

Diseño de un Equipo de Pruebas Rápidas para Aceites Usados*

Design of a Used Oil Rapid Tests Kit

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.08>

Artículo de investigación científica – Fecha de recepción: agosto 19 de 2015 – Fecha de aceptación: diciembre 4 de 2015

Juan Carlos Delgado Sanabria

Magíster en Mantenimiento Industrial. Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia).
jucadesa@unipamplona.edu.co

Simón de Jesús Fygueroa Salgado

Doctor Ingeniero Industrial. Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia).
sjfygueroa@unipamplona.edu.co

Soren Einstein Sierra López

Ingeniero Mecánico. Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia).
soren.lopez@unipamplona.edu.co

Para citar este artículo / To reference this paper:

J. C. Delgado Sanabria, S. J Fygueroa Salgado y S. E. Sierra López “Diseño de un equipo de pruebas rápidas para aceites usados”, INGE CUC, vol. 12, no. 1, pp. 80-85, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.08>

Resumen-- El presente trabajo tiene como objetivo presentar el proceso de diseño y la construcción de un equipo de pruebas rápidas para el análisis de aceites usados de motores. El equipo que permite evaluar el estado de degradación y contaminación de una muestra de aceite usado mediante los ensayos de crepitación, mancha de aceite, viscosidad y contenido de partículas consta de cuatro aparatos: placa de calentamiento, generador de manchas, viscosímetro de caída de bolas y detector de partículas ferrosas. El aporte fundamental del trabajo lo constituyen los dispositivos y métodos ideados tanto para medir con exactitud el tiempo de caída de la esfera del viscosímetro de bolas como para la detección de partículas ferromagnéticas. El equipo ha producido resultados satisfactorios comparados con los obtenidos en pruebas de laboratorio.

Palabras claves-- Análisis de aceite; pruebas rápidas; viscosímetro; crepitación.

Abstract-- This paper aims to show the design and construction of a used oil rapid test kit. The kit allows evaluating used oil degradation and contamination by crepitation, oil blot, viscosity and particle content test. It consists of four units: oil blot maker, heating plate, falling ball viscometer and ferrous particle detector. The main contribution of the work are the devices and methods developed to accurately measure both the viscometer ball falling time and to detect wear ferromagnetic particles. The kit has produced satisfactory results compared to those obtained in laboratory tests.

Keywords-- Oil Analysis; Rapid Tests; Viscometer; Crackling.

* Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación titulado, “Desarrollo de un protocolo de mantenimiento con base en pruebas rápidas de aceite para motores de combustión interna automotrices”. Financiado por la Universidad de Pamplona. Fecha de inicio: agosto de 2011. Fecha de finalización: diciembre de 2012.

I. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento predictivo de motores mediante análisis de aceite utiliza técnicas de laboratorio que permiten obtener resultados con cierto nivel de precisión, y por lo tanto, diagnósticos más certeros sobre su estado técnico. Las técnicas empleadas según su finalidad son: técnicas para determinar la degradación del aceite, técnicas para cuantificar su contaminación y técnicas para identificar y cuantificar las partículas de desgaste presentes [1].

Un análisis de aceite en campo o a pie de máquina correctamente realizado proporciona información valiosa que se puede emplear para conocer rápidamente su estado de manera que se puedan tomar decisiones de mantenimiento inmediatas dentro del plan de lubricación y mantenimiento del equipo [2] [3].

En el presente trabajo se expone el diseño de los equipos y metodología de las pruebas rápidas seleccionadas. Teniendo en cuenta las recomendaciones dadas en [4] y [5] que proveen la mejor información del estado del lubricante, se escogieron los dispositivos y pruebas siguientes:

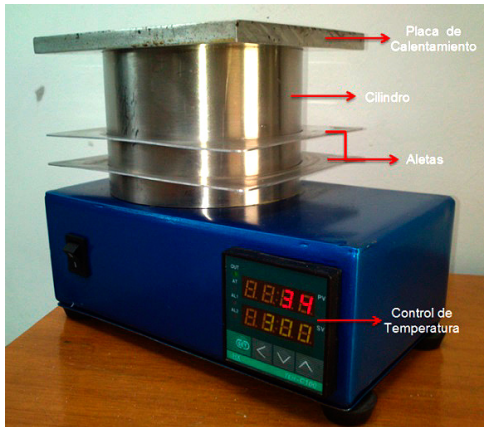


Fig. 1. Placa de calentamiento.
Fuente: Autores.

- Placa de calentamiento para estimar el contenido de agua de la muestra mediante el ensayo de crepitación.
- Generador de manchas de aceite y placa de calentamiento para secarlas y evaluar la contaminación por combustible y hollín.
- Viscosímetro de caída de bolas para determinar la viscosidad.
- Detector de partículas ferromagnéticas para caracterizar el nivel de desgaste de los mecanismos lubricados.

II. DISEÑO Y ENSAYOS

En esta sección se presenta el procedimiento de diseño de los elementos que componen el equipo

constituido por unidades independientes que permiten su movilización y uso simultáneo o individual y que no constituyen una unidad portátil integrada.

A. Placa de calentamiento

1) Diseño

La placa de calentamiento debe mantener una temperatura de 160 °C, que es la recomendada para realizar el ensayo de crepitación. Por su elevada capacidad calorífica ($C_p=0,949$ kJ/kg K) que asegura un calentamiento rápido, la placa es de aluminio. Puesto que la placa también se usará para secar la mancha de aceite, su tamaño deberá ser de 11 cm x 13 cm, que es la dimensión del papel de filtro que se usa para este ensayo, y su espesor 0,9 cm para que pueda alojar la resistencia de calentamiento, así, su volumen es $V=11 \times 13 \times 0,9 = 0,0001287$ m³.

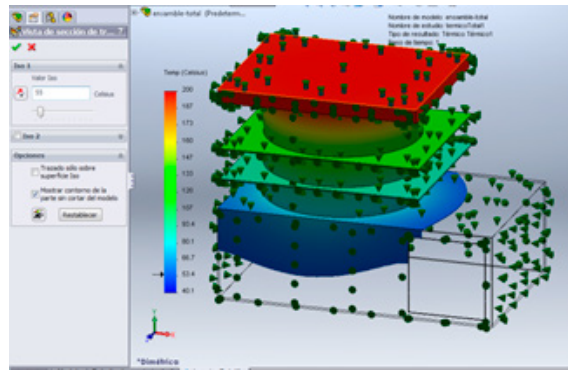


Fig. 2. Simulación de la placa de calentamiento.
Fuente: Autores.

Como la densidad del aluminio es 2700 kg/m³, la masa de la placa es $m = (2700 \text{ kg/m}^3)(0,0001287 \text{ m}^3) = 0,347$ kg. Para calentar la placa en 4 minutos ($\Delta t = 240$ s), desde 18 °C hasta 200 °C (incremento de temperatura $\Delta T = 182$ K), se debe disipar la potencia eléctrica que se muestra en (1):

$$\dot{Q} = mC_P \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{0,347 \times 0,949 \times 182}{240} = 250W \quad (1)$$

Como se observa en la Fig. 1 la placa está soportada por un cilindro hueco de acero inoxidable de 8,9 cm (3,5 pg.) de diámetro. El cilindro posee aletas rectangulares y se encuentra relleno de lana de vidrio con la finalidad de mantener la temperatura de su base a 50 °C (Tabla I) que es la recomendada por el fabricante para asegurar el correcto funcionamiento del controlador que se encuentra situado bajo el cilindro.

Para determinar el número de aletas, se simula en Solidworks el conjunto diseñado variando el co-

eficiente de transferencia de calor por convección en el rango de la convección natural (2 a 25 W/m² K) según [6]. Se logra una temperatura en la base de 50°C cuando h=25 W/m² K, valor obtenido con dos aletas (Fig. 2).

Puesto que en un sistema de calentamiento es de gran importancia controlar la temperatura, se emplea un control digital que permite visualizar la temperatura a la cual se encuentra la placa y, además, seleccionar temperaturas de acuerdo con el ensayo a realizar. Las características del control se presentan en la Tabla I.

TABLA I. CARACTERÍSTICAS DEL CONTROL DE TEMPERATURA.

Característica	Valor	
Accuracy	±0.2% of full scale	
Measuring ranges	-199.9 to 1800 degree Celsius	
Resolution	±1digit	
Supply voltage	85 to 264Vac, 50/60 Hz	
Input types	Thermocouple	K, J, E, S, N, T, B, R, WRe
	Resistive thermal detector	Cu50, Pt100
	Voltage	0 to 5V, 1 to 5V, 0 to 20mV, 0 to 75mV, 0 to 200mV
	Current	0 to 10mA, 4 to 20mA
Output options Current, Voltage, Pulse	Mechanical Relay, SSR,	
Power consumption	Less than 5 VA	
Control algorithms options	P, PI, PD, PID, or on/off	
Alarms	Upper limit alarm, lower limit alarm	
Working temperature	0 to 50 °C (32 to 122 °F)	
Working humidity	85% RH max, non-condensing	
External dimensions	48*48*100 (mm)	
Mounting dimensions	45 ⁺¹ *45 ⁺¹ (mm)	

Fuente: Microchip PIC16F87VA, Data sheet

2) Ensayo de crepitación

- Activar la placa de calentamiento y esperar unos 10 minutos hasta que alcance la temperatura recomendada para la prueba.

- Depositar sobre la placa una gota del aceite a probar tomada con una varilla de vidrio de 5 mm de diámetro después de agitar el recipiente que contiene la muestra.
- Observar con la lupa la evolución de la gota y con la regla medir su diámetro (Fig. 3).
- Determinar el contenido de humedad según las características (tamaño, burbujeo y ruido) presentadas por la gota.

3) Ensayo de la mancha

- Activar el controlador de temperatura y programar una temperatura de 160 °C.
- Depositar sobre el papel filtro una gota del aceite a probar tomada del recipiente de la muestra con una varilla de vidrio de 5 mm de diámetro.
- Colocar el papel filtro sobre el aro metálico del dispositivo de secado (Fig. 4).
- Tapar la mancha y dejar secar durante 10 minutos.
- Retirar cuidadosamente la tapa y analizar la mancha.



Fig. 3. Ensayo de crepitación.
Fuente: Autores.

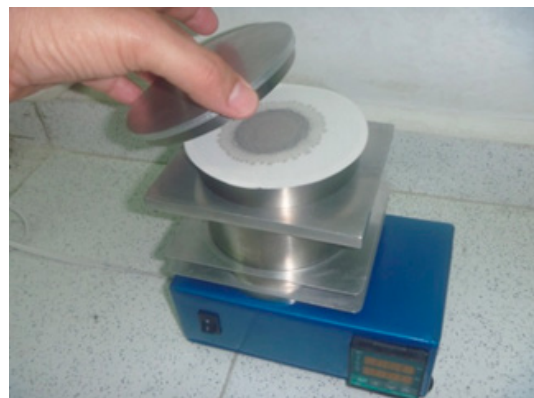


Fig. 4. Ensayo de la mancha.
Fuente: Autores

B. Viscosímetro

1) Diseño

El viscosímetro de caída de bolas es un instrumento que mide la viscosidad utilizando un tubo que contiene la sustancia a analizar, a través de la cual, una esfera experimenta una caída libre. El tiempo t que tarda la esfera en recorrer una distancia d (entre sensores) se emplea para determinar la viscosidad dinámica η mediante (2) [7]:

$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho_1 - \rho_2)t}{9d} \quad (2)$$

Donde r es el radio de la esfera, ρ_1 es la densidad de la esfera, ρ_2 es la densidad del aceite (dato del fabricante), t el tiempo de caída y d la distancia entre sensores.

Puesto que t y d son las variables que determinan la prueba, se diseña un sistema de medición del tiempo de caída para una distancia conocida entre dos puntos. La determinación del momento en que la esfera inicia y finaliza su recorrido, dadas las condiciones del aceite, es muy difícil e inexacta mediante los sentidos, lo que justifica emplear dos sensores inductivos de posición con esta finalidad y así detectar con precisión el paso de la esfera metálica a través del aceite de prueba.

Para interactuar con el usuario se emplea una interfaz que permite visualizar el parámetro medido (tiempo) y el de estudio (viscosidad), y que además permite editar las variables relacionadas con el cálculo de la viscosidad dinámica.

El material para soportar el tubo no debe poseer características magnéticas debido a la naturaleza de los sensores de posición, por lo que para esta finalidad se usarán perfiles de aluminio.

En la Fig. 5 se muestra el estudio virtual del diseño del viscosímetro realizado con CAD y el equipo real que usa un tubo de 100 ml, que con la finalidad de poder realizar varios ensayos en un tiempo corto, debe ser intercambiable.

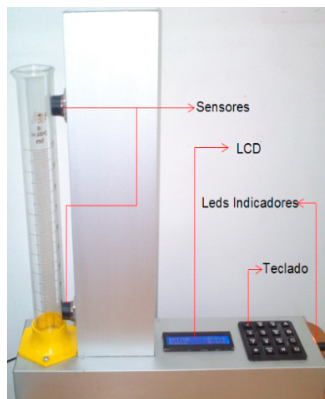


Fig. 5. Viscosímetro.
Fuente: Autores.

2) Sistema electrónico de medición

Las operaciones, tanto matemáticas del sistema electrónico como del control de usuario, se realizan con un microcontrolador 6F877A de Microchip, cuyas características se presentan en la Tabla II.

TABLA II. CARACTERÍSTICAS DEL MICROCONTROLADOR 16F877A

Característica	Valor
Frecuencia máxima	DX-20MHz
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8KB
Posiciones EEPROM de datos	256
Puertos E/S	A,B,C,D,E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Módulos CCP	2
Comunicaciones serie	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSP
Líneas de entrada de CAD de 10 bits	8
Juego de instrucciones	35 Instrucciones
Longitud de la instrucción	14 bits
Arquitectura	Harvard
CPU	Risc
Canales Pwm	2
Pila Hardware	-
Ejecución en 1 ciclo máquina	-

Fuente: Microchip PIC 16F877A, Data Sheet.

La detección de la posición de la esfera se hace con sensores inductivos Telemecanique 12-48 VDC, normalmente cerrados con un alcance de 8 mm. El pulso producido por los sensores antes de dirigirse al microcontrolador pasa por una etapa de acoplamiento mediante dos fototransistores PC817 tipo PNP, que reduce el voltaje de 12 V a 5 V.

El control de usuario se visualiza en una pantalla de cristal líquido (LCD) 16x2 que informa sobre lo que está ocurriendo en el sistema. El ingreso de datos se hace con un teclado matricial 4x4, que permite modificar los valores de las variables mediante las teclas numéricas y desplazarse por el menú del programa mediante las teclas: A, B,C, D, * y #. El estado del sistema se informa con tres diodos emisores de luz (LED), que corresponden a: encendido, modo operación y modo edición.

3) Funcionamiento

Al energizar el dispositivo aparece en la LCD un menú con dos opciones: 1 para empezar el conteo

y 2 para modo edición (Fig. 6). Si se elige la opción 1, el sistema queda listo para tomar el tiempo que tarda la esfera en pasar por los dos sensores (Fig. 7) y la LCD presenta un menú donde se pueden seleccionar las propiedades que se desean visualizar (Fig. 7): con la tecla # el tiempo y la viscosidad dinámica y con la tecla * la viscosidad cinemática. En la Fig. 8 se muestran los valores del tiempo y la viscosidad medidos. Se puede cancelar esta opción y regresar al menú principal oprimiendo la tecla D.

Al escoger la opción 2 en el menú principal, se accede al menú de edición que permite modificar las variables de la ecuación 2 (Fig. 9). Las variables se seleccionan con las teclas A y B (adelante, atrás) y se pueden modificar con las teclas numéricas y la tecla D entre un valor mínimo (0) y uno máximo (99,999). El diámetro de la esfera y la distancia de separación de los sensores se debe ingresar en milímetros y las densidades en kg/m³.

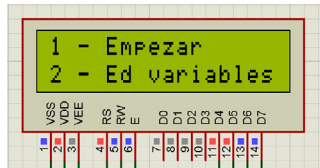


Fig. 6. Menú principal.
Fuente: Autores.



Fig. 7. Menú de selección de muestra de resultados.
Fuente: Autores.

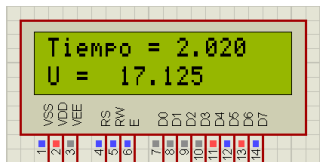


Fig. 8. Muestra de resultados de tiempo y viscosidad.
Fuente: Autores.

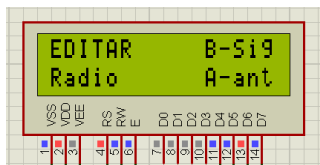


Fig. 9. Edición de variable.
Fuente: Autores.

El viscosímetro se calibra con los resultados obtenidos en una serie de ensayos efectuados a un

aceite comercial no usado cuya viscosidad es conocida según su denominación API.

C. Detector de partículas ferromagnéticas

1) Diseño

El equipo detector, como se muestra en la Fig. 10, está constituido por: bomba peristáltica, soporte del tubo de ensayo, soporte de la placa de vidrio y caja soporte del imán.

En el detector se usan dos variables para poner en evidencia la presencia de las partículas de desgaste: la velocidad del aceite y el campo magnético.

Para conseguir una velocidad constante y tener un flujo uniforme sobre la placa de vidrio inclinada se diseña y construye una bomba peristáltica que emplea una manguera flexible de silicón. Puesto que el volumen V que desplazan los rodillos de la bomba al dar una vuelta es como se muestra en (3)

$$V = \frac{\pi r_2^2}{2} \cdot \pi r_1 = \frac{\pi^2 r_1 r_2^2}{2} \text{ [m}^3/\text{rev]} \quad (3)$$

donde: r_1 = radio del rotor [m]

r_2 = radio de la manguera [m]

si el rotor de la bomba gira a n rev/min el caudal volumétrico \dot{V} descargado por (4):

$$\dot{V} = \frac{\pi^2 r_1 r_2^2 n}{2} \text{ [m}^3/\text{min]} \quad (4)$$

De esta forma, cuando el radio de la manguera es 1,5 mm, el caudal volumétrico descargado por la bomba es de 3 ml/min y puesto que gira a 6 rpm, se obtiene un radio del rotor igual a 2,4 cm. En la Fig. 10 se observa la bomba construida que emplea un motor sincrónico de 2 W de potencia.

Para los imanes del detector se toma el valor del campo magnético de un ferrógrafo que según sus creadores [8], varía entre 0.3 y 2 T, por esta razón se emplean imanes permanentes de neodimio de 1 T.

2) Calibración

La calibración del equipo consiste sólo en saber si el campo magnético de los imanes permanentes retiene las partículas dado que el objetivo de la prueba es únicamente determinar la presencia de partículas ferromagnéticas. Por este motivo se comprueba la presencia del campo mediante su visualización utilizando partículas ferrosas diluidas en aceite nuevo.

3) Ensayo de detección

- Mezclar en el tubo de ensayo la muestra de aceite usado y el solvente.
- Ubicar la placa de vidrio en el porta placa.

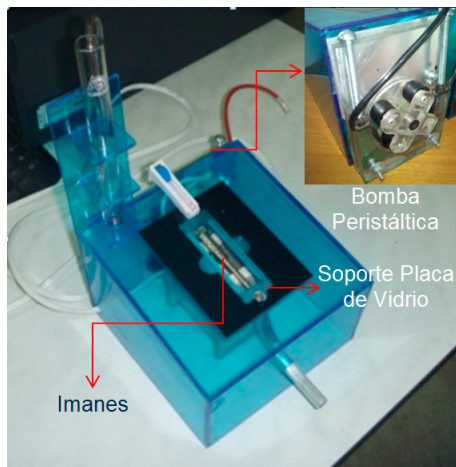


Fig. 10. Detector de partículas ferromagnéticas.
Fuente: Autores.

- Introducir la manguera dosificadora en el tubo de ensayo.
- Ubicar el recipiente en el drenado.
- Activar la bomba peristáltica.
- Determinar la presencia de partículas mediante visualización con lupa, microscopio o fotografía.

IV. RESULTADOS

Se diseñaron y construyeron los prototipos funcionales del equipo para la realización de las pruebas rápidas de crepitación, mancha de aceite, viscosidad y detección de partículas ferromagnéticas en aceites lubricantes usados.

V. CONCLUSIONES

El equipo diseñado y construido para la determinación *in situ* de las propiedades de aceites usados de motores de combustión interna es simple, compacto, de fácil realización y ha producido resultados satisfactorios comparados con los obtenidos en pruebas de laboratorio, los cuales se presentarán en un próximo artículo elaborado con este propósito.

REFERENCIAS

- [1] S. J. Fygueroa, *Mantenimiento de motores Diesel*. Mérida, Venezuela: Talleres Gráficos Universidad de Los Andes, 1997, pp. 41-77.
- [2] J. Denis, J. Briant y J.-C. Hipeaux, *Lubricant properties analysis & testing*. Francia: Editions Technip, 2000, pp. 412-448.
- [3] V. Macián, J. Barrachina y B. Tormos, *Mantenimiento de motores Diesel*. Servicio de Publicaciones Universidad Politécnica de Valencia, 2001, pp. 36-45.
- [4] S. J. Fygueroa, "Diagnóstico del desgaste y el estado de motores de encendido por compresión". [Tesis de doctorado], Univ. Polit. Valencia., Valencia, España, 1995.
- [5] B. T. Martínez, *Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado*. España: Reverte, 2005, pp. 79-129.
- [6] Y. A. Cengel y A. J. Ghajar, *Transferencia de calor y masa*, 4th ed. México: McGraw-Hill, 2011.
- [7] B. E. Sánchez Hernandez, "Viscosímetro de bola," [Tesis de maestría], Dept. Elect. and Mekan. Eng., Inst. Polit. Nal, 2008, México, pp. 11-12.
- [8] J. B. Desjardins, W. W. Seifert, R. S. Wenstrup y V. C. Westcott, "Ferrographic apparatus" U.S 6303030 B1, 16 oct., 2001.