema de encendido o también del sistema de inyección para la medición de la revoluciones del motor. Un tipo de tacómetro menos utilizado es el tacómetro de contacto, que por medio de escobillas, láminas o filamentos recibe los impulsos de una muesca en un rotor; estos movimientos pueden ser transmitidos a través de elementos piezoeléctricos o mecánicos para la medición de la velocidad.

Los tacómetros que son independientes del dinamómetro son más fácilmente calibrables y sirven para tomar lecturas más exactas. Por otro lado, se deben mencionar los totalizadores. Estos aparatos miden las vueltas que da el motor en un tiempo determinado, por lo que también se les conoce como "contadores". Esto es particularmente útil cuando se quiere determinar el volumen de combustible admitido por cilindro o ciclo, o cuando se quiere determinar el consumo específico de combustible.

C. Flujo de Combustible (Gasto Horario).

Existen dos maneras de determinar este parámetro: El método Gravimétrico y el Volumétrico.

a) Método volumétrico.-

En este caso se determina el tiempo en que el motor consume un volumen de combustible previamente determinado. El combustible está en un recipiente graduado, y puede estar conectado directamente con la alimentación (carburador, sistema de inyección) o con el depósito de combustible por medio de una válvula de tres vías.

b) Método gravimétrico.-

Se mide el tiempo en que el motor consume una masa conocida de combustible determinada en una balanza. Con respecto al método anterior, representa la ven-

taja de tomar mediciones independientes de la temperatura del ambiente, que influye en la densidad del fluido.

Al realizar medidas del gasto de combustible se requiere que el motor trabaje estabilizado adecuadamente. Igualmente, se recomienda que el volumen o masa del combustible a consumirse en una medición esté medido de modo que el tiempo de consumo sea superior a un minuto, con cronómetro manual, o superior a 30 segundos en sistemas automáticos. No obstante su aparente sencillez, la medida del gasto es muy delicada y requiere una calibración exacta de la balanza o probeta, ausencia de fugas o filtraciones en tuberías, etc.

D. Gasto de Aire.

Al igual que en la medición del gasto de combustible, es necesario que el motor trabaje en condiciones estables de funcionamiento cuando se efectúe la lectura del gasto de aire. Como se sabe, los motores de combustión interna alternativos trabajan más bien en régimen pulsante (por el desplazamiento del pistón en el cilindro), por lo cual es necesario contar con una cámara de reposo entre el motor y el elemento de medición con el fin de que las lecturas realizadas no se vean afectadas por dicho régimen de funcionamiento.

Por otro lado, es también importante que la pérdida provocada por el elemento de medición sea lo más pequeña posible, para evitar que las mediciones se desvíen de las características normales de operación del motor.

Hay muchas formas de medir el flujo de aire, de las cuales sólo se expondrán algunos ejemplos.

-Tubo de Venturi

Este dispositivo puede medir el gasto a través de una tubería y está hecho de una sola pieza con tres secciones diferentes: una sección de igual diámetro que la tubería con una serie de aberturas para medir la presión estática en esa sección (aguas arriba); una sección cónica convergente en cuya garganta o sección más angosta se tiene una abertura (o aberturas) para la medida de presión; y una sección de divergencia gradual hasta llegar de nuevo al diámetro original de tubería. Se trata de medir la diferencia de presiones entre la sección aguas arriba y la garganta del tubo de venturi mediante un manómetro diferencial. La respuesta de este tipo de dispositivos sigue una ecuación de la forma:

$$m_a = K' \sqrt{\Delta p \cdot \rho_m}$$

en donde K' es la constante del tubo de venturi que depende de su geometría, el fluido de medición empleado, la inclinación del tubo (si la hay), la velocidad del aire (para la determinación de velocidades C_v) y el salto de presiones.

Para obtener resultados confiables, el tubo de Venturi debe estar precedido por una longitud de al menos 10 veces el diámetro de la tubería. El coeficiente C_v , que es el coeficiente de la velocidad real entre la velocidad teórica, se determina mediante calibración al medir el gasto y la diferencia manométrica, y generalmente se grafica contra el número de Reynolds; este término introduce las pérdidas en la

ecuación de Bernoulli de la cual se obtiene la ecuación de comportamiento, y, siempre que sea posible, un tubo de Venturi deber escogerse de tal manera que su coeficiente sea constante en el rango de números de Reynolds en que será utilizado.

Se trata de un sistema de medida muy extendido puesto que los rangos de medida son elevados, la instalación es muy sencilla y no resultan muy caros. Los únicos inconvenientes que plantea este sistema son que la relación y el gasto no son lineales, y que la calibración para obtener la constante K' depende del salto de presiones.

-Orificio Calibrado

Consiste en un orificio circular concéntrico con el tubo de corriente del aire. Un orificio de arista afilada ocasiona que el chorro se contraiga aguas abajo del orificio. Para determinar el gasto se mide la diferencia de presiones aguas arriba y aguas abajo del orificio, relacionados así en la siguiente ecuación:

$$m = C \cdot A_0 \sqrt{\rho \cdot 2 \Delta p}$$

donde C es una constante que depende de las dimensiones del orificio, la densidad del fluido manométrico y la velocidad del flujo del aire.

Presenta la ventaja de ser muy estrecho en sentido axial, y por lo tanto fácilmente intercambiable sin tener que modificar la instalación existente. El principal inconveniente es en cuanto a calibración, debido al fenómeno de estrechamiento de vena posterior al orificio.

-Caudalímetro de flujo laminar.

Cuando un fluido circula en régimen laminar por un conducto, la pérdida de presión sigue la ecuación:

$$\Delta p = 128 \mu L Q / (\pi D^4)$$

de manera que existe una relación lineal entre caudal y pérdida de presión en un tramo de longitud L determinada.

Para obtener regímenes laminares del fluido, el número de Reynolds debe de ser menor de 2000, lo que utilizan este tipo de sistemas disminuyendo el diámetro del tubo para mantener bajo el número de Reynolds. Estos dispositivos aparecen como un tubo metálico en cuyo interior hay un número elevado de tubos pequeños separados por paredes delgadas. El parámetro a medir es la caída de presión a lo largo del tubo, lo que se realiza con un manómetro diferencial inclinado para aumentar su resolución. La ventaja del sistema es su linealidad, mientras que el principal inconveniente es tener rangos de medidas no muy elevados y la necesidad de una limpieza absoluta en los tubos para la confiabilidad en las medidas.

-Codo Calibrado

El codo calibrado es uno de los medidores más sencillos. Se conecta un manómetro diferencial a dos aberturas en el codo, una del lado cóncavo y otra del lado convexo; la diferencia de presiones se relaciona con el gasto, debido a la fuerza centrífuga que actúa sobre el codo. Se debe tener un segmento rectilíneo de tubería antes del codo y, para obtener resultados precisos, se debe calibrar el medidor en el

lugar donde se va a utilizar. Una vez calibrado, el código da resultados tan confiables como los de un tubo Venturi o un orificio.

-Embolos Rotativos

Consisten generalmente en dos lóbulos giratorios cuya velocidad de rotación varía de acuerdo con el caudal que circula. No obstante que la respuesta de estos medidores es lineal, su precio es muy alto, por lo que no son muy empleados.

E. Presiones Dinámicas.

La obtención de las presiones dinámicas con respecto al ángulo de giro del cigüeñal es muy importante, tanto las presiones en el interior del cilindro, para determinar el diagrama de indicador, como en los múltiples de admisión y escape, para el estudio de los fenómenos transitorios que ahí se presentan. Cualquiera de los dos casos de que se trate, lo que se intenta es medir la presión instantánea para intervalos angulares determinados, o bien, para intervalos de volumen conocidos. Es decir, con los datos anteriores se pretende obtener los diagramas presión-ángulo de giro del cigüeñal y presión-volumen respectivamente.

Para la medida de presión existen muchos transductores que es factible emplear en este caso. Sin embargo, en la actualidad existe prácticamente una generalización total de los materiales piezoeléctricos en esta aplicación. Estos materiales tienen la propiedad de generar una tensión (voltaje) eléctrica cuando son sometidos a presión, lo cual es aprovechado para obtener medidas instantáneas. Entre las ventajas de los materiales piezoeléctricos se pueden mencionar:

- **Altas frecuencias naturales**
- **Elevada resistencia térmica y mecánica**
- **Alto rango dinámico**
- **Gran linealidad**
- **Tamaño reducido**

Mientras que entre los inconvenientes se encuentran su alta sensibilidad a la temperatura y al choque térmico.

Cuando se quiere tener la medida de las presiones referenciadas al ángulo de giro del cigüeñal, se utilizan generalmente captadores magnéticos contra ruedas dentadas o transductores ópticos que detectan marcas opacas o huecos en un disco acoplado al cigüeñal del motor. Las señales generadas de esta forma se captan junto con las lecturas de presión por algún medio electrónico, con lo cual es posible, por ejemplo, visualizar el diagrama de indicador.

Por otro lado, también es posible obtener lecturas de presiones medias en los sistemas del motor antes mencionados. La forma más normal de realizar estas medidas son los medidores de columna o diferenciales, ya sea de agua o de mercurio, dependiendo de la magnitud de la presión a medir. Este tipo de medidores siempre son exactos, sencillos y económicos.

F. Temperaturas.

La temperatura es un parámetro que resulta difícil determinar de manera instantánea. En la mayoría de los casos, se siguen utilizando instrumentos relativamente sencillos para su obtención, con los cuales sólo es posible contar con valores de temperaturas medias. Estas temperaturas son utilizadas en los balances térmicos de un motor sin que se introduzcan discrepancias notorias. Es posible obtener temperaturas medias de algún elemento del motor, o bien, del combustible (o mezcla) en el múltiple de admisión, los gases en el múltiple de escape, el líquido refrigerante en varios puntos del sistema, el aceite de lubricación, etc.

Hay varios elementos que pueden utilizarse como transductores para la medida de la temperatura, pero hay dos que se utilizan de manera constante:

- Termopares

Los termopares se basan en la propiedad que tienen los metales por medio de la cual, si se encuentran acoplados mediante dos uniones a distinta temperatura, pueden generar una diferencia de potencial que es traducida en una lectura de temperatura, según su intensidad. Existen diversos tipos de termopares comercialmente, y la gran mayoría de ellos presenta características de funcionamiento satisfactorias para el caso de los motores de combustión; su rango de medición es muy amplio, como el del tipo K Cr-Al cuyo rango de temperaturas va de 0 a 1300 °C.

Los termopares son los elementos más usados debido a su funcionamiento simple, a su bajo costo y por no necesitar una fuente de alimentación.

- Termistores

Un termistor es un elemento semiconductor que tiene una gran sensibilidad. Tiene la ventaja de tener una alta velocidad de respuesta y tamaños reducidos. Sin embargo, tienen la desventaja de presentar una falta de linealidad grande en sus respuestas.

Por otro lado, los avances más recientes en termometría son los transductores electrónicos, que son circuitos integrados que pueden actuar generando ya sea corriente o voltaje, a partir de un estímulo de temperatura. Aunque su costo es un poco más elevado que los dos casos anteriores, tienen la ventaja de presentar una salida lineal.

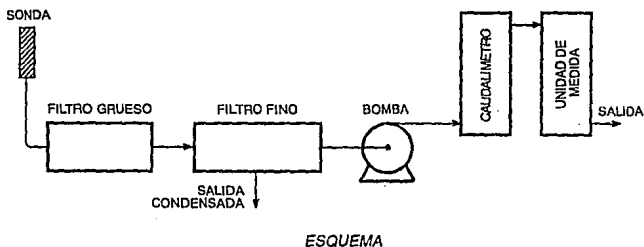


Figura 2.1 Analizador de gases

G. Analizadores de Gases de Escape

Cuando se analizan los gases de escape, se trata de determinar la concentración de ciertos gases producidos por la combustión dentro del motor. En la mayoría de los casos, suelen determinarse los porcentajes de monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre.

Estas mediciones pueden hacerse en forma continua, durante el ensayo de un motor, o de acuerdo a una rutina previamente establecida por alguna norma de emisiones contaminantes.

Comercialmente existe gran variedad de modelos y marcas. Pero, de manera general, para la determinación del CO y los HC, se emplean analizadores no dispersivos de absorción en el infrarrojo, con el analizador de HC sensibilizado al n-hexano; los analizadores de NO_x funcionan mediante el procedimiento de quimioluminiscencia. En realidad, casi todos los analizadores de gases funcionan como analizadores de Orsat; es decir, se toma una muestra de los gases de determinado volumen y se la hace pasar por diversos medios absorbentes que determinan el contenido en porcentaje de los contenidos presentes en dicho volumen de emisiones. Puede considerarse, incluso, que un aparato de Orsat, en muy buen estado y en condiciones de operación bien controladas, tiene una resolución aceptable, comparado con un aparato de medición moderno.

TABLA 2.1

Parámetro a medir	Parámetros derivados	Instrumentación
Par efectivo (M_e)	Presión media efectiva $p_{me} = 4\pi M_e / V_l$	Banco dinamométrico - hidráulico - electromagnético - dinamo
Velocidad de giro o RPM (n)	Velocidad lineal media del pistón $c_m = 2Sn$ Potencia efectiva $N_e = 2\pi n M_e$	Tacómetro - óptico - magnético - mecánico
Gasto de combustible (m_f)	Consumo específico de combustible $G_{ec} = m_f / N_e$ Eficiencia efectiva $\eta_e = N_e / (m_f PC)$	Medidor - volumétrico - gravimétrico
Gasto de aire (m_a)	Eficiencia volumétrica $\eta_e = m_a / (V_1 \rho_a (n/2))$ Dosificación (rc/a) $F = m_f / m_a$	Tubo de venturi Orificio calibrado Caudalímetro Codo calibrado Embolos rotativos
Angulo de giro del cigüeñal (α)	Variación del volumen $V = f(\alpha)$	Transductor - óptico - magnético
Presiones instantáneas en el cilindro (p)	Presión media indicada $p_{mi} = f \, p_{dv} / V_D$ Potencia indicada $N_i = p_{mi} V_1 n / 2$ Eficiencia indicada $\eta_i = N_i / m_f PC$ Eficiencia mecánica $\eta_m = \eta_e / \eta_i$	Transductor - piezoeléctrico
Presiones medias (P)	Presiones varias (aceite, inyección, etc)	Manómetros Columnas (H_2O y Hg)
Temperaturas medias	Temperaturas varias (agua, aceite, etc)	Termopares Termistores
Emisiones contaminantes	% o ppm de varias partículas (CO, CO_2 , HC, etc)	Analizadores - Orsat, infrarrojos, etc
Humos de escape	Índice de humos o de opacidad	Sistema Bosch Sistema Hartridge

H. Opacidad de Humos de Escape

Para los motores diesel, suele determinarse como norma de contaminación la opacidad de los humos de escape, producida principalmente por las partículas de carbón asociadas a la combustión del diesel. Para este fin, existen básicamente dos sistemas diferentes, el Bosch y el Hartridge; la diferencia entre uno y otro es la manera continua o discontinua de realizar la medida.

Esencialmente, el aparato utilizado consta de un haz de luz que es recibido en una fotocelda que detecta la opacidad del humo, en el sistema Hartridge de funcionamiento continuo. En el sistema Bosch se tiene un papel filtro que se pone en contacto con una muestra de volumen determinado de los gases de escape, y luego se examina para determinar la opacidad.

La tabla 2.1 presenta una tabla-resumen de los parámetros a medir durante la prueba de un motor, las magnitudes que pueden derivarse de éstos y la instrumentación necesaria en cada caso.

Parámetros Utilizados para Definir las Prestaciones de un Motor

Hasta ahora se han definido los parámetros experimentales o las mediciones prácticas que pueden realizarse en un motor. Estas mediciones nos sirven para obtener otros parámetros que definen el funcionamiento del motor. Como se dijo en un principio, los motores hacen frente a condiciones muy variadas de operación, por

lo cual es necesario conocer el comportamiento del motor en dichas condiciones, es decir, sus prestaciones.

Generalmente, al hablar de un motor el usuario común utiliza ciertos términos relacionados con el comportamiento o desempeño (performance) del mismo, como la potencia, el par y el consumo de combustible. Estos términos se encuentran referenciados, en la mayoría de los casos, a cada kilómetro o a cada número de revoluciones del motor, lo cual no tiene utilidad para efectos comparativos. Por esto, para fines de estudio (para fines de ingeniería) es mejor, al hablar de las prestaciones de un motor utilizar parámetros equivalentes que no se encuentren ligados a la cilindrada del motor. Dichos parámetros son definidos a continuación.

A. Presión media efectiva (p_{me})

Esta presión es equivalente al par, de la siguiente manera:

$$N_e = M_e \omega = M_e 2\pi n = z p_{me} A_p S n/2$$

o sea,

$$p_{me} = 4\pi M_e / V_t = K_t M_e$$

en donde:

N_e -Potencia efectiva

z -Número de cilindros

M_e -Par efectivo

ω -Velocidad angular

n -Velocidad de giro

A_p -Área del pistón

V_t -Volumen total (cilindrada)

S -Desplazamiento (carrera)

B. Velocidad lineal media del pistón (C_m)

Es el parámetro asociado a la velocidad de giro n (RPM), y por definición es:

$$C_m = 2Sn$$

o bien,

$$C_m = K_2 n$$

C. Consumo específico de combustible (G_{ec})

El consumo específico de combustible resulta mucho más indicativo que el consumo por hora o por kilómetro, y se expresa:

$$G_{ec} = m_c / N_e = m_c / (m_c PCA \eta_e) = 1 / (PCA \eta_e)$$

De donde podemos apreciar la ventaja de utilizar éstos parámetros, ya que si se comparan motores que utilicen un combustible con el mismo poder calorífico (PCA), se puede escribir la siguiente fórmula:

$$G_{ec} = K_3 / \eta_e$$

es decir, que el consumo específico es inversamente proporcional a la eficiencia o rendimiento η_e del motor.

D. Potencia por unidad de superficie ($N/z A_p$)

Este parámetro representa la carga térmica del pistón, y puede expresarse como:

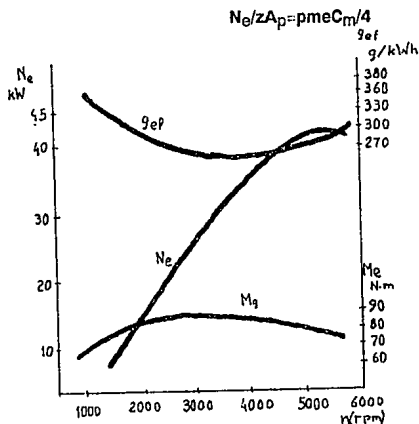


Figura 2.2 Curvas de plena carga

Curvas Características de Motores.

Curvas de plena carga.

Como se vió anteriormente, entre los parámetros más representativos del motor se encuentran el par ($p m e$), la potencia (carga térmica) y el consumo específico. Resulta lógico, entonces, que las curvas caracterstícas usadas con más frecuen-

cia sean las de dichos parámetros relacionados con las revoluciones a plena carga. De esta manera, es posible obtener el máximo par y potencia que puede entregar un motor a diversas velocidades de giro, al igual que el consumo específico en las mismas condiciones.

Un ensayo a plena carga consiste en mantener totalmente abierta la mariposa de aceleración o mantener la máxima inyección (acelerador a fondo), según sea el caso, y variar el número de revoluciones por minuto. En cada velocidad de giro distinta, se toman los datos correspondientes a cada parámetro, con lo cual se obtienen curvas como las siguientes.

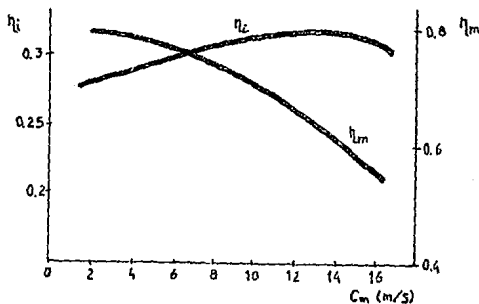


Figura 2.3 Comportamiento de η_i y η_m

Las curvas anteriores pertenecen a un motor de encendido por chispa (MECH); aunque las de los motores de encendido por compresión son similares tienen algunas diferencias que explicaremos a continuación. Este tipo de curvas suelen obtenerse en condiciones ambientales normales durante la prueba, o bien, en

condiciones estándar de temperatura, presión y humedad preestablecidas. En seguida se presenta una explicación sobre la tendencia de estas curvas:

A. Motores de encendido por chispa (MECH) normalmente aspirados.

- Curva de Consumo Específico.- Dado que el consumo específico es inversamente proporcional a la eficiencia efectiva del motor, su tendencia puede analizarse por el producto de la eficiencia mecánica por la indicada, esto es:

$$\eta_e = \eta_i \eta_m$$

Ahora, el comportamiento de estas dos eficiencias puede observarse en la gráfica anterior, en función de la C_m . Cuando el valor de la C_m es bajo, se reducen las pérdidas de calor y se mejora el proceso de combustión por el aumento de la turbulencia, entonces el incremento de la eficiencia indicada es mayor que la disminución de la eficiencia mecánica debido al aumento de las pérdidas mecánicas, por lo tanto, el consumo específico disminuye. A partir de un cierto valor mínimo, la tendencia de ambas curvas cambia con un aumento grande de las pérdidas mecánicas a velocidades altas del pistón, con lo cual se produce un crecimiento más intenso del consumo específico. Se recordará también que:

$$G_{ec} = K/\eta_e = K/(\eta_i \eta_m)$$

- Curva de presión Media Efectiva (pme).- La pme puede definirse también como:

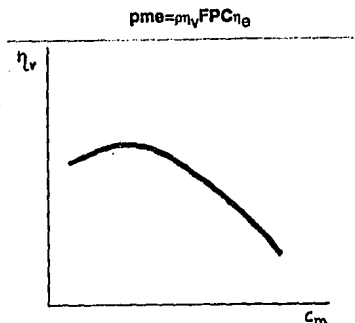


Figura 2.4 Variación de η_v contra C_m

de modo que la variación de este parámetro (equivalente al par) sigue el comportamiento de las variables afectadas por la velocidad del pistón C_m . Para los motores no sobrealimentados, la densidad (ρ) permanece constante, al igual que el PC, durante una prueba; La dosificación (F) o relación aire combustible de máxima potencia es también prácticamente constante, de modo que la pme variará según el producto $\eta_v \eta_e$.

La eficiencia volumétrica es función del número de Mach en la válvula, y por lo tanto de C_m . La curva de comportamiento que se muestra un poco arriba presenta un máximo en la zona central izquierda, que depende del avance del encendido, la geometría de las válvulas y conductos, etc. Si combinamos la curva de

eficiencia efectiva con la curva de eficiencia volumétrica, se observará que: la curva del par presenta una caída leve en la zona extrema izquierda debida a las disminuciones de ambas eficiencias a bajas velocidades; la caída que se observa en la zona derecha se debe a la disminución de la eficiencia volumétrica por el aumento de C_m , así como a la disminución de la eficiencia efectiva por el aumento de las pérdidas mecánicas.

- Potencia (carga térmica por unidad de superficie del pistón).- Se recordará que la potencia se define como:

$$N_e = z p_m e A_p S n / 2$$

o bien,

$$N_e = 1/2 p_m e A_p z C_m l$$

i - ciclos de trabajo por vuelta del motor

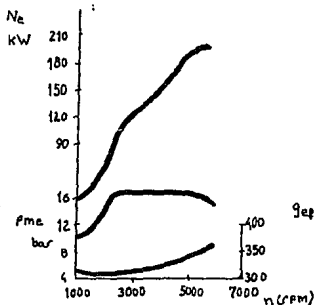


Figura 2.5 Curva de comportamiento MECH sobrealimentado

De manera que la potencia es directamente proporcional al producto de la pme y la C_m , de ahí el comportamiento observado en las gráficas.

B. MECH Sobrealimentados.

La curva de consumo específico en este tipo de motores es muy similar al caso anterior, pero presenta valores más reducidos. Lo que sucede es que al tener control de la detonación se provoca una disminución de la relación de compresión o a un posible atraso en el tiempo de encendido, lo que en principio hace descender la eficiencia interna. Pero, al mismo tiempo, la sobrealimentación trae consigo una disminución de las pérdidas de calor relativas, lo cual, junto con una mejora de la eficiencia mecánica, contrarresta los efectos desfavorables sobre el consumo de combustible.

El fundamento de la sobrealimentación es el aumento de la cantidad de combustible logrado a través de un aumento de la densidad, con lo cual la curva de la pme (par) se desplaza a valores más altos. Dependiendo de las características del sistema de sobrealimentación, se tendrá una menor o mayor variación de densidad con respecto a la C_m , que junto con las variaciones de las eficiencias volumétricas y efectivas nos daría la de la pme.

Actualmente los estudios de la sobrealimentación en motores se orientan hacia el aumento del par, y por lo tanto de la potencia, a velocidades de giro intermedias, con el fin de mejorar la respuesta de los motores de uso normal. Las curvas de comportamiento de motores sobrealimentados denotan una baja sensible del par a velocidades bajas, y un menor gasto de combustible a velocidades bajas e interme-

días. La respuesta de estos motores a regímenes altos es muy similar a la de los motores sin sobrealimentación.

Cabe mencionar que en los MECH se alcanza la máxima potencia antes de llegar a las revoluciones máximas, por lo cual es posible obtener ésta sin riesgos mecánicos graves.

C. Motores de encendido por compresión (MEPC) no sobrealimentados.

Las curvas características de estos motores son muy similares a las de los MECH. Dado que el rango de revoluciones bajo las que trabaja el motor es más reducido, la curva de pme o par es más plana, y a velocidades altas presenta una caída más drástica de la eficiencia indicada.

D. MEPC sobrealimentados.

Comparados con los motores no sobrealimentados del mismo tipo, se nota una disminución considerable del consumo específico de combustible debido a la mejora de las eficiencias interna y mecánica. Cuando se utiliza refrigeración a la salida del turbocompresor, se logra reducir aún más el consumo específico y aumentar los valores de la pme. La curva de comportamiento de este último parámetro, al igual que en los MECH sobrealimentados, se ve desplazada hacia arriba por efecto de la densidad, en función del sistema elegido y del tipo de servicio al cual está destinado el motor.

En los MEPC, a diferencia de los MECH, la máxima potencia está siempre por arriba del máximo de revoluciones, por lo que las revoluciones máximas son las que limitan la potencia del motor a carga plena (máxima inyección).

Curvas a Cargas Parciales.

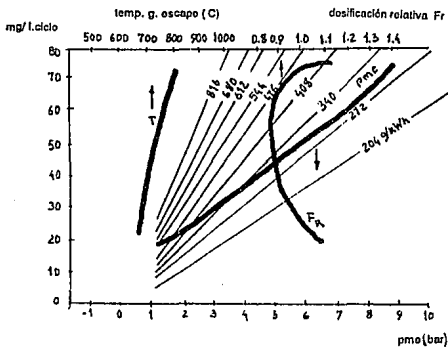
Este tipo de curvas presentan los parámetros representativos del motor a diferente número de revoluciones y en función de la carga (variable). Para determinar la carga, se utiliza generalmente la pme o la relación de ésta y la máxima pme a las revoluciones determinadas, lo que se conoce como "grado de carga".

Mediante las pruebas a cargas parciales es posible obtener las curvas de comportamiento de ciertos parámetros en función de otros controlables, a diferentes velocidades constantes para cada curva diferente o curvas diferentes. De igual modo, con los datos que se obtienen de estos ensayos se pueden construir gráficas de comportamiento de los diversos parámetros a manera de "curvas de nivel", en las que dichos parámetros permanecen constantes, referenciados a otros que funcionan como variables o ejes de referencia.

En seguida se presentan ejemplos de estos tipos de curvas, tanto para MECH como para MEPC. En las dos primeras se representan las variaciones de la presión media efectiva, temperatura de gases de escape y dosificación relativa, para MECH, y curvas similares para MEPC, con excepción de la pme que ha sido cambiada por el índice de humos. Las siguientes dos gráficas son curvas de isoconsumo y de carga térmica constante para los dos tipos de motores.

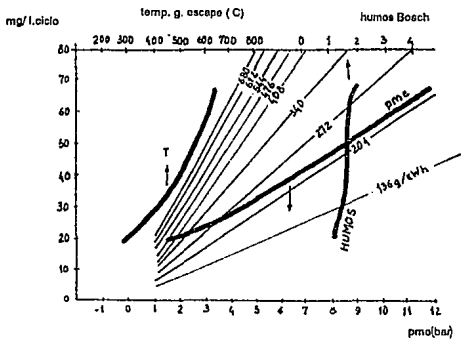
MECH ASPIRACION NORMAL

cm=8 m/s

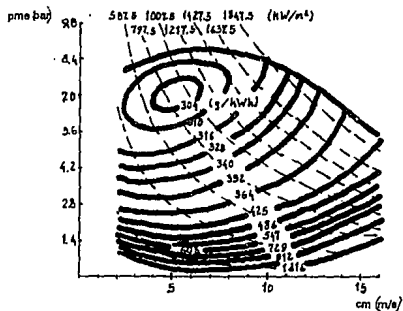


MEPC SOBREALIMENTADO

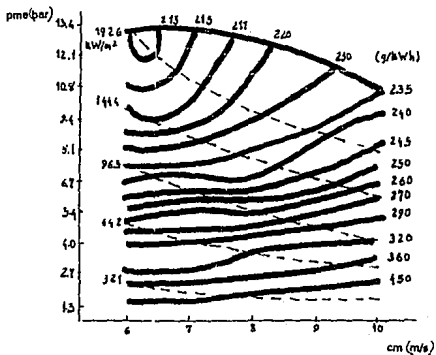
cm=7 m/s



CURVAS DE ISOCONSUMO PARA MECH



CURVAS DE ISOCONSUMO PARA MEPC



CAPITULO 3

DINAMOMETRO HIDRAULICO

Antecedentes

Como ya se explicó en el capítulo anterior los dinamómetros son instrumentos que sirven para medir, por medio de métodos indirectos, el par en una máquina. En este capítulo se tratan las características técnicas, el funcionamiento, instalación, calibración y operación del dinamómetro hidráulico que se tiene en el laboratorio.

Como se explicó anteriormente, la forma de disipar la potencia en este tipo de dinamómetros se consigue al agitar agua, mediante álabes móviles unidos al motor por medio de una flecha contenida en una carcasa con álabes fijos, de manera que el par que impide que la carcasa gire es de igual magnitud que el par que desarrolla el motor.

El giro de los álabes móviles unidos al eje del motor induce un movimiento de arrastre en el fluido que produce turbulencias y que tiende a arrastrar a los álabes fijos en la carcasa. Este movimiento se impide al aplicar un par resistente que será el que se mide en una celda de carga.

La ley que sigue la potencia absorbida por este tipo de dinamómetros es proporcional al producto del cubo de la velocidad de rotación y la quinta potencia del diámetro del rotor. Existen dos formas generales de regulación para los dinamómetros hidráulicos. La primera consiste en variar el nivel de agua en el interior de la carcasa, en consecuencia, la cantidad de agua agitada por el rotor. El segundo sistema mantiene el nivel de agua y lo que se modifica es la separación entre la carcasa, que en este caso va partida, y el rotor. En este caso, se utilizar el primer tipo de control.

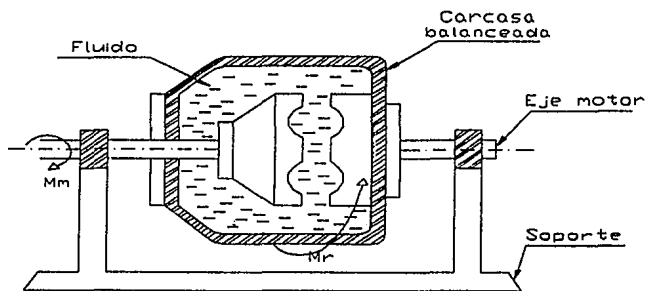


Figura 3.1 Dinamómetro hidráulico

Curvas características.

Las curvas características de un dinamómetro relacionan la capacidad de oponer un par resistente en función de la velocidad de giro.

Estas se presentan en la forma par-velocidad o bien potencia-velocidad y con diversas escalas: decimal-decimal, decimal-logarítmica o logarítmica-logarítmica, como en el caso de la figura 3.10. Las curvas de comportamiento presentan una serie de límites que determinan el campo de utilización de un dinamómetro, como se representa en la figura 3.2

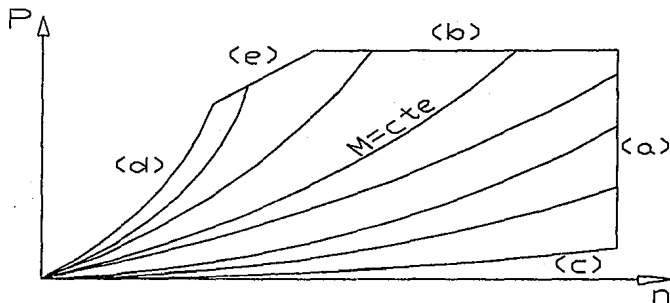


Figura 3.2 Curvas Características de un dinamómetro

a) Línea de velocidad máxima.- Está determinada por las limitaciones en los esfuerzos centrífugos de los diversos elementos del dinamómetro, como pueden ser los baleros. Esta velocidad puede sobrepasarse momentáneamente siguiendo las especificaciones del fabricante.

b) Línea de potencia máxima.- Está determinada por la capacidad de disipar energía del dinamómetro. Generalmente se conoce por medio del calor disipado en el sistema de enfriamiento. Esta línea puede sobrepasarse momentáneamente.

c) **Línea de par mínimo.**- No es recomendable la utilización del dinamómetro por debajo de esta línea, por las siguientes razones:

-Los elementos de fricción del dinamómetro producen pérdidas del orden de magnitud de la potencia a medir y que por error se atribuyen al motor.

-La posibilidad de inestabilidades es mayor por la dificultad de conseguir una intersección adecuada entre las curvas de par motor y de par resistente. (Ver "Criterios de Estabilidad")

d) **Línea de par máximo.**- Esta curva marca el límite de la capacidad frenante a diferentes velocidades de giro.

e) **Línea de máximo par-instrumento.**- Esta línea está determinada por la capacidad del instrumento de lectura.

Criterios de Estabilidad.

Para poder realizar medidas con condiciones estables, es necesario que el dinamómetro presente buenas características de regulación y estabilidad. En una prueba estacionaria, las exigencias de regulación no son altas. Sin embargo, si el motor debe seguir pruebas a cargas variables, sí lo son.

Regulación: necesaria para que sea accesible cualquier punto del campo de utilización según las necesidades del usuario y de una forma continua.

Estabilidad: esta característica hace referencia a la mayor o menor facilidad de mantener la velocidad de giro cuando el motor está acoplado al dinamómetro.

La figura 3.3 representa el par motor para un grado de carga y el par resistente. La intersección determina el punto de funcionamiento del sistema motor-dinamómetro.

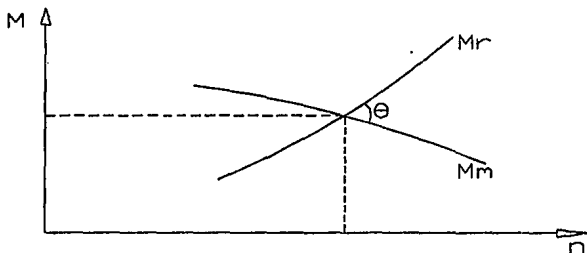


Figura 3.3 Par motor y par resistente

Si la velocidad aumenta, al ser M_r mayor a M_m el sistema tenderá a frenarse, hasta llegar al equilibrio de nuevo. Si el sistema se desacelera, al ser M_m mayor que M_r se recuperará el punto de equilibrio.

Interesan curvas características del dinamómetro que determinen puntos de funcionamiento en los que se cumpla la siguiente desigualdad de derivadas:

$$d(M_m)/dn < d(M_r)/dn$$

Cuanto mayor sea la diferencia de pendientes en el punto de intersección mayor será la estabilidad.

No interesan curvas en donde el ángulo entre ellas sea mayor de 90 grados por la posibilidad de pequeñas oscilaciones continuas alrededor del punto de equilibrio.

Intersecciones del tipo de los diagramas siguientes no son deseables:

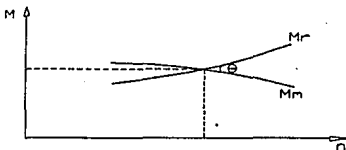


Figura 3.4 Dinamómetro poco estable

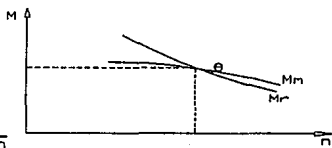


Figura 3.5 Dinamómetro inestable

Hay que tener en cuenta que curvas características apropiadas para un tipo de motor pueden no serlo para otro. Por ejemplo si $M_r = K \cdot n^2$ es adecuado en este caso:

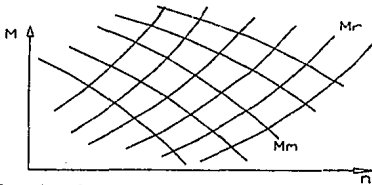


Figura 3.6 Caso adecuado

pero no en este otro:

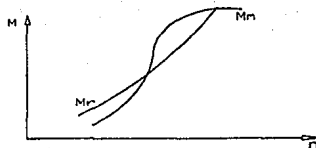


Figura 3.7 Caso inadecuado

Dinamómetro hidráulico Clayton 250-E

El aparato instalado en el laboratorio es un dinamómetro marca Clayton serie CAM-250E. Estos dinamómetros son utilizados para pruebas operacionales en máquinas y motores eléctricos bajo variables dinámicas precisas que reproducen las cargas para simular las condiciones de funcionamiento. Un aparato como estos se puede usar en la investigación y desarrollo, en una línea de producción, en talleres de mantenimiento y en laboratorios para la enseñanza.

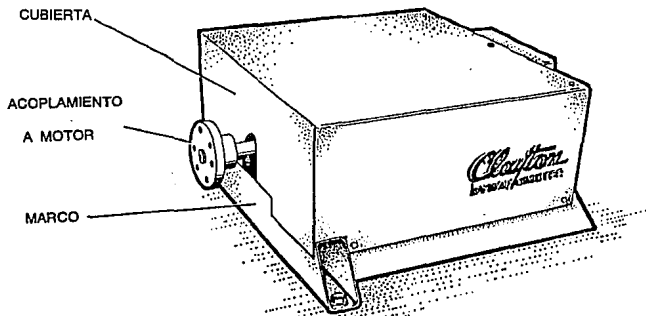


Figura 3.8 Dinamómetro hidráulico Clayton

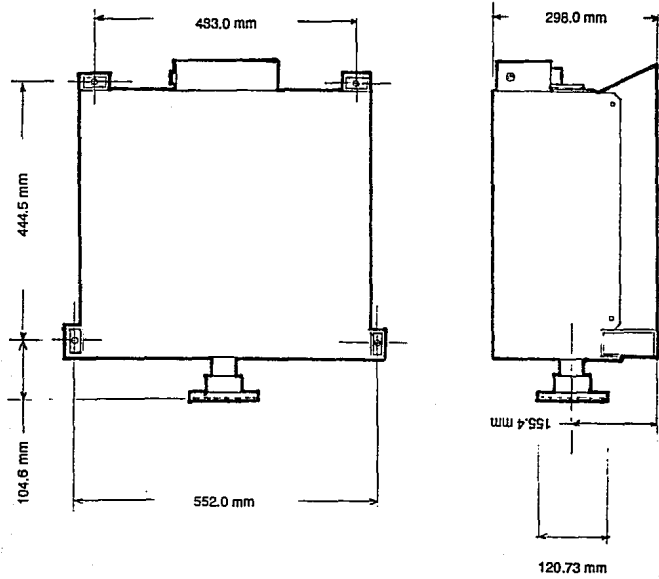


Figura 3.9 Medidas

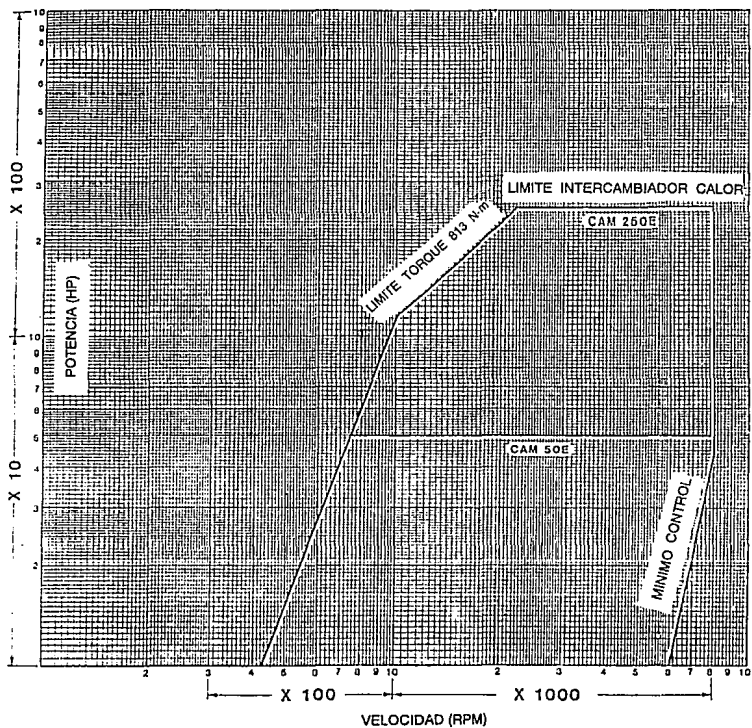


Figura 3.10 Carta de capacidad

Características técnicas

Capacidad de absorción.....200 Kw (250 HP) @ 2190 a 8000 RPM

Velocidad máxima.....8000 RPM

Torque máximo.....813 N.m (600 Ft-Lb)

Tipo de absorción.....Turbina hidrocínética cerrada

Control de carga.....interruptor de palanca de dos posiciones

Medidas.....(ver fig 3.9)

Peso.....106 Kg

Servicios necesarios.....agua 2.4 a 4.8 bar* (35 a 70 psi)

volumen @ 27 °C entrada, 60 °C salida:

arriba de 95 l/min (25 GPM)

energía eléctrica

115V, 50/60 Hz, 1 fase 3 amp (más instrum)

*Presión estática máxima permisible

Funcionamiento

La Unidad de Absorción de Potencia (UAP) puede compararse con una bomba centrífuga de agua con los álabes del rotor lanzando el agua a la salida. A diferencia de una bomba, sin embargo, el estator tiene álabes semejantes los cuales paran el rápido movimiento del agua, regresando ésta hacia el rotor. El lanzado, parado y deslizamiento del agua debido a este "agitamiento" consume energía. Mientras más agua hay en la unidad y/o mientras más rápido gire, más potencia se absorbe.

La acción de "turbo agitación" convierte la potencia mecánica dada por el motor en calor en el agua. La temperatura del agua es controlada en un intercambiador de calor, dentro de la UAP, por una válvula térmica. El agua caliente fluye al exterior por medio de tuberías instaladas para tal efecto.

La flecha de salida de potencia del motor a prueba está acoplada a la flecha de entrada al dinamómetro, la cual hace girar un rotor en la unidad de absorción de potencia (UAP). Un sensor de velocidad convierte la rotación en una señal de velocidad. Una celda de carga convierte la resistencia al giro del rotor en una señal de torque. La potencia absorbida como calor en el agua de carga dentro de la UAP es retirada por agua fría en un intercambiador de calor en la misma unidad. Una válvula térmica controla la entrada de agua fría al intercambiador. El volumen del agua de carga en la UAP determina el nivel de resistencia aplicado por el motor en prueba. La entrada y salida de agua de carga es controlada por un interruptor de dos po-

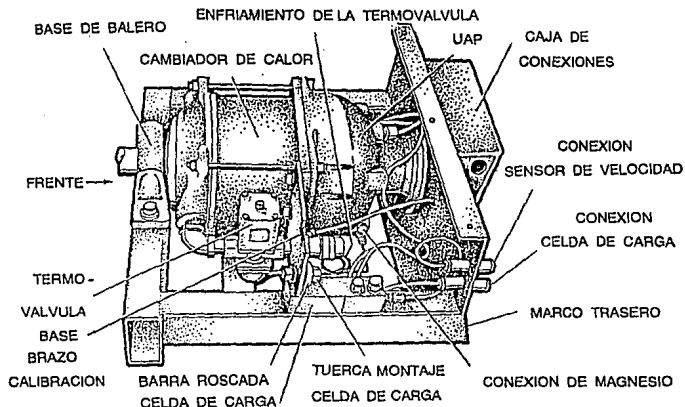


Figura 3.11 Dinamómetro sin cubierta

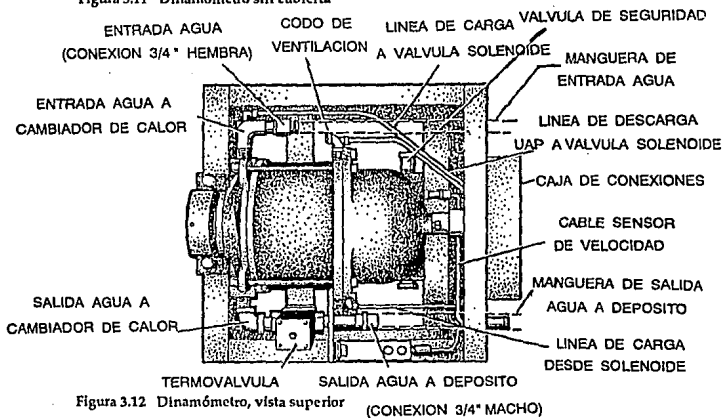


Figura 3.12 Dinamómetro, vista superior (CONEXION 3/4" MACHO)

siciones normalmente cerrado localizado en la parte posterior del dinamómetro en el armazón de la caja de conexiones (ver figura 3.12 y 3.13). Las válvulas solenoide de carga/descarga en la caja de conexiones son controladas por el interruptor de carga (o por un interruptor opcional de control por cable). El agua caliente y de descarga son independientemente drenadas via tuberfa de descarga.

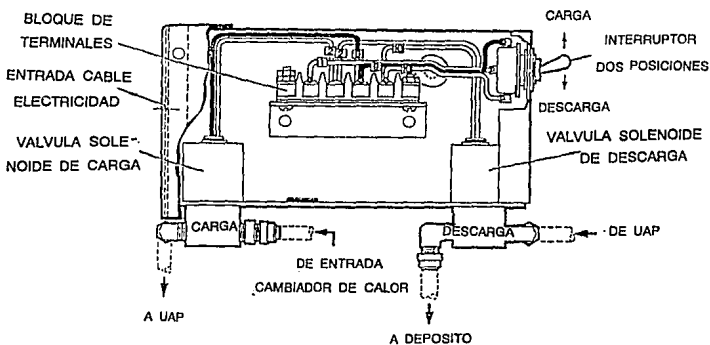


Figura 3.13 Caja de conexiones

Instalación

El proyecto de instalación involucra la planeación del lugar, la instalación hidráulica, el montaje y conexión del dinamómetro, el montaje y conexión de los ins-

trumentos de lectura, el montaje y conexión del motor a probar y por último una pequeña verificación operacional.

En el montaje del dinamómetro se tiene que asegurar que el aparato quede perfectamente nivelado y alineado para que al momento de instalar un motor el giro de motor-dinamómetro sea sobre el mismo eje, con esto se evitará desbalanceo, pérdidas de energía y mal funcionamiento, además de seguridad en el área de trabajo.

El montaje de los instrumentos de lectura y de control del motor (como acelerador, potencia, torque, medidores de temperatura y aceite, etc.) se colocaron en un cuarto contiguo al del dinamómetro. Nivelado y alineado el dinamómetro y colocados todos los instrumentos se conectan la tubería de entrada y de salida del agua (ver figura 3.12) y los instrumentos y sensores (ver figura 3.18).

Consideraciones

La calidad del agua de alimentación para el dinamómetro es la calidad media de las aguas surtidas a las ciudades. Solo se requiere un tratamiento si el agua contiene grandes cantidades de sólidos disueltos o químicos que puedan afectar la UAP durante su funcionamiento. Se puede usar recirculación.

Requisitos del agua: pH de 8 a 12; Sólidos disueltos, menos de 200 ppm de partículas; Sólidos suspendidos, cualquier tipo y cantidad deben ser removidos por filtración; Dureza, menos de 226 ppm.

Es recomendable instalar un colador en la entrada de agua al dinamómetro para evitar en lo posible que entren impurezas a éste que puedan afectar su funcionamiento.

Mientras más baja sea la temperatura del agua a la entrada, menor será la necesidad del control automático del flujo y viceversa, esto es, el funcionamiento de la válvula térmica será menor. La temperatura del agua de entrada al dinamómetro no podrá ser mayor a 37 °C.

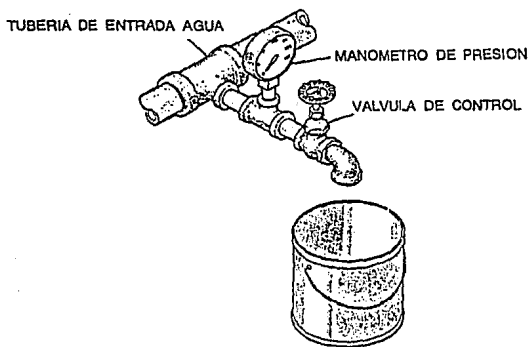


Figura 3.14 Válvula reguladora de presión

La mínima presión especificada deber mantenerse mientras dure el máximo flujo para proporcionar una acción adecuada de carga. Si las pérdidas por fricción

causarán una presión demasiado baja se tendrá que seleccionar una tubería de mayor diámetro y/o una bomba de impulsión.

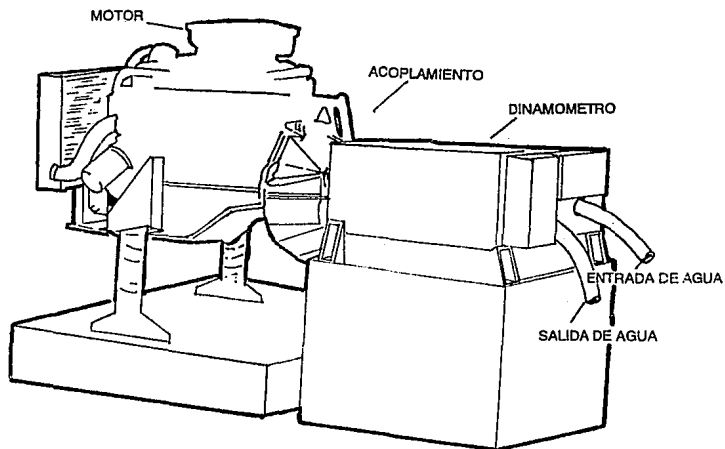


Figura 3.15 Configuración

Para proteger los sellos de la UAP la presión no debe de exceder de 4.8 bares mientras exista el mínimo flujo o se interrumpirá la circulación. Se debe de usar una válvula reguladora de presión en la tubería de entrada si hay riesgo de que la presión pueda exceder este límite. Toda válvula de presión que se utilice debe de ser lo suficientemente grande para abarcar el máximo flujo y la máxima presión requeridas. El mínimo de 2.5 bares es necesario para obtener una acción de carga adecuada.

Verificación operacional

Al tener todo el equipo instalado (incluyendo la máquina), se tiene que hacer una pequeña prueba de operación antes de la calibración; el suministro de agua se abre y el motor se enciende, observando los instrumentos de medición se verifica que la carga en la máquina se incrementa al mover el interruptor de carga/descarga hacia arriba, y que la carga disminuye al mover el interruptor hacia abajo. Variando la velocidad de la máquina se tendrá que observar que el instrumento medidor de la velocidad varía adecuadamente. Después de una hora de funcionamiento se tendrán que verificar los montajes y toda la instalación. La UAP debe de operar por lo menos a 1000 RPM para una descarga efectiva.

Sistemas de control y lectura

El dinamómetro tiene un aparato para controlar y acondicionar las señales de salida, es decir, recibe las señales de la celda de carga y del sensor de velocidad localizadas en el cuerpo del dinamómetro. Estas señales son procesadas por medio

de este aparato multifuncional [MFSC] (multifunctional signal conditioner) (ver figura 3.16) para así obtener las lecturas de velocidad, torque y potencia a través de un instrumento digital de lecturas (en nuestro caso: digital readout instrument marca Clayton modelo CD-2000 para tres lecturas) (ver figura 3.17).

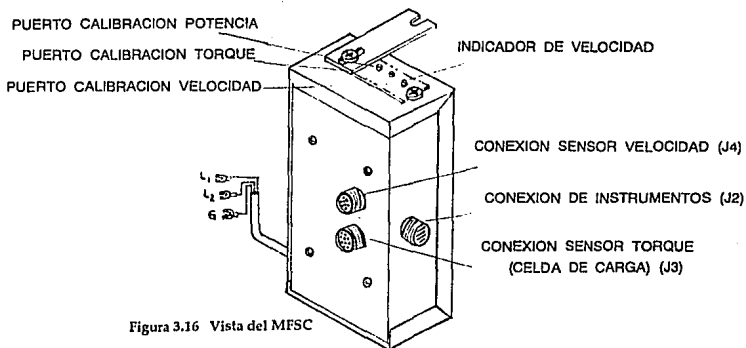


Figura 3.16 Vista del MFSC

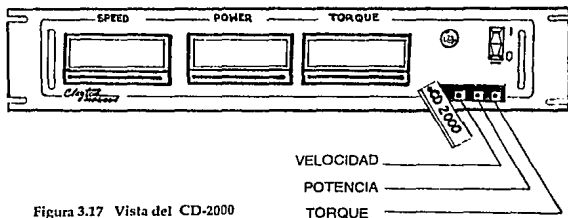


Figura 3.17 Vista del CD-2000

El CD-2000 es en esencia un voltmetro digital con precisión de punto decimal. Durante la calibración los potenciómetros ajustan la señal desde el MFSC a los dígitos necesarios y el punto decimal es (pre)asignado a conveniencia. La señal de entrada es escalada para que las lecturas se puedan efectuar en sistema Inglés o Métrico, haciéndose esto durante la calibración.

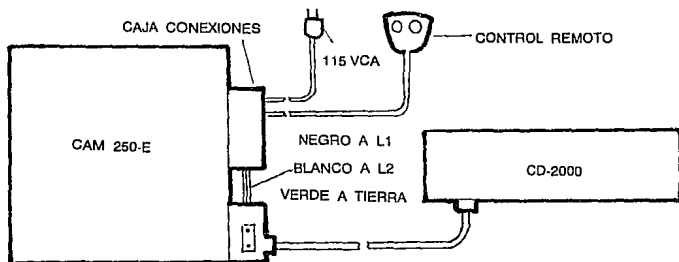


Figura 3.18 Conexiones eléctricas (MFSC a CD-2000)

Por medio del MFSC se pueden acondicionar las señales para poder conectar al dinamómetro instrumentos de control, como una computadora, o instrumentos de lectura, ya sean digitales, analógicos o la misma computadora.

El MFSC es una caja sellada de metal con las conexiones de entrada y salida de las señales provenientes del dinamómetro, y con acceso a los potenciómetros de calibración para éste aparato. Cuando la cubierta de los potenciómetros está girada se puede ver además de los potenciómetros un diodo rojo, este diodo (LED) se enciende y se apaga cuando la UAP gira, la señal que causa este "parpadeo" es mandada por el sensor de velocidad y esto indica que la parte del circuito de éste

Características técnicas (CD-2000)

Pantalla

Velocidad.....0 a 19,999 RPM

Potencia.....0 a 1,999.9 KW o HP

Torque.....0 a 1,999.9 N m o ft lb

Precisión.....(0.015% en lectura \pm 2 dígitos)

Temperatura operación...0 a 50 °C.

Electricidad

Alimentación.....115 VAC 5%

50/60 Hz

60 W (mx.)

Fusible.....1/2 amp, tipo 3AG.

Configuración.....velocidad, potencia y torque

(en sistema Inglés o Métrico)

sensor esta bien. Un circuito en el MFSC crea una señal "sintética" de velocidad conocida, ésta se usará durante la puesta en operación y también para las verificaciones necesarias.

Estos instrumentos se tienen que calibrar para que las lecturas sean confiables.

Calibración

Preparación

El dinamómetro, el instrumento de lecturas y el motor a probar tendrán que estar totalmente montados y listos para operación normal antes de proceder a las pruebas de calibración.

La calibración se tendrá que volver a realizar después de cualquier intervención que pudiera modificarla, si las lecturas no son consistentes o al menos una vez al año.

Conectar el dinamómetro a la red eléctrica y encender el sistema de agua de enfriamiento del dinamómetro. El MFSC y el instrumento de medición tendrán que encenderse por lo menos 15 min. antes para que así estén calientes. Para que se aseguren mejores resultados, el dinamómetro tendrá también que estar a su temperatura normal de funcionamiento.

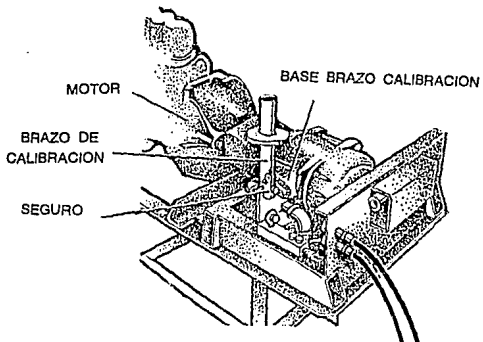


Figura 3.19 Brazo de calibración instalado

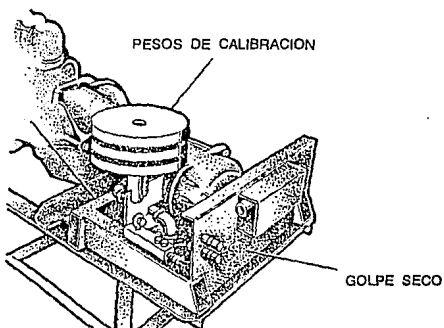


Figura 3.20 Pesas de calibración instalados

IMPORTANTE: Antes de realizar la calibración y/o cualquier lectura de torque, potencia o voltaje se tiene que dar un golpe seco con un mazo de hule al armazón del dinamómetro en el frente y la parte de atrás lo más cerca de los baleros de la UAP para liberarlos de cualquier esfuerzo debido a fricción estática.

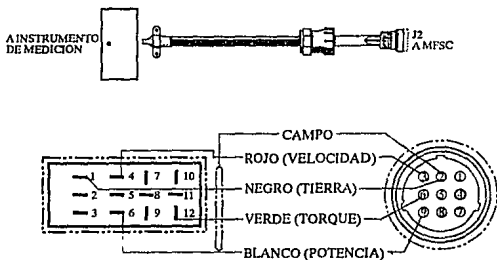


Figura 3.21 Cable MFSC CD-2000

Procedimiento

Para realizar la calibración se tiene que tener a la mano el poste, el brazo y las pesas necesarias (figura 3.19, 3.20 y tabla 3.1), un desarmador aislante y un voltímetro.

Poner en cero el sistema.

a. Voltaje cero de salida del MFSC. Desconectar el cable que va al instrumento de medición del lado de éste y ajustar los voltajes de salida a cero (VDC) entre las terminales 1-4, 1-12 y 1-6 (ver figura 3.21), mediante el ajuste de los potenciómetros (ver figura 3.16) del MFSC con un desarmador aislante. Volver a conectar el cable.

b. Instrumento de medición a cero. El instrumento de medición con que se cuenta (Clayton CD-2000) se ajusta automáticamente a cero: el dígito del lado derecho puede, ocasionalmente y por periodos cortos, mostrar un "1".

TABLA 3.1

Pesos necesarios	Potencia [HP]	Torque [Ft-lb]
Tres del número 35	56.5	82.5

Gama de velocidad.

a. Desconectar el cable de velocidad en el MFSC.(fig. 3.16)

b. Por medio del potenciómetro izquierdo en el instrumento de medición poner el medidor de velocidad a 3600 RPM. La lectura permanecerá hasta que el cable se vuelva a conectar a J4.

TABLA 3.2

Sistema inglés	Multiplicar por	Para obtener
Ft-lb	0.1383	Kg.m
Ft-lb	1.356	N.m
HP	0.7457	KW
HP	1.1014	HP métrico

Calibración de la gama de potencia/torque.

a. Instalar y nivelar el brazo y poste para los pesos de calibración (ver figura 3.19 y 3.20) y los pesos de calibración según la tabla 3.1.

b. Ajustar los potenciómetros para dar las lecturas que se indican en la tabla 3.1. En el CD-2000: potenciómetro central es de potencia, potenciómetro derecho es de torque.

Nota: Si las unidades se quieren en otro sistema ver la tabla 3.2, hacer las multiplicaciones pertinentes y ajustar las lecturas de los potenciómetros a estas.

Restablecer el sistema. Apagar todo el sistema eléctrico de CA, todo el servicio de agua a la UAP, remover los pesos de calibración, el poste y el brazo, conectar el cable de velocidad al MFSC, y poner las cubiertas a los instrumentos y al dinamómetro. Esto completa la calibración.

Operación

Principio de operación

Como ya se dijo antes la flecha de salida de potencia del motor (cigüeñal) va conectada a la flecha del dinamómetro, por lo que la operación del motor hace girar el rotor de la UAP.

La potencia de salida del motor es absorbida como calor, creado por la agitación del agua en la UAP. La cantidad de agua en la unidad determina el esfuerzo requerido por el motor y se puede aumentar o disminuir mediante la manipulación del interruptor de carga/descarga. Esta permite incrementar o decrementar la carga del motor a una velocidad dada. Las condiciones de carga anteriores se pueden duplicar, o mantener una carga dada indefinidamente.

El giro de la flecha de la UAP es frenado por la celda de carga, la cual genera una señal de torque proporcional a la tensión que experimenta al transmitir la carga de torque al armazón del dinamómetro. La señal de torque junto con la señal de velocidad son transformadas en el instrumento de medición para producir una señal proporcional de potencia. Estas señales son exhibidas en el instrumento de medición.

Como ya se dijo antes, el flujo de agua de enfriamiento es controlado automáticamente por la válvula térmica.

Controles e instrumentos

Los controles e instrumentos usados en la operación del dinamómetro son los siguientes:

- Celda de carga. Provee la señal de carga para el instrumento de medición. (Figura 3.11)
- Sensor de velocidad. Provee la señal de velocidad para el instrumento de medición.
- Válvulas solenoide. Activa la carga o la descarga en la UAP. (en caja de conexiones)(Figura 3.13)
- Válvula térmica. Activada por calor; regula el agua de enfriamiento que circula por la UAP. (Figura 3.11)
- Control de carga. Controla la alimentación a las válvulas solenoides. (Figura 3.13)
- Interruptor de palanca. Empujar hacia arriba y sostener para cargar la Unidad de Absorción de Potencia (entra agua); empujar hacia abajo y sostener para descargar la Unidad de Absorción de Potencia (sale agua) (la UAP debe de estar a 1000 RPM).

Chequeo diario

Se recomienda verificar el CD-2000 al principio de cada jornada de la siguiente manera:

- a. Encender todo el sistema del dinamómetro y dejar que se caliente los 15 min.
- b. Con el dinamómetro sin girar, desconectar del MFSC el cable de velocidad de la conexión J4 y verificar que la lectura no sea diferente de la puesta durante la calibración (3600 RPM).
- c. Si la lectura es significativamente diferente recalibrar.

Operación

El interruptor de palanca del dinamómetro es fácil de operar. De cualquier manera el operador se familiarizará con las características de la carga y descarga de la UAP después de tener cierto contacto con este.

La carga y descarga de la UAP es controlada por dos válvulas solenoides eléctricas a través del interruptor de palanca. Las válvulas se mantienen cerradas a menos de que se cambie la carga de la máquina. El fluido de carga es mantenido en la UAP hasta que la válvula de carga o de descarga se abra.

Para practicar se recomienda seguir el procedimiento de operación que marca el manual (este se reproduce en el punto "Procedimiento para probar un motor").

Para empezar se practica el procedimiento de carga y descarga como sigue: llevar la velocidad del motor al punto deseado, enseguida empujar el interruptor de palanca hacia arriba para meter agua de carga a la UAP. Notar que mientras se agregue carga la velocidad del motor cae. Para mantener la velocidad el acelerador debe de irse abriendo. Después de unos segundos, cuando la UAP está cargada, el acelerador debe de estar totalmente abierto. Cargas posteriores se lograrán sólo bajando la carga del motor, por lo que en este punto se debe de ir liberando el interruptor de carga (interruptor de palanca). La velocidad del motor se debe de ir controlando en cada momento por medio del acelerador: al darle carga al motor (interruptor en posición ON) ir acelerando; al quitarle carga al motor (interruptor en posición OFF) ir desacelerando. Con una posición fija del acelerador, una vez que la velocidad del motor se estabilice, esta permanecerá así. Notar que la velocidad de descarga es mayor a alta velocidad del motor. Evitar forzar excesivamente el motor. Para el primer arranque ver "verificación operacional".

Prueba típica

Generalmente la prueba de un motor se hace para intervalos específicos, incrementando fracciones de la capacidad total y al final a capacidad total. Después de una pequeña prueba, el chequeo de la máxima potencia se realiza usualmente a una velocidad específica con el acelerador totalmente abierto, así el motor se puede comparar con otros similares.

"Procedimiento para probar un motor

a. Acciones preliminares. Verificar el suministro de agua a la UAP, las conexiones eléctricas, los instrumentos y las partes mecánicas de conexión.

1. Encender el suministro de agua del dinamómetro.

2. Encender los instrumentos y dejarlos calentar 15 min.

3. Encender el motor (y su sistema de enfriamiento) y dejarlo calentar con una pequeña carga en la UAP antes de aplicar la carga total (temperatura del sistema de enfriamiento entre 70 y 80 °C). Verificar el funcionamiento del interruptor de palanca de carga/descarga contra las lecturas de los instrumentos de medición para garantizar una operación apropiada del sistema.

b. Prueba.

1. Después de que el motor haya llegado a su temperatura normal de funcionamiento, se incrementa gradualmente la abertura del acelerador activando el control de carga, y se aplica carga al motor a las especificaciones del fabricante.

Cuando la carga se estabilice se tendrá que liberar el interruptor .

Después de esto se completa el programa de pruebas elegido.

2. Cuando la prueba se haya completado:

a) Descargar la UAP; Se usa el acelerador para mantener la velocidad del motor entre 1500 y 2000 RPM.

Nota:Es bueno practicar la descarga de la UAI² entre paros del motor.

b) Bajar la velocidad del motor hasta marcha en ralenti y apagarlo.

c) Apagar el sistema de enfriamiento.

d) Apagar los instrumentos, o si se trabajará con ellos dejarlos encendidos para evitar el periodo de calentamiento."

CAPITULO 4.

PRUEBAS EN MOTORES

El objetivo de este capítulo es la de proporcionar una guía para la operación del banco de pruebas mediante la descripción de tres pruebas sobre un motor a gasolina.

Las pruebas que se pueden realizar sobre un motor son muchas y muy diversas. Lo que hace diferente a cada una de éstas pruebas es el objetivo, según éste se determinan las características bajo las cuales las pruebas se llevarán a cabo, los parámetros que se deberán medir y el procedimiento a seguir. Estos objetivos pueden ir desde el simple control de funcionamiento y la obtención de datos característicos del motor hasta la obtención de datos más complejos o la realización de investigaciones precisas y laboriosas para el desarrollo de nuevos productos.

Las pruebas de motor se pueden englobar en dos grandes grupos, las pruebas que se llevan a cabo en laboratorios de desarrollo (pruebas de investigación y de homologación) y las pruebas que se llevan a cabo en los laboratorios de los establecimientos de producción (pruebas de recepción y de control de calidad), aquí las pruebas que se realizan son pruebas para checar las prestaciones y características de un motor de serie y que éstas correspondan a la de los prototipos homologados.

Las pruebas realizadas en un laboratorio forman parte de los sectores de proyecto. Aquí las pruebas están encaminadas a examinar, por ejemplo, el desarrollo de los fenómenos termodinámicos (obteniendo los valores y las variaciones de las presiones en los cilindros, la temperatura de los diferentes órganos, el calor extraído por la refrigeración, el calor perdido en el escape, etc) y también para realizar las mediciones que, acompañadas de los conocimientos técnicos relativos a los diferentes factores que influyen en las características del motor y el funcionamiento de cada uno de los órganos, llevan al perfeccionamiento del proyecto y de la construcción.

Todos los motores de proyecto nuevo son sometidos a una larga serie de mediciones alternadas con severas pruebas de durabilidad y de carga que se repiten hasta que, después de la corrección de algunos aspectos, se alcanzan los resultados previstos en el proyecto.

Un motor prototipo homologado es aquel que está en grado de cumplir, con un cierto margen de seguridad, y después de haber sido probado exhaustivamente, con el servicio al cual está destinado.

Las pruebas realizadas en los establecimientos de producción se refieren a las realizadas a los motores que han superado las pruebas de homologación; estas pruebas, en el caso de motores para automóviles y aviones, sirven para controlar que las características de los motores de producción correspondan a las de los prototipos homologados y al mismo tiempo para lograr un periodo de asentamiento o rodaje.

En el caso de los grandes motores marinos los prototipos, después de la homologación, se instalan a bordo y las pruebas de navegación son un complemento de las experimentales ya exhaustivamente realizadas en los laboratorios.

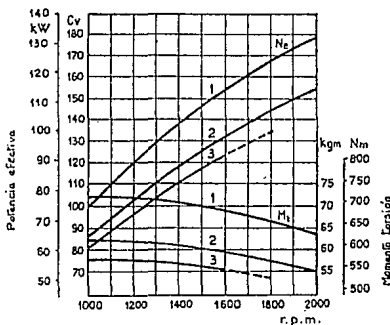


Figura 4.1 Ejemplo de curvas de calibración:

- 1.- Para usos intermitentes de la potencia máxima (autoetracción, grúas, excavadoras).
- 2.- Para usos ocasionales de la potencia máx. que no excedan de 1 hora (aserraderos, molinos).
- 3.- Para usos continuos de más de 1 hora de la potencia máxima (bombas centrífugas).

Estas pruebas consisten generalmente en mediciones de la potencia y controles de funcionamiento, o bien en pruebas de mayor o menor duración y severidad hechas con el fin de garantizar al usuario las prestaciones (pruebas según normas unificadas o reglamentaciones especiales).

Las principales pruebas llevadas a cabo en un laboratorio o en el establecimiento de producción son las que sirven para obtener los valores relativos al par motor, la presión media efectiva, la potencia desarrollada, la potencia absorbida por fricción, el consumo de combustible, las diferentes eficiencias, la composición de los gases de escape, etc.

Naturalmente que la clase y el número de mediciones que se hacen en estas pruebas dependen en su mayor parte del destino del motor; en la figura 4.1 se puede observar la diferencia entre varias curvas de potencia establecidas para un mismo motor en función del uso que vaya a tener.

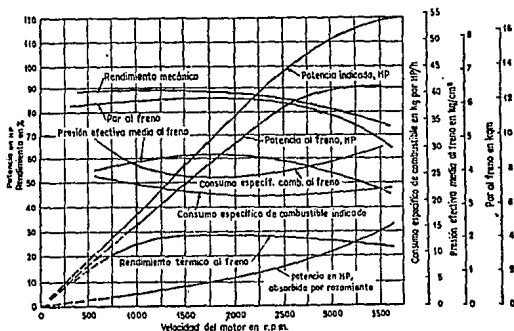


Figura 4.2 Curvas de comportamiento de un motor 6 cilindros

El número y la modalidad de las pruebas, así como los instrumentos utilizados para hacerlas, varían al variar el tipo de motor y los objetivos perseguidos.

Una de las pruebas más comunes, ya sea en laboratorio o en el establecimiento de producción, es la obtención de las curvas características como las de la figura 4.2, estas curvas nos permiten conocer el comportamiento general del motor y en algunos casos hacer comparaciones de un motor a otro.

A continuación se muestran tres pruebas sencillas con sus gráficas como ejemplo de las pruebas que se pueden realizar en bancos como el instalado en el laboratorio de control de emisiones.

Al realizar cualquier prueba es conveniente anotar las especificaciones del motor, el equipo utilizado y los aditamentos instalados, así como los datos obtenidos, en una hoja de registro como la que se muestra en la figura 4.3.

También es necesario instalar el motor en el dinamómetro respetando las características de éste en el vehículo (básicamente el ángulo de instalación).

Procedimientos preliminares a cualquier prueba

Antes de efectuar cualquier prueba:

- El motor deberá estar en condiciones satisfactorias de funcionamiento.
- Todo el equipo del motor y aditamentos deberán chequearse y registrarse en la hoja de registro.
- Deberá efectuarse un chequeo de operación preliminar a la prueba.

Condición del motor.- En caso de que el motor sea nuevo deberá ser operado bajo cargas y velocidades progresivas hasta que no exista un aumento de potencia notable en el rango de velocidades, situación que debe ser checada periódicamente durante el transcurso del asentamiento o aflojamiento.

Inspección de potencia.- Se hará una prueba de inspección para determinar si la potencia obtenida es la que corresponde al motor.

Combustibles.- Las propiedades de los combustibles que directamente afectan los resultados obtenidos en las pruebas son:

- Gravedad específica
- Poder calorífico
- Características de destilación
- Presión de vapor Reid
- Grado de detonación

Lubricantes.- Cualquier grado satisfactorio en el aceite para el motor es empleado. Esto requiere solamente que la viscosidad sea la recomendada por el fabricante para las condiciones de verano.

Precisión.- Es fundamental para las pruebas obtener una gran precisión. El máximo error permisible de instrumentos será el 1%.

Estabilidad del motor.- Datos de funcionamiento son obtenidos bajo condiciones de operación estabilizadas. Cambios bruscos de temperatura deberán evitarse. Para cualquier prueba se deberá cumplir:

- Ningún dato deberá ser leído hasta que el torque, la velocidad y la temperatura estén estables cuando menos un minuto, y no deberá haber cambios importantes en estas unidades durante la prueba.
- No se deberán efectuar ajustes en el motor en el momento de las mediciones.

PRUEBA EN DINAMOMETRO. HOJA DE REGISTRO CALCULOS

FECHA _____ A.S.N.M. _____ TEMP. B. HUMEDO _____ TEMP B. SECO _____ HOJA No _____
 COMBUSTIBLE _____ OCTANAJE _____ DENSIDAD _____ PRUEBA No _____
 MOTOR _____ MODELO _____ No SERIE _____ No CILINDROS _____ DIAMETRO _____ CARRERA _____
 DESPLAZAMIENTO _____ RELACION DE COMPRESION _____ NOMBRE DE LA PRUEBA _____

		RPM																				
PAR	PAR indicado																					
POTENCIA	POTENCIA ind.																					
PRESIONES MEDIAS	Pres. Ind.																					
	Pres. Med.																					
EFICIENCIAS	EFIC. efectiva																					
	EFIC. indicada																					
	EFIC. mecánica																					
GASTOS	GASTO																					
	Gas																					
AIRE	GASTO																					
	CONDICION																					
OTROS																						

CARBURADOR _____ MODELO _____ No SERIE _____ AUT/MAN _____ VENTILADOR _____
 DISTRIBUIDOR _____ MODELO _____ No SERIE _____ AUT/MAN _____ BUJIAS _____
 DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS _____ ACEITE _____ GRADO _____ CAPACIDAD _____
 FILTRO ACEITE _____ ALTERNADOR _____ SILENCIADOR _____ RADIADOR _____
 EQUIPO ESPECIAL _____ OBSERVACIONES _____

Figura 4.3b

PRUEBA N^o 1

Acelerador totalmente abierto como instalado en el vehículo

Objeto de la prueba

El objeto de ésta prueba es representar el funcionamiento del motor como instalado en el vehículo. Se considera la potencia que absorben los aditamentos del motor.

Equipo del motor, ajustes y aditamentos

- Un sistema de escape completo.
- Acelerador totalmente abierto.
- Carburador fijo con ajuste para marcha en vacío.
- Ignición automática. Registrar la posición inicial.
- Temperaturas: Agua de salida 74 ± 15 °C

Aceite del motor (máxima) 121 °C

Procedimiento

1) Se estabiliza una baja velocidad (600 a 900 RPM) y se hacen las mediciones.

2) Hacer mediciones adicionales a incrementos de velocidad de 400 RPM hasta llegar a la velocidad límite.

3) Determinar la potencia de los aditamentos con incrementos de velocidad de 400 RPM hasta la velocidad límite.

Una forma para determinar la potencia de los aditamentos es hacer la prueba con aditamentos y repetirla sin aditamentos, la diferencia será la potencia absorbida por estos. Esta potencia deber ser sumada a la potencia de fricción.

La corrección de los valores observados se pueden hacer de dos maneras:

- A la potencia efectiva se le suma la potencia de fricción, dando así los valores de potencia indicada (ver potencia de fricción).
- Obteniendo un factor de corrección, el cual se multiplica por los valores obtenidos dando así valores corregidos (ver corrección de potencia).

CORRECCION DE POTENCIA.- La presión, humedad y temperatura del aire entregado al motor tienen un efecto definitivo en la potencia del mismo. Por esta razón han sido establecidas condiciones estándar para cada una de estas variables. Factores de corrección son utilizados para corregir los datos observados de potencia. Solamente se corregirán datos de potencia con el acelerador totalmente abierto.

La fórmula para corregir la potencia es la siguiente:

$$\text{pot. indicada/pot. efectiva} = (29.92 / (P_b - P_v))^{*} \sqrt{(T/520)}$$

donde:

P_b = presión barométrica (en pulg de Hg)

P_v = presión del vapor (en pulg de Hg)

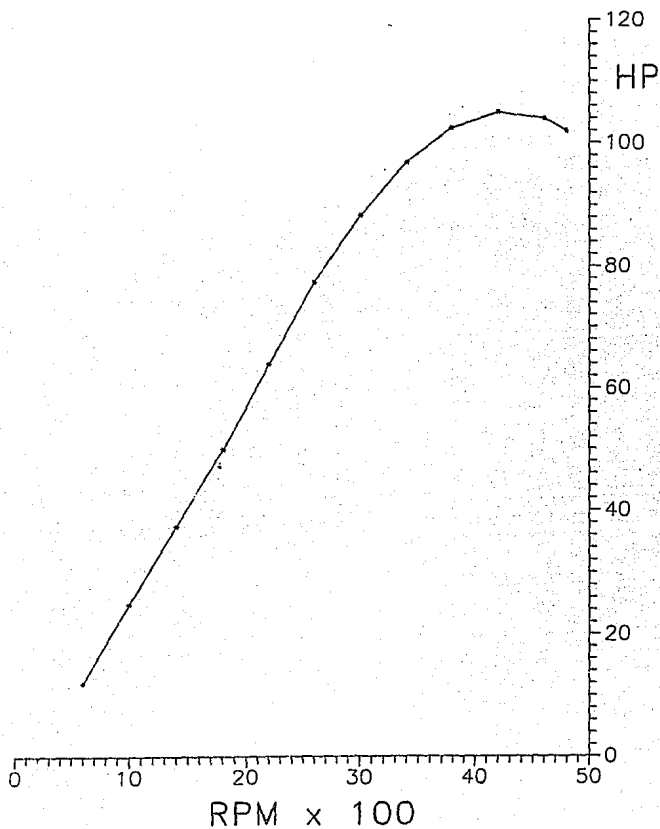
T = temperatura de aire de entrada al carburador (en Rankine)

Potencias en HP

POTENCIA DE FRICCIÓN.- Es la potencia necesaria para mover al motor sin combustible a un determinado número de revoluciones. Esta se puede determinar usando el dinamómetro como elemento motor.

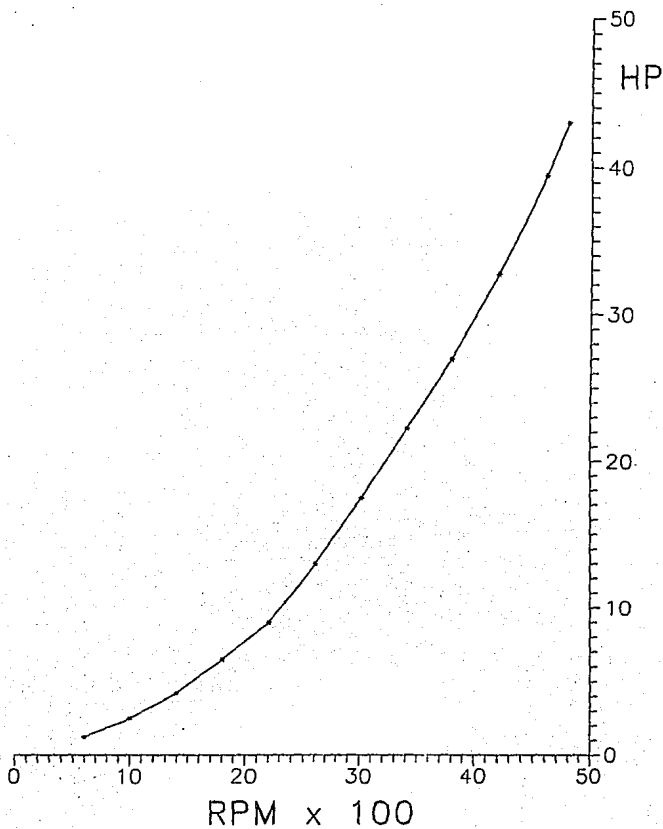
Prueba No 1

Potencia efectiva



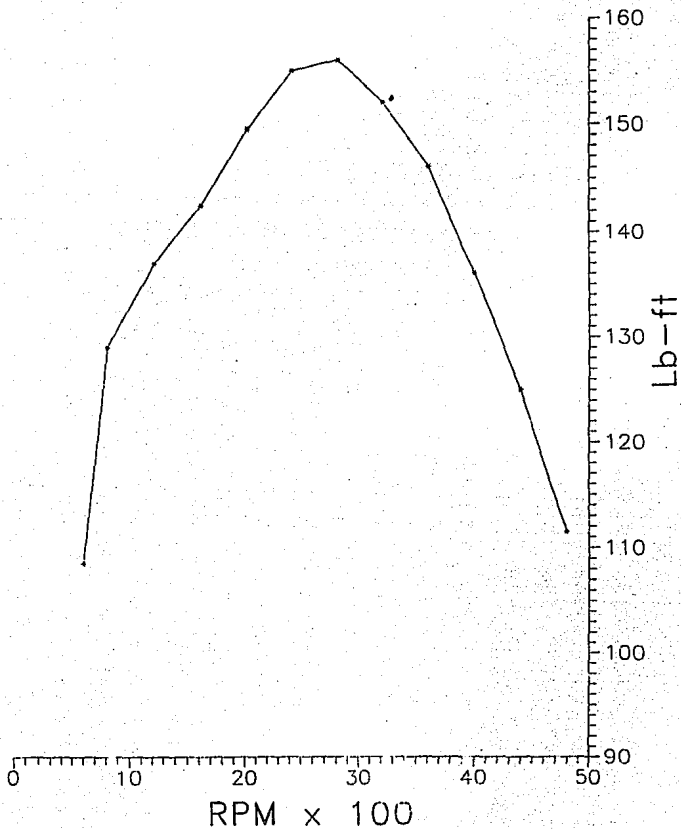
Prueba No 1

Potencia de fricción



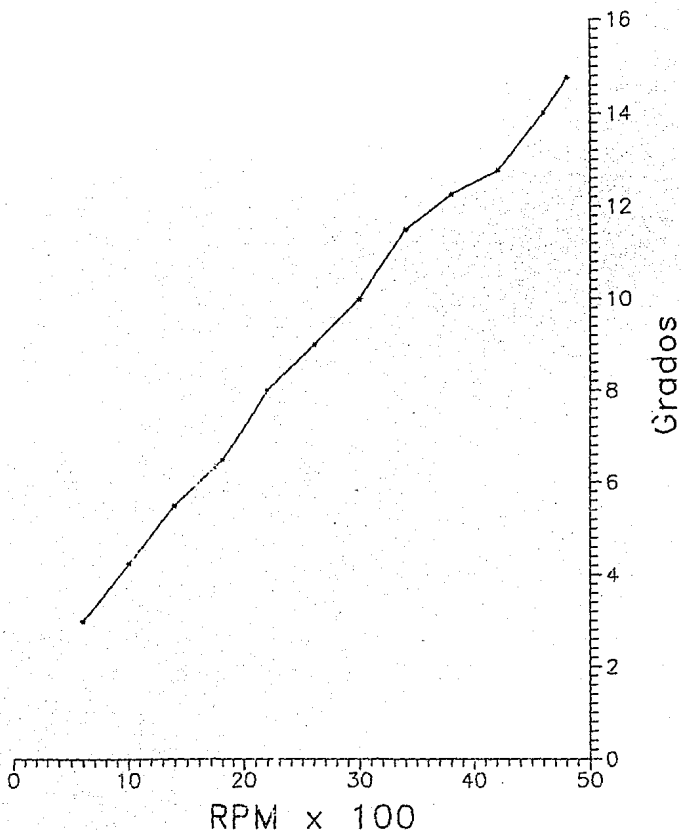
Prueba No 1

Torque



Prueba No 1

Avance del encendido



PRUEBA N^o 2

Sistema de escape

Objeto de la prueba

Esta prueba se realiza para determinar los efectos que el sistema de escape y sus componentes tienen en el motor con el acelerador totalmente abierto. El desarrollo de la prueba depende del objetivo que se persiga, así por ejemplo, si se desea tener una evaluación completa del sistema de escape, deberán efectuarse una serie de pruebas sucesivas, primero con el sistema de escape completo, después sin el tubo de salida, después sin un silenciador, etc, y de esta manera hacer un estudio completo del sistema de escape.

La prueba es efectuada con el encendido ajustado para dar el mínimo avance y así obtener el máximo torque, con el propósito de determinar el efecto del sistema de escape en el punto de máximo torque.

Equipo del motor, ajustes y aditamentos

- Sistema de escape completo en la primera prueba, en las sucesivas ir retirando una a una las partes de este.
- Acelerador totalmente abierto.
- Carburador fijo con ajuste para marcha en vacío.

- Ignición manual (para lograr el máximo torque).
- Temperaturas: Agua de salida 74 ± 5 °C

Aceite del motor (máxima) 121 °C

Procedimiento

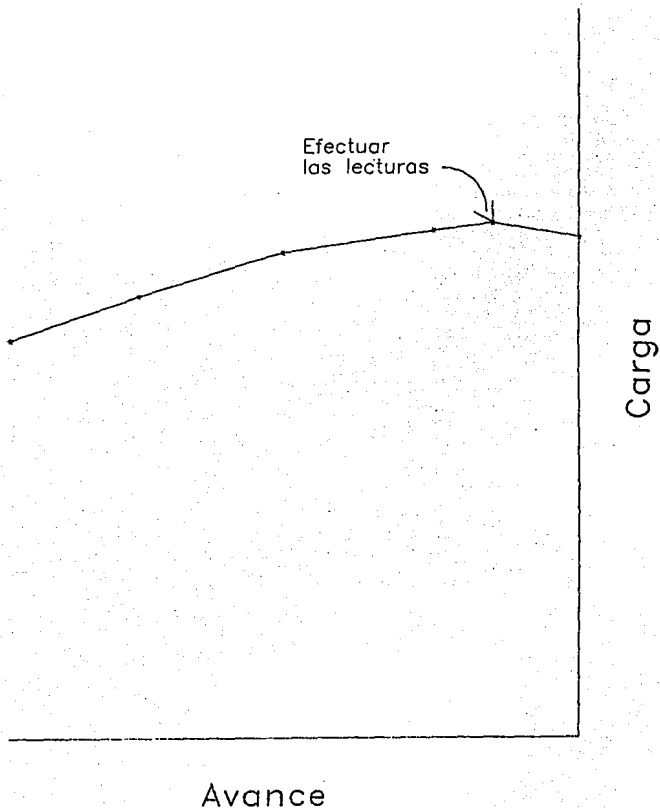
Para cada sistema de escape seguir los siguientes pasos:

- 1) Estabilizar la velocidad del motor en marcha ralenti, teniendo el avance de encendido retrasado con respecto al punto de avance de encendido de máximo torque.**
- 2) Observar el torque.**
- 3) Avanzar el encendido dos grados y observar el torque.**
- 4) Repetir esta operación hasta que un avance de dos grados no muestre ninguna mejora en el torque.**
- 5) Retrasar un grado checando que la velocidad y el torque no hayan cambiado y efectuar la primera lectura.**

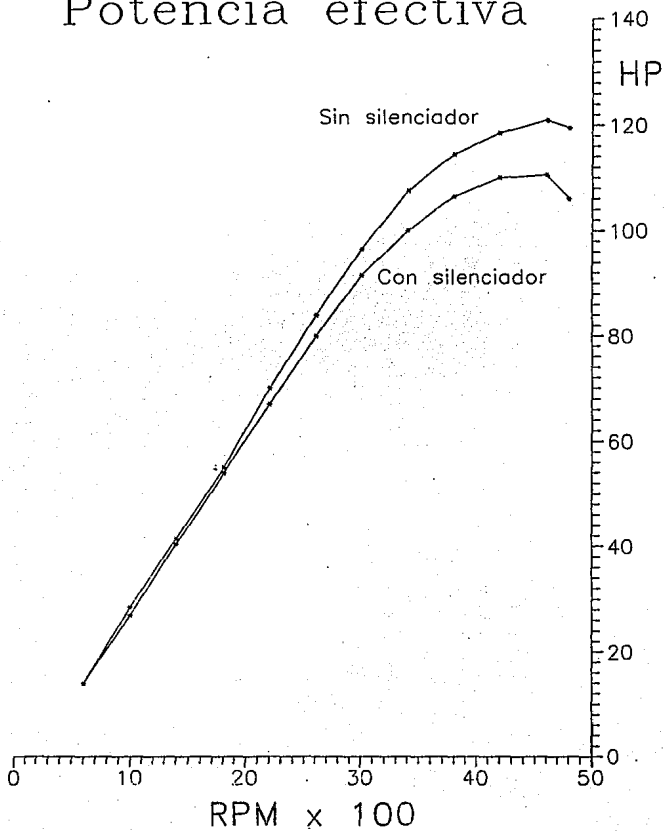
6) Repetir esta operación para cada incremento de velocidad hasta la velocidad límite.

Prueba No 2

Procedimiento

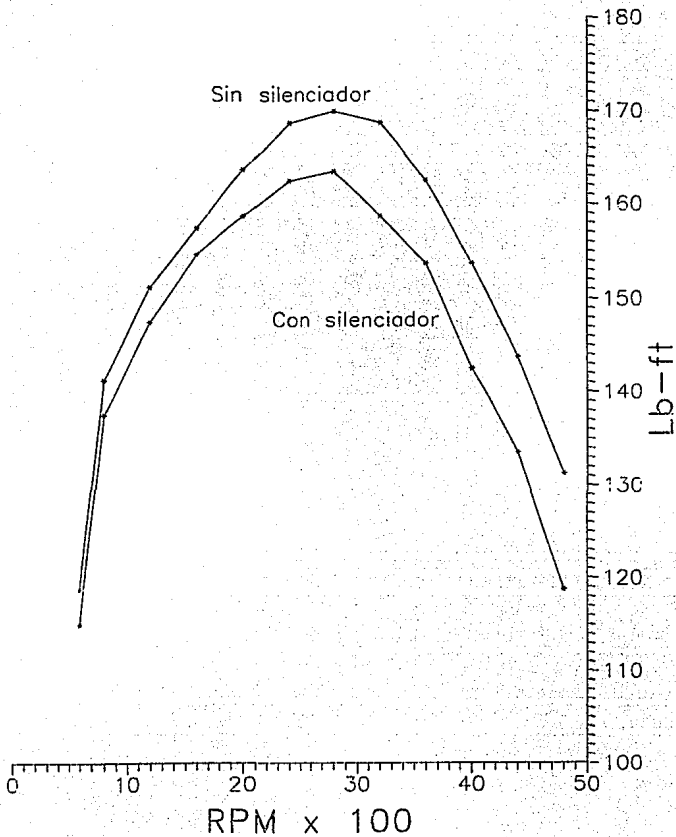


Potencia efectiva



Prueba No 2

Torque



PRUEBA N° 3

Potencia a plena carga

(con mínimo avance y carburador fijo)

Objeto de la prueba

Esta prueba es efectuada con el objeto de obtener la potencia a plena carga, carburador fijo y con el avance de encendido en el punto mínimo para lograr el máximo torque, representando así el rendimiento de una planta de potencia comercial, antes de adicionarle el control automático de avance. No se recomienda establecer el consumo de combustible en esta prueba, pero si puede ser usada para comparar las características de consumo de combustible.

Equipo del motor, ajustes y aditamentos

- El sistema de escape normal es opcional, se puede usar completo o las partes que convengan.
- Acelerador totalmente abierto.
- Carburador fijo con ajuste para marcha en vacío.
- Encendido manual.
- Temperaturas: Agua de salida 74 ± 5 °C

Aceite del motor (máxima) 121 °C

Procedimiento

1) Estabilizar la velocidad del motor en marcha ralenti, teniendo el avance de encendido retrasado con respecto al punto de avance de encendido de máximo torque.

2) Observar el torque.

3) Avanzar el encendido dos grados y observar el torque.

4) Repetir esta operación hasta que un avance de dos grados no muestre ninguna mejora en el torque.

5) Retrasar un grado checando que la velocidad y el torque no hayan cambiado y efectuar la primera lectura.

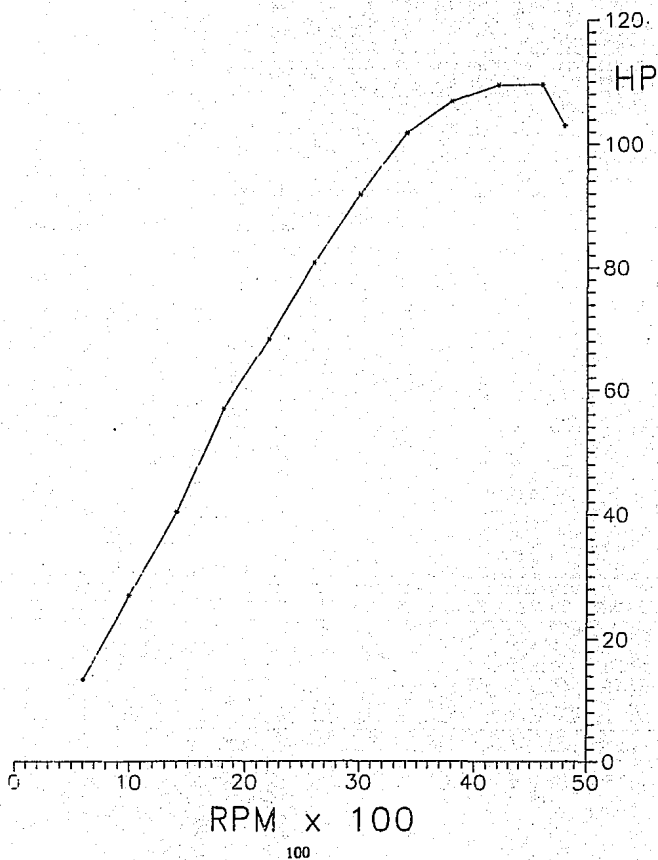
6) Repetir esta operación para cada incremento de velocidad hasta la velocidad límite.

Nota: La eficiencia mecánica es representativa de las pérdidas por fricción en el motor, ésta se puede obtener de la siguiente manera:

$$\eta_m = \text{Pot. efectiva} / \text{Pot. Indicada} = \text{Pot. efectiva} / (\text{Pot. efectiva} + \text{Pot. fricción})$$

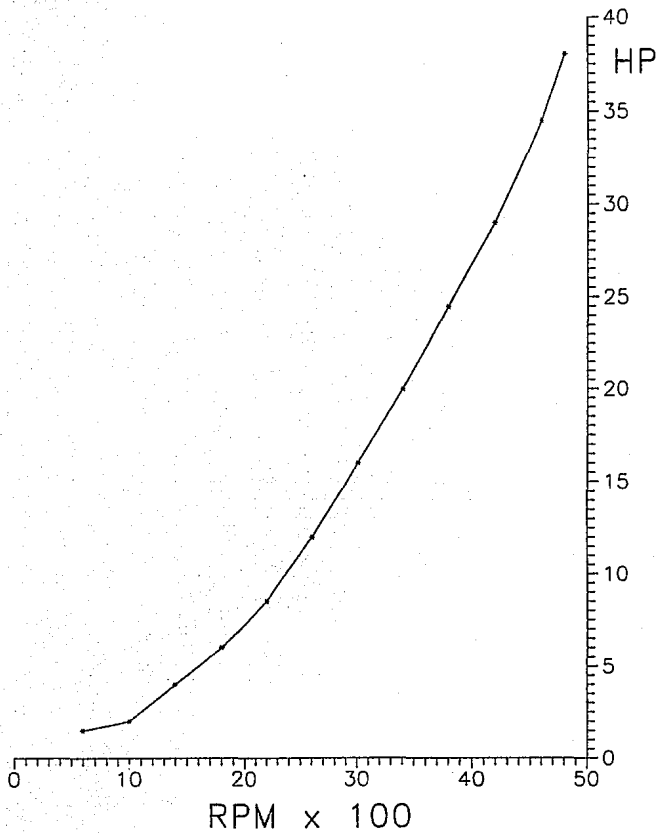
Prueba No 3

Potencia efectiva



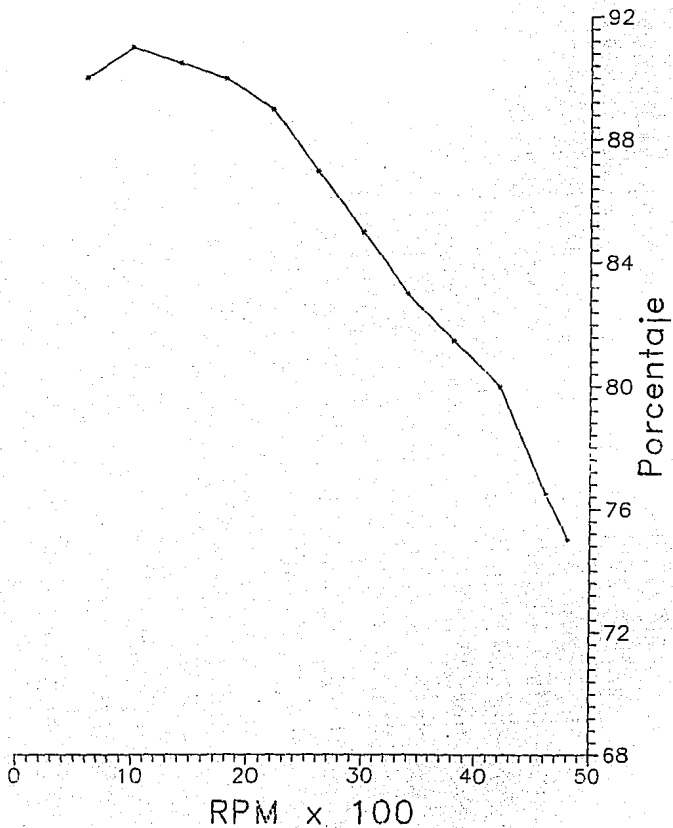
Prueba No 3

Potencia de fricción



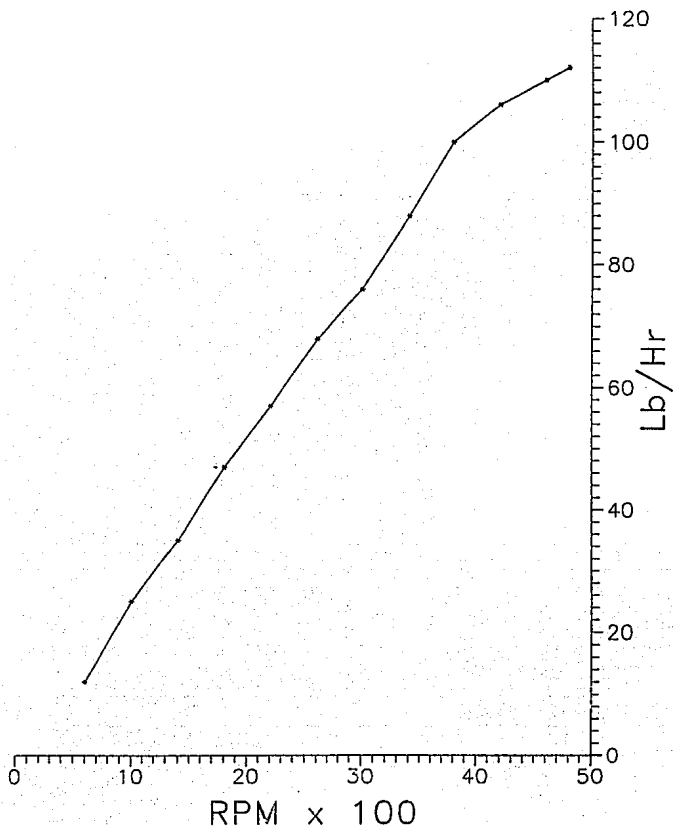
Prueba No 3

Eficiencia mecánica



Prueba No 3

Gasto de combustible



APENDICE

A continuación, y como complemento a este trabajo, se presentan los cálculos del análisis para el sistema hidráulico del dinamómetro instalado en el laboratorio.

Los cálculos se realizarán en base al diagrama "alimentación hidráulica para dinamómetro", el cuál presenta el circuito de tuberías de alimentación y descarga del dinamómetro.

Los cálculos se realizarán según el equipo ya instalado. Este equipo es: tubería de succión con diámetro de 1", bomba centrífuga marca "Yacuzzi" de 5HP, tubería de descarga de la bomba hasta reducción antes de dinamómetro y tubería de reducción después del dinamómetro hasta torre de enfriamiento de 3/4" y tubería de entrada al dinamómetro y tubería de salida del dinamómetro de 1/2" (ver diagrama). Toda la tubería es de cobre.

En lo que se centra el análisis es en ver si la bomba cumple con los requerimientos de gasto y presión necesarios para la operación del dinamómetro (ver pág 54 "características técnicas"). Para esto se calcularán las pérdidas en el sistema y se determinará el funcionamiento de la bomba.

DATOS:

$$Q := 30 \text{ gpm}$$

$$D_{\text{succ}} := 0.0254 \cdot \text{m}$$

$$D_{\text{desc1}} := 0.01905 \cdot \text{m}$$

$$D_{\text{desc2}} := 0.0127 \cdot \text{m}$$

Rugosidad en cobre

$$\epsilon := 1 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m}$$

Viscosidad cinemática

$$\tau := 0.804 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$$

Gravedad

$$g := 9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$$

$$Q := \frac{30 \cdot 3.785 \text{ m}^3}{1000 \cdot 60 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.0018925 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

EN LA SUCCION $D_{\text{succ}} = 0.0254 \text{ m}$

$$V := \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_{\text{succ}}^2}$$

$$V = 3.735 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$R := \frac{V \cdot D_{succ}}{\tau}$$

$$R = \underline{\underline{117992.999}}$$

$$f := \frac{1.325}{\left[\ln \left[\frac{\epsilon}{3.7 \cdot D_{succ}} + \frac{5.74}{R} \right] \right]^2}$$

$$f = \underline{\underline{0.01752}}$$

CARGAS

En el tubo
 $Lt := 1.56 \cdot m$

$$H_{tubo} := f \cdot \left[\frac{Lt}{D_{succ}} \right] \cdot \left[\frac{V}{2 \cdot g} \right]^2$$

$$H_{tubo} = \underline{\underline{0.765 \cdot m}}$$

En el codo
 $Kcodo := 0.5$

$$H_{codo} := Kcodo \cdot \left[\frac{V}{2 \cdot g} \right]^2$$

$$H_{codo} = \underline{\underline{0.355 \cdot m}}$$

En la pichancho
Kpich := 2

$$H_{pich} := K_{pich} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot V}{2 \cdot g}}$$

$$H_{pich} = 1.422 \cdot \text{m}$$

De elevación

$$H_{elev1} := 0.5 \cdot \text{m}$$

$$H_{totalsucc} := H_{tubo} + H_{codo} + H_{pich} + H_{elev1}$$

$$H_{totalsucc} = 3.042 \cdot \text{m}$$

EN LA DESCARGA Ddesc1=0.01905m

$$V := \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_{desc1}^2}$$

$$V = 6.64 \cdot \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$R := \frac{V \cdot D_{desc1}}{\tau}$$

$$R = 157323.999$$

$$f := \frac{1.325}{\left[\ln \left[\frac{\epsilon}{3.7 \cdot D_{desc1}} + \frac{5.74}{R} \right] \right]^2}$$

$$f = 0.01669$$

CARGAS

En el tubo
 Lt := 15.3·m

$$H_{tubo} := f \cdot \left[\frac{Lt}{D_{desc1}} \right] \cdot \left[\frac{v^2}{2 \cdot g} \right]$$

$$H_{tubo} = 30.115 \cdot m$$

En los codos
 Kcodos := 0.53
 n := 14 codos

$$H_{codos} := n \cdot K_{codos} \cdot \left[\frac{v^2}{2 \cdot g} \right]$$

$$H_{codos} = 16.673 \cdot m$$

En la válvula de globo
 Kválvula := 1.05

$$H_{válvula} := K_{válvula} \cdot \left[\frac{v^2}{2 \cdot g} \right]$$

$$H_{válvula} = 2.359 \cdot m$$

De elevación

$$\text{Helev} := 0 \cdot \text{m}$$

$$\text{Htotaldesc1} := \text{Htubo} + \text{Hcodos} + \text{Hválvula} + \text{Helev}$$

$$\text{Htotaldesc1} = 49.148 \cdot \text{m}$$

EN LA DESCARGA $D_{\text{desc2}} = 0.0127 \text{m}$

$$V := \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_{\text{desc2}}^2}$$

$$V = 14.94 \cdot \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$R := \frac{V \cdot D_{\text{desc2}}}{\tau}$$

$$R = 235985.999$$

$$f := \frac{1.325}{\left[\ln \left[\frac{\epsilon}{3.7 \cdot D_{\text{desc2}}} + \frac{5.74}{R \cdot 0.9} \right] \right]^2}$$

$$f = 0.0158$$

CARGAS

En el tubo
Lt := 3.42·m

$$H_{\text{tubo}} := f \cdot \left[\frac{L_t}{D_{\text{desc}}^2} \right] \cdot \left[\frac{v^2}{2 \cdot g} \right]$$

$$H_{\text{tubo}} = \underline{\underline{48.369 \cdot \text{m}}}$$

En los codos
Kcodos := 0.6
n := 6 codos

$$H_{\text{codos}} := n \cdot K_{\text{codos}} \cdot \left[\frac{v^2}{2 \cdot g} \right]$$

$$H_{\text{codos}} = \underline{\underline{40.953 \cdot \text{m}}}$$

En la reducción
Kreducc := 0.23

$$H_{\text{reducc}} := K_{\text{reducc}} \cdot \left[\frac{v^2}{2 \cdot g} \right]$$

$$H_{\text{reducc}} = \underline{\underline{2.616 \cdot \text{m}}}$$

En el ensanchamiento
Kensanch := 0.3

$$H_{\text{ensanch}} := K_{\text{ensanch}} \cdot \left[\frac{v^2}{2 \cdot g} \right]$$

$$H_{\text{ensanch}} = \underline{\underline{3.413 \cdot \text{m}}}$$

De elevación

$$H_{\text{elev}} := \underline{\underline{2.4 \cdot \text{m}}}$$

Htotaldesc2 := Htubo + Hcodos + Hreducc + Hensanch + Helev

Htotaldesc2 = 97.75·m

Htotaldesc := Htotaldesc1 + Htotaldesc2

Htotaldesc = 146.898·m

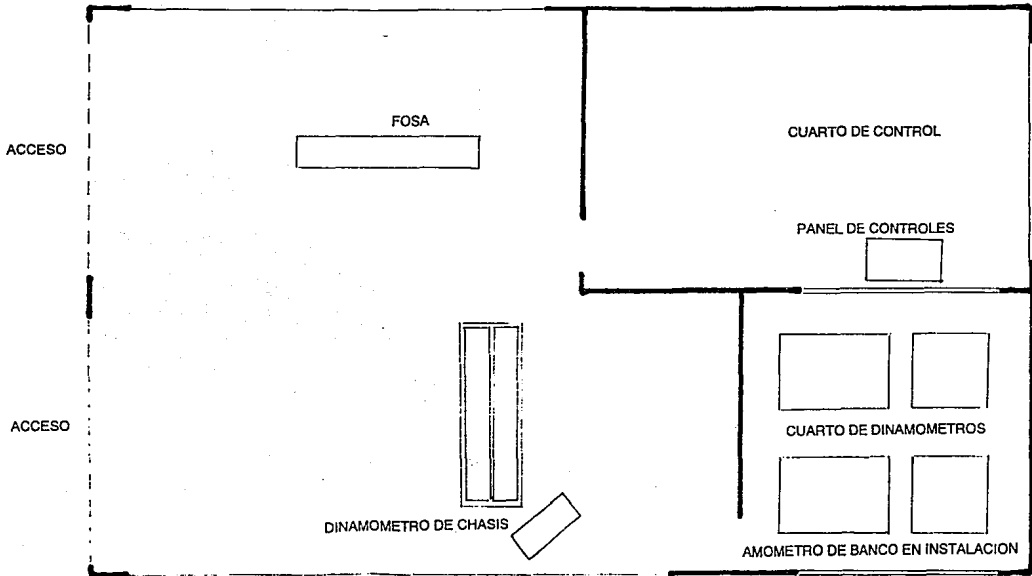
HTOTAL := Htotalsucc + Htotaldesc

HTOTAL = 149.94·m

Para entrar en la gráfica

Q=130 lit/min
HTOTAL=500 ft

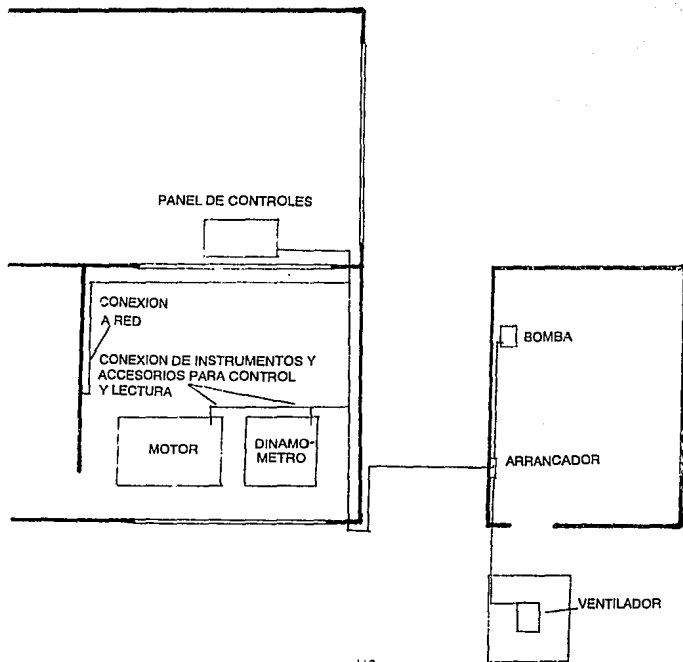
Para que se pueda aumentar el gasto hasta 200 lit/min
(54 gpm) manteniendo esta carga se recomienda la bomba
marcada como 10HF6A15



LABORATORIO DE EMISIONES

DIAGRAMA ELECTRICO

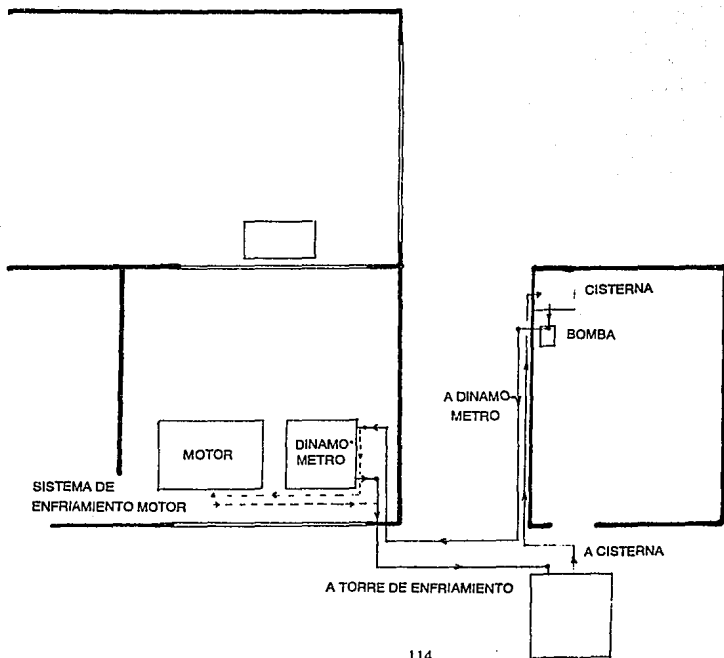
DINAMOMETRO DE BANCO



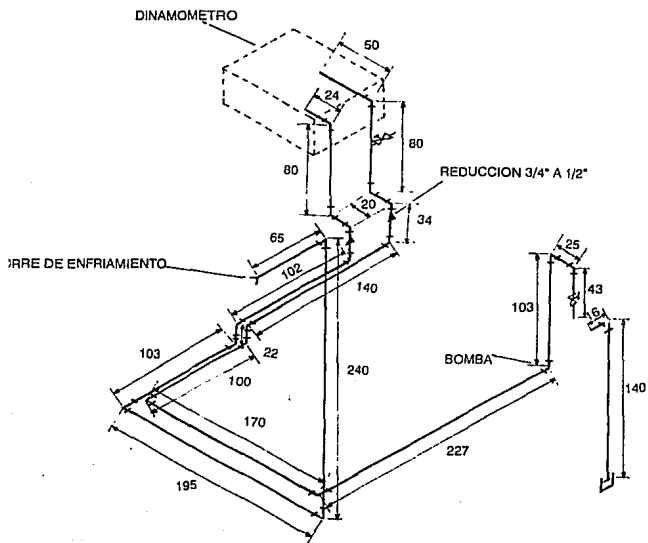
LABORATORIO DE EMISIONES

DIAGRAMA HIDRAULICO

DINAMOMETRO DE BANCO



LABORATORIO DE EMISIONES ALIMENTACION HIDRAULICA PARA DINAMOMETRO



ELECTROBOMBAS CENTRIFUGAS

3450 R. P. M. 60 CICLOS

SERIE D TABLA DE RENDIMIENTOS

BOMBA MODELO	C. de F.	CARGA DINAMICA TOTAL (Incluyendo Fricción) EN METROS (Pies)													Carga Máxima en Metros			
		Medida de la Succión cms. (Pulg.)	Medida de la Descarga cms. (Pulg.)	6.1	9.1	12.2	15.2	18.3	21.3	24.4	27.4	30.5	36.6	38.6		42.7	45.7	
		Capacidad en L. P. M. al Nivel del Mar o Cerca de él																
5DM3	8	7.62 (31")	7.62 (31")	1382	1211	1041	739											
75DM3	7 1/2			1457	1041	1236	1154	965	606									
10DM3	10						1514	1438	1325	1174	946	322						
15DM3	15													1552	1382	1136		
5DM4	5	10.16 (40")	10.16 (40")	1968	1741	1438	1476	189										
75DM4	7 1/2			1893	1665	1325	1828											
10DM4	10					2044	1855	1580	1287	832								
15DM4	15					2063	2044	1948	1853	1741	1514	1098	826					

BOMBA MODELO	C. de F.	CARGA DINAMICA TOTAL (Incluyendo Fricción) EN METROS (Pies)													Carga Máxima Metros				
		Medida de la Succión cms. (Pulg.)	Medida de la Descarga cms. (Pulg.)	18.3	21.3	24.4	27.4	30.5	33.5	36.6	38.6	39.8	41.1	42.7					
		Capacidad en L. P. M. al Nivel del Mar o Cerca de él																	
15DL1	1-1/2	3.81 (1-1/2")	2.54 (11")	216	204	182	155	117	57								35.0		
M15DL1	1-1/2								132	83	22							38.4	
2DL1	2							204	182	148	102								39.8
H2DL1	2										147	132	113	90	60				44.2

BOMBA MODELO	CARGA DINAMICA TOTAL (Incluyendo Fricción) EN METROS (Pies)																Carga Máxima Metros					
	27.4	30.5	36.6	38.6	42.7	45.7	48.8	54.8	61	67.1	73.2	79.2	85.3	91.4	97.5	103.6		109.7	115.8	121.9		
	Capacidad en L. P. M. al Nivel del Mar o Cerca de él																					
5HDL1																				56.9		
75HDL1						276	246	112			295	253	136							78.2		
10HDL1														230	253	136				94.5		
5DL1 1/4	482	454	390	370	211	82														47.2		
75DL1 1/4					482	461	421	383	272	68											62.5	
10DL1 1/2									537	472	262										71.64	
15DL1 1/2										575	567	541	481	264							84.51	
15DL2	1164	1118	1060	984	827	851	775	529													54.87	
20DL2		1248	1230	1129	1154	1116	1021	851	642													70.1
25DL2					1362	1324	1305	1248	1154	1078	127	738										85.3
30DL2									1362	1324	1207	1211	1116	1021	810	624						94.5
40DL2												1382	1394	1296	1211	1125	1021	851	805			118.8

NOTA: Para convertir de litros a galones por minuto multiplíquese por 0.2642.

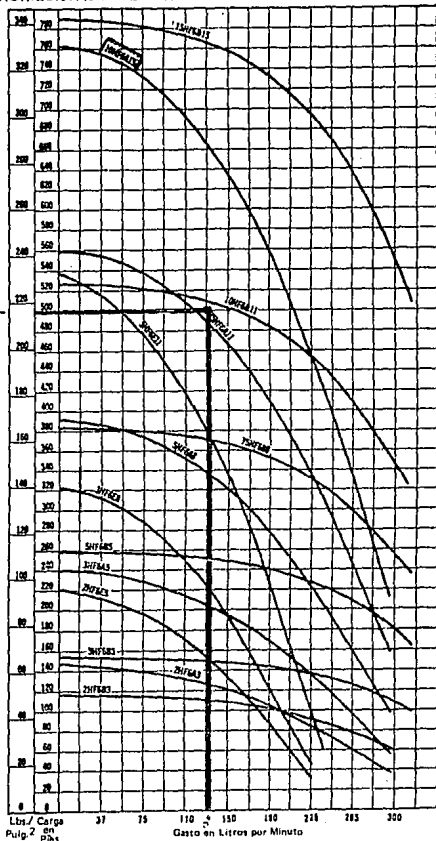
SECCION 300
PAGINA 2
EFECTIVA: FEB. 15 DE 1983
CANCELA: NOV. 16 DE 1973

JACUZZI - UNIVERSAL, S. A.
MONTERREY, N. L.





BOMBAS HORIZONTALES DE VARIOS PASOS HYDROFLEX SERIE HF6 3450 R.P.M.



NOTA:
 Para convertir Lbs./Pulg.² en
 kilos/cm.² multiplíquese por
 0.703
 Para convertir Pies en Metros
 multiplíquese por 3.048

Lbs./Carga
 en
 Pulg.²

Gasto en Litros por Minuto

CONCLUSIONES

La investigación y desarrollo en motores de combustión interna es de gran importancia porque las tendencias a corto y mediano plazo parecen indicar que este tipo de motores no será desplazado. Por esto mismo se tendrá que investigar y experimentar profundamente en ellos para lograr avances que logren aliviar el consumo de combustibles derivados del petróleo, la emisión de gases contaminantes y mejorar la baja eficiencia térmica.

Dada la gran escasez de energéticos y el rápido aumento en los niveles de contaminación, investigaciones encaminadas a resolver estos problemas deberían de tener prioridad y mucho impulso para lograr que fuentes energéticas que disminuyen rápidamente se puedan utilizar de manera más eficaz.

Las grandes firmas automotrices y la industria petroquímica tendrán que investigar mucho dentro de este campo, ya que si se quiere que en el futuro este tipo de motores siga siendo una fuerte competencia frente a otras fuentes de energía motriz (motor eléctrico, turbina de gas, etc.) y que las reservas petroleras en el mundo se utilicen racionalmente, se tendrán que mejorar mucho las características de los motores de combustión interna.

Con estas perspectivas se deberán tomar decisiones que impliquen soluciones inmediatas y prevenciones al problema de la contaminación y al abastecimiento de materiales para la construcción de motores y vehículos, entre otros, de la misma

forma en que lo han venido haciendo otros países desde hace muchos años mediante centros de investigación y desarrollo (I+D). Si por un lado es difícil que nuestro país llegue a niveles de vanguardia en el diseño en un futuro más o menos previsible, es aún más cierto que se tiene una necesidad urgente de desarrollar tecnología propia en un mayor número de campos del conocimiento ante el panorama de un mundo libre de fronteras. De lo contrario, se agravará aún más nuestra situación de dependencia.

Bajo esta perspectiva, un centro de investigación sobre motores reviste gran importancia, no sólo por el grave problema de la contaminación, sino porque puede llegar a convertirse en una institución importante, sobresaliente en la vida del país.

Para lograr avances importantes en cualquier campo lo primero es conocer e investigar el o los problemas a fondo y proponer soluciones coherentes llevándolas a la práctica; en casos como el que se trata es de gran importancia proyectar centros de investigación, y la parte central para uno de estos centros es el banco dinamométrico (o banco de pruebas), en el cual se realizan estudios para conocer y así poder resolver problemas relacionados al motor.

La concepción y el diseño de dicho banco de pruebas obedece, casi por lo general, a necesidades bien determinadas. Un banco dinamométrico es implementado con el fin de realizar pruebas o experimentos específicos, de modo que su instrumentación y todos los sistemas con que cuenta están destinados a un solo propósito. Es decir, es utilizado para realizar las pruebas de un proyecto que persigue un objetivo fijado con anterioridad.

En el caso del laboratorio de control de emisiones, la finalidad del banco de pruebas fue concebida de manera muy general. Si bien la intención principal se centró en el ensayo del motor de combustión interna alternativo con el fin de caracterizarlo (obtener su respuesta en cuanto a potencia, eficiencias, emisiones, etc., bajo diversas condiciones), se precisó también que el banco debería de ser multifuncional, esto es, que sirviera para distintos tipos de motores y distintos tipos de pruebas, lo que obliga a contar con sistemas flexibles que respondan adecuadamente en cada caso.

Al realizar la instalación del dinamómetro, se encontraron dos grandes limitantes. La primera se refiere al hecho de tener que implementar la instalación sobre estructuras ya existentes y, en algunos casos, no terminadas, lo que provocó que el "diseño" se realizara sobre la marcha de los trabajos. La segunda limitación concierne al abastecimiento de los materiales, equipos y herramientas necesarios para ensamblar los diferentes sistemas involucrados, desde tubería de cobre hasta arrancadores eletromagnéticos, lo cual significa tener que trabajar con lo que se cuenta en el momento, y que al final obligó a terminar únicamente ciertas partes de la instalación.

De cualquier forma, los sistemas con que se cuenta hasta ahora para el banco de pruebas funcionan satisfactoriamente y cubrirán adecuadamente las necesidades de operación futuras.

BIBLIOGRAFIA

- BAUMEISTER T. y MARX L.

Manual del ingeniero mecánico

Editorial UTHEA.

- DINAMOMETRO HIDRAULICO CLAYTON CAM 250-E

Manual del Dinamómetro e Instrumentos de Lectura.

- GIACOSA DANTE

Motores Endotérmicos

Editorial Omega.

- PAYRI FRANCISCO

Motores de Combustión Interna Alternativos

Universidad Politécnica de Valencia.

- ROMO RUIZ VICTOR M.

Pruebas Básicas de Laboratorio en Motores de 4 tiempos

Tesis U.N.A.M.

- SEVERNS W.H., DEGLER H.E. y MILES J.C.

Energía Mediante Vapor, Aire o Gas

Editorial Reverté.

- WHITE FRANK

Mecánica de Fluidos

Editorial Mc Graw Hill.

- ZANDOVAL ZAMBRANO JOSE M.

Operación de Dinamómetros Aplicado a Motores de Combustión Interna

Tesis U.A.G.