

OLEOHIDRÁULICA

ARTÍCULO ORIGINAL

Validación de un depurador para evaluar el comportamiento de un aceite hidráulico recuperado mediante un proceso de filtración

Validation of a cleanser machine to evaluate the behavior of hydraulic oil recuperated by means of a filtration process

Dr.C. Pedro Paneque Rondón^I, M.Sc. María Victoria Gómez **Águila**^{II}, Ing. Lormil Lubérisse^{III},
Ing. Remigio Durán Hernández^{III}, Tec. Ricardo Castillo Calderín^{III}

^I Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

^{II} Universidad Autónoma Chapingo, Instituto de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Chapingo, Texcoco, Edo. de México, México.

^{III} Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. Los aceites desechados diariamente por millones de máquinas industriales, marítimas y agrícolas en el mundo, agudizan aún más la enorme crisis ambiental a la que se ha conducido al planeta tierra. En efecto un promedio de más del 60% de los aceites se convierte en aceites residuales, contaminando el medio ambiente. También se debe considerar que a pesar de la existencia de medios para la reducción de la contaminación, normalmente el aceite no se somete a un proceso de descontaminación y es desechado, lo que origina un grave problema porque se vierte sobre la superficie del suelo, deteriorando la flora, la fauna y el agua del planeta. Teniendo en cuenta la necesidad de hacer un análisis científico de la utilización efectiva del uso de los aceites utilizados en Cuba, el objetivo del trabajo fue validar un depurador de aceite hidráulico, para evaluar el comportamiento de un aceite recuperado a partir de aceites hidráulicos residuales mediante un proceso de filtración. Se evaluaron las características, propiedades más importantes de dicho aceite y su contaminación. Los resultados del trabajo arrojaron que con dos pasadas por el depurador es suficiente para la descontaminación de estos tipos de aceite.

Palabras clave: características y propiedades de los aceites hidráulicos, contaminación, descontaminación.

ABSTRACT. The waste oil daily for millions of industrial, marine and agricultural machines in the world, getting worse the enormous environmental crisis to the one which has behaved the planet earth. Actually an average of more than the 60% of the oil is converted in residual oil, contaminating the environment. We should also consider that in spite of the existence of means for reducing contamination, ordinary the oil doesn't undergo to a process of purification and is discarded, the one which originates a grave problem because it is spilled on the surface of the soil, deteriorating the flora, the fauna and the water of the planet. Keeping in mind the necessity of making a scientific analysis of the effective utilization of the use of the utilized oil in Cuba the objective was to validate a cleanser machine of hydraulic oil, in order to evaluate the behavior of an oil recuperated starting from hydraulic polluted and residual oil by means of a process of filtration. They were evaluated the characteristics, more important properties and their contamination. The outputs of the work through that with two passing for the cleanser machine of oil is enough for the purification of these types of oil.

Keywords: characteristics and properties of hydraulic oils, contamination, purification.

INTRODUCCIÓN

Los aceites residuales desechados diariamente por millones de máquinas industriales, marítimas, agrícolas, etcétera, en todo el mundo, agudizan aún más la enorme crisis ambiental a la que se ha conducido al planeta tierra. En

efecto, de los 40 millones de toneladas de aceites lubricantes demandados actualmente por año a nivel mundial, un promedio de más del 60% se convierte en aceites residuales, es decir, más de 24 millones de toneladas de aceites por año se encuentran contaminando el medio ambiente (Mozón, 1997). En México, tan solo durante el año 2002, se produjeron más

de 5 mil barriles diarios de aceites lubricantes (John, Deere, 1980). Los que en su mayoría se consumieron en el propio país y, debido a la falta de una cultura de recuperación, un porcentaje muy superior al de la media mundial se transformó en aceites residuales, lo que significa que solo se procesó una mínima cantidad, ingresando la mayor parte a la enorme lista de contaminantes que actualmente deterioran la ecología del país (Gaona, 1997).

Varias investigaciones establecen que la contaminación afecta las características y propiedades del aceite hidráulico, destacándose los investigadores Ball (1994 & 1995); Bensch (1973); Czichos (1994); Del Busto (1994); Fitch (1978a, 1978b, 1988, 1997 & 1999); Hong & Ficht (1985); Sasaki (1990); Steve (1994); Tessmann (1975) y Wolf (1965). Todos ellos coinciden en que la contaminación del aceite se debe a la presencia de materias extrañas, ajenas a su naturaleza, tales como partículas sólidas, líquidas y gaseosas, que alteran sus propiedades y características, particularmente, su viscosidad.

No obstante, aun con la formulación específica, la contaminación del aceite es quizá el factor que más influye en el rendimiento y en la vida útil de un sistema hidráulico, debido a que le ocasiona daños catastróficos y degradantes (Méndez, y Hernández, 1994). Los deterioros catastróficos se manifiestan cuando un componente cesa imprevistamente de funcionar, por ejemplo, cuando una partícula grande cierra el orificio del pilotaje de una válvula o cuando partículas grandes atascan una bomba o un motor (Vázquez, 1997).

En este sentido dado que el aceite usado representa una gran capacidad de deterioro ambiental es bastante comprensible entender la necesidad de investigar los métodos racionales para combatir su contaminación de tal forma que se le puede volver a utilizar (Paneque, 2010). Para ello y con el fin de obtener una mayor vida útil tanto del propio aceite como de los demás elementos hidráulicos y reducir costos, es importante conocer el efecto de la contaminación del aceite sobre los parámetros de funcionamiento de los elementos transformadores de energía como son las bombas y los motores hidráulicos.

Teniendo en cuenta la necesidad de hacer un análisis científico de la utilización efectiva del uso de los aceites utilizados en Cuba se plantean a continuación el objetivo y los resultados esperados de la investigación; los que se basan en validar un depurador de aceite hidráulico, para evaluar el comportamiento de un aceite recuperado a partir de aceites hidráulicos contaminados y residuales mediante un proceso de filtración.

MÉTODOS

Materiales utilizados en los experimentos

Aceite hidráulico Multipropósito B (nuevo), aceites residuales de tres procedencias diferentes (Tractor, banco de prueba de bombas y distribuidores, de autobús) todos son de Multipropósito B, bolígrafo, lápiz, papel, yeso, madera, pintura, combustible diesel, plumogis, etc.

Maquinaria

Depurador de aceite construido para los experimentos (Figura 1), cronómetro, computadora, impresora.



FIGURA 1. Depurador de aceite hidráulico.

Diseños experimentales

Se montaron experimentos que corresponden con los diseños experimentales clásicos (López, 1988). Siendo el diseño completamente al azar o aleatorio.

Descripción de los tratamientos

En la determinación de la contaminación, propiedades y características más importantes del aceite hidráulico (Multipropósito B), en dos estados diferentes (nuevo y depurado), el experimento se diseñó completamente aleatorio debido a que se podían conseguir unidades similares, las cuales son homogéneas entre sí (sistemas hidráulicos de los tractores).

Los tratamientos fueron definidos en función de: comportamiento de la viscosidad, contenido de agua y cantidad de partículas del aceite al inicio de la depuración, en una primera pasada por el depurador de aceite y en una segunda pasada por el depurador de aceite.

El análisis de los parámetros y coeficientes se realizó tomando en cuenta el comportamiento de los mismos durante el ensayo.

Todos los análisis se hicieron utilizando el paquete estadístico STATGRAPHICS. Plus for Windows Version 4.1 9/20/99.

Determinación de las propiedades y características más importantes del aceite hidráulico Multipropósito B

Para determinar las propiedades y características más importantes del aceite hidráulico (Multipropósito B) en dos estados diferentes, uno completamente nuevo y otros recuperados por medio del filtrado, se realizó un experimento completamente aleatorio, con cuatro volúmenes de aceite (25 L),

Para la purificación del aceite se utilizó un sistema totalmente físico por medio de filtración donde no se alteran las propiedades químicas del aceite. Por filtración se separan aceite, agua, lodos, rebabas, impurezas y sólidos en suspensión, (Depurador de aceite ya mencionado, Figura 1).

La depuración del aceite se realizó en el Laboratorio de Olehidráulica del CEMA de la Universidad Agraria de La Habana, Cuba, utilizando el depurador construido para ese fin. El tiempo de cada experiencia se midió con un cronómetro CM-60, con exactitud de registro de 0,2 s.

Las experiencias se realizaron diariamente durante un minuto en la primera depuración, al igual en la segunda depuración.

Se obtuvo el nivel de contaminación del aceite hidráulico nuevo y del aceite recuperado bajo condiciones similares de trabajo. Se investigó el comportamiento de propiedades y características más importantes de los mismos en función del nivel de contaminación.

Se obtuvo el aceite contaminado para su posterior uso en ensayos de laboratorio, donde se determinaron los parámetros de funcionamiento de bombas y motores hidráulicos en función de la contaminación.

Determinación de la contaminación, propiedades y características más importantes del aceite hidráulico (Multipropósito B) después de dos depuraciones

Para el análisis de la viscosidad, el contenido de agua y la cantidad de partículas contaminantes en el aceite, se tomaron muestras de aceite al inicio, en una primera depuración y en una segunda depuración, las que se procesaron en el Laboratorio de Química de la Facultad de Agronomía de la Universidad Agraria de La Habana, Cuba.

Viscosidad

La viscosidad se obtuvo en el Laboratorio de Olehidráulica del CEMA de la Universidad Agraria de La Habana, Cuba. La prueba estándar de Viscosidad Cinemática es la ASTM D455, que reporta los resultados en Centistokes cSt a 40 °C ó 100 °C. (Hernández, 1982).

Se determinó cinemática del aceite a 40 °C ó 100 °C.

Se situó el viscosímetro en un recipiente con agua de forma tal que el capilar quedó en posición vertical y el menisco superior quedó por debajo del nivel de agua.

Se calentó el agua hasta la temperatura del experimento y se mantuvo constante durante 10 minutos para que el aceite contenido en viscosímetro alcanzar la temperatura del agua con la ayuda de una bomba de vacío se hizo ascen-

der el lubricante por encima del menisco superior. Se utilizó un cronómetro para medir el escurrimiento del aceite en el viscosímetro desde el menisco superior hasta el menisco inferior.

Se anotó el tiempo registrado en el cronómetro y se repitió la operación para cada temperatura (100 °C ó 40 °C.). Se calculó la media aritmética.

El tiempo medio (t) en segundos, que transcurre en pasar el aceite del menisco superior al inferior para cada temperatura se multiplica por la constante del viscosímetro (que aparece en el instrumento).

La viscosidad cinemática del aceite se determinó por la expresión:

$$\sqrt{v} = c \cdot t, \text{ mm}^2/\text{s}$$

donde:

c – constante del viscosímetro, mm^2/s^2 ;

t – tiempo de flujo del aceite en el viscosímetro, s.

Índice de viscosidad

El índice de viscosidad se determinó a partir de los valores contenidos de la viscosidad cinemática 40 °C ó 100 °C, utilizando las expresiones siguientes:

$$iv = \frac{L - \sqrt{u}}{L - H} \cdot 100$$

$$iv = \frac{L - \sqrt{u}}{D} \cdot 100$$

donde:

L- viscosidad cinemática del aceite a 40 °C, cuyo índice de viscosidad es igual a cero y que tiene 100 °C la misma viscosidad cinemática que el aceite del ensayo, mm^2/s ;

\sqrt{y} - viscosidad cinemática del aceite de ensayo a 100 °C, mm^2/s ;

H - viscosidad cinemática del aceite a 40 °C, cuyo índice de viscosidad es igual a 100 y que tiene 100 °C la misma viscosidad cinemática que el aceite del ensayo, mm^2/s ;

\sqrt{u} - viscosidad cinemática del aceite de ensayo a 40 °C, mm^2/s .

Los valores de L, D y H se calcularon por las expresiones siguientes:

$$L = 0.8353 y^2 + 14.67 y - 216$$

$$D = 0.6669 y^2 + 282 y - 119$$

$$H = 0.1684 y^2 + 11.85 y - 97$$

$$D = L - H$$

Contenido de agua

El contenido de agua de las muestras se midió en el Laboratorio de Olehidráulica del CEMA de la Universidad Agraria de La Habana, Cuba.

Debido a los efectos adversos del agua en el aceite, se ha determinado el nivel máximo del contenido de ésta para aceites hidráulicos en un rango de 200 a 300 partes por millón (ppm) que de forma práctica significa no exceder aproximadamente del 0,25% del volumen total (Sandino, 1999; Steve, 1994).

Contaminación por partículas

El análisis de las partículas se realizó en el Laboratorio de Química de la Facultad de Agronomía de la Universidad Agraria de La Habana, Cuba, tomando en cuenta el tamaño, así se analizó la cantidad de partículas de 5 a 10 µm, de 40 a 70 µm, y mayores a 200 µm. La cantidad de partículas está dada por mililitro (mL).

Niveles de contaminación del aceite hidráulico en el sistema oleohidráulico

La norma ISO 4406 (ISO, 2011), sirve para llevar a cabo la asignación de los códigos de limpieza para los fluidos, en este caso para el aceite hidráulico. En esta norma los códigos se asignan a un determinado número de partículas de contaminación, a través de las cuales se expresa la limpieza del fluido en códigos. Los códigos de limpieza según la norma ISO 4406 aceptan un código de 22/19, para aceites de engranes 26/23, para aceites de motor 24/21 y para aceites de turbinas 22/19.

De acuerdo a la norma actual la limpieza se determina fijando el número de partículas en mayores a 5 µm (> 5 µm) y en mayores a 10 µm (> 15 µm). Se simboliza X/Y, donde la X indica la cantidad de partículas mayores a 5 µm e Y indica la cantidad de partículas mayores a 10 µm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las condiciones en que se realizaron las investigaciones experimentales

En el Laboratorio de Oleohidráulica del Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) de La Universidad Agraria de La Habana perteneciente al municipio San José de Las Lajas, capital de la provincia Mayabeque, se realizaron los experimentos. El clima dominante en San José de las Lajas, provincia Mayabeque, es: C_(w0) – subtropical con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 25 °C, siendo en agosto el mes más caluroso con 32-34 °C y el mes más frío es en enero con medias 20 °C. La precipitación promedio es de 1200-1300 mm anuales, siendo junio y julio los meses más lluviosos, diciembre y febrero los meses más secos.

Validación del depurador

Antes de realizar las mediciones para determinar las propiedades de los aceites contaminados se validó el depurador ejecutando varias pruebas de funcionamiento con aceite Multipropósito B.

Análisis estadístico de los resultados obtenidos en condiciones de laboratorio

Viscosidad

Aplicando la metodología de las investigaciones experimentales se llevó a cabo el análisis de los resultados para la viscosidad, el contenido de agua y la cantidad de partículas contaminantes en el aceite. En las Tablas 1 y 2 se hace un análisis de varianza del comportamiento de la viscosidad y de las medias de los tratamientos, error estándar con 95% intervalo de confianza.

TABLA 1. Análisis de la varianza para la viscosidad

Análisis de la Varianza para Viscosidad - Sumas de Cuadrados de Tipo III					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Efectos principales					
A:Pase depurador	34,2387	2	17,1194	31,24	0,0000
B:Tipo aceite	53,9806	3	17,9935	32,84	0,0000
Interacciones					
AB	13,8762	6	2,31271	4,22	0,0026
Residuos	19,7275	36	0,547986		

En la Tabla 1 se pudo observar la variabilidad de la viscosidad en las contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha elegido la suma de cuadrados Tipo III (valor por defecto), se ha medido la contribución de cada factor eliminando los efectos del resto de los factores. Dado que los tres p-valores son inferiores a 0,05, estos factores tienen efecto estadísticamente significativo en la viscosidad para un 95,0%.

Durante la experimentación se observaron cambios en la viscosidad producto de la contaminación del aceite. Para el aceite nuevo se encontró un valor de 59,7 cSt al inicio y en las dos depuraciones posteriores; para los aceites contaminados de tractor, banco de prueba y autobús, los valores al inicio sin pasar por el depurador fueron: 63,8; 61,5 y 63,1 cSt respectivamente. Después de la primera depuración estos valores disminuyeron 62,7; 61,3 y 61,65 para los respectivos equipos (tractor, banco de prueba y autobús). Mientras que en la segunda

depuración hubo cambios en la viscosidad, donde se pudieron notar los valores siguientes: 60,775; 60,15 y 60,55 cSt respectivamente para los equipos mencionados. No obstante, a pesar de los cambios, los valores encontrados están dentro del rango permitido que oscilan entre 60 -10%, + 20%, (de 54 a 72 cSt).

La Figura 2 muestra el procedimiento del análisis multifactorial de la varianza para viscosidad para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo en viscosidad. Con los datos de la viscosidad se analizó las interacciones significativas entre los factores que influyen sobre la viscosidad y permiten de identificar los factores significantes donde se notó una diferencia significativa en la viscosidad entre el tipo de aceite antes de pasar por el depurador pero después las dos pasadas la viscosidad de cada tipo de aceite se encuentra en el mismo rango permisible según la norma establecida para aceite de engrane que se encuentra entre 54 y 72 cSt.

Gráfico de Interacción

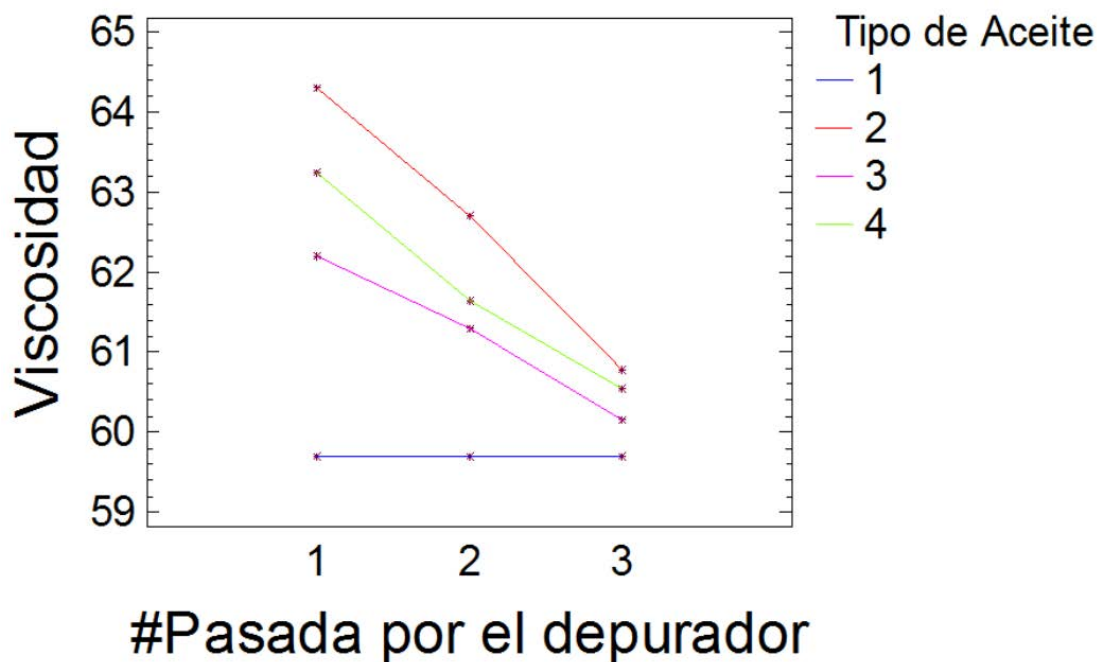


FIGURA 2. Gráfico de Interacción entre los factores que influyen en la viscosidad.

TABLA 2. Medias por mínimos cuadrados para viscosidad con 95,0 Intervalos de confianza

Nivel	Frecuencia	Media	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Media total	48	61,3312			
Pase depurador					
1	16	62,3625	0,185065	61,9872	62,7378
2	16	61,3375	0,185065	60,9622	61,7128
3	16	60,2937	0,185065	59,9184	60,6691
Tipo Aceite					
1	12	59,7	0,213695	59,2666	60,1334
2	12	62,5917	0,213695	62,1583	63,0251
3	12	61,2167	0,213695	60,7833	61,6501
4	12	61,8167	0,213695	61,3833	62,2501
Pase depurador según tipo de aceite					
1	4	59,7	0,37013	58,9493	60,4507
1	4	64,3	0,37013	63,5493	65,0507
1	4	62,2	0,37013	61,4493	62,9507
1	4	63,25	0,37013	62,4993	64,0007
2	4	59,7	0,37013	58,9493	60,4507
2	4	62,7	0,37013	61,9493	63,4507
2	4	61,3	0,37013	60,5493	62,0507
2	4	61,65	0,37013	60,8993	62,4007
3	4	59,7	0,37013	58,9493	60,4507
3	4	60,775	0,37013	60,0243	61,5257
3	4	60,15	0,37013	59,3993	60,9007
3	4	60,55	0,37013	59,7993	61,3007

Contenido de agua

El contenido de agua es menor al 0,1% por lo que no fue necesario realizar el análisis estadístico, además que este valor es menor que el límite máximo aceptable de agua en los sistemas hidráulicos (0,25%).

Contaminación por partículas

El análisis de las partículas (Tablas 3 y 4), se realizó tomando en cuenta el tamaño, así se analizó la cantidad de partículas de menores de 5 µm, de 40 a 70 µm y de mayores de 200 µm. La cantidad de partículas está dada por mL.

TABLA 3. Análisis estadístico de la cantidad de partículas-Suma de cuadrado de tipo III (ANOVA)

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente -F	P-valor
Efectos Principales					
A:Pasada por el depurador	2,90798E8	2	1,45399E8	460,14	0,000
B:Tipo de Filtro	8,17617E8	2	14,08808E8	1293,76	0,000
C:Tipo de Aceite	3,54267E7	3	1,18089E7	37,37	0,000
Interacciones					
AB	5,1309E8	4	1,28275E8	405,95	0,000
AC	2,3157E7	6	3,85958E6	12,21	0,000
BC	5,0021E7	6	8,33686E6	26,38	0,000
Residuos	3,79182E7	120	315985,0		
Total(Corregido)	1,76804E9	143			

TABLA 4. Medias de los tratamientos, error estándar con un intervalo de confianza 95%

Nivel	Frecuencia	Media	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Media total	144	1836,17			
Pase depurador					
1	48	3664,04	309,222	3052,54	4275,55
2	48	1645,65	309,222	1034,14	2257,15
3	48	198,833	309,222	-412,673	810,34
Tipo Aceite					
1	36	59,7	357,059	281,171	1693,38
2	36	62,5917	357,059	1390,2	2802,41
3	36	61,2167	357,059	1318,48	2730,69
4	36	61,8167	357,059	1530,42	2942,63
Tipo de Filtro					
1	48	59,7	309,222	4590,56	5813,57
2	48	64,3	309,222	-317,09	905,923
3	48	62,2	309,222	-599,465	623,548

Niveles de contaminación del aceite hidráulico determinados en las pruebas de laboratorio

Usando la norma ISO 4406 se obtuvieron los códigos de limpieza para los niveles de contaminación, los cuales se presentan en la Tabla 5. Los datos se obtuvieron de las tablas de las medias de tratamientos, estas tablas proporcionaron la cantidad de partículas de cada aceite por cada pasada.

TABLA 5. Códigos de los niveles de contaminación

Tratamiento	Partículas >5µm	Partículas >10µm	Códigos obtenidos
Aceite nuevo	415	16	16/13
Aceite tractor	436	206	16/13
Aceite banco de pruebas	456	205	20/16
Aceite de autobús	476	209	20/16

Los códigos obtenidos son comparados con el código aceptado por la norma, para fluidos hidráulicos el código es de 22/19.

Como se puede observar cada uno de los aceites se encuentra por debajo del nivel de contaminación aceptado por la norma y además, los dos tipos de aceite (nuevo y recuperado) se encuentran en el mismo nivel de contaminación durante los tres periodos de toma de las muestras.

Finalmente, en la Tabla 6 están todos los resultados obtenidos en los análisis del laboratorio.

TABLA 6. Resultados finales del laboratorio

Característica	Sin pasar por el depurador				Primera pasada por el depurador				Segunda pasada por el depurador			
	N	Tract.	BP	Bus	N	Tract.	BP	Bus	N	Trac.	BP	Bus
Viscosidad (cSt)	59,7	64,3	62,2	63,25	59,7	62,7	61,3	61,65	59,7	60,77	60,15	60,55
Contenido de agua (%)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cantidad de partículas de 5 a 10 µm	5802	11607	11476	12767	2601	5493	5202	5753	415	436	456	405
Cantidad de partículas de 40 a 70µm	22	864	620	723	20	216	207	213	16	206	205	209
Cantidad de partículas mayores a 200 µm	1	20	26	29	0	9	10	12	0	7	10	9

Leyenda: N: Aceite nuevo; Tract.: Aceite de tractor; BP: banco de prueba de bombas y distribuidores hidráulicos; Bus: Aceite de los autobuses.

CONCLUSIONES

- Se validó el depurador de aceite hidráulico, utilizando cuatro estados diferentes del aceite hidráulico: nuevo, contaminado de un tractor y contaminado de un banco de prueba de elementos hidráulicos.
- Se determinaron experimentalmente las propiedades y caracte-

terísticas más importantes del aceite hidráulico Multipropósito B en dos estados diferentes, uno completamente nuevo y otros recuperados por medio de un proceso de filtrado.

- El análisis del diseño experimental seleccionado comprobó que con dos pasadas por el depurador es suficiente para la descontaminación de estos tipos de aceite.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALL, P. G.: *Improving Profitability Through a Reliability Centred Maintenance Strategy*, In: Proc. ICOMS-94, Maintenance- Repairing The Bottom Line, SP-2, Maintenance Engineering Society of Australia, Sydney, Paper No. 18, 1-6, 1994.
- BALL, P. G.: *Machine Reliability and the Understanding of Failure Potential*, In: Proc. (CM) 2 Forum 1995, Centre for Machine Condition Monitoring, Monash University, Melbourne, pp. 159-169, SP-160. 1995.
- BENSCH, E. L.: *Verification of a Hydraulic Fluid Filterability Test*. presented before the Seventh Annual Fluid Power Research Conference, October 1973, Oklahoma State University, Annual Report No. 7, 227-230, 1973.
- CZICHOS, H.: *Systems Approach to the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1994.
- DEL BUSTO, H. R.: *Determinación de la contaminación en los aceites hidráulicos*, Informe Inédito, 10 pp., Informe Técnico al Consejo Científico del CEMA-UNAH, La Habana, Cuba, 1994.

- FITCH, C. E. JR.: *Potencia fluida y sus sistemas de control*, 251pp., Compañía Editorial Continental, S. A. México, D. F. 1978a.
- FITCH, C. E.: "The Basic Hydraulic Reservoir," Oklahoma State University, *BFPR Journal*, 11(1): 19-25, 1978b.
- FITCH, C. E.: *Fluid Contamination Control*, 687pp., / Ernest C. Fitch, FES, inc., Stillwater, USA, 1988.
- FITCH, C. E.: "The Contamination Control Balance", *BFPR Journal*, Vol. 11, No. 1, Oct. 1997.
- FITCH, E. C; K.TESSMAN & T. HONG: *Fluid Power Goals and Trends for the 1990's*, An FES/Bar Dyne Technology Transfer Publication, Stillwater, USA, 1999.
- GAONA, P., B. *Diseño y Construcción de un Escáner Magnético*, Tesis profesional, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, México, 1997.
- HERNÁNDEZ, C.A. J. *Estudio de un aceite hidráulico nuevo y uno recuperado, según su contaminación*, Tesis profesional, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, México, 2002.
- HONG, I. T. & E. FICHT: Wear of Gear Pump Under Abrasive Fluid Condition, *Proc. Of NCFP*, National Conference on Fluid Power, pp. 1-7, Chicago, IL, USA, Nov 1985.
- ISO: *Asignación de código de limpieza, ISO 4406 [en línea]*, Disponible en: <http://www.hidrafilter.com/normasiso4406.htm> [Consulta: marzo 19 2011].
- JOHN DEERE: *Hydraulic. Service Training*, Deere & Company, Moline/Illinois, USA, 1988.
- LÓPEZ, P. R.: *Diseño estadístico de experimento*, 203pp., Editorial Científico Técnica, La Habana, Cuba, 1988.
- MÉNDEZ, M. S. y M. HERNÁNDEZ: *Diseño de un sistema integral para descontaminar aceites hidráulicos*, 45pp., Tesis profesional, Universidad Autónoma Chapingo Edo. de México, México, 1994.
- MOZÓN, L. A.: *Clasificación de partículas contaminantes en aceites minerales usados*, Tesis Profesional, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, México, 1997.
- PANEQUE, R. P.: *Elementos y Sistemas Oleohidráulicos en las Máquinas Agrícolas*, Primera edición, mayo 2010, D.R. © Universidad Autónoma Chapingo, Edo. México, México, 2010.
- SANDINO, C. A.: *Agua en el aceite. Problemas que causa la presencia de agua en sistemas de lubricación e hidráulicos [en línea]*, Disponible en: <http://www.revistamarina.cl/revistas/1999/1/sandino.pdf> [Consulta: marzo 19 2011].
- SASAKI, A.: *Electrostatic liquid cleaning of hydraulic fluid*, Imeche Mag. USA, 1990.
- STEVE, D. U.: *Is there water in your oil?.* *Technical Manager*, Article Reproduced from: Issue of fluid & Air Technology, USA, 1994.
- TESSMANN, R. K.: *Contaminant Wear in Hydraulic and Lubricating Systems*, *BFPR Journal*, FPRC/OSU, Stillwater, USA, 1975.
- VÁZQUEZ, L. C. R.: *Adecuación de parámetros para el diagnóstico del deterioro de aceites minerales usados*, Tesis profesional, Universidad Autónoma Chapingo, Edo. de México, México, 1997.
- WOLF, M. L. *Contaminant Particle Effects on Pumps as a Function of Size, Type, and Concentration*, M.S. Thesis, FPRC/OSU, Stillwater, USA, 1965.

Recibido: 24 de febrero de 2013.

Aprobado: 10 de julio de 2014.

Pedro Paneque Rondón, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Carretera de Fontanar, km. 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba, Teléf.: (53) 645-1731 y 645-1353, Correo electrónico: editorevista@iagic.cu y paneque@unah.edu.cu