

DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBA PARA MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

Diego Fernando Camacho Gómez (1), José Manuel Riesco Ávila (2)

1 Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Universidad Industrial de Santander | Dirección de correo electrónico: dfcamacho.9@gmail.com

2 Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: riesco@ugto.mx

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño de un banco de pruebas de combustión interna y tiene la finalidad de medir y registrar la información necesaria para determinar las condiciones de operación del motor, como el par, el flujo de aire y el consumo de combustible a diferentes velocidades y porcentajes de carga con el fin de determinar sus curvas características. El diseño se basa en seleccionar los componentes electrónicos (hardware y software) capaces de medir las propiedades físicas del motor y diseñar los diferentes mecanismos (eléctricos, mecánicos, neumáticos e hidráulicos) que sean capaces de mantener un régimen de velocidad del motor para evaluar las prestaciones de este y por ende, registrar sus parámetros a diferentes revoluciones. De esta manera se obtiene una fuente confiable para evaluar las condiciones operativas del motor, logrando hacer pruebas controladas y bajo estas circunstancias y con la información suministrada durante los ensayos, que son pruebas determinantes del comportamiento que tienen los motores, se pueda establecer que los motores de combustión interna pueden ser operados bajo las condiciones más cercanas a las ideales, obteniendo así una reducción en el consumo de combustible y un óptimo aprovechamiento de la potencia que pueda desarrollar el motor.

Abstract

This paper presents the design of a test of internal combustion engines and is intended to measure and record the information required to determine the operating conditions of the engine, and torque, air flow and consumption fuel at different speeds and load percentages order to determine their characteristic curves. The design is based on selecting the electronic components (hardware and software) able to measure the physical properties of engine and and design the different mechanisms (electrical, mechanical, pneumatic and hydraulic) that are able to maintain a constant engine speed regime to evaluate the performance of this and thus register their parameters at different speeds. This way you get a reliable source to evaluate the operating conditions of the engine, achieving do controlled tests and under these circumstances and with the information provided during the trials, which are decisive evidence of behavior that have the engines, it can be established that the internal combustion engine can be operated under the closest to the ideal conditions, thus obtaining a reduction in fuel consumption and optimum utilization of the power that can develop the engine.

Palabras Clave

Freno dinamométrico; bomba de desplazamiento variable, válvula de estrangulamiento, circuito hidráulico, sensor

INTRODUCCIÓN

Debido a que en la mayor parte de las aplicaciones, los motores de combustión interna tienen que hacer frente a condiciones operativas variables, es necesario conocer su comportamiento. Es por esto que se han creado diferentes tipos de mecanismos para hacer pruebas controladas, donde se puede medir y registrar la información necesaria para poder determinar cuáles son las condiciones óptimas de operación. Bajo estas circunstancias y con la información obtenida durante los ensayos, que son pruebas concluyentes del comportamiento que tendrán los motores, se puede establecer que los motores de combustión interna pueden ser operados bajo las condiciones más cercanas a las ideales, obteniendo así una reducción en el consumo de combustible y un óptimo aprovechamiento de la potencia que puedan desarrollar. El objetivo de este proyecto es diseñar un banco de pruebas capaz de medir los parámetros característicos de operación de los motores de combustión interna alternativos, como el par al freno, consumo de combustible y flujo de aire, a diferentes velocidades y porcentaje de carga, con el fin de determinar sus curvas características.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Laboratorio de Termofluidos de la DICIS cuenta con un motor de encendido provocado Slant Six de Chrysler de 6 cilindros en línea los cuales están inclinados en un ángulo de 30° desde la vertical, lo cual traduce en menor altura, un centro de gravedad más abajo y mantenimiento más sencillo.

Para el diseño del dinamómetro hidráulico, se deben tener algunas especificaciones del motor como el torque y potencia máximas ya que con estos datos se dimensiona el sistema hidráulico capaz de absorber la energía del motor.

Características del motor.

El motor es un modelo 225 con una relación de compresión de 8.2 a 1, pero no se sabe con

certeza cual son sus valores de torque y potencia. Para ello se investigó y en la siguiente tabla se especifican estos valores en relación con el año de fabricación.

Tabla 1: especificaciones del motor.

Año Disponible	Caballos de fuerza @ RPM	Torsión (lb-ft) @ RPM
1972	110 @ 4000	185 @ 2000
1973	105 @ 4000	185 @ 1600
1974	105 @ 3600	180 @ 1600
1975	95 @ 3600	170 @ 1600
1976	100 @ 3600	170 @ 1600

Diseño del sistema hidráulico.

Para la obtención de las curvas de desempeño, en relación con la velocidad de rotación del motor, la potencia, el torque y consumo de combustible, se presenta un diagrama funcional en convenciones internacionales (imagen 1) del dinamómetro con su sistema hidráulico y sus conexiones, capaz de determinar estos parámetros.

Como parámetro de diseño, es preferible que el sistema trabaje a presión máxima de 5000 psia y un flujo inferior a 100 gpm, ya que la mayoría de accesorios y válvulas operan a valores inferiores a éstos.

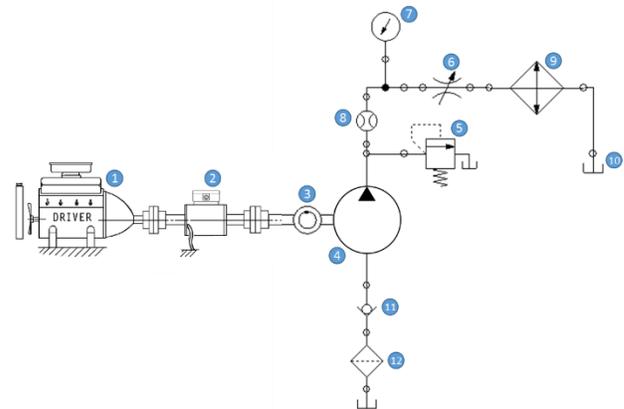


IMAGEN 1: Esquema banco de pruebas para M.C.I.

Los elementos que componen el sistema para toma de datos y el freno hidráulico son los siguientes.

1. Motor de combustión interna de prueba.
2. Torquímetro.
3. Tacómetro análogo.
4. Bomba hidráulica fija unidireccional.
5. Válvula de seguridad.
6. Válvula de estrangulamiento proporcional.
7. Indicador de presión.
8. Caudalímetro.
9. Intercambiador de calor.
10. Tanque.
11. Válvula anti-retorno.
12. Filtro.

Para la selección de los componentes hidráulicos, es necesario establecer los valores nominales de torque y potencia máximas a determinadas revoluciones del motor, ya que con estos valores se escoge la bomba más apropiada capaz de soportar la carga del motor y una vez definida esta, se escogen las válvulas y demás accesorios del circuito hidráulico.

Selección de la bomba.

Cuando se considera una bomba hidráulica, los siguientes factores son evaluados:

Desplazamiento: normalmente están clasificadas por su desplazamiento geométrico o carrera de bombeo. Este es un valor teórico que es el 100 % de la capacidad de la bomba sin deslizamiento ni pérdidas.

Especificación de presión: las bombas están generalmente determinadas por la máxima presión de operación. Con frecuencia una bomba está determinada por dos presiones (continua e intermitente).

Velocidad: la mayoría de bombas operan entre velocidades mínimas y máximas. Valores por fuera de este rango no son deseables si se desea una óptima operación.

Existen otras especificaciones, pero las mencionadas anteriormente son las más importantes, ya que se desea que el sistema hidráulico opere sin inconvenientes a diferentes requerimientos del motor.

Fórmulas básicas.

El fabricante suministra algunas ecuaciones para facilitar la selección de la bomba. Estas ecuaciones son desarrolladas por la lógica de la máquina.

$$Q_b = C_b n_b \eta_{vb} < Q_{nb} = C_b n_1$$

$$\eta_{tb} = \eta_{mb} * \eta_{vb}; \eta_{vb} = \frac{Q_b}{Q_{nb}}; \eta_{mb} = \frac{T_b}{T_{nb}}$$

$$T_b = C_b \Delta P \eta_{mb} < T_{nb} = T_{MCI}$$

$$N_b = \eta_{tb} N_{MCI}$$

$$N_b = Q_b \Delta P$$

$$Q_1 = C_b n_b (1 - \eta_{vb})$$

$$\dot{Q}_f = Q_1 \Delta P$$

donde

Q_b = caudal de entrega. Q_{nb} = caudal nominal

n_b = velocidad de la bomba

C_b = desplazamiento o capacidad

η_{vb} = eficiencia volumétrica

η_{mb} = eficiencia mecánica

η_{tb} = eficiencia total o global

T_b = torque real de la bomba

N_b = potencia de consumo

Q_1 = caudal de pérdidas

\dot{Q}_f = calor disipado

ΔP = cambio de presión

Selección de válvulas y accesorios.

Una vez seleccionada la bomba y establecidos los valores máximos de presión y flujo suministradas por esta, se seleccionan del catálogo del fabricante la válvula de estrangulación proporcional, la válvula de seguridad, los filtros, las mangueras y demás accesorios inherentes al circuito hidráulico.

Tanque hidráulico.

El tanque es el dispositivo donde se realiza el llenado y vaciado del fluido hidráulico, también sirve como elemento disipador de calor, para ello es necesario que el aceite tenga un tiempo de

residencia mínimo en el tanque que va de 2 a 4 minutos. Así, en función del caudal de la bomba se puede diseñar el volumen del tanque. A continuación se muestran las fórmulas para el cálculo de este dispositivo.

$$V_{tanque} = [2 - 4]Q_b$$

$$V_{tanque} = b * h * l$$

$$A = 2bh + 2hl + lb$$

$$\dot{m} = Q_b \rho$$

$$T_{out} = \frac{T_{in}(2\dot{m}C_p - UA) + 2UAT_{air}}{2\dot{m}C_p + UA}$$

$$\dot{Q}_f = \dot{m}C_p(T_{in} - T_{out})$$

donde:

V_{tanque} = volumen del tanque

b = base; h = altura; l = profundidad.

A = área efectiva de transferencia de calor

U = coeficiente global de T. de C.

\dot{m} = flujo másico.

C_p = calor específico

T_{out} = temperatura del aceite a la salida del tanque

T_{in} = temperatura del aceite a la entrada del tanque

T_{air} = temperatura del aire.

ρ = densidad del aceite

\dot{Q}_f = calor disipado por el tanque.

Para efectos prácticos del cálculo se supone:

$$\rho = 53.3[lbm/ft^3]$$

$$U = 3[btu/h - ^\circ F - ft^2]$$

$$C_p = 1.5[btu/lbm - ^\circ F]$$

$$T_{air} = 95[^\circ F]$$

La temperatura del aceite es una constante de diseño, se recomienda trabajar con:

$$T_{in} = 140[^\circ F]$$

Intercambiador de calor.

Debido a que la potencia generada por el motor es absorbida por la bomba y disipada en forma de calor en el fluido hidráulico, es necesario instalar un intercambiador de calor, que tendrá la función de enfriar el sistema manteniéndolo en un rango óptimo de temperatura.

Filtros.

La filtración del fluido hidráulico es necesaria para evitar que la suciedad producida por el

funcionamiento del sistema termine afectando a elementos sensibles de la instalación, como puedan ser, válvulas o la propia bomba hidráulica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Bomba

Se escoge una bomba de pistones de eje quebrado, ya que está diseñada para trabajo pesado, además está en capacidad de cubrir exigencias de altos flujos, altas presiones y altas velocidades de operación

Utilizando los puntos máximos de operación del motor de combustión interna y con las ecuaciones de la bomba, se ilustra en una tabla, como en función del desplazamiento, los valores de presión y flujo del sistema varían. Ya con esto se elige el tamaño de la bomba de tal manera que estas variables sean adecuadas para la selección de las válvulas y accesorios del sistema.

Tabla 2: puntos de operación del motor.

	Torque [lbf-ft]	RPM
Torque máximo	185	1600
Potencia máxima.	153.2	3600

Los valores de desplazamiento fueron tomados del catálogo Parker de bombas de pistones de eje quebrado.

Tabla 3: comportamiento del sistema a diferentes desplazamientos.

C_b [cm ³ /rev]	Torque máximo		Potencia máxima	
	ΔP_1 [psia]	$Q_{rb,1}$ [gpm]	ΔP_2 [psia]	$Q_{rb,2}$ [gpm]
30	7134	12.05	5994	27.96
40	5486	16.06	4495	37.28
59.8	3669	24.01	3007	55.73
80.4	2729	32.28	2236	74.93
93	2360	37.34	1933	86.68
110.1	1993	44.21	1633	102.6
125	1755	50.19	1438	116.5

150	1463	60.23	1199	139.8
242	906.8	97.17	743	225.5

Según los parámetros de diseño del sistema hidráulico, el desplazamiento de la bomba más adecuado es de 59.8 [cm^3/rev]. Esta bomba maneja una presión máxima de 6000 psia, flujo máximo de 83.7 gpm y velocidad máxima de 5300 rpm.

Con la bomba seleccionada, y con el M.C.I. entregando máximo torque, el sistema hidráulico trabajará a una presión máxima de: $P_{max} = 3669[psia]$

Válvulas.

Del fabricante Rexroth, se seleccionan las válvulas de seguridad y de estrangulamiento proporcional. Estas se indican a continuación.

- Válvula proporcional estranguladora de 2 vías para montaje en bloques. Tamaño nominal 25 de caudal máximo de 315 L/min.
- Válvula limitadora de presión servopilotada. Tamaño nominal NG20 de caudal máximo de 500 L/min

Tanque

El volumen del tanque es de 2 a 4 minutos el tiempo de residencia del aceite dentro de este, también se diseña bajo el caudal máximo de 83.7 gpm; se escoge 3 min como constante para el cálculo:

$$V_{tanque} = 3 * Q_b = 251.1 [gal]$$

Con la dimensión del tanque y las ecuaciones anteriormente planteadas se tiene que el tanque puede disipar 2.376 hp.

Intercambiador de calor

Para el cálculo del intercambiador de calor se necesita establecer la cantidad de calor que se quiere disipar. Como el freno debe absorber la

máxima potencia del motor que son 105 hp, y ya conociendo cuanto puede disipar el tanque, la carga al intercambiador de calor será:

$$\dot{Q}_{int} = 105 - 2.376 = 102.624[hp]$$

Filtros

El sistema debe contar con dos filtros, uno de succión que filtre las partículas del fluido del tanque hacia la bomba y otro de retorno para el fluido que viene hacia el tanque, se recomienda que en la succión, el grado de filtración sea de 10 um y en el retorno de 100 um.

CONCLUSIONES

Se propuso el diseño de un freno hidráulico dinamométrico para la determinación de las curvas características del motor de combustión interna del laboratorio de Termofluidos de la DICIS-UG. Debido al corto tiempo del proyecto de investigación, sólo se seleccionaron los componentes más importantes del sistema, el desarrollo total del dinamómetro es tema de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ing. Carlos Borrás Pinilla PhD, Msc, de la Universidad industrial de Santander (Colombia) por su asesoría en el diseño del sistema hidráulico, al Dr. Ricardo Alfredo Cruz Hernández, decano de la facultad de ingenierías físico mecánicas de la misma universidad por su apoyo económico y al Dr. José Manuel Riesco Ávila por el apoyo logístico y movilidad hacia otras unidades de investigación.

REFERENCIAS

- [1] Solorte, S. (2011). Implementación de un sistema de simulación de carga y un sobrealimentador eléctrico en un motor de combustión interna para estudiar su desempeño (tesis de pregrado). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- [2] Chavez, N. (2007). Diseño y automatización de un dinamómetro hidráulico para motores de combustión interna con una potencia

menor a 50 hp (tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.

[3] Martínez, E. (2012). Acondicionamiento de un dinamómetro para pruebas de flujo de potencia (tesis de pregrado). UNAM, México D.F., México.

[4] Chrysler LLC. (2009). El Motor Slant Six de Chrysler (170-198-225). 2013, de allpar.com Sitio web: <http://www.allpar.com/espanol/motores/slant6.html>