

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“ESTUDIO COMPARATIVO DE DIVERSOS ACEITES
LUBRICANTES EN UN POOL DE MAQUINARIA AGRÍCOLA “**

Presentado por:

Bach. JULIO MANUEL VARGAS MENDIOLA

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR POR EL TÍTULO
DE INGENIERO AGRÍCOLA**

La Molina, 2017

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a mis padres que siempre brindaron su esfuerzo a la felicidad de sus hijos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	3
2.1. Lubricante	3
2.1.1. Funciones de los lubricantes	3
2.1.2. Propiedades físicas de los lubricantes	5
2.1.2.1. Viscosidad	5
2.1.2.1.1. Viscosidad dinámica o absoluta	6
2.1.2.1.2. Viscosidad cinemática o comercial	8
2.1.2.1.3. Viscosidad aparente	8
2.1.2.1.4. Factores que afectan a la viscosidad	8
2.1.2.1.5. Unidades de medida de la viscosidad	11
2.1.2.2. Índice de viscosidad	13
2.1.2.3. Punto de fluidez	14
2.1.2.4. Otras propiedades	15
2.1.3. Los aceites lubricantes	15
2.1.3.1. Composición de los aceites	16
2.1.3.1.1. Bases orgánicas	17

2.1.3.1.2. Bases minerales	17
2.1.3.1.3. Bases sintéticas	17
2.1.3.1.4. Las bases “ <i>Hydrocracked</i> ”	18
2.1.3.1.5. Los aditivos	19
2.1.3.2. Clasificación SAE de los aceites	23
2.1.3.3. Categoría de servicio API aceite	25
2.1.3.3.1. Motores a Gasolina – 7 Grados	26
2.1.3.3.2. Motores Diesel – 5 Grados	27
2.1.4. Tipos de Lubricación	28
2.1.4.1. Lubricación por capa	28
2.1.4.2. Lubricación Hidrodinámica	28
2.1.4.3. Lubricación mezclada	28
2.1.5. Lubricación en motores de dos tiempos	29
2.1.6. Lubricación en motores de cuatro tiempos	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1. Ubicación y descripción de la zona de trabajo	32
3.2. Descripción del pool de maquinarias	34
3.3. Uso de aceites en el pool de maquinaria	39
3.4. Metodología empleada	40
3.4.1. Maquinas manuales, no motorizadas o herramientas	40
3.4.2. Máquinas con motores de dos tiempos	41
3.4.3. Máquinas con motores de cuatro tiempos	41
3.5. Descripción del trabajo	41
3.5.1. Máquinas manuales o no motorizadas o herramientas	41

3.5.2. Máquinas con motores de dos tiempos	44
3.5.3. Máquinas con motores de cuatro tiempos	45
IV. RESULTADO Y DISCUSIONES	46
4.1. Resultados	46
4.1.1. Herramientas Manuales	47
4.1.2. Máquinas con motores de dos tiempos	49
4.1.2.1. Cálculo del costo incurrido	50
4.1.3. Máquinas con motores de cuatro tiempos	52
4.1.3.1. Cálculo del costo del aceite	56
4.2. Discusiones	57
IV. CONCLUSIONES	58
5.1. Máquinas manuales o no motorizadas o herramientas	58
5.2. Máquinas con motores de dos tiempos	59
5.3. Máquinas con motores de cuatro tiempos	59
VI. RECOMENDACIONES	60
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
VIII. ANEXOS	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Comparación de las bases	19
Cuadro 2: Resumen de las aplicaciones de las bases sintéticas	19
Cuadro 3: Comparación de las propiedades de las bases	20
Cuadro 4: Equivalencia SAE – cSt	24
Cuadro 5: Categoría de servicio API según año	26
Cuadro 6: Categoría de servicio API para motor a gasolina	27
Cuadro 7: Categoría de servicio API para motores Diesel	27
Cuadro 8: Comparación organoléptica del uso de dos aceites en tijeras de podar Bellota	47
Cuadro 9: Comparación organoléptica del uso de dos aceites en tijeras de podar Bahco	48
Cuadro 10: Comparación organoléptica y consumo de combustible usando diferentes proporciones Aire / Combustible	49
Cuadro 11: Horas de trabajo, tiempo de escurrimiento y consumo de combustible de aceite monogrado	52
Cuadro 12: Horas de trabajo, tiempo de escurrimiento y consumo de combustible de aceite multigrado	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ecuación del coeficiente de fricción	4
Figura 2: Viscosidad dinámica	6
Figura 3: Ecuación de la fuerza de fricción	7
Figura 4: Ecuación de la viscosidad	7
Figura 5: Ecuación de la viscosidad cinemática	8
Figura 6: Comportamiento de fluido Newtoniano	9
Figura 7: Comportamiento de fluido plástico	10
Figura 8: Comportamiento de fluido plástico	10
Figura 9: Comportamiento de fluido dilatante	10
Figura 10: Índice de viscosidad (Viscosidad Vs. Temperatura)	14
Figura 11: Composición de los aceites	16
Figura 12: Denominación SAE	23
Figura 13: Código SAE	24
Figura 14: Temperatura de trabajo según grado SAE	25
Figura 15: Mapa de ubicación: Distrito de Puerto Bermúdez, Oxapampa, Cerro de Pasco	32
Figura 16: Mochila fumigadora	34
Figura 17: Moto fumigadora	35
Figura 18: Moto bomba	36
Figura 19: desbrozadora	36
Figura 20: Motor estacionario	37

Figura 21: Generador	37
Figura 22: Moto lineal	38
Figura 23: Tractor agrícola	39
Figura 24: Tijeras de podar	40
Figura 25: Aceite WD 40 Multiuso	43
Figura 26: Aceite 3 en UNO	43
Figura 27: Consumo de combustible en lt / hr	50
Figura 28: Tiempo de escurrimiento y consumo de combustible en aceite monogrado	55
Figura 29: Tiempo de escurrimiento y consumo de combustible en aceite multigrado	55

RESUMEN

En el actual trabajo se presenta, en primer lugar, el marco teórico, en segundo lugar, en el análisis de tres casos prácticos descritos a continuación.

El análisis de los casos prácticos, se refiere a la experiencia sobre el manejo de un pequeño pool de maquinaria agrícola en el valle de Pichis-Palcazu en la provincia de Oxapampa. Primero, se estudia la prolongación de la vida útil de dos marcas de tijeras de poda profesionales, según dos de aceite usados. Un segundo caso donde variando la proporción aceite-combustible se determina el consumo de combustible en una desbrozadora profesional con motor de dos tiempos. Por último, se compara un aceite monogrado y uno multigrado de acuerdo a la variación de su viscosidad y el consumo de combustible en un tractor Kubota de 30 HP. También se realiza una breve evaluación económica en los dos últimos casos.

En el primer caso, se encuentra que la vida útil de las tijeras se prolonga hasta en un 55%. En el segundo caso se encuentra que la mezcla aceite/combustible que brinda menor consumo de combustible es de 1:50. Y, por último, la variación de la viscosidad del aceite y el consumo de combustible en la máquina estudiada fueron similares tanto para el aceite monogrado como para el multigrado observados.

Se finaliza recomendando el mejor aceite para protección de las herramientas en la zona (WD-40), la mejor proporción aceite-combustible para un motor de dos tiempos (1:50) y el uso de aceite monogrado en vez de uno multigrado en la zona.

PALABRAS CLAVES: Lubricante, lubricación, viscosidad, temperatura, fluidez

I. INTRODUCCIÓN

Toda máquina requiere lubricación. Si existen partes en contacto y con movimiento relativo entre sí, siempre existirá un desgaste debido a la fricción. Por esta razón se hace indispensable la utilización de sustancias que minimicen este efecto. Estas sustancias son llamadas “lubricantes”, y a su aplicación “lubricación”.

Desde que existe frotación entre dos cuerpos sólidos se presenta una considerable resistencia al movimiento sin importar lo cuidadosamente que las superficies se hayan pulido. La resistencia se debe a la abrasión entre las aristas y salientes microscópicas y la energía necesaria para vencer esta fricción se disipa en forma de calor y/o como desgaste de las partes móviles. La fricción se podría reducir con el uso de partes móviles con energía de superficie baja que se deslizan con facilidad una sobre otra (Sanz, A. 1998).

Si bien es cierto, no existe lubricación perfecta, esta minimiza los efectos nocivos de la fricción en los elementos de máquinas y prolongan su vida útil, lo cual se traduce en un ahorro significativo en los costos de mantenimiento en la empresa. Así mismo, la función de protección ante la corrosión de los lubricantes es de suma importancia para las máquinas y mecanismos (Sanz, A. 1998).

Por otro lado, se pretende esclarecer o desmitificar la errónea idea, normalmente generalizada, de que, en toda ocasión y en cualquier condición de trabajo, un aceite multigrado es superior en características a un aceite monogrado y que, a mayor viscosidad, un aceite es mejor.

En el caso práctico se ponen en consideración algunas de estas teorías con el fin de aplicarlas a la selección, manejo y uso de algunos lubricantes en herramientas y en motores.

Objetivos

General

Comparar diversos aceites en un pool de maquinaria y determinar la mejor opción en cada caso presentado.

Específicos

- a. Verificar el efecto de los lubricantes sobre la vida útil de las herramientas manuales en el pool de maquinarias en el fundo “El Abuelo”.
- b. Analizar el consumo de combustible en motores de dos tiempos con diferentes proporciones en la mezcla aceite / combustible, así como la variación del ralentí del motor y la producción de humos (estos dos últimos parámetros a través de un análisis organoléptico).
- c. Comprobar la variación de la viscosidad de un aceite monogrado y uno multigrado a diferentes horas de trabajo y determinar la mejor elección entre estos, a temperaturas presentes en el fundo “El Abuelo”.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Lubricante

Históricamente, el primer lubricante fue el sebo. Se utilizaba para engrasar las ruedas de los carros romanos ya en el año 1400 a.C. estos han ido avanzando tecnológicamente a través de los años y lo siguen haciendo, adaptándose a las necesidades y exigencias de los diversos tipos de máquinas (DIRIND, 2016).

Existen muchas definiciones de lo que es un lubricante. Una de ellas es que un lubricante es toda sustancia sólida, semisólida o líquida, de diferentes orígenes que, puesto entre dos piezas con movimiento relativo entre ellas, disminuye el rozamiento y facilita el movimiento (Hernández, 2007). O, por otro lado, el lubricante es una sustancia que se sitúa entre dos superficies, con movimiento entre ellas, a fin de disminuir la fricción y el desgaste (DIRIND, 2016).

Actualmente, dentro de los lubricantes podemos encontrar dos tipos de ellos, grasas y aceites y se usan de acuerdo al tipo de trabajo que los elementos de las máquinas y/o herramientas deban realizar y, además, a las condiciones del trabajo, así como también al ambiente en que vayan a operar y al tipo de mecanismo, entre otros factores como la temperatura, tipo de contacto entre piezas, etc.

2.1.1. Funciones de los lubricantes

Los lubricantes se dividen en dos grandes grupos: los aceites y las grasas. Cada uno de estos dos grupos presenta diversas propiedades y funciones.

La principal función de un lubricante, como se señaló anteriormente, es la que su propio nombre señala, es decir, “lubricar”, no obstante, los lubricantes no solo son diseñados para cumplir dicha función, sino, dependiendo del tipo de lubricante y su aplicación, estos cumplen otras funciones no menos importantes. (DIRIND, 2016)

Lubricar es sinónimo reducción de la fricción. La reducción de la fricción se realiza manteniendo una película de lubricante entre las superficies que se mueven una con respecto de la otra, previniendo que entren en contacto y causen un daño superficial. La fricción es un elemento común en la vida diaria. Una persona puede caminar por una rampa inclinada sin resbalar debido a la alta fricción entre la suela de sus zapatos y la rampa, y puede deslizarse montaña abajo en sus esquíes porque la fricción entre éstos y la nieve es baja. Ambos casos ilustran la fricción entre dos superficies ordinarias. (DIRIND, 2016)

La cantidad de resistencia al movimiento debido a la fricción se puede expresar en términos del coeficiente de fricción como vemos en la figura 1:

$$\text{Coeficiente de fricción} = \frac{\text{Fuerza de fricción que se opone al movimiento}}{\text{Carga perpendicular a la superficie}}$$

Figura 1: Ecuación del coeficiente de fricción

FUENTE: Galán, 1987

Este coeficiente es casi constante para cualquier par de superficies. Para metales limpios, con una terminación superficial ordinaria, expuestos a la atmósfera, el valor es aproximadamente 1. Para el mismo metal, contaminado por el manipuleo, el valor cae a alrededor de 0,3. Para sistemas bien diseñados y lubricados, el coeficiente puede ser tan bajo como 0,005. Bajo condiciones muy especiales, se pueden obtener valores tan bajos como 0,000005. En contraste, los coeficientes para superficies metálicas limpias en el vacío, pueden ser tan altos como 200 o más, y la soldadura en frío debido a la adhesión puede ocurrir. La lubricación es de dos tipos generales basado en el ambiente operacional, esto es, carga y velocidad del equipamiento y viscosidad del lubricante (propiedad que describiremos posteriormente). Las superficies lisas separadas por una capa de lubricante no entran en

contacto, y por lo tanto no contribuyen a las fuerzas de fricción. Esta condición se llama lubricación hidrodinámica. Se llega al límite de la lubricación cuando hay un contacto intermitente entre las superficies (Lubricar.net. 2015).

Otras funciones importantes de los lubricantes, según López, O., son:

- a. Sellar el espacio entre piezas: Dado que las superficies metálicas son irregulares a nivel microscópico, el lubricante llena los huecos o huelgos que entre estos existiera. Por ejemplo, en los motores de explosión este sellado evita fugas de combustible y gases de escape y permite un mejor aprovechamiento de la energía.
- b. Mantener limpio el circuito de lubricación: en el caso de los lubricantes líquidos estos arrastran y diluyen la suciedad, depositándola en el filtro encargado se separarlas del mismo.
- c. Contribuir a la refrigeración de las piezas: En muchos sistemas, de hecho, el lubricante es además el agente refrigerante del circuito, aunque esta no es una función exclusiva de este.
- d. Transferir potencia de unos elementos del sistema a otros: Tal es el caso de los aceites hidráulicos.
- e. Neutralizar los ácidos que se producen en la combustión.
- f. Proteger de la corrosión: El lubricante crea una película sobre las piezas metálicas, lo que las aísla del aire y el agua, reduciendo la posibilidad de corrosión, etc.

2.1.2. Propiedades físicas de los lubricantes

2.1.2.1. Viscosidad

Es una propiedad aplicable tanto a aceites como a grasas. Esta es la principal propiedad de los lubricantes, de hecho, buena parte de los sistemas de clasificación de los aceites están basados en esta propiedad (Potter y Ramadan 2002).

La viscosidad se define como la resistencia de un líquido a fluir. Esta resistencia es provocada por las fuerzas de atracción entre las moléculas del líquido. El esfuerzo necesario para hacer fluir el líquido (esfuerzo de desplazamiento) estará en función de esta resistencia. Los fluidos con alta viscosidad ofrecen mayor resistencia a fluir, mientras que los poco viscosos una menor (Potter y Ramadan 2002).

La viscosidad se ve afectada por las condiciones ambientales, especialmente por la temperatura y la presión, y por la presencia de aditivos modificadores de la misma, que varían la composición y estructura del aceite. La fricción entre moléculas genera calor; la cantidad de calor generado está en función de la viscosidad. Esto también afecta a la capacidad de sello del aceite y a su consumo (López, 2000).

La viscosidad también tiene que ver con la facilidad para ponerse en marcha de las máquinas, particularmente cuando operan en temperaturas bajas. El funcionamiento óptimo de una máquina depende en buena medida del uso del lubricante con la viscosidad adecuada para la temperatura ambiente. Además, es uno de los factores que afecta a la formación de la capa de lubricación (López, 2000).

2.1.2.1.1. Viscosidad dinámica o absoluta

Los términos viscosidad absoluta y viscosidad dinámica se usan intercambiamente con el de viscosidad para distinguirla de la viscosidad cinemática o comercial. Se define, como ya hemos dicho como la resistencia de un líquido a fluir. Matemáticamente se expresa como la relación entre el esfuerzo aplicado para mover una capa de aceite (tensión de corte) y el grado de desplazamiento conseguido. El concepto de viscosidad puede entenderse con ayuda de la figura 2. (López, 2000)

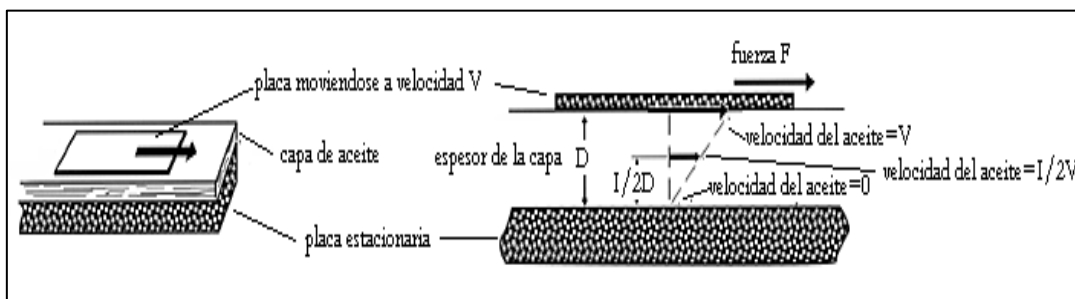


Figura 2: Viscosidad dinámica

FUENTE: López, 2000

En la figura se muestra dos placas, fija y móvil, separadas una distancia “D”. La placa móvil se desplaza con velocidad constante “V”. El aceite adherido a la placa se mueve a la misma velocidad que ella. Entre ambas placas observamos que las capas de aceite entre ambas se mueven a una velocidad inversamente proporcional a su separación de la placa móvil. Para vencer la fricción entre placas será necesario ejercer una fuerza “F”. Dado que la fricción entre capas está relacionada con la viscosidad, Newton demostró que la fuerza “F” es una medida de la fricción interna del fluido, siendo proporcional a la superficie de la placa móvil “S” y al gradiente de velocidad “V/D” como se observa en la figura 3 (López, 2000).

$$F = \frac{\eta S V}{D}$$

Figura 3: Ecuación de la fuerza de fricción

FUENTE: López, 2000

Donde “η” es el coeficiente de viscosidad absoluta y “V/D” es el gradiente de velocidad o grado de desplazamiento. Por tanto, la viscosidad absoluta queda definida como se visualiza en la figura 4.

$$\text{viscosidad absoluta} = \frac{\frac{F}{S}}{\frac{V}{D}} = \frac{\text{tensión de corte}}{\text{gradiente de velocidad}}$$

Figura 4: Ecuación de la viscosidad

FUENTE: López, 2000

Podemos ver así que la viscosidad de un fluido se puede determinar conociendo la fuerza necesaria para vencer la resistencia del fluido en una capa de dimensiones conocidas.

2.1.2.1.2. Viscosidad cinemática o comercial

La viscosidad cinemática se define como la resistencia a fluir de un fluido bajo la acción de la gravedad.

En el interior de un fluido, dentro de un recipiente, la presión hidrostática (la presión debida al peso del fluido) está en función de la densidad. Por otra parte, el tiempo que tarda en fluir un volumen dado de fluido es proporcional a su viscosidad dinámica. Podemos expresar la viscosidad cinemática según se ve en la figura 5 (López, 2000).

$$\text{viscosidad cinemática} = \frac{n}{d}$$

Figura 5: Ecuación de la viscosidad cinemática

FUENTE: López, 2000

Donde “n” es el coeficiente de viscosidad dinámica y “d” la densidad, todo ello medido a la misma temperatura. La gravedad específica puede aplicarse en la expresión anterior en lugar de la densidad. Por lo dicho anteriormente, la viscosidad cinemática puede definirse como el tiempo requerido por un volumen dado de fluido en fluir por acción de la gravedad (López, 2000).

2.1.2.1.3. Viscosidad aparente

La viscosidad aparente es la viscosidad de un fluido en una determinada condición de temperatura y agitación (no normalizadas). La viscosidad aparente no depende de las características del fluido, sino de las condiciones ambientales, y por tanto variará según las condiciones (López, 2000).

2.1.2.1.4. Factores que afectan a la viscosidad

Aunque en la mayor parte de los casos sería deseable que la viscosidad de un lubricante permaneciese constante, ésta se ve afectada por las condiciones ambientales, como ya hemos dicho. Para evitarlo se usan aditivos. (López, 2000)

a. Efecto de la temperatura

En termodinámica la temperatura y la cantidad de movimiento de las moléculas se consideran equivalentes. Cuando aumenta la temperatura de cualquier sustancia (especialmente en líquidos y gases) sus moléculas adquieren mayor movilidad y su cohesión disminuye, al igual que disminuye la acción de las fuerzas intermoleculares. Por ello, la viscosidad varía con la temperatura, aumentando cuando baja la temperatura y disminuyendo cuando se incrementa (López, 2000).

b. Efecto de la velocidad de corte

No todos los fluidos responden igual a variación de la velocidad de corte. Debido a su naturaleza, la mayoría de los fluidos no varían su viscosidad al variar la velocidad de corte y son los llamados fluidos newtonianos. En estos, el grado de desplazamiento de las capas de líquido (V/D) es proporcional a la fuerza que se aplica y la viscosidad (n) respecto al grado de desplazamiento es constante. (López, 2000)

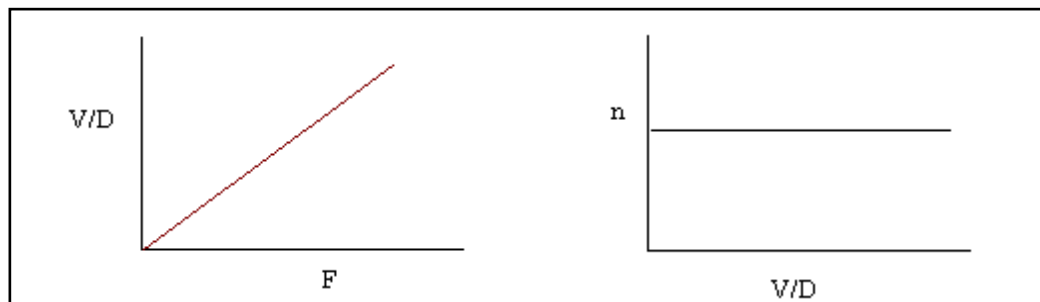


Figura 6: Comportamiento de fluido Newtoniano

FUENTE: López, 2000

Los fluidos en los que no se cumple esta condición son llamados no-newtonianos cuyas graficas de fuerza y viscosidad se aprecian en la figura 6, y dentro de ellos podemos establecer varios tipos:

- i. Fluidos plásticos o de Bingham; estos fluidos no fluyen mientras que la fuerza que se les aplica no supere un cierto nivel (umbral). Una vez rebasado dicho umbral, el desplazamiento conseguido es proporcional a la fuerza aplicada, en la figura 7 se aprecia su comportamiento (López, 2000).

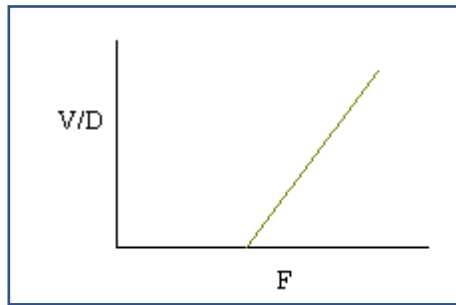


Figura 7: Comportamiento de fluido plástico

FUENTE: López, 2000

- ii. Fluidos pseudo plásticos; en estos no aparece ningún umbral, pero el desplazamiento conseguido no es proporcional a la fuerza, sino que aumenta en una proporción mucho mayor, como se puede ver en la figura 8.

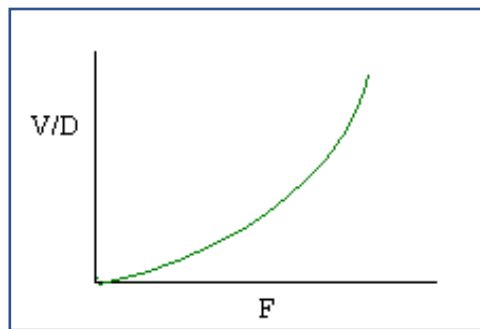


Figura 8: Comportamiento de fluido plástico

FUENTE: López, 2000

- iii. Fluidos dilatantes; en estos la viscosidad aumenta al aumentar la fuerza aplicada, como nos muestra la figura 9. Es como si el fluido fuera frenando al aplicar la fuerza.

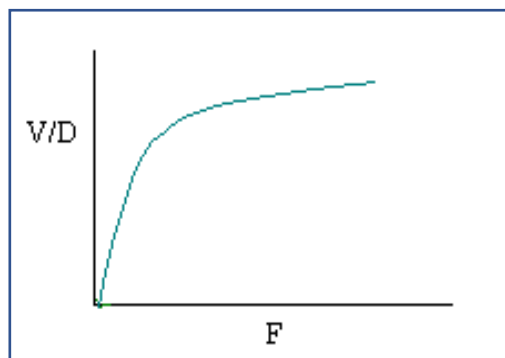


Figura 9: Comportamiento de fluido dilatante

FUENTE: López, 2000

- iv. Fluidos tixotrópicos; en estos la viscosidad va disminuyendo al aplicar una fuerza y acto seguido vuelve a aumentar al cesar la fuerza. El efecto contrario se conoce como reopexia. Las variaciones tixotrópicas son debidas a la destrucción de los enlaces intermoleculares a causa del corte, y a su reconstrucción progresiva al cesar este. Como por ejemplo en la grasa. (López, 2000)

c. Efecto de las sustancias extrañas

Durante su utilización, el lubricante ve expuesto a sustancias extrañas, que, antes o después, acaban afectándolo, modificando sus características. Al contrario que la temperatura o la velocidad de corte, esta modificación será permanente y progresiva (López, 2000).

La viscosidad de un lubricante puede disminuir a causa de:

- Base de baja calidad.
- Disolución por otra sustancia.

Y puede aumentar debido a:

- Base de baja calidad.
- Pocos aditivos
- Acumulación de contaminantes
- Oxidación.

Los factores anteriores pueden combinar su acción, de manera que incluso lleguen a anularse. Es decir, un lubricante puede perder viscosidad debido a una base de baja calidad, y recuperarla por acumulación de suciedad. De cualquier forma, esto implica una degradación del lubricante, y es más preocupante una pérdida de viscosidad que un incremento (López, 2000).

2.1.2.1.5. Unidades de medida de la viscosidad

Según Galán, J., existen un buen número de unidades empleadas en la medición de la viscosidad. Algunas se basan en la relación entre la fuerza aplicada y el grado de desplazamiento conseguido; otras se basan en el tiempo que tarda en fluir una determinada

cantidad de líquido a través de un orificio calibrado, a una determinada temperatura, que suele ser 100°F y 210°F ($\approx 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\approx 100\text{ }^{\circ}\text{C}$).

- Poise (Po): En honor de Poiseville, quien en 1844 desarrollo la ecuación de viscosidad de los gases. Es la unidad de viscosidad absoluta del sistema CGS. Se define como la fuerza en dinas necesaria para mover una placa lisa de 1 cm² de superficie separada de otra fija por una capa de líquido de 1 cm. d espesor, a una velocidad de 1 cm/seg (dina x cm²/seg). También se denomina g x cm/seg. En la práctica suele usarse su submúltiplo, el centipoise. 1 cPo = 0,01 Po
- Poiseville (Pl): Unidad de viscosidad absoluta del Sistema Internacional. Su definición es similar a la del Poise, pero sustituyendo las unidades CGS por las del S.I. (N x seg/m²). 1 Pl= 10 Po = 1 Pa x seg
- Reyn: Llamado así por Sir Osborne Reynolds. En la práctica se usa el microreyn, su millonésima parte, dada la magnitud de la unidad fundamental.
- Stokes (St): Unidad de viscosidad cinemática del sistema CGS. Se basa en la relación entre la viscosidad dinámica de un fluido y su densidad (ver viscosidad cinemática). También puede denominarse cm²/seg. Suele emplearse su submúltiplo el centistokes (cSt). 1 cSt = 0'01 St. La viscosidad dinámica en centipoise puede convertirse en viscosidad cinemática en centistokes dividiéndola por la densidad en g/cm³, a la misma temperatura.
- Metro cuadrado por segundo (m²/seg): Unidad de viscosidad cinemática del S.I. 1 m²/seg= 104 St
- Segundos Saybolt (SUS)= Indica el tiempo que tarda el fluir 60 ml de aceite a través de un tubo capilar a una temperatura dada entre 70°F y 210°F. Si el fluido es de viscosidad muy alta viscosidad se usa un tubo de mayor diámetro, expresando entonces el resultado en Segundos Saybolt Furol (SSF). Se usa sobre todo en Estados Unidos.

- Grados Engler: Es el resultado de dividir el tiempo que tarda en fluir 200 ml de aceite a través de un agujero calibrado y el tiempo que tarda en fluir 200 ml de agua a través de un agujero del mismo calibre, a la misma temperatura. El resultado se expresa en grados Engler.
- Segundos Redwood: Indica el tiempo que tarda en fluir 50 ml de aceite a través un orificio calibrado. Se usan dos viscosímetros uno para tiempos menores a 2000 segundos (#1) y otro para tiempos mayores (#2).

En la actualidad, la viscosidad suele determinarse en centistokes, para luego convertirlo a otras unidades.

2.1.2.2. Índice de viscosidad

Esta es una propiedad específica de los aceites y no de las grasas.

El índice de viscosidad es la medida de la variación de la viscosidad de un aceite en función de la temperatura. Esta es una medida arbitraria que fue introducida en 1929 por Dean y Davis. El método consiste en comparar la viscosidad del aceite dado con la de dos aceites patrón: el procedente del crudo de Pensilvania (parafínico), cuya viscosidad varía muy poco con la temperatura, y el procedente del crudo del Golfo de Méjico (naftalénico), que varía mucho su viscosidad con la temperatura. A estos se les asigna un índice de viscosidad de 100 y 0 respectivamente. Y se compara con el aceite a analizar. Se mide a 100 °C. (Gonzales, F. 2005)

Cuanto más alto es índice de viscosidad, más estable es la viscosidad del aceite. Esta es una escala antigua, los actuales aceites pueden sobrepasar el $IV = 100$ (120, 130). Los aditivos ayudan a mejorar el IV.

La figura 10 nos grafica la relación entre índices de viscosidad, donde $IV1 < IV2 < IV3$

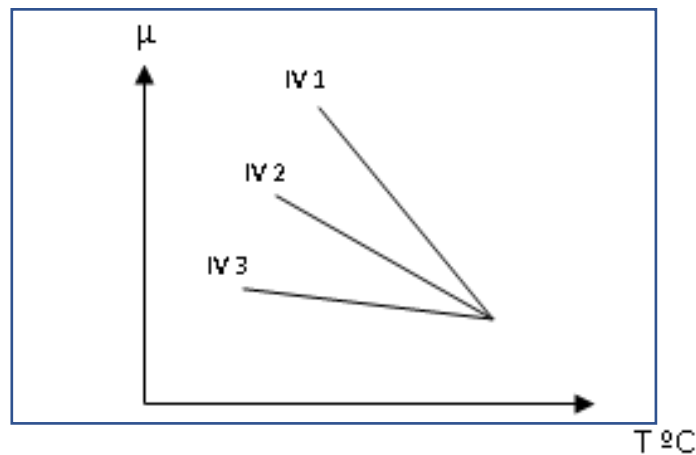


Figura 10: Índice de viscosidad (Viscosidad Vs. Temperatura)

FUENTE: Elaboración propia

Aplicaciones del IV: En varias aplicaciones donde la temperatura de operación permanece más o menos constante, el IV es de relativa importancia. Sin embargo, en aplicaciones donde la temperatura de operación varía sobre un amplio rango, como es el caso de los motores de combustión interna, esta adquiere una importancia fundamental. Al obtener la relación de la modificación de la viscosidad a las dos temperaturas basándose en el conocimiento de que cuanto menor sea la modificación de la viscosidad, tanto mejor será, en general, la calidad del lubricante (Gonzales, F. 2005).

2.1.2.3. Punto de fluidez

Propiedad específica de los aceites.

El punto de fluidez de un aceite lubricante es la mínima temperatura a la cual este fluye sin ser perturbado bajo la condición específica de la prueba. Los aceites contienen ceras disueltas que cuando son enfriados se separan y forman cristales que se encadenan formando una estructura rígida atrapando al aceite entre la red. Cuando la estructura de la cera está lo suficientemente completa el aceite no fluye bajo las condiciones de la prueba. La agitación mecánica puede romper la estructura cerosa, y de este modo tener un aceite que fluye a temperaturas menores a su punto de fluidez. (DIRIND, 2016)

En ciertos aceites sin ceras, el punto de fluidez está relacionado con la viscosidad. En estos aceites la viscosidad aumenta progresivamente a medida que la temperatura disminuye hasta llegar a un punto en que no se observa ningún flujo existente. Los aceites de motor son de base parafínica y se congelan fácilmente (DIRIND, 2016).

2.1.2.4. Otras propiedades

- Punto de chispa (*flash point*).
- Índice de neutralización y saponificación
- Número total ácido y número total básico
- Índice de alquitrán y de alquitrانización
- Demulsividad y emulsividad
- Untuosidad
- Residuos carbonosos:
- Estabilidad a la oxidación:
- Espumación
- Bombeabilidad
- Consistencia
- Aceitosidad o lubricidad
- Adhesión o adherencia
- Rigidez dieléctrica
- Aeroemulsión
- Punto de goteo
- Punto de enturbiamiento
- Punto de congelación
- Punto de floculación.

2.1.3. Los aceites lubricantes

Los aceites son un tipo de lubricante, estos se presentan originalmente en estado líquido, las propiedades de los aceites fueron descritas en la sección anterior (Casado de Diego, 2015).

2.1.3.1. Composición de los aceites

Un lubricante está compuesto esencialmente por una base o aceite básico + aditivos (los porcentajes se grafican en la figura 11). Las bases lubricantes determinan la mayor parte de las características del aceite, tales como: Viscosidad, Resistencia a la oxidación, Punto de fluidez, y todas las propiedades antes mencionadas (Casado de Diego, 2015).

El aceite básico puede ser: Orgánico, Mineral, Semi sintético y Sintético. Estos están constituidos por moléculas largas hidrocarbonadas complejas, de composición química, orgánica y minerales. (Casado de Diego, 2015)

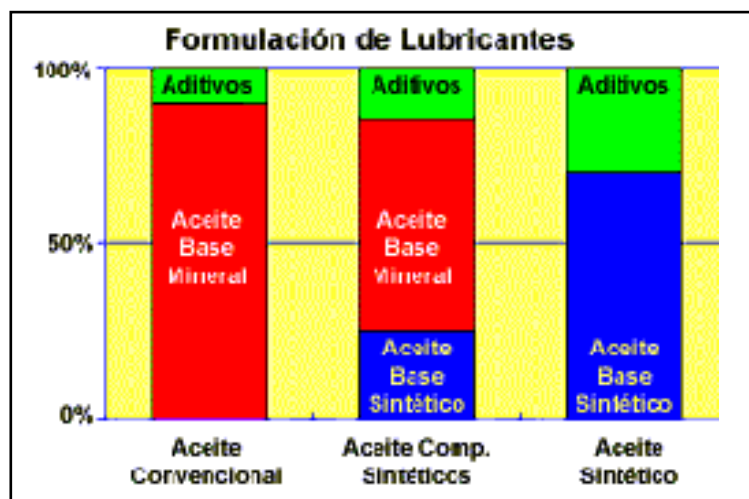


Figura 11: Composición de los aceites

FUENTE: Casado de Diego, 2015

En el pasado, era frecuente usar designaciones tales como aceite de husillos, aceite de máquinas, etc. quizás todavía se oyen estos términos, pero tienden a desaparecer como designaciones comerciales. Incluso los nombres que indican la composición química de los aceites, ya no se emplean más. Hoy los productos aparecen como aceites lubricantes, y se pueden clasificar como aceites minerales, sintéticos, animales o vegetales (Casado de Diego, 2015).

Cuando nos referimos a las ventajas de la nueva generación de lubricantes siempre hacemos mención a los aceites. Aunque los lubricantes sintéticos han estado en uso en la industria durante más de 50 años, hay aún una gran confusión acerca de ellos y los beneficios del valor

agregado en aplicaciones industriales. En muchas aplicaciones el uso de los lubricantes sintéticos reduce los costos de operación y mantenimiento, ahorra energía y proporciona una mayor protección a los sistemas (ReliabilityWeb. 2017).

2.1.3.1.1. Bases orgánicas

Se extraen de animales y vegetales. Cuando aún no se conocía el petróleo, eran los únicos utilizados; hoy en día se emplean mezclados con los aceites minerales impartiendo ciertas propiedades tales como adherencia a las superficies. Estos aceites se descomponen fácilmente con el calor y a temperaturas bajas se oxidan formando gomas, haciendo inútil su utilización en la lubricación (Casado de Diego, 2015).

2.1.3.1.2. Bases minerales

Son derivados del petróleo cuya estructura se compone de moléculas complejas que contienen entre 20 y 70 átomos de carbono por molécula. Un aceite mineral está constituido por una base lubricante y un paquete de aditivos químicos, que ayudan a mejorar las propiedades ya existentes en la base lubricante o le confieren nuevas características. Los aceites minerales puros no tienen compuestos inestables, que podrían tener un efecto significativo sobre su duración: por ejemplo, nitrógeno, oxígeno y compuestos de azufre y ácidos (Casado de Diego, 2015).

Las bases minerales pueden ser “Parafínicas” (mayor cantidad de ceras) o “Nafténicas” (menor cantidad de ceras) o “aromáticas”, siendo las dos primeras las de uso más frecuente. Para la obtención de diferentes tipos de aceite lubricante, se suele usar, hoy en día, la refinación con disolvente. Los aceites minerales cubren aproximadamente un 90% de la demanda de aceites lubricantes (Casado de Diego, 2015).

2.1.3.1.3. Bases sintéticas

Son aquellas obtenidos únicamente por síntesis química, ya que no existen en la naturaleza. Una de las grandes diferencias de los aceites sintéticos frente a los minerales es que presentan una estructura molecular definida y conocida, así como propiedades predecibles, fruto de

esta información. Los productos que hasta hoy se conocen como lubricantes sintéticos puede ser ubicado entre alguna de las siguientes familias citadas a continuación:

a. PAO (*Poly Alpha Olefines*)

Son el resultado de una química del etileno que consiste en la reacción de polimerización de compuestos olefínicos. Son multigrado según la clasificación SAE para motor y cajas de cambio, y su punto de congelación es muy bajo. También son conocidos como Hidrocarburos de síntesis, por ser "construidos" artificialmente con productos procedentes del crudo petrolífero. Se aplican en aceites de uso frigorífico por su propiedad de continuar fluidos a muy baja temperatura. Si comparamos éste con un aceite mineral tiene un mayor índice de viscosidad y una mejor resistencia a la oxidación (Casado de Diego, 2015).

b. Ésteres orgánicos

Se obtienen también por síntesis, es decir, de forma artificial, pero sin la participación de productos petrolíferos. Al contrario de las bases anteriormente mencionadas, los Esteres son producto de la reacción de esterificación entre productos de origen vegetal, tales como alcoholes y ácidos grasos de origen vegetal. Son Multigrado y tienen un poder lubricante extraordinario. Los ésteres, tienen propiedades sobresalientes, tales como alta Untuosidad. Posee propiedades "autolimpiantes", ya que es capaz de evitar la formación de depósitos adheridos en las paredes internas del motor. Poseen también excelente resistencia a altas temperaturas y altísima Biodegradabilidad, por lo tanto, no rompe el equilibrio ecológico ya que son absorbidos por las colonias bacterias sin causarles daño. Su grado de degradación biológica en estado puro y nuevo es cercano a 100%. Estos son usados en aceites para compresor, en aceites hidráulicos y en aceites de transmisión. (DIRIND, 2016)

c. Ésteres fosfóricos

Son producto de la reacción de óxidos fosfóricos y alcoholes orgánicos. Su alto costo hace que su uso quede restringido a los fluidos hidráulicos resistentes al fuego en aplicaciones muy específicas. Tienen un muy buen poder lubricante y antidesgaste (DIRIND, 2016).

En los dos siguientes cuadros se comparan las propiedades de los dos tipos de bases minerales y se resumen los usos de las bases sintéticas respectivamente.

Cuadro 1: Comparación de las bases

Propiedad	Parafínica	Nafténica
Densidad	< 0.9	> 0.9
I.V.	> 90	< 20
Flash Point	200 – 230 °C	140 – 160 °C
Punto de fluidez	-6 °C	-20 °C
Residuos carbonosos	>	<
Demulsividad	Buena	Mala
Estabilidad a la oxidación	Buena	Mala
TBN	< 0.1	< 0.1
Volatilidad	Baja	Media
Solubilidad de aditivos	Pobre	Buena

FUENTE: ReliabilityWeb, 2017

Cuadro 2: Resumen de las aplicaciones de las bases sintéticas

Tipos	Aplicación Principal
Oligómeros de olefina (PAOs)	Automotriz e Industrial
Ésteres orgánicos	Aviación y Automotriz
Ésteres fosfóricos	Industrial

FUENTE: ReliabilityWeb, 2017

2.1.3.1.4. Las bases “*Hydrocracked*”

Son el resultado de un complejo proceso de hidrogenación catalítico. Este moderno sistema obtiene unos excelentes resultados en la mejora de viscosidad de las bases minerales. También son denominadas como bases minerales "No Convencionales".

Comparados con aceites minerales clásicos que son Monogrado, los aceites "*Hydrocracked*", ofrecen grandes ventajas, ya que son Multigrado y mucho más resistentes a la oxidación. Es un excelente producto para producir aceites de alta calidad con un costo reducido. El cuadro 3 hace una comparación de las propiedades de las diferentes bases (ReliabilityWeb, 2017).

Cuadro 3: Comparación de las propiedades de las bases

Propiedades	Base			
	Mineral	<i>Hydrocrack</i>	P.A.O.	Éster
Viscosidad	Monogrado	Multigrado	Multigrado	Multigrado
Índice de viscosidad	Bajo 100	Bueno 120-150	Bueno 120-150	Muy Bueno 130-160
Punto de congelación	Débil -10/-15	Débil -15/-25	Excelente -40/-60	Excelente -40/-60
Resistencia a la oxidación	Buena	Buena	Muy buena	Excelente
Volatilidad	Media	Media	Excelente	Excelente
Untuosidad	No	No	No	Sí
Biodegradabilidad	No	No	No	Sí

FUENTE: Terre-Motos. 2014

2.1.3.1.5. Los aditivos

Según indica Casado, D., los aceites lubricantes contienen normalmente aditivos de varios tipos. Los más comunes son los agentes antioxidantes, los protectores contra la corrosión, los aditivos antiespumantes, los aditivos anti desgaste y los aditivos EP (extrema presión).

a. Antioxidantes

Los aceites expuestos a altas temperaturas y en contacto con el aire se oxidan, esto es, se forman compuestos químicos que pueden incrementar la viscosidad del aceite y causar corrosión. Los antioxidantes mejoran la estabilidad a la oxidación del aceite de 10 a 150

veces. No obstante, el efecto inhibitor que se puede conseguir con un aceite lubricante, es relativamente limitado.

b. Aditivos protectores contra la corrosión

En principio, hay dos tipos de aditivos que ofrecen protección contra la corrosión: aditivos solubles en agua (por ejemplo, nítrico sódico), y aditivos solubles en aceite. Estos últimos pueden ser de varios tipos de jabones de plomo o los más modernos agentes basados en zinc.

c. Aditivos antiespumantes

Si el aceite forma espuma, decrece la capacidad de carga de la película; si forma mucha espuma puede llegar a rebosar y producirse pérdidas. El efecto antiespumante, es decir, la acción de humedecer la espuma, se obtiene añadiendo pequeñas cantidades de silicona fluida. Los aditivos que atenúan la espuma hacen que las burbujas rompan cuando alcanzan la superficie del baño de aceite.

d. Aditivos con efecto polar

Las grasas animales y vegetales, los ácidos grasos y ésteres, tienen un efecto polar que hace a las moléculas tomar una orientación perpendicular a las superficies. Pequeñas adiciones de estas sustancias hacen que mejore la capacidad de absorción de presión que disminuya el rozamiento a temperaturas de hasta unos 100 °C máximo. (Albarracín, P. 1993)

e. Aditivos EP activos

Estos aditivos, fósforo y compuestos de cloro y azufre, actúan de forma diferente a los anteriores. No se conoce en detalle cómo trabajan, pero, después de reacciones intermedias, se obtiene finalmente una combinación química con la superficie metálica. Los compuestos fosfuros, cloruros y sulfuros, tienen mucha menor resistencia que el metal y pueden cizallarse fácilmente. El aditivo de cloro es activo de 150 a 400 °C, el de azufre entre aproximadamente 250 y 800 °C, mientras que los de fósforo reaccionan a temperaturas menores. Estas temperaturas están muy localizadas y limitadas en un tiempo de una

diezmilésima de segundo en el que dos zonas metálicas están en contacto. Algunos compuestos de plomo también tienen el mismo efecto.

f. Aditivos sólidos

Los aditivos sólidos, como el bisulfuro de molibdeno, pueden también mejorar las propiedades lubricantes. El tamaño de las partículas debe ser de unas 0.2 micras, pudiendo así permanecer en suspensión en el aceite. Las partículas mayores o menores que éstas, sedimentaran. Cuando hay que filtrar un aceite que contienen aditivos sólidos, el tamaño de los poros debe ser al menos de 20 a 30 micras, ya que de otra forma el descenso de presión en el sistema será innecesariamente grande.

g. Aditivos detergentes HD

Los aditivos detergentes fueron introducidos en los años '70 para los aceites de automóviles. Tienen la particularidad de limpiar el motor o mecanismo de los depósitos de carbón. Son utilizados en maquinaria para trabajos pesado.

h. Aditivos espesadores

Se utilizan para aumentar la adhesividad de las grasas a las superficies metálicas, con el fin de evitar que sean desplazadas con facilidad y retienen, además, los fluidos por absorción. Los más utilizados son los jabones metálicos y los polibutilenos.

i. Aditivos estabilizadores

Permiten trabajar las grasas a temperaturas más altas durante un mayor tiempo. Se utilizan principalmente los ésteres de ácidos grasos.

j. Aditivos mejoradores del punto de goteo

Aumentan la temperatura del punto de goteo permitiendo que la temperatura máxima de trabajo se incremente sin que la grasa se escurra o descomponga. Se utilizan los jabones grasos.

k. Aditivos anti desgaste

Aditivos para aceite lubricante que minimizan el desgaste de los metales al impartir una barrera química a la superficie de estos. Son activados por el rozamiento a temperaturas normales de operación. Los dialquilditiofosfato de zinc (ZDDP) son la mayoría de moléculas que utilizan los fabricantes. Ya que a bajas temperaturas forman una resina en la superficie, y a altas temperaturas se descompone térmicamente y los compuestos de zinc y fósforo liberados forman una película sólida (Barrientos, H. 2006).

2.1.3.2. Clasificación SAE de los aceites

La sociedad de ingenieros automotrices (SAE por sus siglas en inglés), en la sección de lubricación, es la encargada de establecer la nomenclatura del grado de viscosidad de los aceites lubricantes, más conocido como “grado SAE”. Esta clasificación divide a los aceites lubricantes en dos grupos, los monogrados (por ejemplo, SAE 40) y los multigrados (por ejemplo, SAE 15W 40, como se aprecia en la figura 12). (Albarracín, P. 1993)

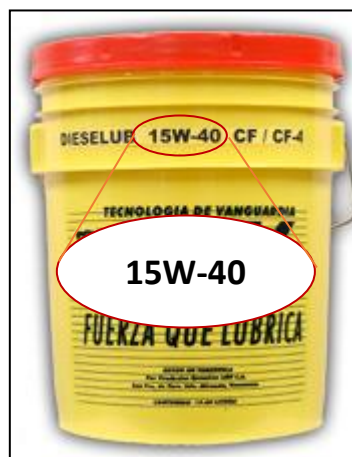


Figura 12: Denominación SAE.

FUENTE: lmv.com.ve

El índice SAE, tan solo indica como es el flujo de los aceites a determinadas temperaturas, es decir, su viscosidad. Esto no tiene que ver con la calidad del aceite, contenido de aditivos, funcionamiento o aplicación para condiciones de servicio especializado.

La clasificación SAE está basada en la viscosidad del aceite a dos temperaturas, en grados Fahrenheit, 0 °F y 210 °F, equivalentes a -18 °C y 99 °C, estableciendo ocho grados SAE para los monogrados y seis para los multigrados. Esta nomenclatura se descifra como se indica en la figura 13. En el cuadro 4 se señala una equivalencia entre los grados SAE y los cSt (Casado de Diego, 2015).

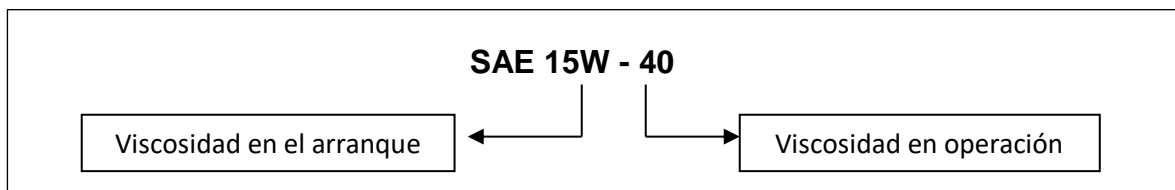


Figura 13: Código SAE.

FUENTE: lmv.com.ve

Cuadro 4: Equivalencia SAE – cSt

Grado SAE	Viscosidad Cinemática cSt @ 100 °C
0W	3,8
5W	3,8
10W	4,1
15W	5,6
20W	5,6
25W	9,3
20	5,6 - 9,3
30	9,3 - 12,5
40	12,5 - 16,3
50	16,3 - 21,9
60	21,9 - 26,1

FUENTE: OsmoAuto, 2011

Por ejemplo, un aceite SAE 10W 50, indica la viscosidad del aceite medida a -18 grados y a 100 grados, en ese orden. Nos dice que el aceite se comporta en frío como un SAE 10 y en caliente o en operación como un SAE 50. Así que, para una mayor protección en frío, se deberá recurrir a un aceite que tenga el primer número lo más bajo posible y para obtener un mayor grado de protección en caliente, se deberá incorporar un aceite que posea un elevado número para la segunda. Las temperaturas de trabajo de los aceites según su grado SAE se visualizan mejor en la figura 14 (OsmaAuto. 2017).

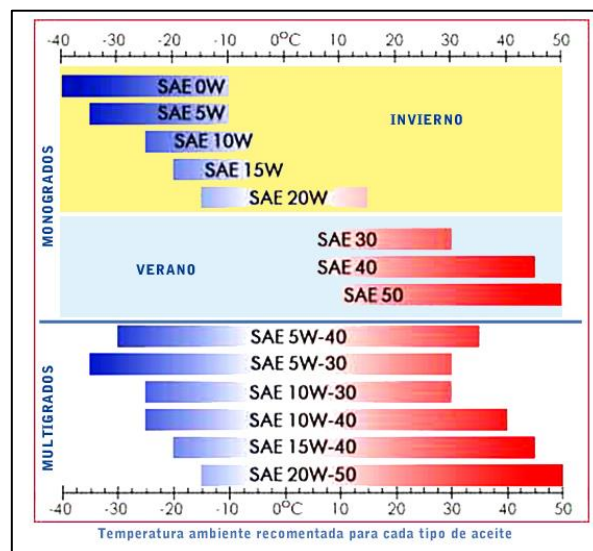


Figura 14: Temperatura de trabajo según grado SAE

FUENTE: Casado de Diego, 2015

2.1.3.3. Categoría de servicio API de un aceite

El Instituto Americano del Petróleo (API por sus siglas en inglés) define rangos de servicio, de decir, la calidad mínima que debe de tener el aceite. Los rangos que comienzan con la letra C (*Compression* –compresión- por su sigla en inglés) son para motores tipo Diesel, mientras que los rangos que comienzan con la letra S (*Spark* -chispa- por su sigla en inglés) son para motores tipo gasolina. La segunda letra indica la fecha o época de los rangos, según el cuadro 5 (ReliabilityWeb, 2017).

Cuadro 5: Categoría de servicio API según año

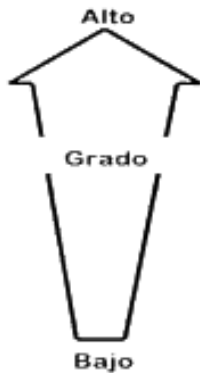
ACEITES MOTORES GASOLINA		ACEITES MOTORES DIESEL	
Periodos de Validez		Periodos de Validez	
SA	ANTES 1950	CA	ANTES 1950
SB	1950-1960	CB	1950-1952
SC	1960-1970	CC	1952-1954
SD	1965-1970	CD/CD II	1955-1987
SE	1971-1980	CE	1987-1992
SF	1981-1987	CF/CF-2	1992-1994
SG	1988-1992	CF-4	1992-1994
SH	1993-1996	CG-4	1995-200
SJ	1997-2000	CH-4	2001
SL	2001	"4" = Cuatro Tiempos	

FUENTE: ReliabilityWeb, 2017

2.1.3.3.1. Motores a Gasolina – 7 Grados

El primer carácter es una letra S. El segundo carácter muestra un código de grados entre A y G según el cuadro 6.

Cuadro 6: Categoría de servicio API para motor a gasolina



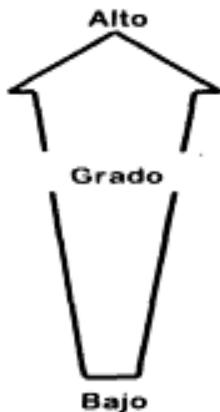
SG	Apropiado para cualquier condición de conducción.
SF	Apropiado para paradas y arranques frecuentes.
SE	Apropiado para condiciones de conducción más severas que la clase SD.
SD	Apropiado para condiciones de conducción poco severas.
SC	Apropiado para condiciones de conducción considerablemente ligeras.
SA, SB	Casi nunca Utilizado

FUENTE: ReliabilityWeb, 2017

2.1.3.3.2. Motores Diesel – 5 Grados

El primer carácter es una C. El segundo carácter muestra un código de grados entre A y E, según el cuadro 7.

Cuadro 7: Categoría de servicio API para motores Diesel



CE	Apropiado para modelos grandes de motores Diesel.
CD	Apropiado para motores equipados con turbo alimentador, los cuales están sujetos a condiciones de conducción extremadamente severas.
CC	Apropiado para condiciones de conducción severas y para motores equipados con turbo alimentadores.
CB	Apropiado para condiciones de conducción un poco severas.
CA	Apropiado para condiciones de conducción ligeras.

FUENTE: ReliabilityWeb, 2017

2.1.4. Tipos de Lubricación

El tipo de lubricación de cada sistema depende de variables como la presión, la velocidad relativa entre ellos y la viscosidad del lubricante, entre otros. Existen tres tipos de lubricación básicamente.

2.1.4.1. Lubricación por capa

Hay contacto entre las superficies ya que no existe una capa completa de lubricante que cubra las piezas. La velocidad relativa es baja. Se produce desgaste cuya magnitud depende de la calidad de las superficies en contacto, distancia entre las superficies, viscosidad del lubricante, cantidad de lubricante presente, presión, esfuerzo impartido a las superficies, y la velocidad de movimiento (Casado de Diego, A. 2015).

2.1.4.2. Lubricación Hidrodinámica

Se da cuando una película de lubricante permanece entre los componentes y la presión del lubricante crea una onda de lubricante delante de la película que impide el contacto entre superficies por lo que se produce un desgaste muy pequeño. Si los motores pudieran trabajar bajo estas condiciones todo el tiempo se evitaría el uso de ingredientes anti desgaste y de alta presión en las fórmulas de los lubricantes. La viscosidad es una característica fundamental en este tipo de lubricación, debe ser lo suficientemente alta para que no haya desgaste al inicio del ciclo y a la vez baja para reducir al mínimo la fricción viscosa del aceite a medida que es bombeada entre los cojinetes y las bancadas, es decir que a menor viscosidad menor energía desperdiciada al bombear el lubricante (Casado de Diego, A. 2015).

2.1.4.3. Lubricación mezclada

Es una combinación inestable de lubricación por capa e hidrodinámica. Un ejemplo es cuando arrancas el motor: la velocidad de los componentes aumenta velozmente y por una pequeña fracción de segundo se produce lubricación mixta. Otro ejemplo es cuando se maneja en tráfico o en alguna montaña, ya que el esfuerzo y la velocidad de los componentes varía ampliamente durante el uso por lo que la temperatura puede hacer que el lubricante se "queme" más rápido y pierda ciertos aditivos que dificulte la obtención de lubricación

hidrodinámica dejando así el motor trabajando en una condición de lubricación mixta (Casado de Diego, A. 2015).

2.1.5. Lubricación en motores de dos tiempos

Si bien es cierto que los aceites para motores de dos tiempos deben cumplir con diferentes tipos de requerimientos, las propiedades que estos poseen tales como viscosidad, punto de fluidez, untuosidad, etc. ya fueron descritas anteriormente y son válidas también en estos casos, aunque los valores varíen sustancialmente entre unos y otros (Morales M, 2016).

Las principales diferencias entre la lubricación para motores de dos tiempos y de cuatro tiempos es que en los primeros el aceite lubricante se suministra junto con el combustible, mejor dicho, mezclado con el combustible (aunque también hay sistemas de inyección de lubricante, pero son mucho menos comunes. De lo anterior se desprende que el aceite usado para motores de dos tiempos debe cumplir con ciertos requerimientos especiales, los que mencionamos a continuación (Motoresymas.com, 2010):

- El aceite, en primera instancia debe ser completamente miscible en el combustible y de esta manera formar una mezcla homogénea de tal manera que no haya concentraciones diferentes en la misma mezcla y que posteriormente este no se separe por acción de la gravedad u otra antes de la combustión.
- Los aceites de dos tiempos, adicionalmente se comportan reductor del grado de detonación del combustible con que se mezcla, de esta manera se evita el “embalamiento” del motor, que está diseñado para cierta velocidad máxima y es muy peligroso excederla pues se corre el riesgo de “fundir” el motor.
- Una vez que se presenta la combustión, el aceite debe ser capaz de permanecer, en parte, dentro de la cámara de combustión, más específicamente, en las paredes del cilindro y pistón, lo que implica que, por un lado, no debe combustionar completamente y por otro lado debe ser capaz de adherirse a las piezas.

- Ya que una parte del aceite se llega a “quemar” en la combustión este debe tener la propiedad de formar mínimos residuos.
- Finalmente, el aceite adherido a las piezas debe tener la capacidad de fluir sobre las estas para así poder llegar a otras piezas y también lubricarlas.
- Cabe resaltar que los aceites sintéticos son los ideales para estas condiciones.

2.1.6. Lubricación en motores de cuatro tiempos

A grandes rasgos describiremos la forma de lubricación en un motor de cuatro tiempos, de tal manera que la descripción nos brinde una idea de cómo fluye el aceite en el motor y cuáles serían las características o propiedades principales de un aceite para que, junto con la teoría anteriormente descrita nos permita una adecuada elección del mismo según nuestras necesidades.

En un motor de cuatro tiempos el aceite circula a través del motor y sus diferentes partes mediante dos mecanismos. Uno de ellos es la salpicadura, a través de la cual algunas piezas del motor, como los pistones, cilindros, bielas, etc., son “salpicadas” de aceite lubricante mediante un chorro a presión que lo impulsa hacia las piezas “bañándolas” y dejando una película protectora. Luego el aceite gotea al cárter donde es recepcionado para nuevamente ser succionado e impulsado por una bomba que lo fuerza a pasar por un filtro antes de, nuevamente, ser “salpicado” con lo que se completa el ciclo. El otro mecanismo mencionado es el de conducción del aceite a través de tuberías hasta las partes en que, por su ubicación no pueden ser alcanzadas por la salpicadura, como los metales, las cabezas de bielas, el cigüeñal, las válvulas, balancines, etc. estas partes son alcanzadas por aceite a presión a través de tuberías y conductos especialmente diseñados para ese propósito, luego el aceite regresa al cárter, es succionado e impulsado a través del filtro y el ciclo se repite.

Este sistema cuenta con filtros y válvulas de seguridad que, según como estén ubicadas, la cantidad y forma en que el aceite circula a través de ellos, determinan el tipo de sistema presente en el motor, pudiendo ser un sistema *by pass*, un sistema de flujo total o un sistema

de flujo mixto. No ahondaremos en la descripción de estos sistemas, para centrarnos en los lubricantes, que son el tema central del estudio.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación y descripción de la zona de trabajo

Las actividades que se describen, se realizaron en el distrito de Puerto Bermúdez, provincia de Oxapampa, región Pasco, con coordenadas UTM 8861848, 506818 18L (representado por el punto rojo en la figura 15), Distrito donde se encuentra el centro geodésico del Perú. Es, también, de nuestro interés algunos datos climatológicos de la zona.

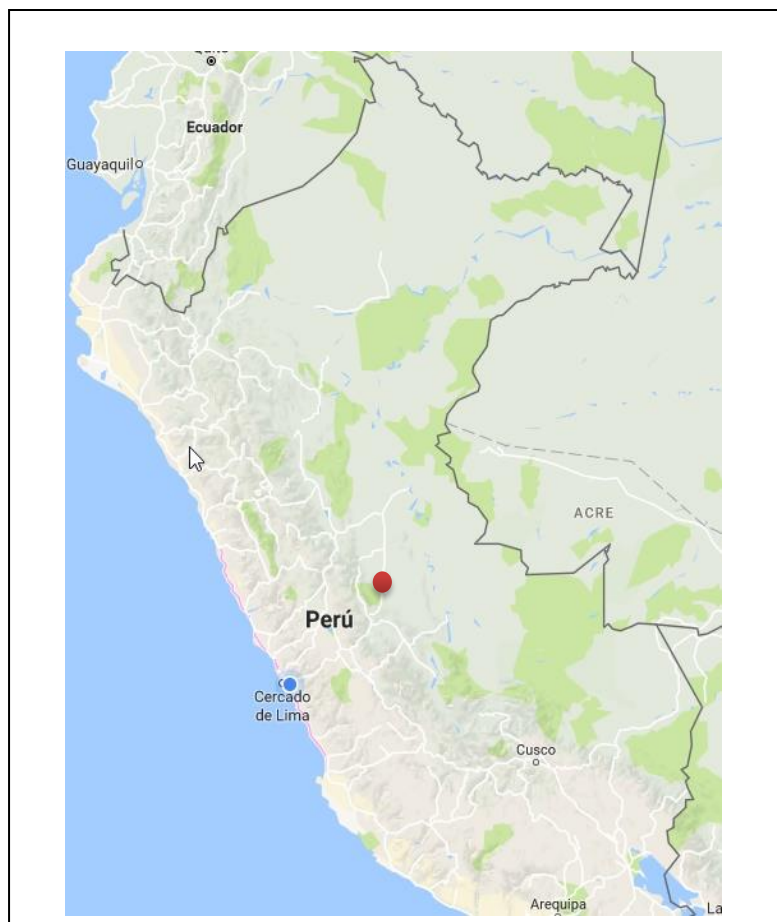


Figura 15: Mapa de ubicación: Distrito de Puerto Bermúdez, Oxapampa, Cerro de Pasco

FUENTE: Google Maps, 2018

- Temperatura Max. Media Anual: 31.8 °C
- Temperatura Min. Media Anual: 21.3 °C
- Altitud: 234 msnm
- Precipitación Media Anual: 3300 mm/año.
- Humedad relativa media: 81%

Zona de clima cálido, muy lluvioso, precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, humedad relativa calificada como muy alta

El fundo, donde se llevan a cabo los trabajos, lleva por nombre: Fundo “El Abuelo”, el cual queda ubicado aproximadamente a una hora río arriba, del pueblo del distrito de Puerto Bermúdez. El acceso solamente se da por embarcación fluvial pequeña (botes), con las que se navega el río Pichis – Palcazu alrededor de 45 minutos, para luego proseguir por uno de sus afluentes, el río Azupizú. Los motores más usados en la zona para realizar el traslado son motores estacionarios de cuatro tiempos de encendido por chispa (conocidos también como peque-peque, por el ruido característico que emiten), con potencias que oscilan entre los 5 HP y los 16 HP, enfriados por aire, a los cuales se les adapta una “cola” con una hélice que proporciona el impulso, estos motores son usados todo el año. Adicionalmente se usan motores fuera de borda, de encendido por chispa, de dos tiempos, los cuales usan una mezcla aceite- combustible, las potencias de estos oscilan entre los 15 HP y los 40 HP y mayormente son usados en épocas de lluvias cuando el caudal de los ríos es suficiente para que las hélices no golpeen el fondo fluvial y se rompan.

Como en muchos lugares de nuestro país, los repuestos e insumos generalmente no están a la mano, por lo que hay que tomar previsiones y adaptar soluciones a los diversos problemas que se presentan teniendo siempre un criterio basado en conocimientos técnicos y científicos.

La principal actividad del fundo es el cultivo del cacao (alrededor de 15 Ha). También cuenta con cultivos de achiote, plátano, yuca, entre otros; las herramientas son usadas para el mantenimiento de todos estos cultivos.

3.2. Descripción Del Pool De Maquinarias

El fundo “El Abuelo”, dedicado a la agricultura en pequeña escala, cuenta con un pequeño pool de maquinarias la mayoría de las máquinas son para labores agrícolas, mientras que otras son usadas para el transporte, generación de electricidad, movimiento de aserradero, etc. Todas ellas con la necesidad de ser lubricadas con el aceite adecuado, el más disponible y al mismo tiempo el que brinde la mejor economía para la empresa. En este contexto y teniendo en cuenta la ubicación geográfica, las condiciones climáticas y de operación se buscó las mejores alternativas en cuanto al uso de lubricantes.

Algunas de las máquinas y herramientas con que se cuentan se describen a continuación:

a. Fumigadoras Manuales

4 fumigadoras marca Jacto, modelo PJH, con tanques de polietileno y capacidades de 20 litros, mecanismos de bronce y estructuras de fierro y latón, pistón de presión, 5,3 kg de peso (figura 16).



Figura 16: Mochila fumigadora

FUENTE: Jacto.com, 2017

b. Moto-fumigadora

1 moto-fumigadora marca Maruyama, modelo MS073D con tanque de polietileno con capacidad de 25 litros, tanque de combustible de 0.9 lt, motor de dos tiempos, enfriado por aire forzado con cilindrada de 22.5 cc, encendido electrónico por chispa y potencia nominal de 1.1 HP (figura 17)



Figura 17: Moto fumigadora

FUENTE: foto propia

c. Motobombas

2 motobombas marca Maruyama, modelo BP252A, con tanque de combustible de 0.9 lt, motor de dos tiempos enfriado por aire y cilindrada de 23 cc encendido electrónico por chispa, potencia nominal 1.5 HP, altura de bomba 36m, diámetros de E/S de 1” y 115 lt/min (figura 18)



Figura 18: Moto bomba

FUENTE: foto propia

d. desbrozadoras

3 desbrozadoras marca Shindaiwa, modelo C350, con tanque de combustible de 1lt, motor de dos tiempos y 33.6 cc, encendido electrónico por chispa, potencia nominal de 1.8 HP para entregar hasta 8500 rpm. (figura 19)



Figura 19: desbrozadora

FUENTE: Shindaiwa.com, 2017

e. Motor estacionario

1 motor estacionario multipropósito marca Honda modelo GX390 T1 (Aqua) con tanque de combustible de 6.1 lt, motor de cuatro tiempos enfriado por aire y cilindrada de 0.38 lt, capacidad de aceite de motor de 1.1 lt, potencia neta de 13.1 HP (figura 20)



Figura 20: Motor estacionario

FUENTE: Foto propia

f. Generador eléctrico

1 generador marca Briggs & Stratton, modelo AB5000, con 5000 watts de potencia, capacidad de tanque de combustible de 25lt, cilindrada de 420cc y una capacidad de aceite de 1.15lt. (figura 21)



Figura 21: Generador

FUENTE: Foto propia

g. Moto lineal

1 motocicleta de marca Honda, modelo CR125L, con capacidad de tanque de combustible de 12lt, capacidad de aceite de motor de 1.0lt, con un motor de cuatro tiempos OHC y cilindrada de 124cc y con una potencia de 11HP (figura 22).



Figura 22: Moto lineal

FUENTE: Foto propia

h. Tractor Agrícola

1 tractor agrícola Marca Kubota, modelo L245DT, doble tracción con tanque de combustible de 22lt, capacidad de aceite de motor de 6.2lt, capacidad de aceite de dirección 0.3lt, capacidad de aceite de transmisión de 23lt, capacidad de aceite de caja de diferencial 1.2lt, caja de engranajes 0.8lt. Motor Diesel vertical de 3 cilindros enfriado por agua con una cilindrada total de 1115cc y una potencia nominal de 25hp @ 2800 rpm (desnudo). El motor es lubricado de forma forzada por bomba de trocoide (figura 23).



Figura 23: Tractor agrícola

FUENTE: Foto propia

3.3. USO DE ACEITES EN EL *POOL* DE MAQUINARIA

Con el fin de clasificar las máquinas según el tipo de lubricante que se usó en ellas vamos a agruparlas en tres grupos. El grupo de las máquinas manuales o no motorizadas, las máquinas motorizadas con motores de dos tiempos y el grupo de las máquinas motorizadas con motores de cuatro tiempos. Vale la pena mencionar que hemos considerado las máquinas no motorizadas o manuales en la clasificación ya que, a pesar de que éstas no cuentan con un motor que lubricar, tienen partes móviles, las cuales, obviamente presentan movimientos relativos entre sí, por lo tanto, incurren en desgaste, y no solo eso, sino que, en mayor medida, debido a la acción climática, las piezas de metal tienden a corroerse y necesitan de cierta protección en este sentido, y, como ya hemos anotado en el marco teórico, una de las funciones importantes de los lubricantes es la protección ante los agentes corrosivos, por lo que nos queda especificar que lubricante es el más adecuado para este uso en las condiciones dadas. Vayamos pues a la clasificación:

- Maquinas manuales, no motorizadas o herramientas
- Máquinas con motores de dos tiempos
- Máquinas con motores de cuatro tiempos

3.4. Metodología empleada

Debido a la ubicación del área de trabajo, distante de cualquier centro poblado, a la dificultad de trasladarse hasta los mismos y la ausencia de instrumentos con los que tomar mediciones más precisas, estas se realizan, en su mayor parte, mediante un análisis organoléptico. Según la clasificación anterior la metodología fue la siguiente.

3.4.1. Maquinas manuales, no motorizadas o herramientas

Se aplica un tipo de aceite a cada herramienta por analizar, en este caso tijeras de podar (figura 24), con el fin de protección ante la corrosión, y se compara organolépticamente sus características y funcionamiento. Se registra el tiempo de vida en cada observación y finalmente se comparan los tiempos de vida adicionales que tuvo cada herramienta y se determina el porcentaje de alargamiento de vida.



Figura 24: Tijeras de podar

FUENTE: Foto propia

3.4.2. Máquinas con motores de dos tiempos

En este caso se realizan mezclas aceite - combustible en diferentes proporciones y se observan el funcionamiento y el efecto que esto ocasiona en el motor para determinar el rango en que es factible trabajar y el consumo de combustible. Se registra el consumo de combustible en cada caso y se calculan los costos.

3.4.3. Máquinas con motores de cuatro tiempos

Se varía el tipo de aceite usado (monogrado y multigrado), se verifica periódicamente el estado de los mismos y se determina si existe variación en el tiempo necesario para el cambio de aceite, así como el consumo de combustible. Con estos resultados se hace una estimación y comparación del gasto anual tanto en lubricante como en combustible.

En cuanto a las observaciones se implementó un método de medición de la viscosidad, basado en el método para determinar las unidades conocidas como Segundos Redwood, que consta en medir el tiempo que demoraba una cantidad de 50 ml de aceite en abandonar un recipiente preparado especialmente para ello (Galán, 1987). Para todas las mediciones se usó el mismo envase y la misma cantidad de aceite. El agujero de descarga del aceite fue calibrado a 4mm de diámetro y el recipiente incluye un agujero superior para la entrada de aire. El tiempo se tomó desde el inicio de la caída del aceite hasta que el aceite deja de fluir continuamente del recipiente y se inicia el “goteo”. Los tiempos se registran en el anexo 3.

3.5. Descripción del trabajo

3.5.1. Máquinas manuales o no motorizadas o herramientas

En estos casos el problema central a resolver es la protección contra la corrosión, ya que las partes se encuentran expuestas al medio ambiente en forma directa y, si bien es cierto, que algunas de sus partes (no todas) cuentan con un recubrimiento de protección a base de pinturas esmalte y otras de mayor calidad como las epóxicas, las partes donde existe movimiento relativo generalmente están “desnudas” y es en estos puntos donde una protección periódica con algún tipo de aceite es esencial. Las herramientas de mejor calidad

incluso recomiendan el uso de grasas o aceites especiales mientras que la mayoría no lo hace. Estos lubricantes recomendados casi nunca es factible encontrarlos en el medio rural, por lo que hay que recurrir a otras alternativas. Mencionaremos dos de ellas, las cuales fueron usadas con buenos resultados en cuanto a la protección contra la corrosión, al mismo tiempo que proporcionaron una adecuada lubricación de las piezas.

Los criterios principales a tener en cuenta son, en primer lugar, la gran humedad presente en la zona (81% de humedad relativa media), por otro lado, muchas veces las herramientas son expuestas las lluvias cuando estas se presentan en forma inesperada mojando las mismas. Finalmente, la exposición de las herramientas a productos químicos como herbicidas, insecticidas, abonos foliares, etc. hacen que el proceso de corrosión sea particularmente acelerado. Las soluciones encontradas fueron las siguientes.

- i. Aceite multiusos WD-40 (figura 25), entre cuyas propiedades principales (descritas por el fabricante y comprobadas en campo) podemos encontrar que este es muy fino (baja viscosidad = 1 cSt), por lo tanto, presenta alta penetrabilidad en espacios de tolerancias mínimas desplazando la humedad que pudiera existir en pequeños huecos entre las piezas y sobre estas (siendo adicionalmente insoluble en agua), lo cual también asegura una lubricación en lugares donde otros aceites no llegarían a penetrar. En las piezas que ya sufrieron un ataque corrosivo y han quedado “bloqueadas” actúa eficazmente destrabando las piezas y permitiendo nuevamente el movimiento (siempre y cuando las piezas no estén demasiado deterioradas). Uno de los aspectos negativos de este producto es su elevado costo comparado, sobre todo en provincias, donde un frasco de 200ml puede llegar a costar alrededor de los 25 soles (en la capital el costo se reduce alrededor de los 17 soles), por otro lado, su disponibilidad no es siempre la esperada. El aceite viene en presentación de Spray.



Figura 25: Aceite WD 40 Multiuso

FUENTE: WD40.es

- ii. Aceite 3 en uno (figura 26), Aceite de uso doméstico cuya viscosidad es más alta que el anterior (7 cSt), por lo tanto, su capacidad de penetración es menor, sin embargo, su uso no deja de ser amplio para muchas aplicaciones menos exigentes como bisagras, tornillos y tuercas de paso basto, herramientas que aún no han sufrido o que están iniciando un proceso de corrosión, etc. es un producto menos costoso y de mayor disponibilidad en el mercado local, la presentación clásica del producto es en gotero de 90 ml a un costo de aproximadamente 5 soles.



Figura 26: Aceite 3 en UNO

FUENTE: 3enuno.es

En el análisis se observaron dos marcas de tijeras: Bahco y Bellota, de diferentes calidades en cuanto materiales y diseño. Los trabajos para las 6 tijeras fueron los mismos (Podas apertura de copas, podas de apertura de calles, cosechas, limpieza de ramas atacadas por hongos) y se realizaron sobre cultivos de cacao en el fundo “El abuelo” en el área mencionada.

3.5.2. Máquinas con motores de dos tiempos

En esta clasificación debemos tener presente dos casos en cuanto a la lubricación de las máquinas. Por un lado, debemos considerar la lubricación de las partes externas, de la misma manera en que lo hicimos en el apartado inmediatamente anterior y teniendo en cuenta los mismos criterios usados allí, como son el criterio de la humedad medioambiental, incluidas las lluvias frecuentes que pueden llegar a afectar los equipos, el trabajo y exposición a insumos químicos como los pesticidas y abonos que aceleran el proceso de corrosión. Por otro lado, y como punto central en este apartado, debemos considerar la lubricación interna de los motores, en este caso motores de dos tiempos, cuya lubricación difiere de los motores de cuatro tiempos en cuanto a la forma de difundir el lubricante entre las piezas del mismo, como ya se señaló en la revisión bibliográfica correspondiente.

En este caso las opciones para la selección del aceite en la zona son reducidas, por lo que seleccionaremos el aceite de mayor disponibilidad y lo que verificaremos será el funcionamiento de la máquina con diferentes proporciones aceite - combustible con un análisis organoléptico.

El aceite usado es un “*2 strokes Oil*” de Husqvarna, es un aceite sintético especialmente formulado para mezclas en motores de dos tiempos, los fabricantes del mismo recomiendan una mezcla de 1:50 en volumen, al igual que los fabricantes de la máquina. Con una viscosidad de 48 cSt (a 40°C ASTM D445 - equivalente a un aceite grado SAE 15W, ver tabla en anexos).

Las pruebas las haremos en una moto desbrozadora Shindaiwa modelo C350 descrita anteriormente y en la zona de trabajo mencionada en el apartado correspondiente.

3.5.3. Máquinas con motores de cuatro tiempos

En este caso debemos tener en cuenta que la lubricación del motor Diesel se realiza por bombeo, es decir, estamos ante un sistema cerrado que funciona presurizado, por lo tanto, uno de los factores determinantes para que la lubricación se realice, es, en definitiva, la viscosidad, que en resumen viene a ser la capacidad de fluir del aceite y haciendo una simplificación práctica para representar la idea que se quiere plasmar, podríamos decir que “Si el aceite no fluye, la lubricación no se realiza.” y sabemos que es lo que pasa con un motor sin lubricación. Entonces nos preguntamos: ¿Cuál sería la razón para que un aceite no fluya? Y la respuesta más relevante es que la viscosidad sea excesiva. La principal razón por la que tendríamos una viscosidad excesiva es por una mala selección del aceite y, por su puesto, por una temperatura que la cause. Basados en el marco teórico descrito, sabemos que principalmente las bajas temperaturas causan este comportamiento en los aceites y en estos casos debemos seleccionar un aceite formulado para sortear este problema y nos referimos a un aceite multigrado, sin embargo, ¿Cuál es esa baja temperatura? ¿De qué rangos estamos hablando? Pues bien, el marco teórico tratado nos da la respuesta. Y si nos situamos en nuestro caso, en el área de trabajo, y con los rangos de temperaturas existentes podríamos escoger tanto un aceite multigrado como un monogrado, entonces ¿Cual deberíamos escoger? La creencia popular indica que un aceite multigrado es mucho mejor que un monogrado en cualquier circunstancia (Ecured, 2017).

El estudio lo realizamos en un Tractor Kubota L245DT del año 1970 descrito anteriormente el cual trabajó tanto con un aceite monogrado como con uno multigrado, los trabajos realizados con cada aceite son los mismos (Arado, rastreado y traslado) y con los mismos tiempos en cada labor respectivamente, El fabricante recomienda un aceite multigrado SAE 10W-30 para casos generales

IV. RESULTADO Y DISCUSIONES

4.1. Resultados

Se presentan los cuadros y figuras con el resumen de los resultados. las figuras son de elaboración propia que muestran las tendencias de los datos obtenidos. Los cuadros que presentan la recolección de datos se muestran en los anexos.

Los cuadros 8 y 9 muestran el análisis organoléptico de dos tipos de tijeras a las cuales se les aplicó dos tipos de aceites.

4.1.1. Herramientas Manuales

Cuadro 8: Comparación organoléptica del uso de dos aceites en tijeras de podar Bellota

Tijeras de podar Bellota 3501-20 BL	Testigo (Solo limpieza)	Aceite 3 en 1	Aceite WD-40
Inicio de observación	Nuevo	Nuevo	Nuevo
168 horas de vida	Presenta signos de inicio de oxidación.	No presenta signos de oxidación.	No presenta signos de oxidación.
672 horas de vida	Presenta oxidación bien definida.	Presenta indicios poco perceptibles de oxidación en algunas partes.	No presenta signos de oxidación.
1 344 horas de vida	Presenta oxidación e inicio de desgaste, pérdida de filo notable.	Se percibe oxidación en tuerca y tornillo pivote y leve desgaste de filo.	No presenta signos de oxidación, leve desgaste de filo.
2016 meses de vida	Presenta oxidación y desgaste pronunciado, se comienza a tener dificultades para los trabajos.	Presenta oxidación en resorte y tuerca pivote y desgaste inicial de filo y pintura.	Presenta indicios de oxidación en partes secundarias (mangos) y desgaste del filo y pintura.
2688 horas de vida	La oxidación es muy extendida en toda la herramienta, es casi imposible realizar los trabajos.	Oxidación en tuerca pivote y resorte, se necesita afilado, pero permite trabajar.	Se necesita afilado, pero permite trabajar, muy leve oxidación en partes secundarias.
3360 horas de uso	La tijera debe tener una reparación profunda.	La tijera necesita desarmarse y una limpieza minuciosa.	La tijera necesita una limpieza superficial.
Horas adicionales de uso	0	1176	1848

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 9: Comparación organoléptica del uso de dos aceites en tijeras de podar Bahco

Tijeras de podar Bahco P123	Testigo (Solo limpieza)	Aceite 3 en 1 (Limpieza y lubricación)	Aceite WD-40 (Limpieza y lubricación)
Inicio de observación	Nuevo	Nuevo	Nuevo
168 horas de vida	No Presenta signos de inicio de oxidación.	No presenta signos de oxidación.	No presenta signos de oxidación.
672 horas de vida	Presenta oxidación casi imperceptible.	No presenta signos de oxidación.	No presenta signos de oxidación.
1 344 horas de vida	Presenta ligera oxidación.	No presenta signos de oxidación.	No presenta signos de oxidación.
2016 meses de vida	Presenta oxidación en hojas de corte, resorte y en partes secundarias (mangos).	Presenta oxidación casi imperceptible en resorte y en mangos.	Presenta oxidación casi imperceptible en mangos.
2688 horas de vida	Presenta oxidación en tuerca pivote, hojas de corte, resorte y mangos.	Oxidación perceptible en tuerca pivote, hojas de corte, mangos y resorte, ligera pérdida de filo.	Ligera pérdida de filo, ligera oxidación de mangos y hojas de corte.
3360 horas de uso	La tijera necesita desarmado un leve mantenimiento	La tijera se encuentra en buenas condiciones, ligera oxidación en tuerca pivote y hojas de corte, solo necesita afilado.	La tijera solo necesita afilado y leve limpieza de partes secundarias (mangos). ligera oxidación en hojas de corte.
6048 horas de uso	La tijera debe tener una reparación profunda.	La tijera necesita desarmarse y una limpieza minuciosa.	La tijera necesita una limpieza superficial.
Horas adicionales de uso	0	1210	2117

FUENTE: Elaboración propia

4.1.2. Máquinas con motores de dos tiempos

En el cuadro 10 se presenta el promedio de los datos tomados para el consumo de combustible considerando diferentes mezclas, los datos de origen podemos verlos en el anexo 1. La figura 27 muestra la tendencia de consumo de combustible según la mezcla utilizada.

Cuadro 10: Comparación organoléptica y consumo de combustible usando diferentes proporciones Aire / Combustible

Aceite 2 strokes oil Husqvarna	Emisión de humos	Funcionamiento en mínimo	Consumo de combustible
Mezcla (a/c) 1 : 80	No se aprecia	Muy acelerado	No se pudo determinar
Mezcla (a/c) 1 : 70	No se aprecia	Ligeramente acelerado	0.7 lt / hr
Mezcla (a/c) 1 : 60	No se aprecia	Aceleración normal	0.55 lt / hr
Mezcla (a/c) 1 : 50	No se aprecia	Aceleración normal	0.50 lt / hr
Mezcla (a/c) 1 : 40	Se aprecia ligeramente	Aceleración normal	0.60 lt / hr
Mezcla (a/c) 1 : 30	Se aprecia ligeramente	Aceleración ligeramente baja	0.65 lt / hr
Mezcla (a/c) 1 : 20	Se aprecia claramente	Aceleración baja y variante (se aprecia “cabeceo”), se apaga	No se pudo determinar

(a/c) = aceite / combustible

FUENTE: Elaboración propia

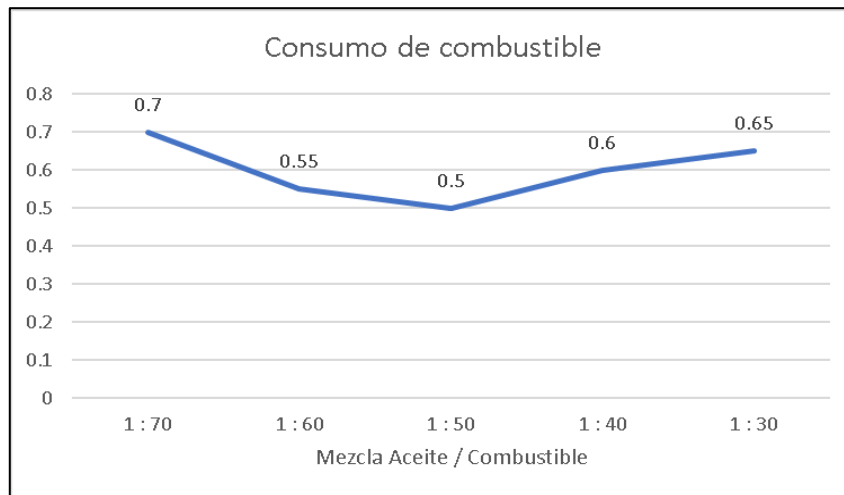


Figura 27: Consumo de combustible en Lt / hr

FUENTE: Elaboración propia

4.1.2.1. Cálculo del costo incurrido:

Se han considerado las 3 mezclas que arrojaron consumos de combustibles menores para el trabajo en 1 Ha de terreno.

a. Mezcla 1:

1:40 → 100ml de aceite por cada 4000 ml de combustible = 0.025 ml / lt

P = Precio de combustible 90 Oct. = 12.5 S/./gln = 3.125 S/. lt (Aproximando 1gln = 4 lt)

T = Tiempo para el cultivo de 1ha (con dos desbrozadoras) = 16 horas

N = Número de desbrozadoras = 2

Ch = Consumo horario de combustible = 0.60 lt / hr

Pa = Precio del aceite 2T = 3 S/. / 100ml = 0.03 S/. / ml

Ct = Combustible total por ha = N x T x Ch = 2 x 16 x 0.60 = 19.2 lt

Gc = Gasto en combustible = Ct x P = 19.2 x 3.125 = 60 S/.

At = Aceite total por ha = 0.025 x 19.2 = 0.48 lt = 480 ml

$$G_a = \text{Gasto en combustible} = A_t \times P_a = 480 \times 0.03 = S/. 14.4$$

$$G_t = \text{Gasto Total por ha} = G_c + G_a = 60 \cdot \quad = S/. 74.4 / \text{ha}$$

b. Mezcla 2:

$$1:50 \rightarrow 100\text{ml de aceite por cada } 5000 \text{ ml de combustible} = 0.020 \text{ ml / lt}$$

$$\text{Con el mismo procedimiento anterior se obtiene: } G_t = S/. 59.6 / \text{ha}$$

c. Mezcla 3:

$$1:60 \rightarrow 100\text{ml de aceite por cada } 6000 \text{ ml de combustible} = 0.017 \text{ ml / lt}$$

$$\text{Con el mismo procedimiento anterior se obtiene: } G_t = S/. 63.9 / \text{ha}$$

4.1.3. Máquinas con motores de cuatro tiempos

Cuadro 11: Horas de trabajo, tiempo de escurrimiento y consumo de combustible de aceite monogrado

Aceite monogrado Móvil HD-30	Apreciación organoléptica de la viscosidad	Apreciación organoléptica de la contaminación	Tiempo de escurrimiento (seg.) *	Consumo de combustible (lt)
0hr de trabajo	Aceite nuevo	Aceite nuevo	32.50	0
8hr de trabajo - 25°C	El aceite mantiene su viscosidad inicial.	Aceite limpio	28.02	36
16hr de trabajo - 24°C	Disminución casi imperceptible de la viscosidad	Se aprecia un ligero cambio de color (oscurecimiento)	26.90	34
24hr de trabajo - 24°	Muy ligero cambio de viscosidad.	Opacidad se empieza a hacer evidente	23.40	35
32hr de trabajo - 25°C	Ligera pérdida de viscosidad.	Opacidad evidente	22.04	33
40hr de trabajo - 23°C	Apreciable pérdida viscosidad.	Color oscuro	19.80	35
48hr de trabajo - 24.5°C	Apreciable pérdida viscosidad.	Color marrón oscuro	15.8	32
56hr de trabajo - 25.5°C	Pérdida de viscosidad alta.	Color marrón muy oscuro	14.70	31

Continuación

64hr de trabajo - 25°C	Pérdida de viscosidad alta.	Color marrón muy oscuro	14.03	31
72hr de trabajo - 24°C	Pérdida de viscosidad alta	Color marrón muy oscuro	12.90	30
80hr de trabajo - 24°C	Cambio de aceite	Color marrón muy oscuro	10.70	30

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 12: Horas de trabajo, tiempo de escurrimiento y consumo de combustible de aceite multigrado

Aceite multigrado Móvil 10W-30	Apreciación organoléptica de la viscosidad	Apreciación organoléptica de la contaminación	Tiempo de escurrimiento (seg.) *	Consumo de combustible (lt)
0 hr de trabajo	Aceite nuevo	Aceite nuevo	32.05	0
8hr de trabajo - 24°C	El aceite mantiene su viscosidad inicial.	Aceite limpio	28.10	35
16hr de trabajo - 25°C	Disminución casi imperceptible de la viscosidad.	Se aprecia un ligero cambio de color (oscurecimiento)	26.30	36
24hr de trabajo - 23°C	Muy ligero cambio de viscosidad.	Opacidad se empieza a hacer evidente	24.20	37

Continuación

32hr de trabajo - 25°C	Ligera pérdida de viscosidad.	Opacidad evidente	22.56	35
40hr de trabajo - 24.5°C	Ligera pérdida de viscosidad.	Color oscuro	20.10	33
48hr de trabajo - 23.5°C	Pérdida de viscosidad apreciable.	Color marrón oscuro	16.70	32
56hr de trabajo - 24°C	Pérdida de viscosidad alta.	Color marrón muy oscuro	14.45	30
64hr de trabajo - 24°C	Pérdida de viscosidad alta.	Color marrón muy oscuro	13.95	31
72hr de trabajo - 25°C	Pérdida de viscosidad alta.	Color marrón muy oscuro	12.80	31
80hr de trabajo - 24.5°C	Cambio de aceite	Color marrón casi negro	10.65	30

FUENTE: Elaboración propia

Los Cuadros 11 y 12, anteriores, muestra la apreciación organoléptica de los dos tipos de aceite (monogrado y multigrado) en cuanto a viscosidad y contaminación, así como la medición indirecta y comparativa de la viscosidad y la medición del consumo de combustible. Los datos de origen de las mediciones se pueden apreciar en los anexos 2 y 3. Las figuras 28 y 29 muestran la tendencia de estas dos últimas variables para cada tipo de aceite.

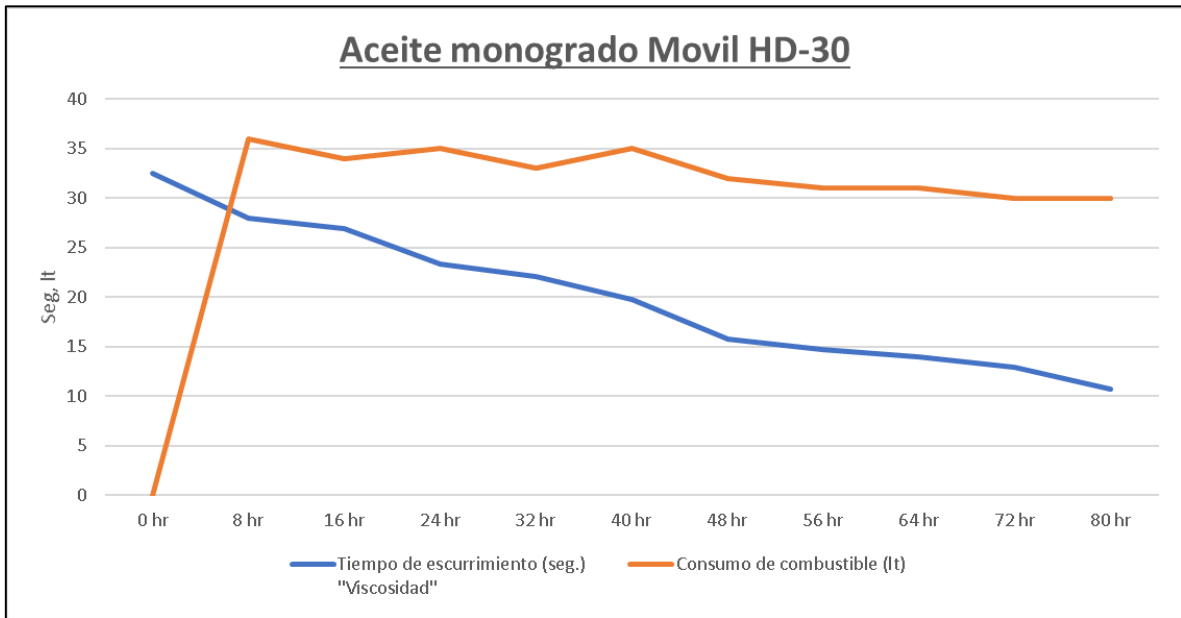


Figura 28: Tiempo de escurrimiento y consumo de combustible en aceite monogrado

FUENTE: Elaboración propia

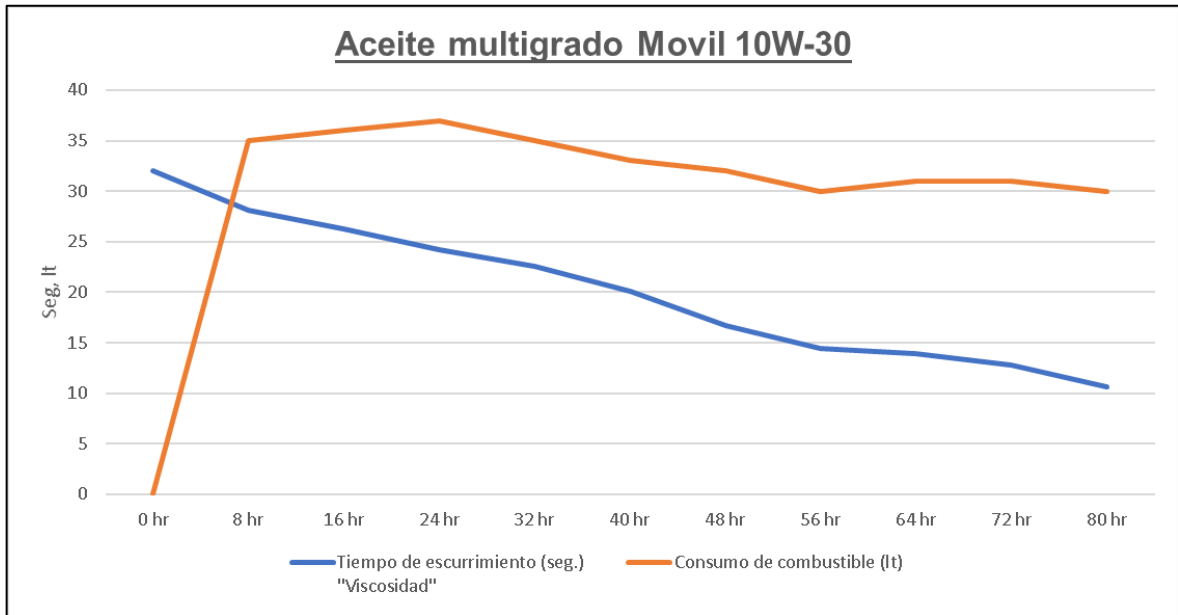


Figura 29: Tiempo de escurrimiento y consumo de combustible en aceite multigrado

FUENTE: Elaboración propia

4.1.3.1. Cálculo del costo del aceite

P = Precio del aceite

C = Capacidad de Tanque de tractor = 6.2 lt

H = Horas de trabajo al año = 452 (según horómetro)

N = número de cambios de aceite = $H/80 = 452 / 80 = 5.65$

A = cantidad de aceite consumido al año = $N \times C = 5.65 \times 6.2 = 35$ lt

Gt = Gasto anual en aceite = A x P

Monogrado (P = S/.14) → $Gt = 35 \times 13 = S/. 455$ / año

Multigrado (P = S/. 18) → $Gt = 35 * 18 = S/. 630$ / año

Ahorro = S/. 175 /año

4.2. Discusiones

En el apartado de máquinas no motorizadas o manuales, cabe resaltar que el uso de herramientas de mayor calidad en la zona de estudio, conlleva a un considerable mayor tiempo de vida de las herramientas debido al ambiente y condiciones de trabajo agresivas en cuanto a corrosión. Debido a que realiza una observación organoléptica y a que las repeticiones arrojan resultados similares no se presenta un análisis estadístico.

En el apartado de máquinas con motores de dos tiempos se hace notar que el estudio solamente considera el posible uso de diferentes proporciones de aceite / combustible y su influencia en el consumo de combustible, más no considera el impacto sobre el desgaste de la máquina que es un factor a tener en cuenta para un análisis, tanto mecánico como económico, más profundo.

En cuanto al apartado de motores de cuatro tiempos, cabe señalar que si bien es cierto que el método usado para la medición de la viscosidad, se basa en un método estandarizado y que no se procede estrictamente con los requerimientos del método, al ser una metodología comparativa y no determinativa, la usada, los parámetros son similares para todas las mediciones y nos da una idea muy próxima del estado del aceite en cuanto a viscosidad, lo que se puede considerar para determinar el momento del cambio de aceite en un motor.

Las temperaturas ambientales a las que se evaluaron los aceites para motores de cuatro tiempos, son muy próximas en cada medición, por lo que la variación de la viscosidad por esta razón no se consideró relevante.

V. CONCLUSIONES

Se compararon los diversos tipos de aceites, para diversos usos, y se determina la mejor opción en cada caso, teniendo en cuenta variables como economía, vida útil de las herramientas, consumos de combustible y pérdida de viscosidad. Además, se presentan conclusiones para cada caso analizado.

Máquinas manuales o no motorizadas o herramientas

- a. El uso de aceites, con fines de protección contra la corrosión, prolongó el tiempo de vida de las herramientas en la zona de estudio y para los trabajos concernientes al cultivo del cacao.

Usando un aceite 3 en uno se logró un incremento de la vida útil del 35% en una tijera de podar Bellota 3501-20 BL y un incremento del 20% en una tijera de podar Bahco P123.

Usando un aceite WD-40 se logró un incremento de la vida útil del 55% en una tijera de podar Bellota 3501-20 BL y un incremento del 35% en una tijera de podar Bahco P123.

En base a estas conclusiones se puede deducir que en la zona de estudio es significativo el uso de aceites como protección ante la corrosión lo que acarreará un ahorro económico al agricultor local. Estos resultados se pueden extrapolar a otros cultivos en la zona y muy probablemente a otras zonas de similares características.

Máquinas con motores de dos tiempos

- b. En la zona de estudio, la recomendación del fabricante sobre la proporción de la mezcla (1:50) es la adecuada para un menor consumo de combustible, como muestra en la curva de tendencia de la figura 27.

Se concluye que existe un rango para las relaciones aceite/combustible con las que la máquina podría trabajar sin tener problemas funcionales.

La disminución de la cantidad de aceite en la mezcla no se justifica económicamente ya que el consumo de combustible aumenta.

Máquinas con motores de cuatro tiempos

- c. Para la zona de trabajo, la disminución de la viscosidad con respecto al tiempo de trabajo, tanto en un aceite monogrado como en uno multigrado, son similares como se puede apreciar en las figuras 28 y 29, Por lo tanto, después del análisis económico, se concluye que el aceite monogrado es la mejor elección.

Los consumos de combustible con ambos aceites, en la zona de trabajo son similares.

Las temperaturas ambientales en la zona de trabajo justifican el uso intercambiable de un aceite monogrado y uno multigrado con grados SAE similares.

VI. RECOMENDACIONES

- a. Se recomienda la limpieza constante de las herramientas manuales, sobre todo después de los trabajos realizados. Las herramientas deben ser almacenadas fuera con el menor grado de humedad posible, lo que se logra en un lugar seco y usando un aceite sobre sus superficies y partes móviles antes del almacenaje.
- b. No se recomienda el uso de mezclas, para motores de dos tiempos. Que hayan sido almacenadas por un tiempo prolongado (de un mes a más) ya que las concentraciones en la mezcla podrían variar, así como las propiedades de los aceites en la misma, afectando el funcionamiento del motor.
- c. Ya que el costo de un aceite multigrado es mayor a uno monogrado, es económicamente conveniente el uso de este último.
- d. El método práctico usado para la comparación de las viscosidades en los aceites se podría replicar en lugares donde no se cuenten con la instrumentación adecuada y/o cuando no se cuenten con los recursos y/o tiempos para un análisis del aceite en laboratorios especializados.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arriola, F. 1991. Análisis de fluidos: Investigación Lubricantes. 25 p.
- Barrientos, H. 2006. Estudio comparativo para determinar ventajas del Aceite sintético, sobre el mineral en el motor Diesel Cummings n-14 del cabezal freightliner # 134 De la empresa Serca. Consultado el 05 setiembre del 2015. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0479_M.pdf
- Gonzales, F. 2005. Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. FC Editorial.
- Albarracín, P. 1993. Tribología y lubricación industrial y automotriz. Talleres Gráficos de Litochoa. Colombia
- Casado de Diego, A. 2015. Estudio quimiométrico de aceites lubricantes marinos. Tesis de Grado. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao. España. Disponible en https://addi.ehu.es/bitstream/10810/16220/2/2_Memoria.pdf
- Directorio de la Industria de Proveedores Industriales de la República Mexicana (DIRIND). 2016. Consultado el 20 agosto del 2017. Disponible en https://www.DIRIND.com/dim/monografia.php?cla_id=33.
- Galán, J. 1987. Sistema de unidades físicas. España. Editorial Reverte. Consultado el 05 setiembre del 2015. Disponible en <https://digitum.um.es/jspui/bitstream/10201/4713/1/Sistemas%20de%20Unidades%20F%C3%ADsicas.pdf>
- Lubricar.net. 2015. Consultado el 20 agosto 2017. Disponible en <http://www.lubricar.net/teoria.htm>.

- López, O. 2000. Propiedades físicas de los lubricantes. Consultado el 18 agosto del 2017. Disponible en <http://e-ciencia.com/recursos/monografias/fisica/propiedades-fisicas-de-los-lubricantes.html>
- Potter, M. Wiggert, D. y Ramadan, B. 2002. Mecánica de fluidos. Cengage Learning. Cuarta Edición. 785 p. México. Disponible en https://issuu.com/cengagelatam/docs/mecanica_issuu
- Sanz, A. 1998. Lubricantes. Consultado el 18 agosto del 2017. Disponible en <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-13.php>
- Terre-Motos. 2014. Consultado el 18 agosto del 2017. Disponible en <http://www.terremotos.com.ar/single-post/2015/10/28/Comparaci%C3%B3n-de-las-bases-Lubricantes-Parte-II>.
- OsmoAuto. 2017. Consultado el 19 agosto del 2017. Disponible en <http://www.osmoauto.net/productos-y-servicios/informaciones-utiles/categorias-definiciones-y-tipos-de-aceite>.
- ReliabilityWeb. 2017. Consultado el 19 agosto del 2017. Disponible en <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/los-lubricantes>.
- Morales M., 2016. Evaluación de las emisiones de Dióxido de carbono (CO₂) en automóviles generado por el uso no energético de lubricantes (aceites de motor) en el Gran Área Metropolitana. Tesis de grado. Escuela de ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Disponible en <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3505/1/40266.pdf>.
- Motoresymas.com, 2010. Consultado el 30 de agosto del 2017. Disponible en <http://motoresymas.com/sitio/edicion-no-25/aceites-para-motores-de-dos-tiempos/>
- Ecured.cu, 2017. Consultado el 28 de agosto del 2017. Disponible en [https://www.ecured.cu/Sistemas_de_lubricaci%C3%B3n_\(Motores_de_combusti%C3%B3n_interna\)](https://www.ecured.cu/Sistemas_de_lubricaci%C3%B3n_(Motores_de_combusti%C3%B3n_interna))

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Consumo de combustible promedio en motor de dos tiempos con diferentes proporciones de mezclas

Aceite 2 strokes oil Husqvarna	Consumo de combustible (lt/hr)			
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio
Mezcla (a/c) 1 : 80	-	-	-	No se pudo determinar
Mezcla (a/c) 1 : 70	0.7	0.73	0.67	0.7
Mezcla (a/c) 1 : 60	0.53	0.56	0.56	0.55
Mezcla (a/c) 1 : 50	0.49	0.49	0.52	0.50
Mezcla (a/c) 1 : 40	0.62	0.58	0.6	0.60
Mezcla (a/c) 1 : 30	0.65	0.66	0.64	0.65
Mezcla (a/c) 1 : 20	-	-	-	No se pudo determinar

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 2: Tablas de tiempo de escurrimiento y consumo de combustible promedio en aceite monogrado

Aceite monogrado Móvil HD-30 (Temp. Prom. 24°C)	Tiempo de escurrimiento (seg.)				Consumo de combustible (lt/hr)			
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio
0 horas de trabajo	32.58	32.47	32.45	32.50	36	35	37	0
8 horas de trabajo	28.2	28.06	27.8	28.02	35	33	34	36
16 horas de trabajo	26.94	26.96	26.8	26.90	35	35	35	34
24 horas de trabajo	23.1	23.08	24.02	23.40	33	34	32	35
32 horas de trabajo	21.95	22.27	21.9	22.04	34	36	35	33
40 horas de trabajo	20.06	19.42	19.92	19.80	33	32	31	35
48 horas de trabajo	15.91	15.68	15.81	15.8	31	31	31	32
56 horas de trabajo	14.74	15.23	14.13	14.70	32	30	31	31
64 horas de trabajo	13.87	14.11	14.11	14.03	31	30	29	31
72 horas de trabajo	12.5	13.17	13.03	12.90	30	29	31	30
80 horas de trabajo	10.44	11.04	10.62	10.70	36	35	37	30

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 3: Tablas de tiempo de escurrimiento y consumo de combustible promedio en aceite monogrado

Aceite multigrado Móvil 10W-30 (Temp. Prom. 24°C)	Tiempo de escurrimiento (seg.)				Consumo de combustible (lt/hr)			
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio
0 horas de trabajo	32.01	32.11	32.03	32.05	35	34	36	35
8 horas de trabajo	28.12	28.25	27.93	28.1	36	36	36	36
16 horas de trabajo	25.9	26.72	26.28	26.3	36	38	37	37
24 horas de trabajo	23.98	24.36	24.26	24.2	35	35	35	35
32 horas de trabajo	21.89	23.28	22.51	22.56	33	33	33	33
40 horas de trabajo	20.03	20.32	19.95	20.1	31	33	32	32
48 horas de trabajo	16.84	16.34	16.92	16.7	29	31	30	30
56 horas de trabajo	14.02	14.92	14.41	14.45	30	32	31	31
64 horas de trabajo	13.9	13.88	14.07	13.95	31	31	31	31
72 horas de trabajo	12.55	12.81	13.04	12.8	31	30	29	30
80 horas de trabajo	10.56	10.78	10.61	10.65	35	34	36	35

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 4: Extracto de hoja técnica del aceite Multiusos WD-40

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Estado físico:	Aerosol, Materia activa: Líquida
Color:	Marrón claro
Olor:	Característico
Umbral olfativo:	No determinado
Valor del pH al:	n.u.
Punto de fusión/punto de congelación:	<-66 °C (ASTM D 97, Concentrados líquidos)
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición:	176 °C (Concentrados líquidos)
Punto de inflamación:	47 °C (Concentrados líquidos)
Punto de inflamación:	Ensayo de ignición en espacio cerrado (UN RTDG, Manual of Tests and Criteria, Part III, 31.5): <= 300 g/m3 (la densidad de deflagración)
Punto de inflamación:	Ensayo de ignición en espacio cerrado (UN RTDG, Manual of Tests and Criteria, Part III, 31.5): <= 300 s/m3 (el equivalente de tiempo)
Punto de inflamación:	Ensayo de la distancia de ignición (UN RTDG, Manual of Tests and Criteria, Part III, 31.4): >= 75 cm
Tasa de evaporación:	No determinado
Inflamabilidad (sólido, gas):	Sí
Límite inferior de explosividad:	0,6 Vol-% ((Indicación del componente principal))
Límite superior de explosividad:	8,0 Vol-% ((Indicación del componente principal))
Presión de vapor:	7,2 bar (20°C)
Presión de vapor:	9,4 bar (50°C)
Densidad de vapor (aire = 1):	No determinado
Densidad:	0,817 g/ml (Concentrados líquidos)
Densidad de compactado:	n.u.
Solubilidad(es):	No determinado
Solubilidad en agua:	Insoluble

E

Página 7 de 13
Ficha de datos de seguridad según Reglamento (CE) Nr. 1907/2006, Anexo II
Revisión / Versión: 10.07.2015 / 0003
Sustituye a la versión del / Versión: 26.08.2014 / 0002
Válido a partir de: 10.07.2015
Fecha de impresión del PDF: 11.08.2015
WD-40® MULTI-USE PRODUCT - [Aerosol]
WD-40®PRODUCTO MULTI-USO - [Aerosol]

Coefficiente de reparto (n-octanol/agua):	No determinado
Temperatura de auto-inflamación:	No determinado
Temperatura de descomposición:	No determinado
Viscosidad:	<1 cSt
Propiedades explosivas:	No determinado
Propiedades comburentes:	No

FUENTE: wd40.es

Anexo 5: Extracto de hoja técnica del aceite Multiusos 3 en UNO

9 – Propiedades físicas y químicas

Punto de ebullición:	>550 °F	Gravedad específica:	0,866-0,923 a 20 °C
Solubilidad en agua:	Insoluble	pH:	No corresponde
Presión de vapor:	No determinada	Densidad del vapor:	No determinada
Porcentaje de volatilidad:	Nulo	Compuestos orgánicos volátiles (Volatile Organic Compounds, VOC):	0%
Coefficiente de distribución de agua/aceite:	No determinado	Apariencia/Olor:	Líquido ámbar claro con un ligero olor a citronela
Punto de inflamación:	Superior a 305 °F vaso abierto	Límites de inflamabilidad:	No determinados

FUENTE: 3enuno.es

Anexo 6: Extracto de hoja técnica del aceite Husqvarna 2 strokes oil

Características típicas

Mobiltrans HD				
Grado SAE	10W	30	50	60
Viscosidad, ASTM D 445				
cSt @ 40°C	42	100	195	340
cSt @ 100°C	6.3	11.2	18.0	25.2
Índice de viscosidad, ASTM D 2270	96	97	100	96
Punto de congelación, °C, ASTM D 97	-33	-18	-15	-12
Punto de inflamación, °C, ASTM D 92	202	224	240	244
Densidad @ 15°C kg/l, ASTM D 4052	0.89	0.89	0.91	0.91

FUENTE: Husqvarna.com

Anexo 7: Extracto de hoja técnica del aceite Mobiltrans HD SAE 10W-30 y SAE 30

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1. Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto	Líquido marrón.
Estado físico	Líquido.
Forma	Líquido.
Color	Marrón
Olor	Disolventes orgánicos.
Umbral olfativo	No disponible.
pH	No disponible.
Punto de fusión/punto de congelación	No disponible.
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	No disponible.
Punto de inflamación	145,0 °C (293,0 °F) (ISO 2592)
Tasa de evaporación	No disponible.
Inflamabilidad (sólido, gas)	No es aplicable.
Limites superior/inferior de inflamabilidad o de explosividad	
Límite de inflamabilidad - inferior (%)	No disponible.
Límite de inflamabilidad - superior (%)	No disponible.
Presión de vapor	< 0,01 kPa @ 20°C
Densidad de vapor	No disponible.
Solubilidad(es)	Insignificante.
Coefficiente de reparto n-octanol/agua	Log Kow: >3 (Estimado).

Husqvarna 2-Stroke Oil HP

923332 Número de versión: 01 Fecha de revision - Fecha de publicación: 23-diciembre-2014

SDS Spain

4 / 8

Temperatura de auto-inflamación	No disponible.
Temperatura de descomposición	No disponible.
Viscosidad	57,5 mm ² /s (40 °C) (ISO 3104)
Propiedades explosivas	No disponible.
Propiedades comburentes	No es oxidante.
9.2. Información adicional	
Densidad	874,00 kg/m ³ (ISO 12185)

FUENTE: Mobil.com

Anexo 8: Tractor agrícola Kubota L245DT en funcionamiento



FUENTE: Foto Propia

Anexo 9: Medición de la cantidad de aceite para la metodología aplicada



FUENTE: Foto Propia

Anexo 10: Medición del tiempo de “chorreo”



FUENTE: Foto Propia

Anexo 11: Muestras con diferentes coloraciones del aceite según el tiempo de uso



FUENTE: Foto Propia