

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

**Trabajo de Titulación previa a la obtención del Título de INGENIERA
MECÁNICA - INGENIERO MECÁNICO**

TEMA

**CARACTERIZACIÓN DEL EFECTO DE LOS ADITIVOS
ANTIDESGASTE DE VARIAS MARCAS DEL MERCADO NACIONAL EN
UN ACEITE SAE20W-40**

AUTORES

DENISSE ESTEFANIA OCHOA FONSECA

HUGO AGUSTÍN VALENCIA CALAHORRANO

TUTOR

Ing. HOMERO ANTONIO YANCHAPAXI ALMACHI

Quito, febrero de 2017

Resumen

Existe una extensa variedad de productos en el mercado que ofrecen reducir el desgaste entre elementos que trabajen a fricción en un mecanismo, siendo su rendimiento desconocido o no considerado para el comprador.

El presente trabajo consiste en una investigación sobre el efecto de aditivos antidesgaste en un aceite SAE, para el cual se diseñó una máquina que permite realizar estudios de desgaste según el método Timken bloque sobre anillo, bajo la norma ASTM 2782-02, la cual sirvió de instrumento para realizar ensayos que permitieron caracterizar el efecto de los aditivos puestos a prueba.

De esta manera se incluye un marco teórico que da a conocer los conceptos básicos de rozamiento, desgaste, lubricación, aceites lubricantes, aditivos, y parámetros que están vinculados a la tribología, ciencia a la que va enfocada nuestra investigación. Estos argumentos son presentados con base en fundamentos sustentados con su respectiva fuente.

La metodología que se utilizó en el desarrollo de esta investigación fue de tipo experimental con la que se midió el desgaste en una probeta fija que estuvo en contacto con una móvil del mismo material. Se realizó un total de doce ensayos con aceite Kendall más un aditivo antidesgaste, sometidos a tres cargas distintas, en un tiempo de seis minutos.

Los resultados obtenidos de esta práctica permiten hacer una comparación desgaste vs. carga y temperatura vs. carga, generando la siguiente información: Qualitor disminuyó en un 46% el desgaste, Target aumentó el desgaste en un 8%, Liqui Moly disminuyó el desgaste en un 14%.

Palabras clave: aceites, aditivos, desgaste, lubricación, tribología.

Abstract

There is an extensive variety of products on the market that offer to reduce the wear between elements that work to friction in a mechanism, being its performance unknown or not considered for the buyer.

The present work consists of a research on the effect of anti-wear additives in an SAE oil, for which a machine was designed that allows to carry out studies of wear according to the method Timken block on ring, under the norm ASTM 2782-02. Which served as an instrument to carry out tests that allowed to characterize the effect of the additives put to test.

In this way, a theoretical framework is included that reveals the basic concepts of friction, wear, lubrication, lubricating oils, additives, and parameters that are linked to the tribology, science to which our research is focused. These arguments are presented on the basis of foundations supported by their respective source.

The methodology that was used in the development of this research was experimental type with which the wear was measured in a fixed specimen that was in contact with a mobile of the same material. A total of twelve trials were performed with Kendall oil plus an anti-wear additive, subjected to three different loads, in a time of six minutes.

The results obtained from this practice allow to make a comparison wear vs. charge and temperature vs. load, generating the following information: Qualitor decreased wear by 46%, Target increased wear by 8%, Liqui Moly decreased wear by 14%.

Key words: oils, additives, wear, lubrication, tribology.

Cesión de derechos de autor

Nosotros, Denisse Estefanía Ochoa Fonseca con Cédula de Identidad N° 1716894900 y Hugo Agustín Valencia Calahorrano con Cédula de Identidad N° 1725297855, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación: “CARACTERIZACIÓN DEL EFECTO DE LOS ADITIVOS ANTIDESGASTE DE VARIAS MARCAS DEL MERCADO NACIONAL EN UN ACEITE SAE20W-40”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero/a Mecánico/a, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

EF
Denisse Ochoa

Denisse Estefanía Ochoa Fonseca

C.I: 1716894900

Agustín Valencia C.

Hugo Agustín Valencia Calahorrano

C.I: 1725297855

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación: CARACTERIZACIÓN DEL EFECTO DE LOS ADITIVOS ANTIDESGASTE DE VARIAS MARCAS DEL MERCADO NACIONAL EN UN ACEITE SAE20W-40, realizado por Denisse Estefanía Ochoa Fonseca y Hugo Agustín Valencia Calahorrano, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como Trabajo Final de Titulación.

Quito, enero de 2017



Homero Antonio Yanchapaxi Almachi

C.I: 1704227535

Agradecimiento

Un especial agradecimiento al Ing. Homero Yanchapaxi, quien con su conocimiento ha sabido guiarnos durante el desarrollo de nuestro trabajo de fin de carrera. Sus aportes y observaciones han sido muy oportunos en la culminación de este proceso.

También agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana, lugar donde realizamos nuestros estudios; así como a sus docentes, quienes han sabido comunicar sus conocimientos y experiencias las cuales serán valiosas para nuestra vida profesional.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, Ibis y Vicente, ellos con su ejemplo han sabido guiarme y darme pautas a lo largo de mi vida para llegar a cumplir una de mis mayores metas; además han sido mi principal apoyo en los momentos difíciles. A mi hermano Paúl, quien a pesar de su corta edad ha sabido inspirarme y apoyarme con el amor e inocencia de un niño.

También dedico este trabajo a mis amigos: Diego, Christian, Agustín y Klever con quienes he fortalecido una gran amistad a lo largo de mi vida universitaria; con ellos he compartido momentos que atesorare entre las experiencias más valiosas, y sus palabras siempre han sido un aliento para continuar.

Denisse Ochoa

Dedicatoria

A mis padres: Lidia y Agustín por su apoyo, amor, comprensión y esfuerzo. A mis hermanas: Viviana y María Fernanda por ser mi motivación para seguir adelante, a Robert a quien lo considero mi hermano. Todos han aportado con experiencias valiosas y enseñanzas que llevaré a lo largo de mi vida personal y laboral.

Hugo Agustín Valencia C.

Contenido

Resumen	i
Abstract	ii
Cesión de derechos de autor	iii
Declaratoria de coautoría del docente tutor	iv
Agradecimiento	v
Dedicatoria	vi
Dedicatoria	vii
Índice de figuras	x
Índice de Tablas	xii
Glosario de términos	xiii
Introducción	15
CAPÍTULO 1	16
MARCO TEÓRICO	16
1.1. Rozamiento y Desgaste	16
1.1.1. Rozamiento o Fricción	16
1.1.2. Desgaste	18
1.2. Principio de Lubricación	22
1.3. Tipos de lubricación	25
1.4. Funciones de lubricación	28
1.4.1. Lubricación	28
1.4.2. Refrigeración	29
1.4.3. Protección contra la corrosión:	29
1.4.4. Limpieza	29
1.5. Aceites lubricantes	30
1.5.1. Propiedad de los aceites lubricantes	30
1.6. Clasificación de los aceites según la norma SAE	31
1.6.1. Aceites monógrados	32
1.6.2. Aceite multigrado	33
1.7. Aditivos	33
1.7.1. Tipos de los aditivos	34
CAPÍTULO 2	37

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.....	37
2.1. Parámetros de diseño	37
2.1.1. Timken convencional.....	37
2.1.2. Timken block on ring.....	38
2.2. Factor de ponderación	41
2.3. Evaluación de las alternativas de diseño	42
2.4. Diseño de elementos	43
2.4.1. Parámetros del diseño	43
2.4.2. Cálculo de la fuerza máxima aplicada	44
2.4.3. Dimensionamiento del Eje	45
2.4.4. Diseño de la palanca de fuerza.....	53
2.4.5. Selección de rodamientos	57
2.4.6. Selección de acoples	59
CAPÍTULO 3	61
ENSAYOS	61
3.1. Materiales	61
3.1.1. Probeta giratoria	61
3.1.2. Bloque de prueba o probeta fija	62
3.2. Procedimiento del ensayo.....	62
3.3. Datos obtenidos	63
3.4. Resultados.....	76
Conclusiones	80
Recomendaciones.....	82
Lista de referencias.....	83
Anexos.....	15
Anexo 1. Fichas técnicas de lubricantes y aditivos	15
Anexo 2. Relación frecuencia vs RPM.....	20
Anexo 3. Fotos de la máquina	21
Anexo 4. Pesaje de las probetas.....	21

Índice de figuras

Figura 1: Diagrama de cuerpo libre de un cuerpo en reposo	16
Figura 2: Diagrama de un cuerpo libre en movimiento	17
Figura 3: Comportamiento de los coeficientes de fricción	18
Figura 4: Desgaste por adherencia	19
Figura 5: Desgaste por fatiga en un diente de engrane	19
Figura 6: Desgaste por corrosión	20
Figura 7: Desgaste por abrasión	20
Figura 8: Esquema general de una máquina de ensayo de desgaste	21
Figura 9: Probeta antes y después del ensayo de desgaste	22
Figura 10: Cuerpo deslizando sobre un fluido	22
Figura 11: Esquema de velocidades	23
Figura 12: Representación gráfica del poise	24
Figura 13: Representación gráfica de un Stokes	25
Figura 14: Curva de Stribeck	26
Figura 15: Lubricación límite entre dos superficies	26
Figura 16: Lubricación mixta entre dos superficies	27
Figura 17: Lubricación hidrodinámica entre dos superficies	27
Figura 18: Rapidez de desgaste en un sistema tribológico	28
Figura 19: Clasificación de los aceites según SAE	32
Figura 20: Temperatura vs viscosidad de aceites	33
Figura 21: Aditivos detergentes y dispersantes	34
Figura 22: Curva de viscosidad de algunos aceites grado SAE	35
Figura 23: Aditivos antidesgaste y extrema presión	36
Figura 24: Esquema Timken convencional	37

Figura 25: Esquema Timken block on ring	38
Figura 26: Esquema máquina para ensayo de desgaste.....	43
Figura 27: Diagrama de cuerpo libre de la probeta fija y móvil	44
Figura 28: Diagrama de las fuerzas en la probeta móvil y eje	46
Figura 29: Diagrama de cuerpo libre del eje	46
Figura 30: Diagrama de corte	47
Figura 31: Diagrama de momentos	48
Figura 32: Diagrama de torsión.....	50
Figura 33: Diagrama de Goodman	52
Figura 34: Diagrama de cuerpo libre de la palanca de fuerza	53
Figura 35: Diagrama de corte de la palanca de fuerza	54
Figura 36: Diagrama de momento de la palanca de fuerza	55
Figura 37: Diagrama de cuerpo libre dl eje y rodamientos	57
Figura 38: Desgaste VS carga	77
Figura 39: Temperatura VS carga	78

Índice de Tablas

Tabla 1 Escala de evaluación de la facilidad de construcción	39
Tabla 2 Escala de evaluación del beneficio didáctico	40
Tabla 3 Calificación de los diseños de acuerdo al beneficio didáctico	40
Tabla 4 Escala de evaluación del costo de fabricación	41
Tabla 5 Valores del factor de ponderación.....	42
Tabla 6 Calificación total de las alternativas de diseño	42
Tabla 7 Resultados de los ensayos	76

Glosario de términos

Acritud: aspereza en una superficie (DEFINICIONESDE, 2010)

Aspereza: desigualdad de una superficie que produce falta de suavidad (DEFINICIONESDE, 2010)

ASTM: Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (por sus siglas en inglés), es una organización de alcance internacional que fija normas para materiales y procedimientos (AEC, 2016)

Demulsificante: Son mezclas de un solo surfactante o de una mezcla de los mismos en un sistema disolvente adecuado, formuladas para tratar una emulsión específica (Figueroa, 2009)

Emulsión: Conformada por 2 fases líquidas inmiscibles. El diámetro de las partículas de la fase dispersa es aproximadamente ≤ 0.005 mm (Jubel, 2008)

Movimiento relativo: Se da cuando existe un cambio de posición de un sistema respecto a otro que el observador determinó como referencial (Universidad de Sevilla, 2012)

Untar: Característica de los lubricantes por la que se adhieren a las superficies metálicas e impiden el contacto directo metal-metal incluso con presiones concentradas y muy elevadas (MotorGiga, 2014)

SAE: Sociedad de Ingenieros Automotrices, organización internacional que establece normas para el diseño de automóviles y artículos relacionados (SAE, 2015)

Sistema tribológico: Consta de las superficies de dos componentes que están en contacto móvil entre sí y su entorno. El tipo, progreso y extensión del desgaste se determina por los materiales y acabados de los componentes, cualquier material

intermedio, las influencias del entorno y las condiciones de funcionamiento (OERLIKON BALZERS, 2010)

Surfactante: Es un agente activo que reduce la tensión superficial de un fluido (DEFINICIÓNDE, 2016)

Timken (Compañía): Es un fabricante mundial de rodamientos y componentes relacionados, miembro de la asociación mundial de cojinetes (AMB) (TIMKEN, 2016)

SAE J300-09:E: Es una norma propuesta por SAE que permite determinar la viscosidad de aceites para motores. En esta norma se clasifican las viscosidades de acuerdo a su viscosidad cinemática a 100°C y en caso de aceites multigrados también se mide su bombeabilidad y resistencia al arranque en frío (WIDMAN INTERNATIONAL, 2016)

Introducción

Debido al desarrollo industrial en distintos campos, se han diseñado y construido una variedad de maquinarias que están sometidas a grandes esfuerzos y largos períodos de trabajo. Siendo prioridad para los ingenieros lograr una armonía entre materiales y lubricantes. Las propiedades de los aceites tradicionales ya no son suficientes para este tipo de trabajos por lo que se ha generado aditivos para mejorar su desempeño.

En los catálogos de los diferentes proveedores de lubricantes se prioriza la viscosidad del aceite base, atribuyendo su desempeño a esta característica, sin considerar que para los sistemas tribológicos, el desgaste es la mayor causa de pérdidas de materiales, por lo que cualquier reducción del mismo puede aportar grandes beneficios (San Román, Quesada, & Olmeda, 2009, pág. 1), siendo relevante conocer la importancia de los aditivos anti-desgaste dentro del lubricante.

El objetivo general de este trabajo es medir el efecto de los aditivos anti-desgaste de varias marcas del mercado nacional en un aceite SAE20w-40.

Por lo que se ha investigado sobre la ciencia de la tribología y sus diferentes aspectos para obtener un criterio más amplio sobre lubricación y desgaste, se ha indagado normas que puedan ser útiles para la realización de ensayos de lubricación y desgaste.

En consecuencia, se ha diseñado y construido un equipo que permita realizar varias pruebas con diferentes aditivos anti-desgaste, para someter las probetas a distintas situaciones como carga, tiempo de trabajo y temperatura para analizar e interpretar el comportamiento del aceite en dichas aplicaciones con el fin de especificar el rendimiento para cada caso.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. Rozamiento y Desgaste

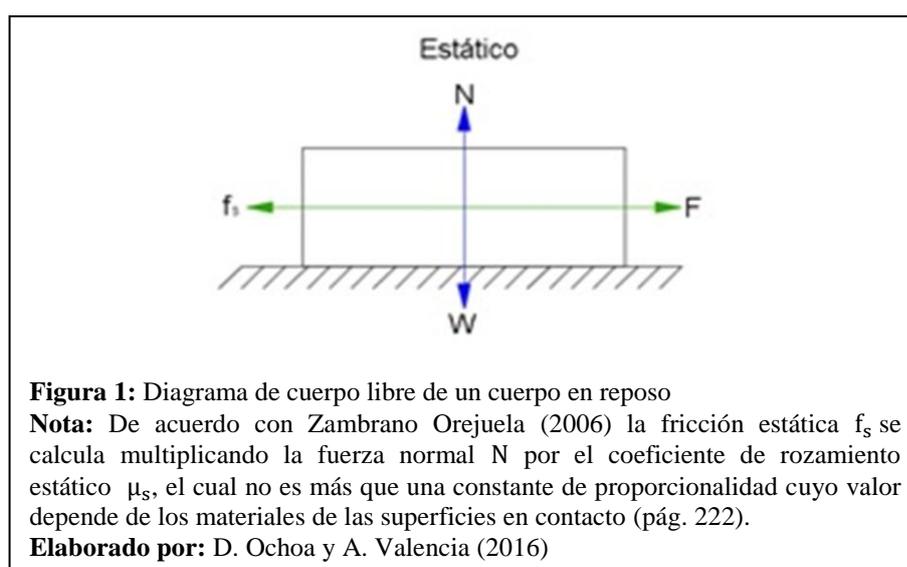
1.1.1. Rozamiento o Fricción

Se define rozamiento como la fuerza F_r que se opone al movimiento y es tangente a la superficie de contacto de dos cuerpos, cuando el uno se mueve respecto al otro. Toda fuerza de fricción se opone a la dirección del movimiento relativo.

Todas las superficies de los materiales, aún las lisas, presentan muchas irregularidades en forma de picos y valles, que son grandes si se los considera a escala molecular. Aún las cargas livianas pueden causar deformación plástica apreciable en materiales dúctiles como los metales (Universidad de Buenos Aires, 2009, pág. 3)

Para temas de estudio se considera dos fuerzas de fricción:

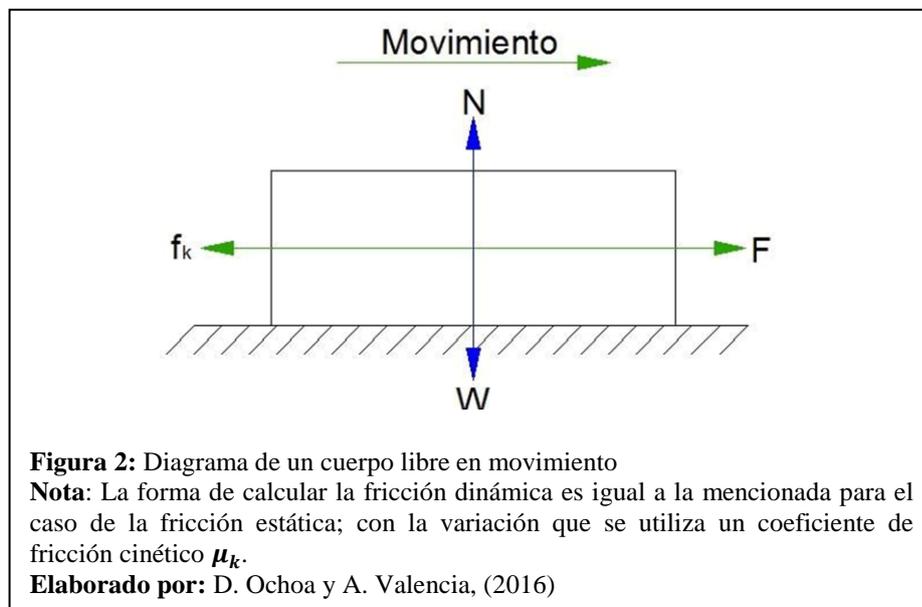
-Fricción estática



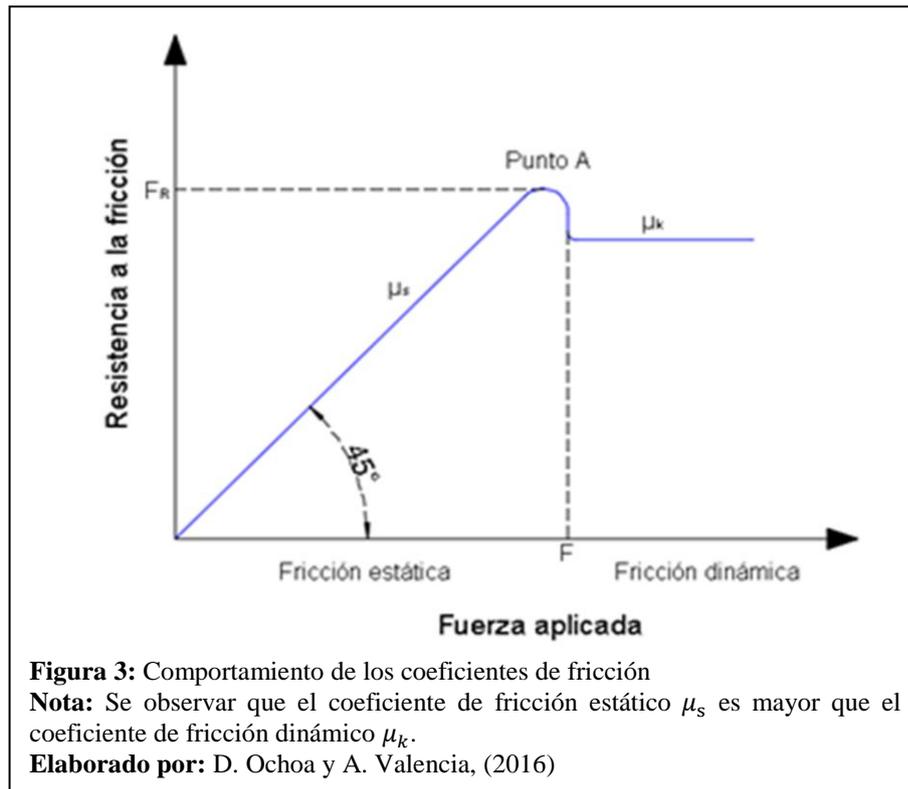
Es la fuerza que dificulta el movimiento inicial de un cuerpo, en este intervalo se puede observar que su magnitud es igual pero de sentido opuesto a la fuerza aplicada al objeto para intentar desplazarlo (Halliday, Resnick, & Walker, 2007, pág. 114)

-Fricción dinámica

Halliday y otros (2007) expone que "esta fuerza se presenta cuando se rompe el estado de reposo y el cuerpo inicia un movimiento" (pág. 115). Como se muestra en la figura 3, la magnitud de la fuerza de rozamiento dinámico disminuye hasta llegar a un punto casi de estabilidad.



A la fuerza externa aplicada de valor F se le contrapone una fuerza de fricción estática f_s . Conforme F aumenta, f_s alcanza un valor máximo *punto A*, en esta instancia se romperán las crestas que mantienen el contacto y se iniciará el movimiento, a partir de este momento en adelante existe una fuerza de fricción dinámica f_k .



1.1.2. Desgaste

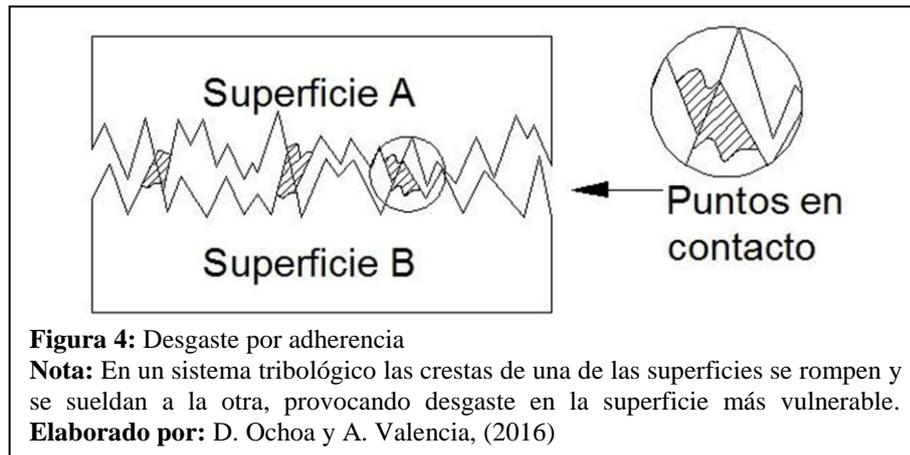
Es el resultado de la pérdida de material debido a la interacción entre dos superficies, cuando se aplica una fuerza generando un movimiento relativo. Se lo considera como un factor crítico para limitar la vida y el desempeño de los componentes de una máquina.

-Tipos del desgaste

El desgaste está en función del sistema tribológico donde opera, no es una propiedad intrínseca del material, por lo que clasificar sus distintos tipos resulta difícil. Sin embargo a continuación se mencionará los más importantes:

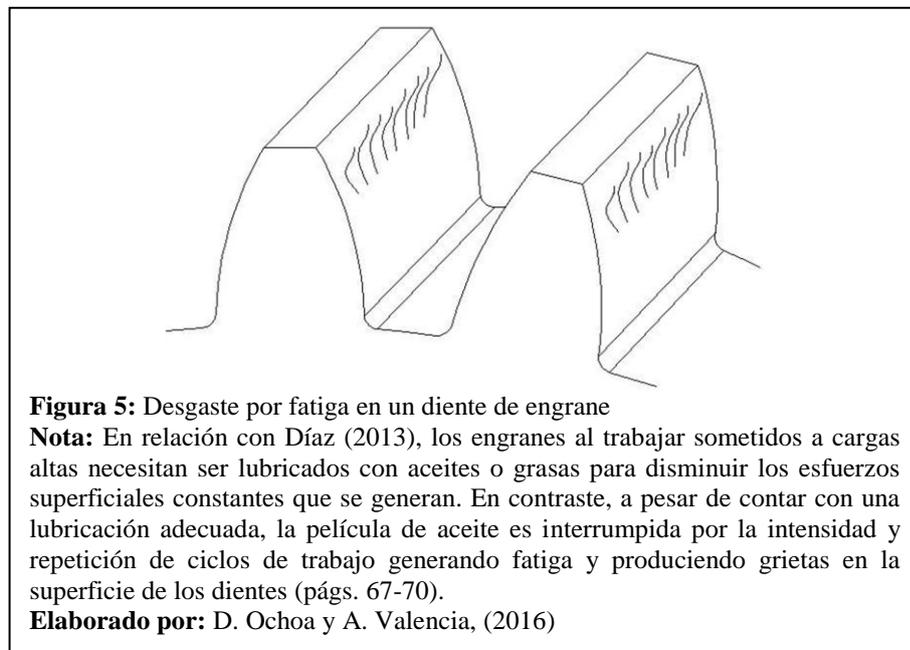
a) *Desgaste por adherencia.*

Se da cuando dos superficies en contacto se deslizan bajo presión y las irregularidades de una se adhieren a la otra.



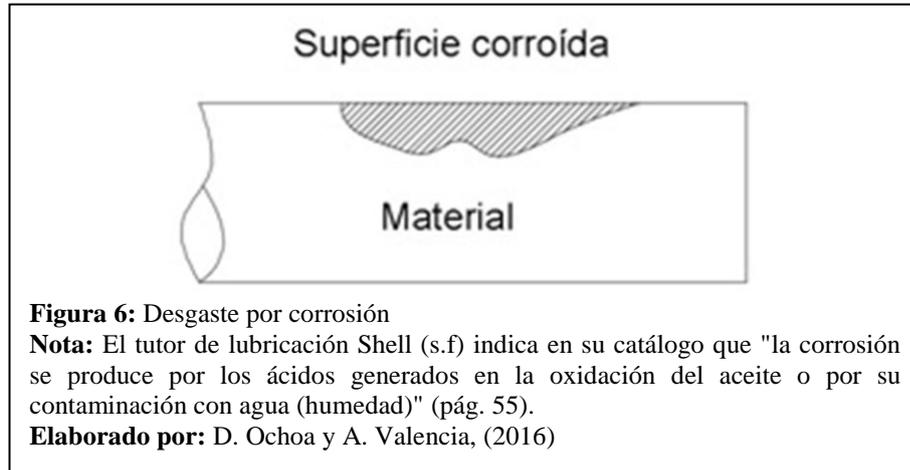
b) *Desgaste por fatiga.*

Se presenta en forma de grietas o picaduras debido a los esfuerzos que se dan en las superficies en contacto por ciclos repetidos de carga y descarga.



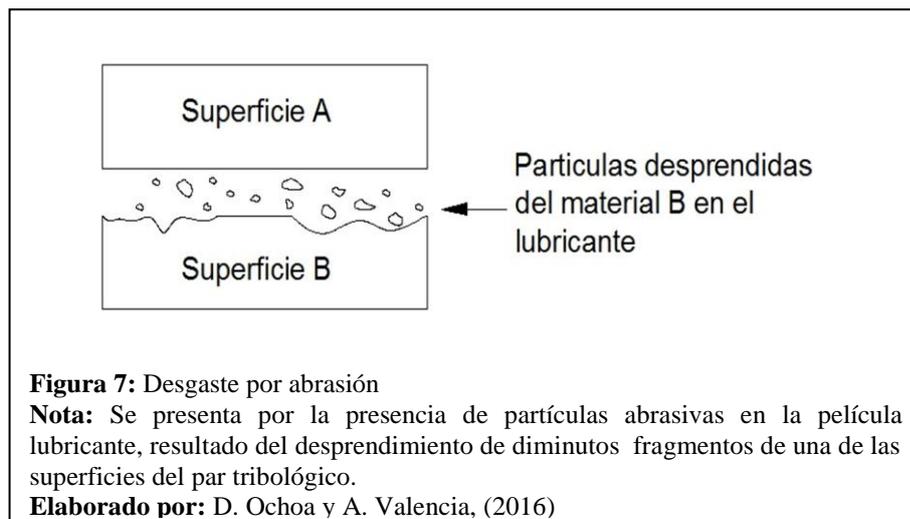
c) *Desgaste corrosivo.*

Se produce debido a la presencia de sustancias ácidas que generan deterioro en las superficies.

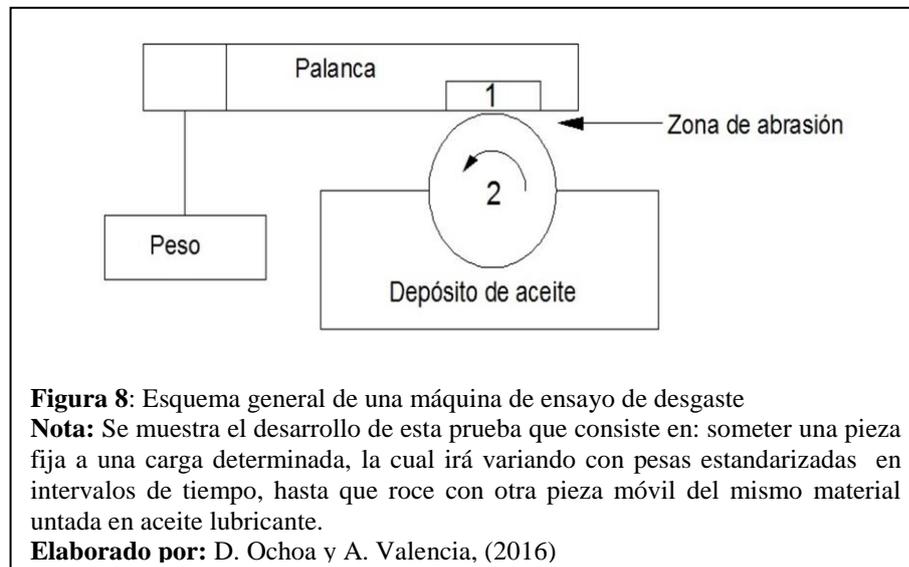


d) *Desgaste por abrasión.*

La ASTM (2002) en su norma G-40 considera que el desgaste abrasivo ocurre debido a la acción de partículas o protuberancias duras que son forzadas y movidas a lo largo de una superficie de un sólido más blando, teniendo como resultado una pérdida de material o rayado de la misma (pág. 1).



El análisis de las muestras en los ensayos para el desarrollo de este proyecto estará basado en el desgaste abrasivo entre dos probetas de igual material.



Después de este proceso se calculará el desgaste por lo que a continuación se hará mención a las formas de medir este desgaste:

-Métodos de medición de la intensidad del desgaste

El estudio cuantitativo del desgaste es de interés en el campo de la ingeniería ya que así se podría considerar en los cálculos de diseño de elementos de máquinas los efectos de la fricción y desgaste para evitar fallas prematuras.

El desgaste se puede medir en base al material perdido por la fricción, la probeta se pesa antes y después del ensayo. Para realizar este proceso las piezas deben ser limpiadas previas a cada pesaje. El grado de fiabilidad de este método depende de la exactitud de las balanzas. También se puede expresar en términos del índice de desgaste, que no es más que el peso del material perdido en gramos dividido para el tiempo en segundos que duró el ensayo.

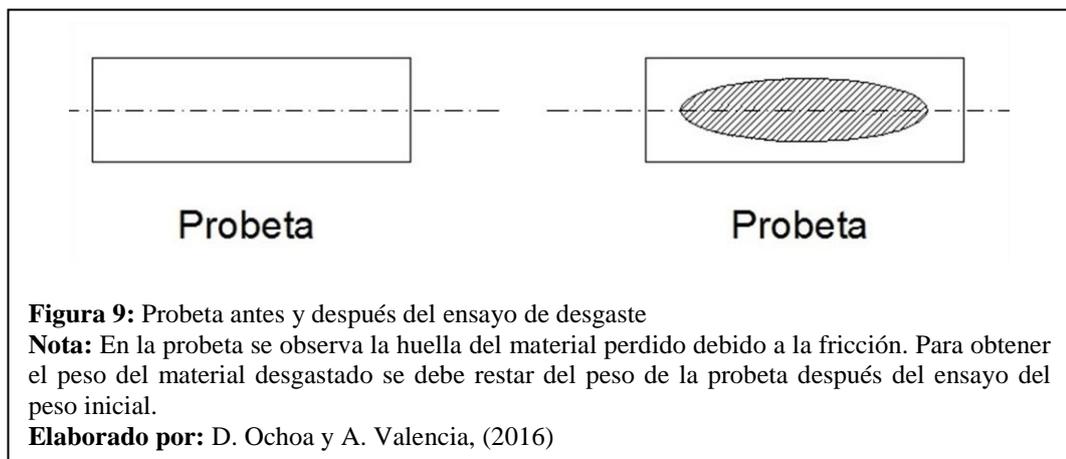
$$I = \frac{W}{t} \quad (1)$$

Donde:

I : Intensidad del desgaste (g/s)

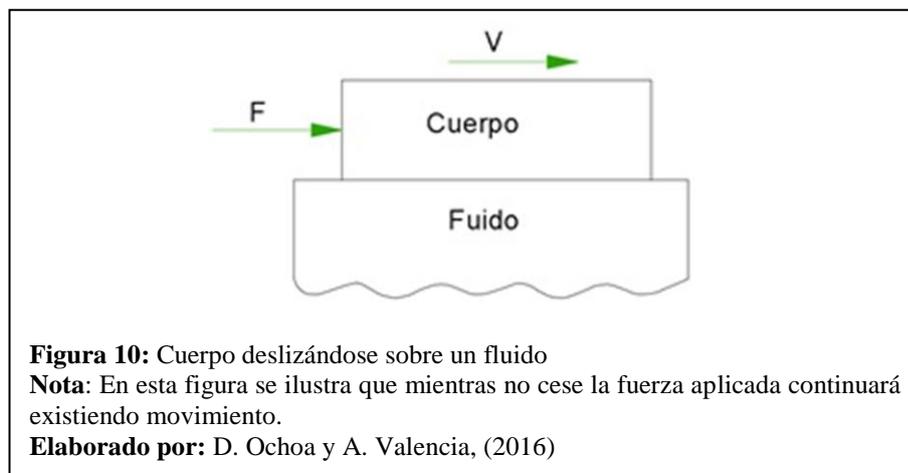
W : Peso perdido de la probeta (g)

t : Tiempo del ensayo (s)

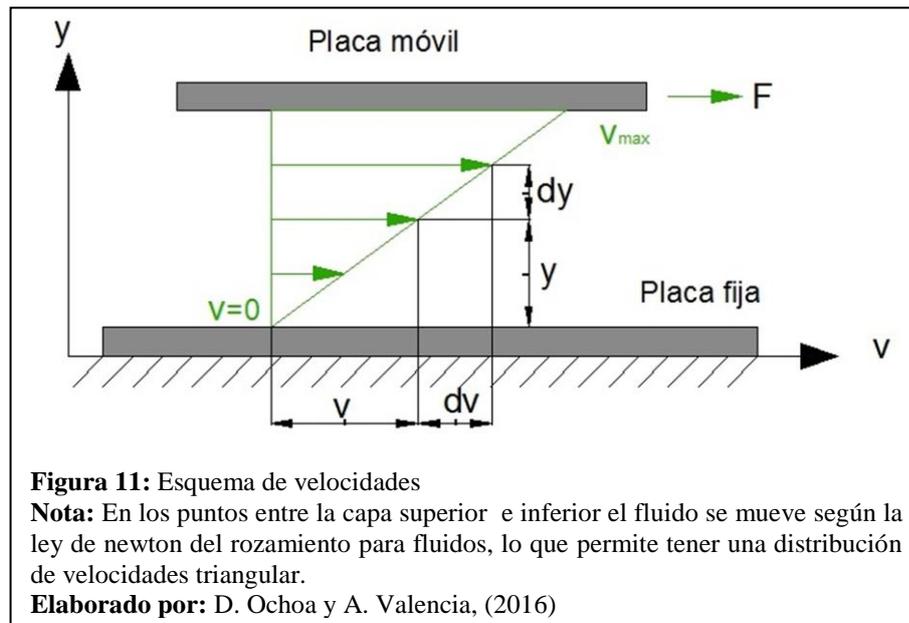


1.2. Principio de Lubricación

Cuando existe un fluido entre dos superficies, y a una de ellas se le aplica una fuerza externa, entonces se producirá un desplazamiento cuya velocidad dependerá de esta.



Partiendo de lo expuesto en el gráfico anterior, las capas de fluido que están en contacto con la superficie superior, se moverán con la misma velocidad de la placa $v_{m\acute{a}x}$ = máxima y las que estén en contacto con la placa fija inferior tendrán velocidad nula $v_0 = 0$ (López, 2005, pág. 3)



La fuerza necesaria F , medida en dinas, para mover la placa superior está determinada por la siguiente formula.

$$F = A \cdot \eta \cdot \frac{dv}{dy} \quad (2)$$

Donde:

v : Velocidad (m/s)

y : Distancia transversal (m)

η : Coeficiente de viscosidad dinámica (poise)

A : Área comprendida entre el fluido y la superficie móvil (cm²)

-Viscosidad

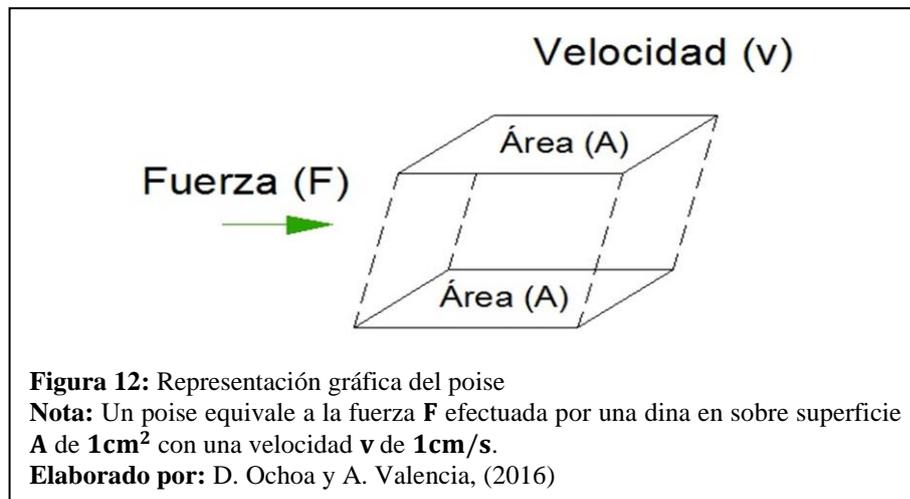
Se entiende como la resistencia que tiene el aceite a fluir libremente y es la responsable de la formación de la capa de lubricación. Existen dos tipos de viscosidad.

a) Viscosidad dinámica o absoluta

Depende de dos parámetros importantes como; la naturaleza del fluido y la temperatura del mismo. Se la puede calcular despejando η de la ecuación anterior:

$$\eta = \frac{F/A}{v/y} \quad (3)$$

El coeficiente de viscosidad absoluta tiene como unidad de medida el poise que en el Sistema Internacional (SI) se expresa en $\frac{g}{cm*s}$.

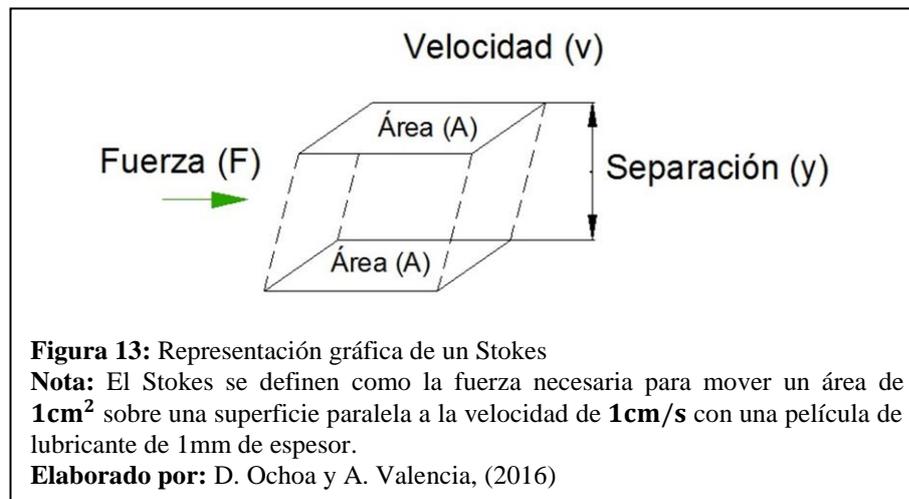


b) Viscosidad cinemática

Se la obtiene dividiendo la viscosidad dinámica para la densidad del fluido.

$$\gamma = \frac{\eta}{\rho} \quad (4)$$

La viscosidad cinemática se mide en Stokes, en el (SI) equivale a $\frac{cm^2}{s}$.



1.3. Tipos de lubricación

Conociendo el espesor de la película lubricante y las asperezas de los materiales en contacto se puede determinar el régimen de lubricación, como se indica en la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{h_{min}}{(R_{qa}^2 + R_{qb}^2)^{1/2}} \quad (5)$$

R_{qa} : Asperidad superficial de la superficie a

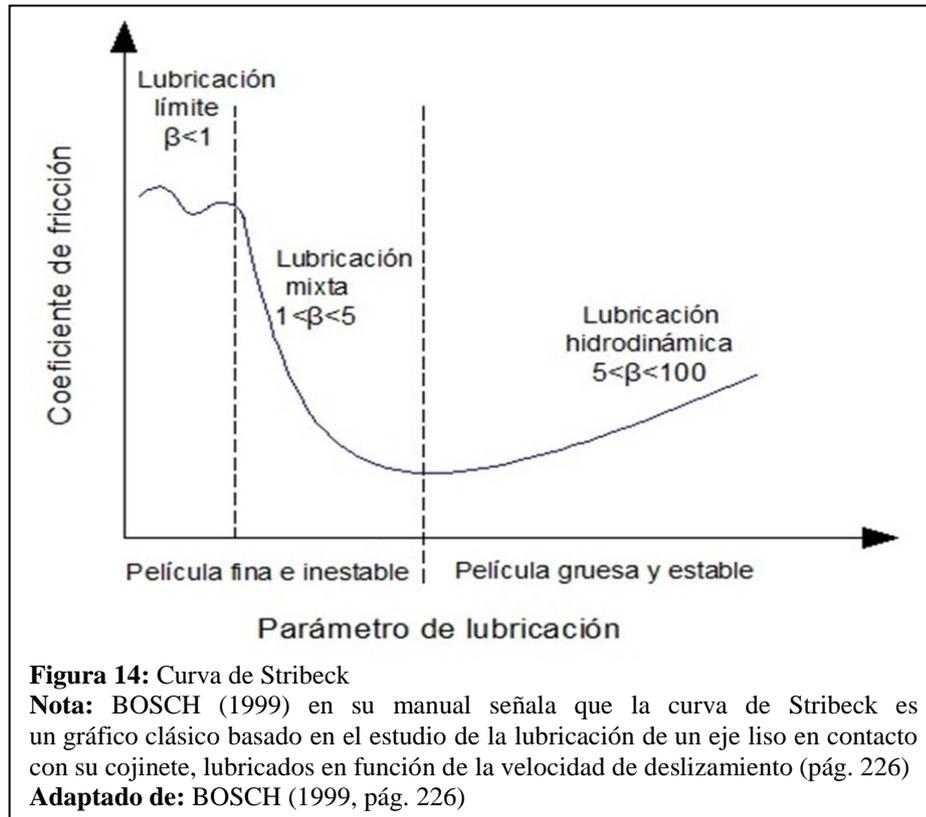
R_{qb} : Asperidad superficial de la superficie b

Si:

$\beta < 1$ Lubricación marginal o límite

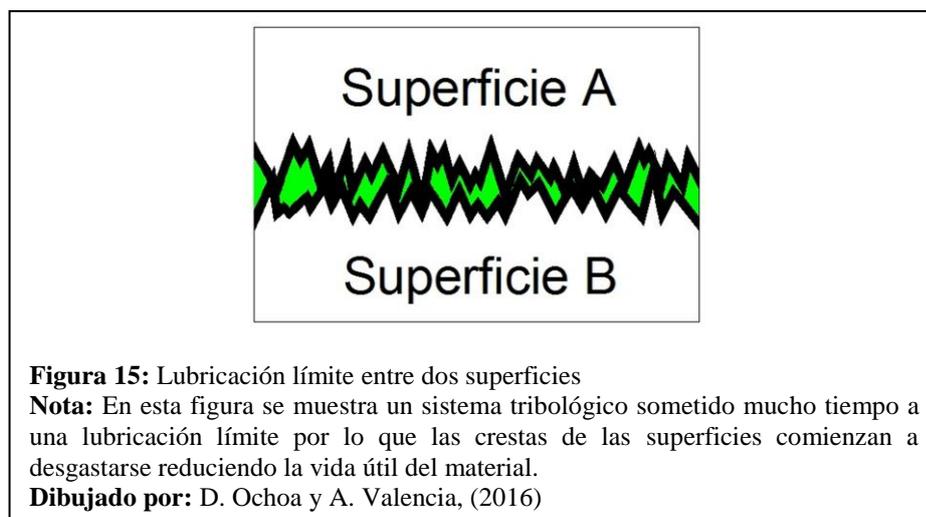
$1 \leq \beta < 5$ Lubricación parcial o mixta

$5 \leq \beta < 100$ Lubricación hidrodinámica



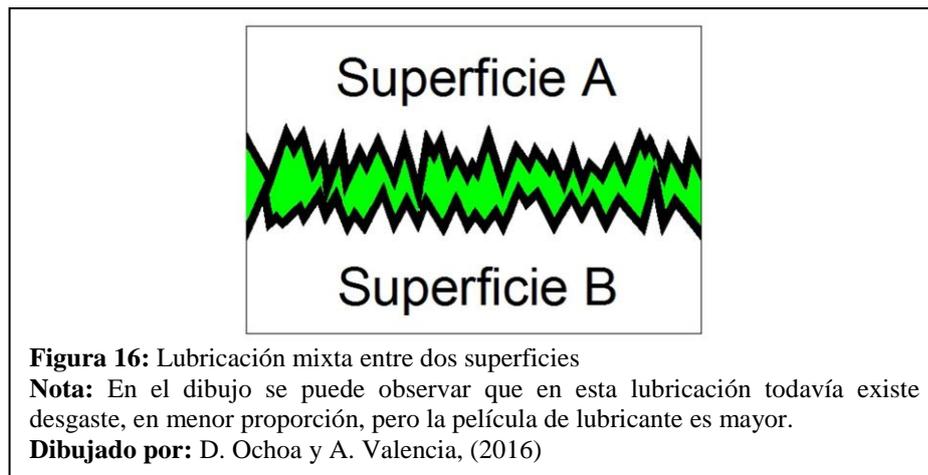
a. Lubricación límite

En esta lubricación: la película de lubricante desaparece completamente o este se queda entre las rugosidades, siendo soportada toda la carga por el contacto sólido-sólido (Universidad Carlos III de Madrid, 2008, pág. 2)



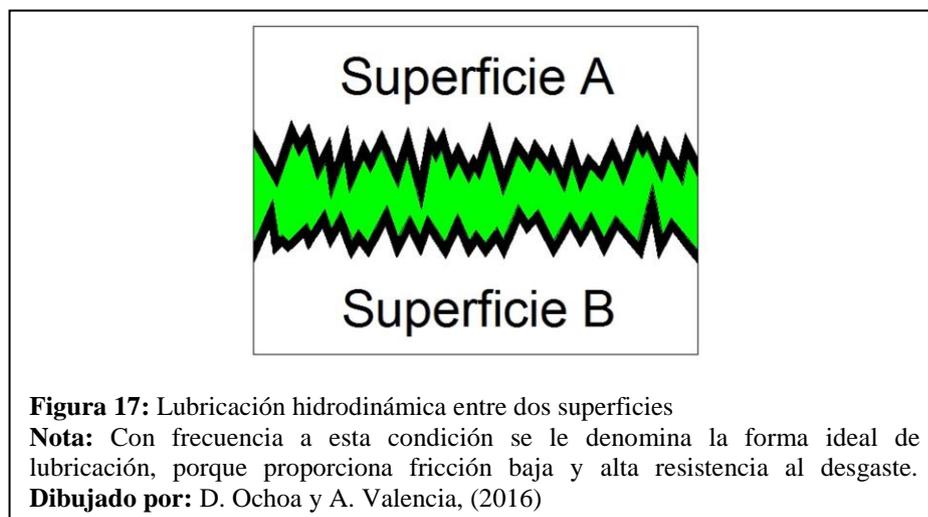
b. Lubricación mixta

Para este tipo de lubricación, según López (2005), la carga es soportada en parte por el choque sólido-sólido y en otras por la capa del lubricante. Este tipo de lubricación no es recomendada, ya que la película de lubricante no impide totalmente el roce entre las asperezas de dos superficies en contacto (pág. 9)

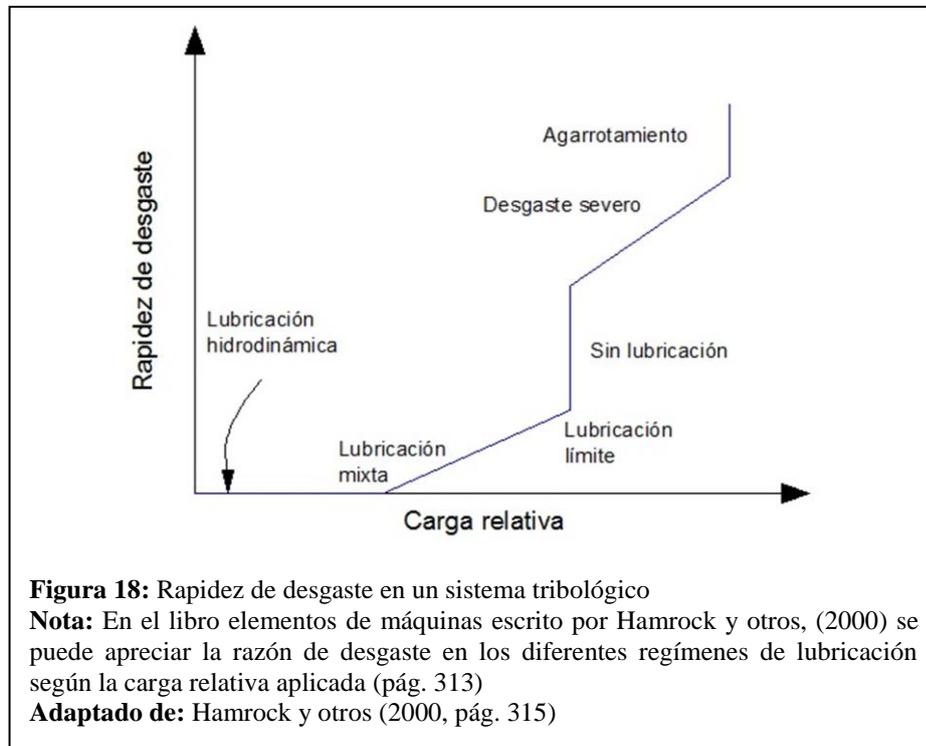


c. Lubricación hidrodinámica

En la lubricación hidrodinámica las películas son gruesas, de manera que se previene que las superficies sólidas opuestas entren en contacto (Hamrock, Jacobson, & Schimd, 2000, pág. 310).



En un sistema tribológico el desgaste existente y la rapidez con la que se genera estará en función del tipo de lubricación utilizada. En la figura siguiente se puede apreciar que la lubricación hidrodinámica es la más eficiente en relación a las demás.



1.4. Funciones de lubricación

Entre las principales funciones de la lubricación podemos mencionar las siguientes.

1.4.1. Lubricación

La principal función es reducir al mínimo el desgaste de las piezas móviles en contacto de un mecanismo, que se produce por su rozamiento.

Esta finalidad se consigue por la interposición de una fina película de lubricante entre las piezas o superficies metálicas que pudieran llegar a entrar en contacto, bien sea a presión o deslizamiento, evitando con ello el desgaste de las piezas (Gill, 2010, pág. 570)

1.4.2. Refrigeración

Existen muchos mecanismos bien lubricados que aún así generan cantidades considerables de calor, si se desea que la máquina funcione eficientemente este exceso debe ser removido.

Todo lubricante actuará como refrigerante, debido a que está en contacto directo con las partes móviles, extrae el calor que estas generan cuando las superficies rozan entre sí, también pueden ser el medio de transferencia de calor hacia partes más frías.

1.4.3. Protección contra la corrosión:

Se entiende por corrosión al deterioro del material. Se puede presentar por diferentes causas, como principal causa tenemos la presencia de agentes que se encuentran en el ambiente: agua, gases, químicos, entre otros.

SHELL en su catálogo: La introducción a la lubricación y lubricantes (2010) indica que los lubricantes tienen la característica de proteger contra la corrosión en dos formas diferentes. Deben cubrir la superficie y proveer una barrera física contra el ataque. Además, muchos lubricantes reaccionan con los químicos corrosivos para neutralizarlos (pág. 13)

1.4.4. Limpieza

Considerando el desgaste que se da y el trabajo que realiza una máquina, siempre existirá la presencia de partículas producto de la fricción y agentes externos.

Los lubricantes ayudan a mantener las máquinas limpias y operando eficientemente, lavando los contaminantes de los mecanismos lubricados. Algunos lubricantes, como los de motor de combustión interna, contienen, además, aditivos que suspenden las

partículas y dispersan los contaminantes solubles en el aceite. Esto detiene la acumulación y depósito sobre las superficies de trabajo lubricadas (SHELL, 2010, pág. 13)

1.5. Aceites lubricantes

Un aceite lubricante con excepción de los sintéticos es el resultado de la mezcla de aceites básicos parafínicos y aditivos.

1.5.1. Propiedad de los aceites lubricantes

a. Viscosidad e índice de viscosidad

La Asociación Española de Lubricantes ASELEBU (2014) indica que el índice de viscosidad se obtiene de la relación viscosidad (propiedad física más relevante en un aceite lubricante) para la temperatura. Es una medida que se da en grados SAE, permite conocer la variación de la viscosidad de un aceite a temperaturas referenciales de 40°C o 100°C. Comparando esta variación con una escala de la ASTM (pág. 6)

El proceso que se sigue para calcular este parámetro consiste en comparar la viscosidad del aceite que se está estudiando con otros dos aceites estandarizados o que sirven de referencia. EL primer aceite es de origen de parafínico, se lo designa con la letra H, este presenta una baja variación de viscosidad con relación a la temperatura con un índice de viscosidad fijado en 100. EL segundo es un aceite naftalénico en el cual el índice de viscosidad es normado en 0, varía activamente con los cambios de temperatura.

b. Punto de Congelación

Es la temperatura mínima a la cual un aceite no puede fluir o ser removido de un equipo.

La Asociación Española de Lubricantes ASELUBE (2014) asevera que los lubricantes de alta viscosidad pueden dejar de fluir a bajas temperaturas debido a que su viscosidad ha pasado a ser demasiado alta (pág. 6)

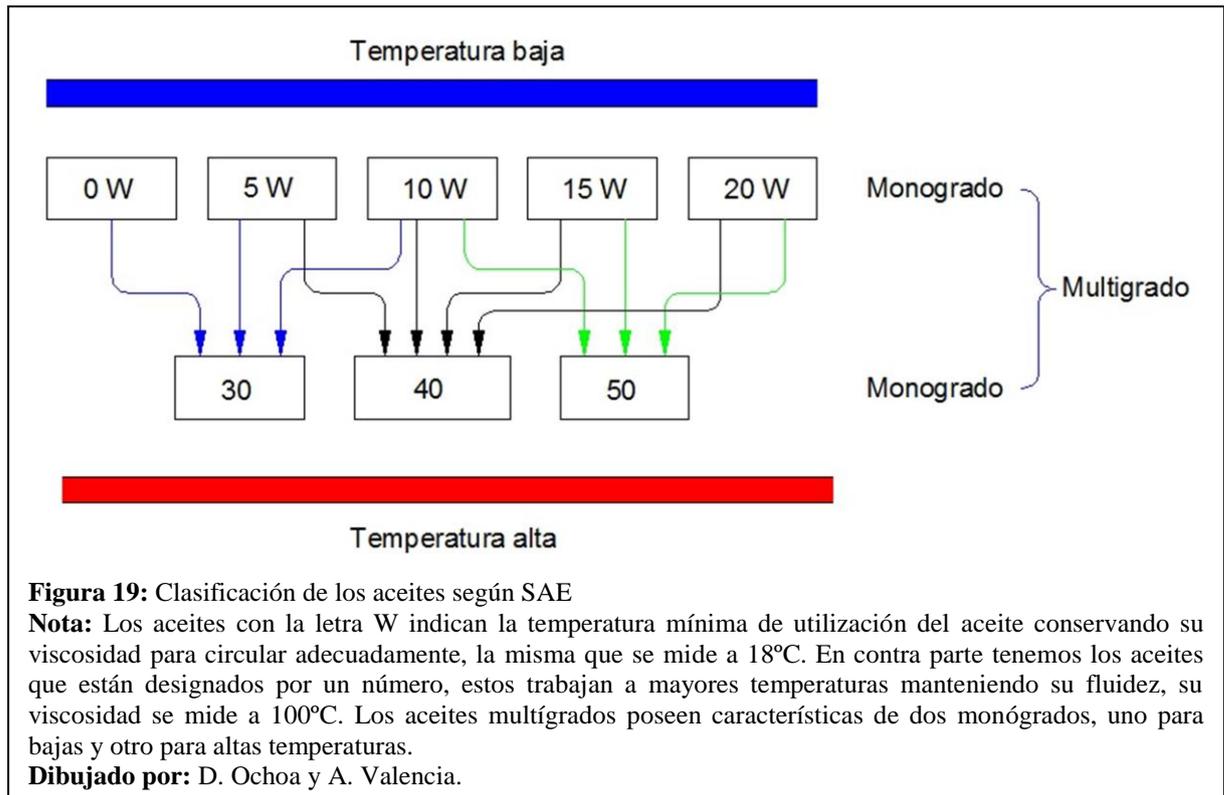
c. Punto de Inflamación

Es la temperatura a la cual los vapores de la superficie del aceite arden primero si se aplica una flama de prueba en condiciones definidas.

Según Gill (2010) un buen lubricante además de tener un punto de inflamación alto para dificultar su combustión, debe ofrecer poca tendencia a la formación de residuos carbonosos (pág. 572)

1.6. Clasificación de los aceites según la norma SAE

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) clasifica a los aceites lubricantes en función de la viscosidad, como lo expone Lublearn (2013) en su foro sobre los grados de viscosidad SAE para motores, donde se indica que esta división está definida según la especificación SAE J-300-09, la cual en la actualidad contempla diferentes grados de viscosidad, dividiéndolos en dos grupos.



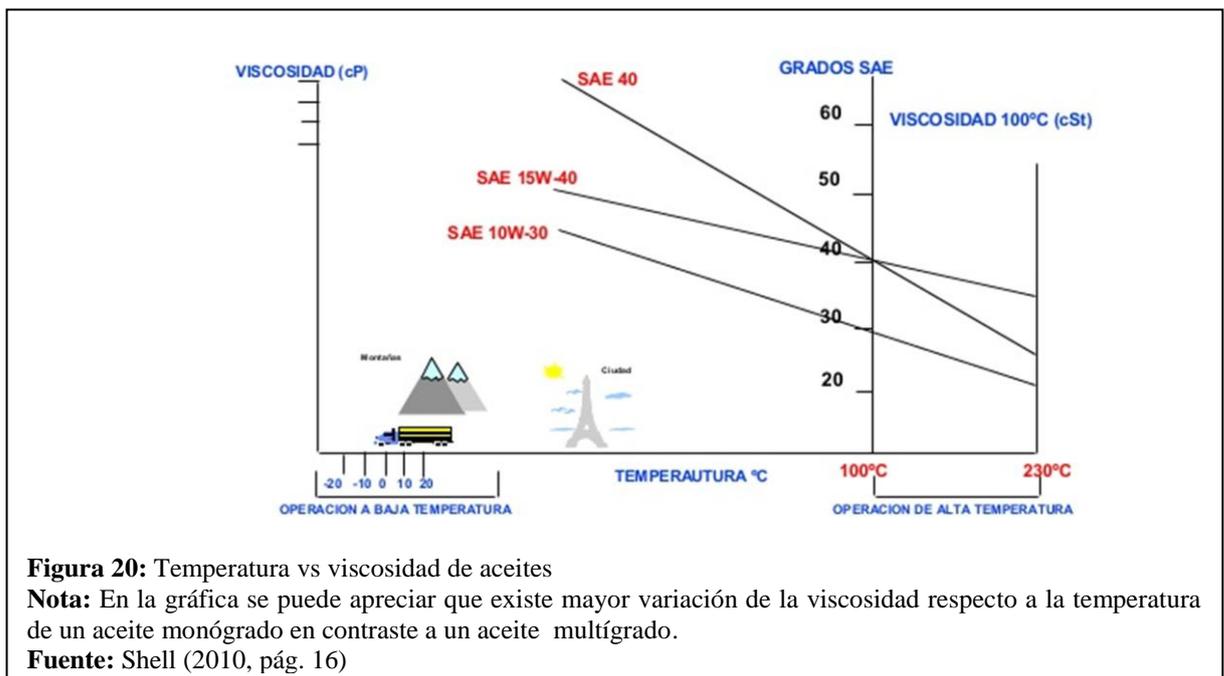
Según SHELL (2010) el grado SAE también determina la temperatura límite de bombeabilidad, la cual se define como la temperatura más baja a la cual un aceite para motor puede ser continua y adecuadamente suministrado a la bomba de aceite del motor. (pág. 19)

1.6.1. Aceites monógrados

Gulf (2014) manifiesta que este tipo de aceites son diseñados para trabajar a una temperatura específica o una mínima variación de temperatura, ya que su viscosidad cambia drásticamente. Algunos aceites van acompañados de la sigla W después del número asignado para este lubricante, lo cual asegura un comportamiento adecuado en bajas temperaturas (pág. 9)

1.6.2. Aceite multigrado

En el catálogo de Gulf (2014) se expone que este tipo de aceites parte de un aceite tipo W al cual se le añaden mejoradores del índice de viscosidad. Los aceites multigrados están diseñados para trabajar en aplicaciones donde hay amplia variación de temperatura, es decir tienen una baja viscosidad y ésta permanece casi constante (pág. 10)



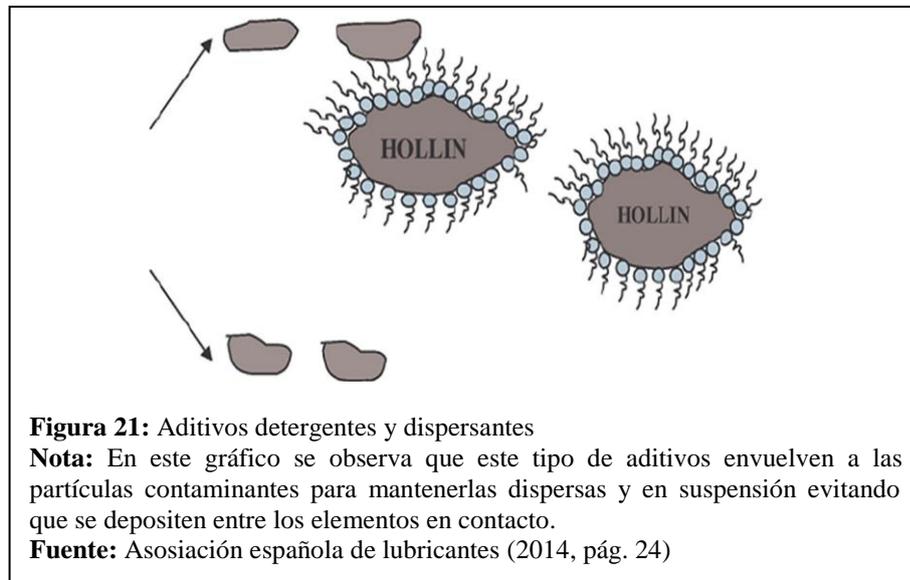
1.7. Aditivos

Los aceites están formados por dos componentes principales. El primero de ellos es un aceite base que es obtenido de la destilación del petróleo, no se usan tal y como se obtienen ya que son sometidos a una operación denominada blending, que consiste en mezclar estos aceites con una serie de aditivos. Los cuales son sustancias químicas que sirven para añadir o mejorar las propiedades existentes en el aceite lo cual asegura una buena lubricación, estos aditivos a medida que se los va utilizando se van perdiendo, por lo que nos pueden guiar sobre el nivel de deterioro del lubricante.

1.7.1. Tipos de los aditivos

a. Aditivos detergentes y dispersantes

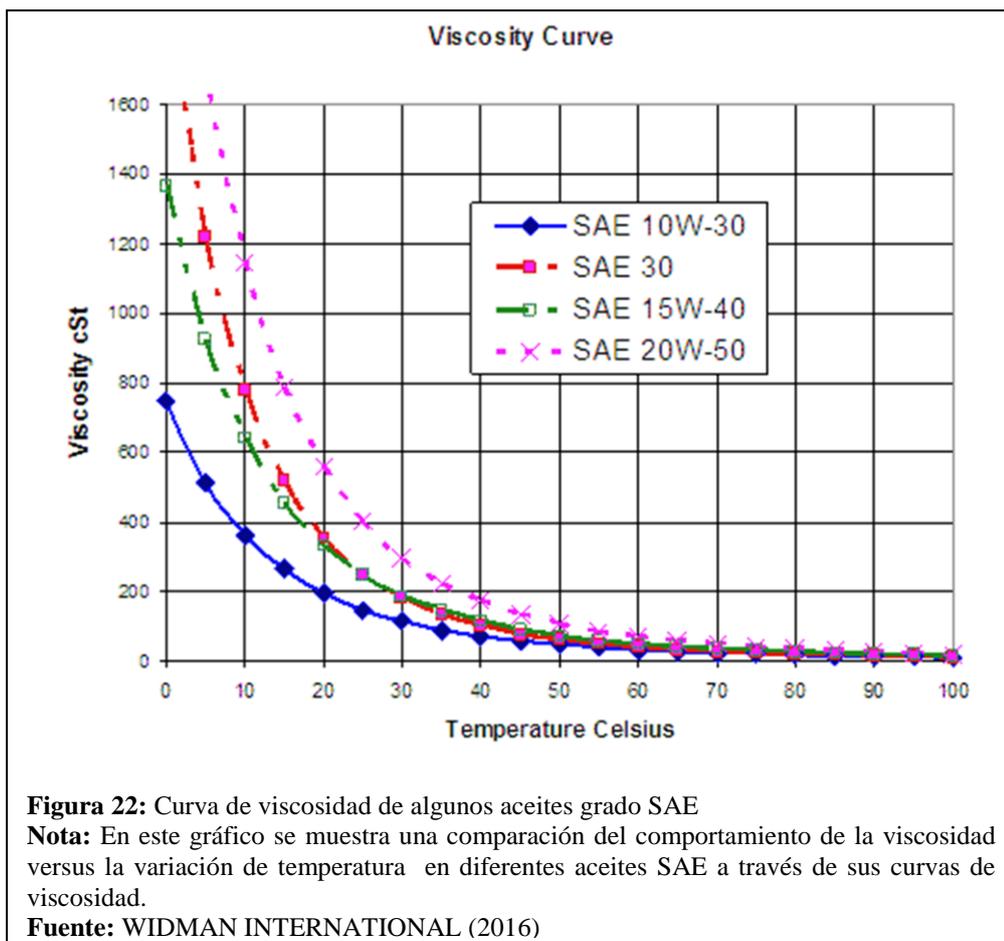
Generalmente son usados en motores de combustión interna, estos aditivos reaccionan químicamente con sustancias contaminantes que forman lodos, gomas, lacas o depósitos de carbono neutralizándoles, manteniéndoles solubles y en suspensión para evitar la conglomeración que es la causante de bloquear conductos o que se depositen en superficies donde puedan interferir con la lubricación (Asociación española de lubricantes ASELUBE, 2014, pág. 23)



b. Aditivos para mejorar el índice de viscosidad

Estos aditivos son de gran ayuda cuando un lubricante tiene que trabajar satisfactoriamente en un amplio rango de temperaturas.

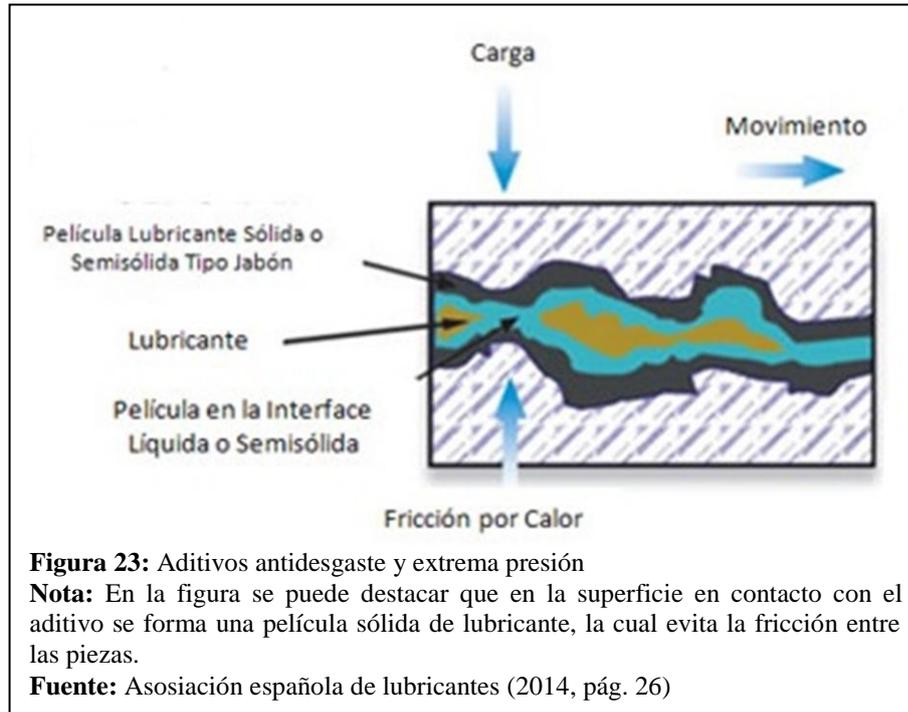
Como ejemplo SHELL (2010) propone que los aceites de motor utilizados en climas fríos, deben formar una capa de lubricante delgada para facilitar el arranque de la máquina y lo suficientemente gruesos para lubricar de una manera adecuada a altas temperaturas generadas durante el trabajo del motor (pág. 37)



c. Aditivos antidesgaste y extrema presión

Cuando la lubricación hidrodinámica no puede ser mantenida en un sistema tribológico se convierte en una lubricación mixta produciendo desgaste en las piezas en contacto, para evitar esto se usa aditivos antidesgaste. Estos se adhieren a las superficies creando una película sólida de lubricante evitando el contacto metal con metal.

La película antidesgaste se deteriora en lugar de la superficie del metal. Esto da como resultado un desgaste químico moderado (pulido) (Asociación española de lubricantes ASELUBE, 2014, pág. 26)



d. Aditivos antiespumante

Este aditivo evita la formación de espuma que se da por contaminantes en el aceite o cuando está en máquinas en las cuales existe batido o agitación por largos tiempos. Esta espuma causa que se pierda eficiencia en la de lubricación, ya que en la película de aceite que hay entre piezas estará presente el aire.

e. Aditivos anticorrosión

Tienen la función de proteger las superficies de la corrosión provocada por ácidos que se encuentran como contaminantes del lubricante y provienen principalmente de la oxidación del aceite.

CAPÍTULO 2

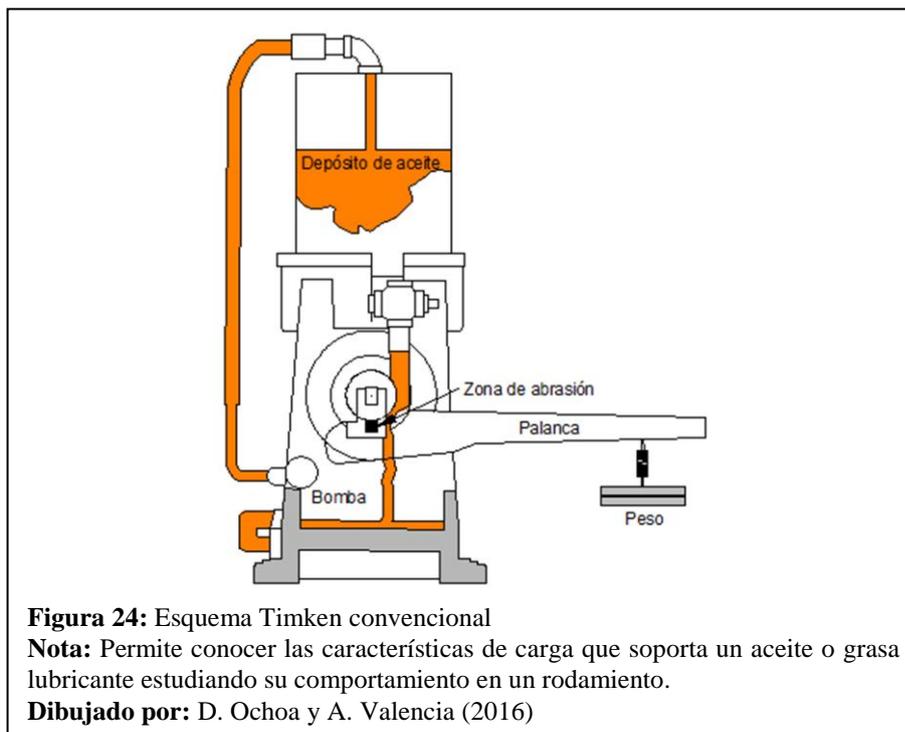
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

2.1. Parámetros de diseño

Este capítulo está dedicado al diseño de la máquina que se utilizará para los ensayos antidesgaste. Después de revisar varios procesos se optó por usar el método Timken, el cual esta normado por la ASTM D 2782-02, en esta norma se encuentran diferentes configuraciones de este mecanismo, pero solo se expondrá los parámetros de dos de estas y se seleccionará la más adecuada para este estudio.

A continuación se compara la máquina Timken convencional y la máquina Timken con la configuración block on ring o bloque sobre anillo (Coureaux, Saragó, Calzadilla, Mestra, & Llanes, 2015)

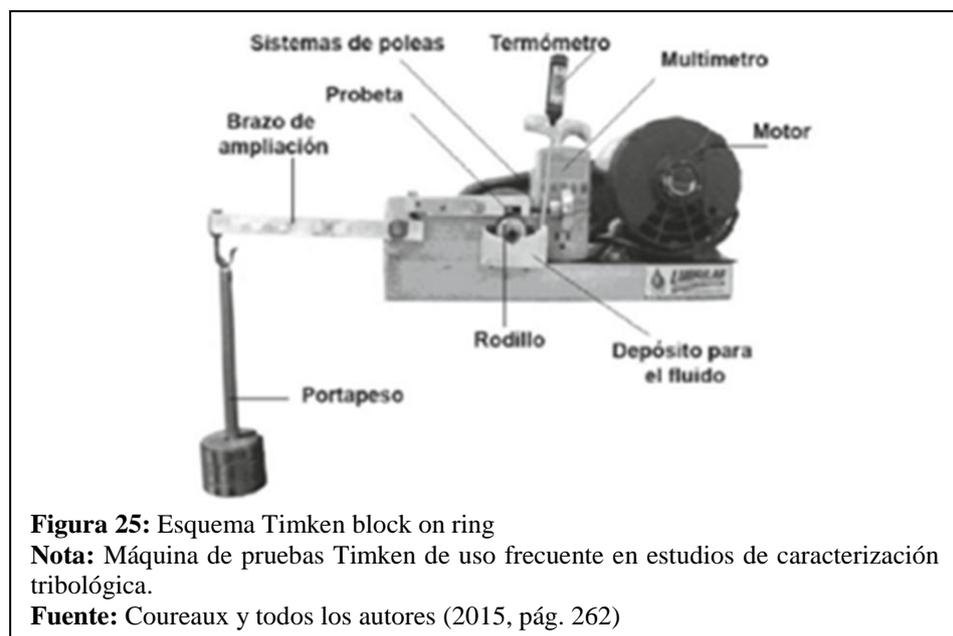
2.1.1. Timken convencional



Es un instrumento de prueba de aceite o grasa lubricante basado en la máquina producida por la compañía Timken, En un principio se utilizó para evaluar la capacidad de carga de los lubricantes (Ducom Instruments, 2016)

2.1.2. Timken block on ring

Es una variación de la máquina clásica presentada en la norma ASTM D 2782-02, de menor tamaño y ciertas limitaciones.



La selección se efectuará mediante una evaluación de los dos tipos de máquinas considerando los siguientes parámetros.

a. Facilidad de construcción

En la facilidad de construcción se da prioridad a la simplicidad en los componentes del mecanismo a diseñar. Debe estar acorde al rango de tolerancia y contar con la menor cantidad de elementos posibles lo cual repercute directamente en el costo de la misma. La escala de evaluación utilizada en este parámetro está acorde a las siguientes características:

Tabla 1
Escala de evaluación de la facilidad de construcción

Criterio	Calificación
Fácil	3
Medio	2
Difícil	1

Nota: Esta tabla describe la calificación en la que nos guiaremos para seleccionar la máquina más sencilla de construir.

Elaborado por: D. Ochoa y A. Valencia (2016)

-Alternativas de diseño de acuerdo a la facilidad de construcción

Como se observó en la figura 24, la máquina Timken convencional es de gran tamaño y consta de mayor cantidad de componentes los cuales tienden a ser más robustos además de tener sistemas auxiliares que para nuestro estudio no resultan factibles (sistema de recirculación).

En contraparte la otra opción como se puede apreciar en la figura 25 tiene menos elementos, por tal motivo su funcionamiento es simple.

b. Beneficio didáctico

Al ser un equipo que será utilizado en un laboratorio o exposición de lubricantes debe ser de fácil manipulación para la persona a cargo, por este motivo la máquina debe ser simple. Esta consideración también implica que sea de fácil transportación y limpieza para realizar varias pruebas de diferentes aceites o aditivos sin mayor inconveniente. La escala de evaluación que se considerará para evaluar esta condición se expone en la siguiente tabla.

Tabla 2
Escala de evaluación del beneficio didáctico

Criterio	Calificación
Alto	3
Medio	2
Bajo	1

Nota: Esta tabla describe la calificación en la que nos guiaremos para seleccionar la máquina que nos brinde un mayor beneficio didáctico.

Elaborado por: D. Ochoa y A. Valencia (2016)

-Alternativas de diseño de acuerdo a su beneficio didáctico

Por la robustez de los elementos de la máquina convencional, sus dimensiones son considerablemente mayores, utiliza más cantidad de lubricante para su funcionamiento con lo que se puede obtener varias muestras del aceite utilizado en el ensayo antidesgaste para posteriormente estudiarlos. En contraste la máquina Timken block on ring es fácil de transportar debido a sus dimensiones y peso, es un modelo versátil en el cual se pueden realizar cambios en el diseño y adaptar nuevos sistemas.

Tabla 3
Calificación de los diseños de acuerdo al beneficio didáctico

Diseño	Calificación
Timken clásica	2
Timken block on ring	3

Nota: Dadas estas consideraciones se ha calificado de la manera expuesta en esta tabla.

Elaborado por: D. Ochoa y A. Valencia (2016)

c. Costo de fabricación

En este parámetro se considera al factor monetario, el cual es relevante al momento de tomar una decisión para proceder a la construcción de la máquina. La escala de evaluación que se considera se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 4
Escala de evaluación del costo de fabricación

Criterio	Calificación
Económico	3
Moderado	2
Costoso	1

Nota: Esta tabla describe la calificación en la que nos guiaremos para seleccionar la máquina que nos brinde menor costo de inversión.

Elaborado por: D. Ochoa y A. Valencia (2016)

-Alternativas de diseño de acuerdo al costo de fabricación

Al estar compuesta por elementos robustos la máquina Timken convencional puede soportar cargas elevadas, lo que le permite realizar distintos ensayos como los de extrema presión además de tener la facilidad de cambiar la probeta de ensayo por cojinetes, rodamientos y ejes. Estos beneficios generan un incremento en el costo en su construcción. Por otra parte, la máquina Timken block on ring presenta limitaciones en su mecanismo por lo que restringe la variedad de pruebas a ensayos de desgaste en un tipo de probetas específicas. Estas condiciones hacen que el valor de este diseño sea menor.

2.2. Factor de ponderación

De acuerdo con Ponce (2012) el método de ponderación permite identificar los factores más relevantes de un proyecto y asignarle un valor a cada uno de ellos de

acuerdo a su importancia. A continuación se tabula los valores de los parámetros que se ha establecido (pág. 67)

Tabla 5
Valores del factor de ponderación

Diseño	Calificación
Facilidad de construcción	4
Beneficio didáctico	2,5
Costo de fabricación	3,5
Total	10

Nota: En esta tabla se muestra la importancia de cada condición expuesta, representada por un valor numérico.

Elaborado por: D. Ochoa y A. Valencia (2016)

2.3. Evaluación de las alternativas de diseño

En la siguiente tabla se puede observar las calificaciones de cada máquina en los diferentes parámetros, así como también su factor de ponderación y obtener el diseño más apto de acuerdo a lo expuesto en párrafos anteriores.

Tabla 6
Calificación total de las alternativas de diseño

Parámetro	Factor	Timken Convencional		Timken block on ring	
		Calif.	Calif. Total	Calif.	Calif. Total
Facilidad de construcción	4	1	4	3	12
Beneficio didáctico	2,5	2	5	3	7,5
Costo de fabricación	3,5	1	3,5	3	10,5
Total			12,5		30

Nota: La calificación total se obtiene de sumar la multiplicación entre el factor de ponderación y la calificación dada anteriormente.

Elaborado por: D. Ochoa y A. Valencia (2016)

2.3.1. Conclusión

De acuerdo a los resultados de la Tabla 6, la caracterización tribológica de las muestras se realizará en la máquina de ensayo Timken con la configuración block on ring, debido a que sus características son más aptas para el estudio del desgaste.

2.4. Diseño de elementos

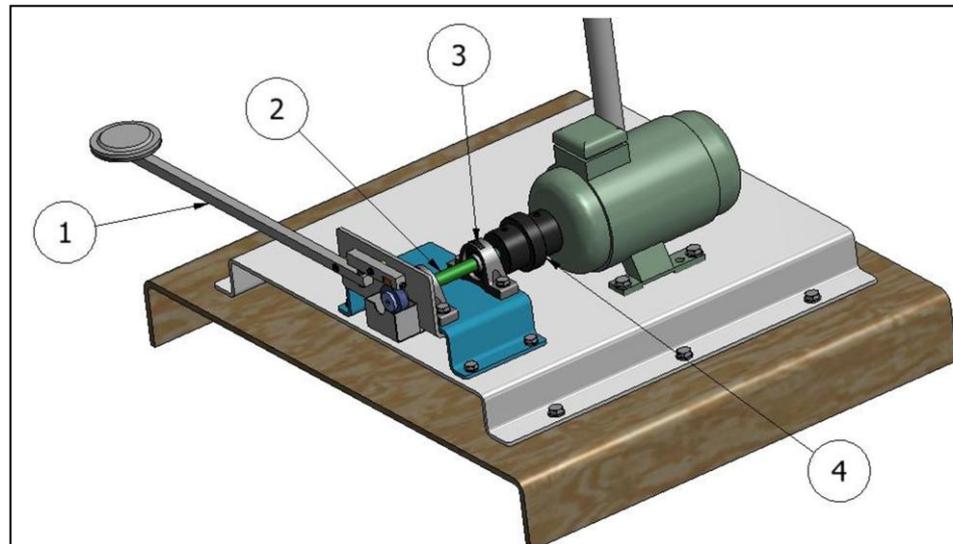


Figura 26: Esquema máquina para ensayo de desgaste

Nota: Las partes a diseñar o ser seleccionadas están señaladas como se muestra en el esquema las cuales corresponden: 1. palanca de fuerza, 2. eje, 3. rodamientos, 4. acople.

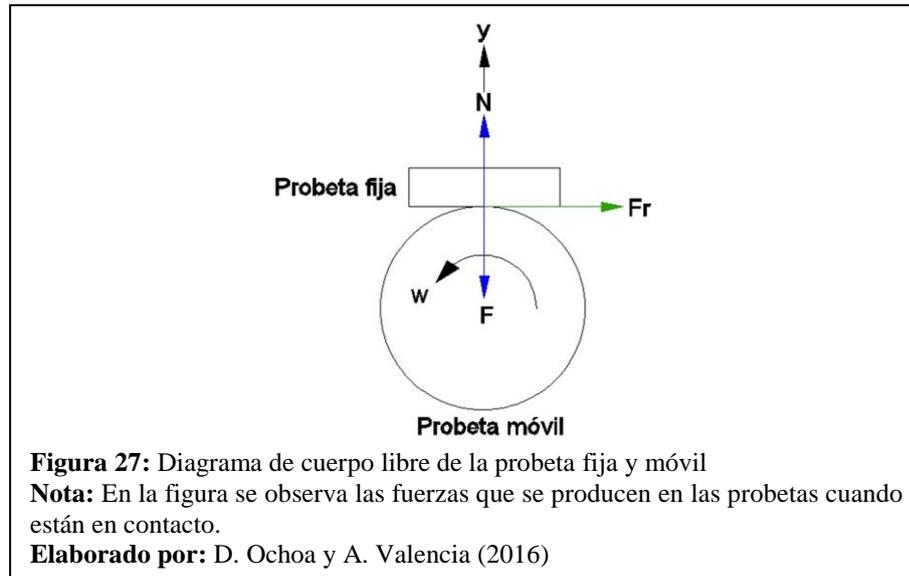
Fuente: D. Ochoa y A. Valencia (2016)

2.4.1. Parámetros del diseño

La norma ASTM D 2782-02 expresa que el sistema motriz de la máquina debe tener las siguientes características:

- *Diámetro de la probeta mobil $\varnothing = 1.938plg$*
- *Velocidad angular $W = 800 rpm$*
- *Potencia del motor $P = 2Hp$*
- *Relación 1:10 Amplificación de la fuerza en la palanca*
- *Peso máximo aplicado: 10 kg*

2.4.2. Cálculo de la fuerza máxima aplicada



Si se considera que la probeta fija junto con la móvil están en contacto y en reposo, se obtiene que la sumatoria de fuerzas en el eje y es:

$$\sum F_y = 0$$

$$N - F = 0$$

$$F = N$$

Por lo manifestado en el capítulo uno se puede afirmar que:

$$F_r = \mu \cdot N \quad (6)$$

Además, se asume un $\mu = 1$ ya que la carga (F) utilizada para este análisis es la máxima que soporta el motor de 2Hp. Por lo que se obtiene:

$$F = F_r$$

Para el cálculo de la (F) se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$P = T \cdot w \quad (7)$$

Donde:

- P = potencia
- T = torque
- w = velocidad angular
- d = distancia

$$T = F \cdot d \quad (8)$$

Se Reemplaza *ec. 8* en *ec. 7*

$$P = F \cdot d \cdot w$$

Después se despeja *F*

$$F = \frac{P}{d \cdot w} \quad (9)$$

Los datos expuestos en las condiciones iniciales son reemplazados en la ecuación 9, además se realizan una serie de transformaciones en unidades equivalentes, obteniendo:

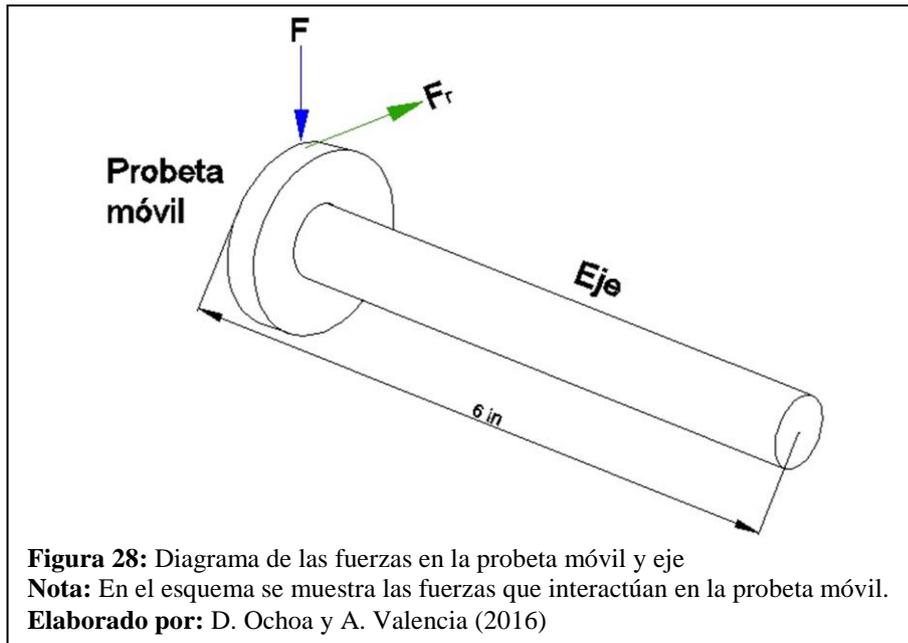
$$F = \frac{2Hp}{\left(\frac{1,938}{2}\right)plg \cdot 800 \frac{rev}{min}} \cdot \frac{550lb \cdot pie}{1Hp \cdot s} \cdot \frac{12plg}{1pie} \cdot \frac{1 rev}{2\pi rad} \cdot \frac{60s}{1min}$$

$$F = 162,6lb \approx 163lb = 74kg$$

2.4.3. Dimensionamiento del Eje

Se parte de la ecuación 7:

$$T = \frac{P}{w}$$

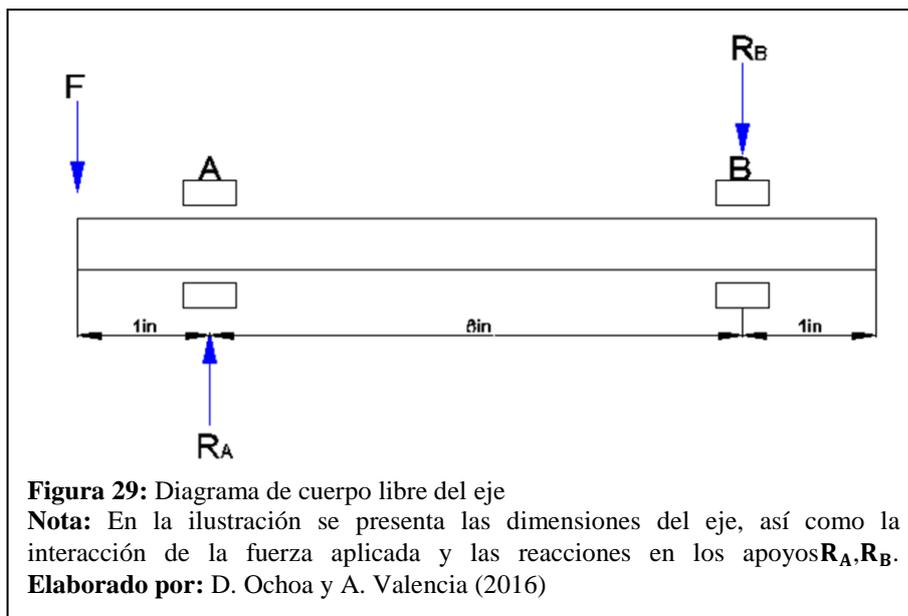


Luego se procede a intercambiar las variables por los datos conocidos:

$$T = \frac{2Hp}{800 \frac{rev}{min}} \cdot \frac{550lb_f \cdot pie}{1Hp \cdot s} \cdot \frac{1rev}{2\pi rad} \cdot \frac{60s}{1min}$$

$$T = 13,13lb_f \cdot pie$$

a. Plano vertical



Con el gráfico de fuerzas mostrado se tiene que:

$$\sum M_A = 0$$

$$F \cdot 1plg - R_b \cdot 6plg = 0$$

$$R_b = \frac{163lbf \cdot 1plg}{6plg}$$

$$R_b = 27,16lbf$$

De la figura 29 también se plantea:

$$\sum F_y = 0$$

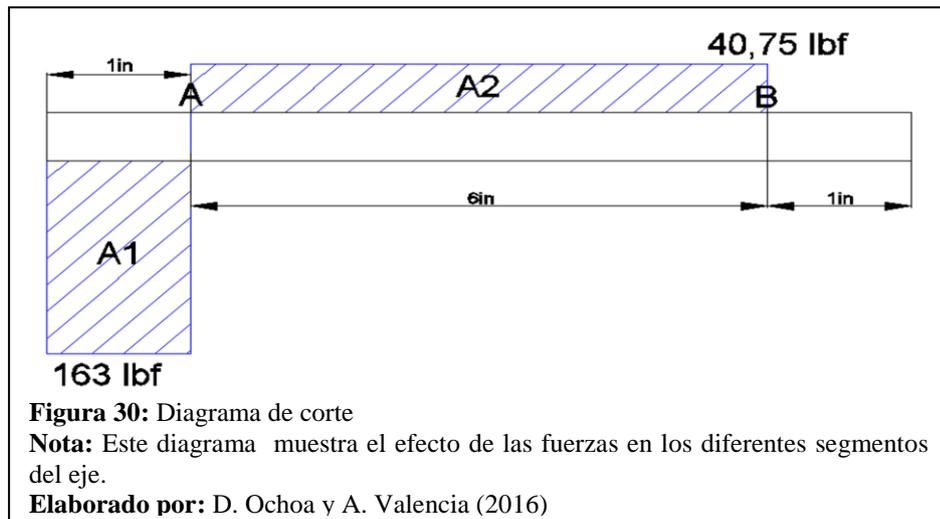
$$-F + R_A - R_B = 0$$

$$R_A = F + R_B$$

Se reemplaza los valores de R_B y F en R_A , resulta

$$R_A = (163 + 27,16)lbf$$

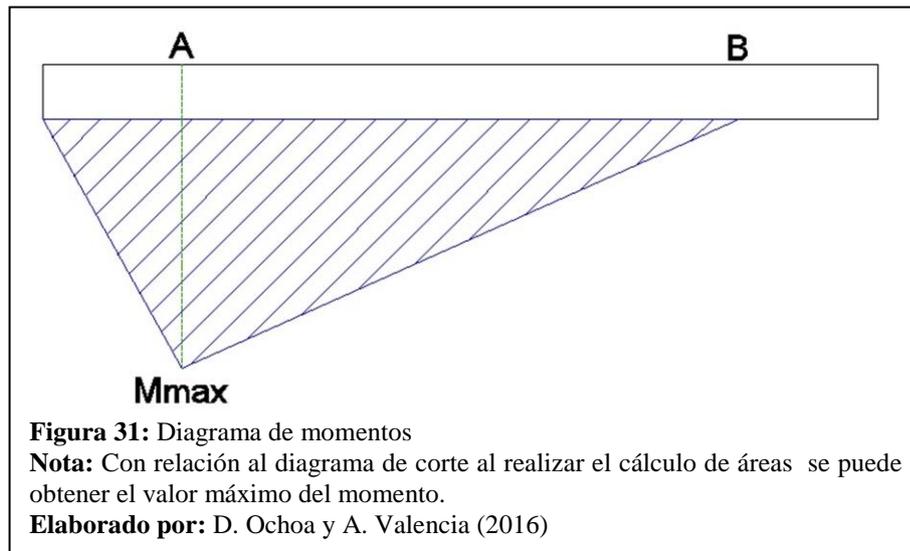
$$R_A = 190,16lbf$$



$$A_1 = -163\text{lb}f \cdot 1\text{plg} = -163\text{lb}f \cdot \text{plg}$$

$$A_2 = 27,16\text{lb}f \cdot 6\text{plg} = 163\text{lb}f \cdot \text{plg}$$

$$A_1 - A_2 = 0$$



b. Plano horizontal

Si se basa el análisis en la simetría y magnitud de los componentes y elementos se puede deducir que las reacciones y momentos serán iguales a los del plano vertical por lo que se omiten los cálculos y diagrama:

$$R_A = 190,16\text{lb}f$$

$$R_b = 27,16\text{lb}f$$

$$M_2 = 163\text{lb}f \cdot \text{plg}$$

Para obtener un momento que represente a los 2 calculados con anterioridad se procede a:

$$M_{eq} = (M_1^2 + M_2^2)^{1/2} \quad (10)$$

$$M_{eq} = 230,5 \text{ lbf} \cdot \text{plg}$$

Con el momento equivalente (M_{eq}) se procede a calcular el esfuerzo máximo:

$$\sigma_a = \frac{32M}{\pi \cdot \emptyset^3} \quad (11)$$

$$\sigma_a = \frac{32 \cdot 230,5 \text{ lbf} \cdot \text{plg}}{\pi \cdot \emptyset^3}$$

$$\sigma_a = \frac{2348,02}{\pi \cdot \emptyset^3} \text{ lbf} \cdot \text{plg}$$

En el caso de la torsión T se debe hacer un cambio de unidades utilizando factores de conversión, que facilitan los siguientes cálculos:

$$T = 13,14 \text{ lbf} \cdot \text{pie} \cdot \frac{12 \text{ plg}}{1 \text{ pie}}$$

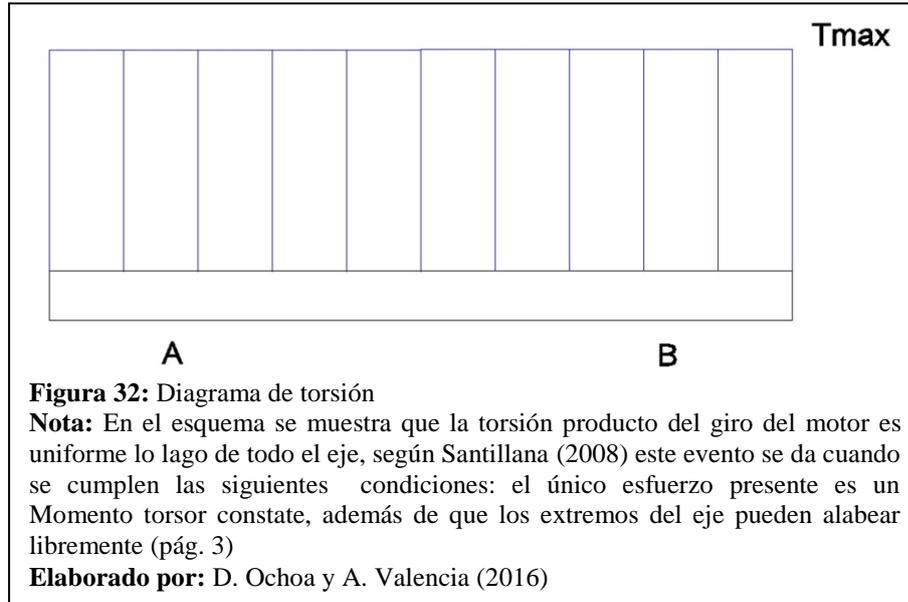
$$T = 157,56 \text{ lbf} \cdot \text{plg}$$

Se sigue luego con la ecuación de la torsión, reemplazando los datos de T (ec. 7) y M (ec. 10):

$$\tau_m = \frac{16T}{\pi \cdot \emptyset^3} \quad (12)$$

$$\tau_m = \frac{16 \cdot 157,56 \text{ lbf} \cdot \text{plg}}{\pi \cdot \emptyset^3}$$

$$\tau_m = \frac{802,45}{\pi \cdot \emptyset^3} \text{ lbf} \cdot \text{plg}$$



c. Verificación a torsión y flexión

En este cálculo se hacen las siguientes consideraciones:

- $S_y = 53700 \frac{\text{lb}f}{\text{plg}^2}$ De acuerdo al material acero 1018
- $Fs = 2$ (Factor de seguridad)

El valor del esfuerzo combinado (σ_{ea}) en este caso equivale al esfuerzo admisible (σ) por lo que:

$$\sigma = \frac{S_y}{\text{factor de seguridad}} \quad (13)$$

$$\sigma = \frac{S_y}{2} = \frac{53700 \text{ lb}f}{2 \text{ plg}^2}$$

En la ecuación de esfuerzos combinados (σ_{ea}), se reemplazan todos los datos planteados y se obtiene:

$$\sigma_{ea} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2} \leq \sigma_{admisible} \quad (14)$$

$$\sigma_{ea} = \left(\left(\frac{2348}{\phi^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{802,45}{\phi^3} \right)^2 \right)^{1/2}$$

$$\frac{53700 \text{ lbf}}{2 \text{ plg}^2} = \left(\left(\frac{2348}{\phi^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{802,45}{\phi^3} \right)^2 \right)^{1/2}$$

$$\phi = 0,46 \text{ plg} \approx 0,5$$

Conclusión: Acorde a los cálculos realizados el diámetro del eje requerido es de $1/2 \text{ plg}$ pero por facilidad de trabajo se optó por un diámetro de $3/4 \text{ plg}$.

d. Verificación a fatiga

Por los resultados obtenidos con anterioridad y los datos del material que se va a trabajar, acero 1018, se sabe:

- $\sigma_a = \frac{2348}{\phi^3} \text{ lbf} \cdot \text{plg}$
- $\tau_m = \frac{802,45}{\pi \cdot \phi^3} \text{ lbf} \cdot \text{plg}$
- $S_{ut} = 63800 \text{ psi} = 63,8 \text{ ksi}$
- $S_y = 53700 \text{ psi} = 53,7 \text{ ksi}$

Según Budynas & Nisbett (2008) para el cálculo del límite de resistencia a la fatiga se debe considerar diferentes efectos: de la condición superficial, tamaño, carga, temperatura y otros puntos, a través de la siguiente ecuación (pág. 279)

$$S_e = S_e' \cdot k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \quad (15)$$

S_e' Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

$$S_e' = 0,504(63,8) \text{ ksi}$$

k_a Factor de modificación de la condición superficial

$$k_a = aS_{ut}^b$$

$$k_a = 2,71(63,8)^{-0,265}$$

$$k_a = 0,897$$

k_b Factor de modificación al tamaño

$k_b \rightarrow 1$ no hay ϕ

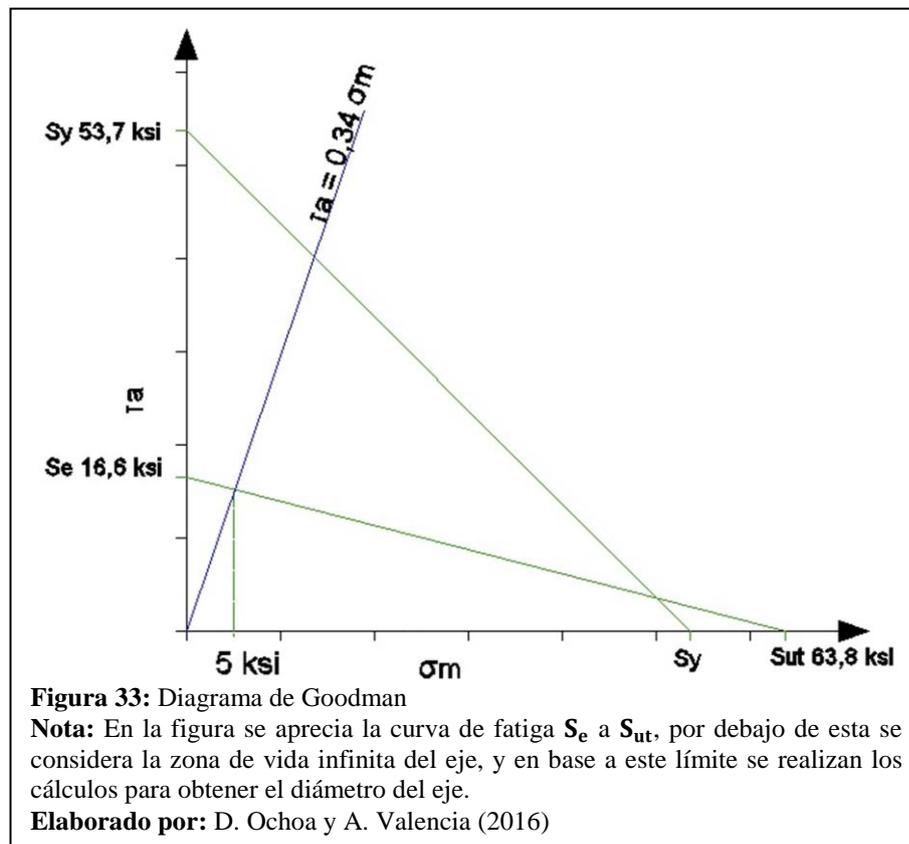
k_c Factor de modificación de la carga

$k_c = 0,577$ Flexión y Torsión

Estos datos obtenidos se remplazan en la ecuación (S_e)

$$S_e = 0,504(63,8) \cdot 0,897 \cdot 1 \cdot 0,577$$

$$S_e = 16,64 \text{ ksi}$$



$$\frac{\tau}{\sigma} = \frac{802,45}{2348} = 0,34$$

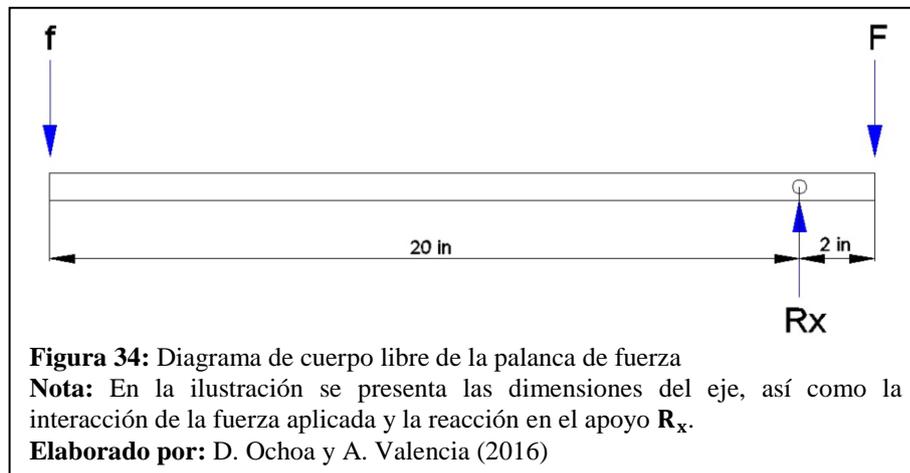
$$\tau_m = \frac{802,45}{\phi^3} lbf \cdot plg; \tau_m = 5000 \frac{lbf}{plg^2}$$

$$\phi = 0,54plg$$

2.4.4. Diseño de la palanca de fuerza

Según el cálculo previo de la fuerza máxima aplicada se obtuvo este dato:

- $F = 163lbf$



De la figura 34 se puede plantear la siguiente sumatoria de momentos con respecto al punto x:

$$\sum M_x = 0$$

$$f * 20 - F * 2 = 0$$

$$f = \frac{F}{10}$$

Si se reemplaza el valor de F :

$$f = \frac{163\text{ lbf}}{10}$$

$$f = 16,3\text{ lbf}$$

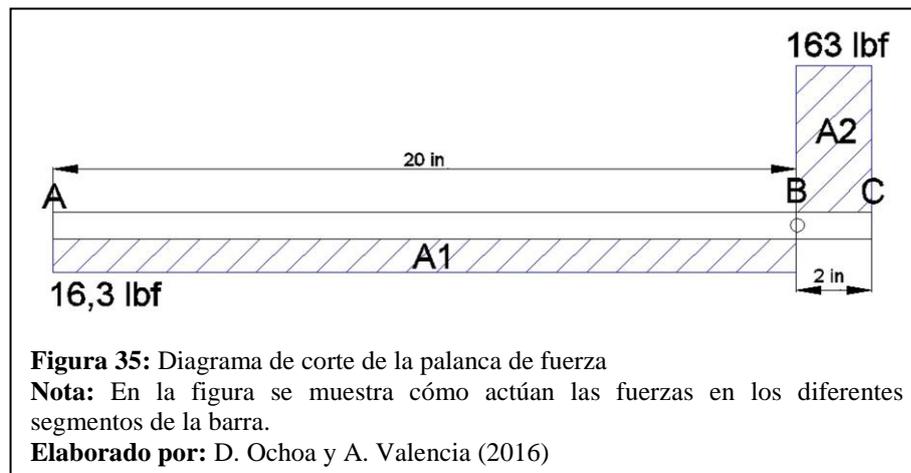
También de la figura 34 se realiza la sumatoria de fuerzas:

$$\sum F_y = 0$$

$$-f - F + R_x = 0$$

$$-16,3 - 163 + R_x = 0$$

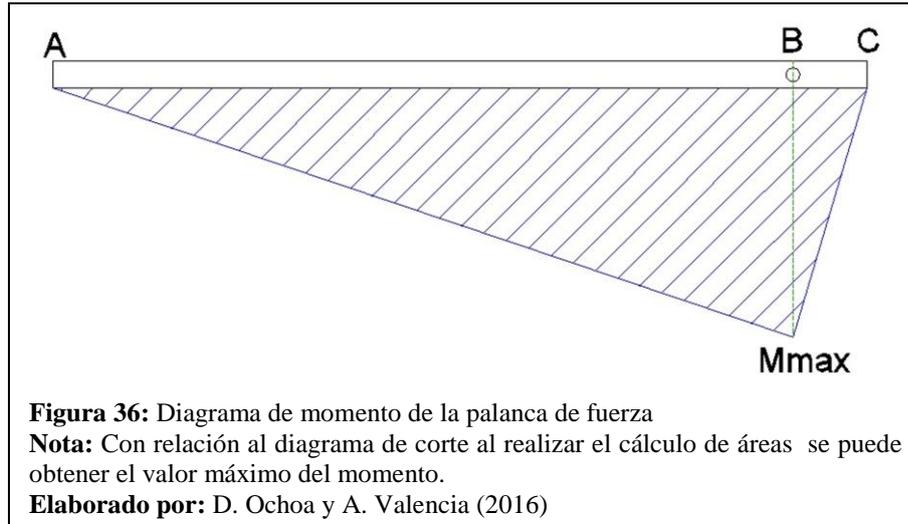
$$R_x = 179,3\text{ lbf}$$



$$A_1 = -16,3\text{ lbf} * 20\text{ plg} = -326\text{ lbf} * \text{plg}$$

$$A_2 = 163\text{ lbf} * 2\text{ plg} = 326\text{ lbf} * \text{plg}$$

$$A_1 - A_2 = 0$$



-Diseño a flexión:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (16)$$

Para calcular la inercia de un rectángulo se tiene la siguiente ecuación:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (17)$$

Como se trata de una barra cuadrada se asume que $b = h$, por lo tanto se obtiene:

$$I = \frac{b^4}{12}$$

c corresponde a la distancia del eje neutro al extremo, la cual se puede asumir como:

$$c = \frac{b}{2}$$

Se reemplaza estos valores en la ecuación de flexión (ec. 16) se tiene:

$$\sigma = \frac{326lbf \cdot plg * b * 6}{b^4}$$

$$\sigma = \frac{1956lbf \cdot plg}{b^3}$$

En contraste tenemos que:

$$\sigma = \frac{S_y}{F_s} \quad (18)$$

Según el material seleccionado:

- $S_y = 53700 \text{ lbf/plg}^2$

- $F_s = 2$

Sustituyendo esta información:

$$\sigma = \frac{53700 \text{ lbf}}{2 \text{ plg}^2}$$

Igualando la ecuación de la flexión (ec. 16) con el esfuerzo de fluencia (ec. 18):

$$\frac{1956 \text{ lbf} \cdot \text{plg}}{b^3} = \frac{53700 \text{ lbf}}{2 \text{ plg}^2}$$

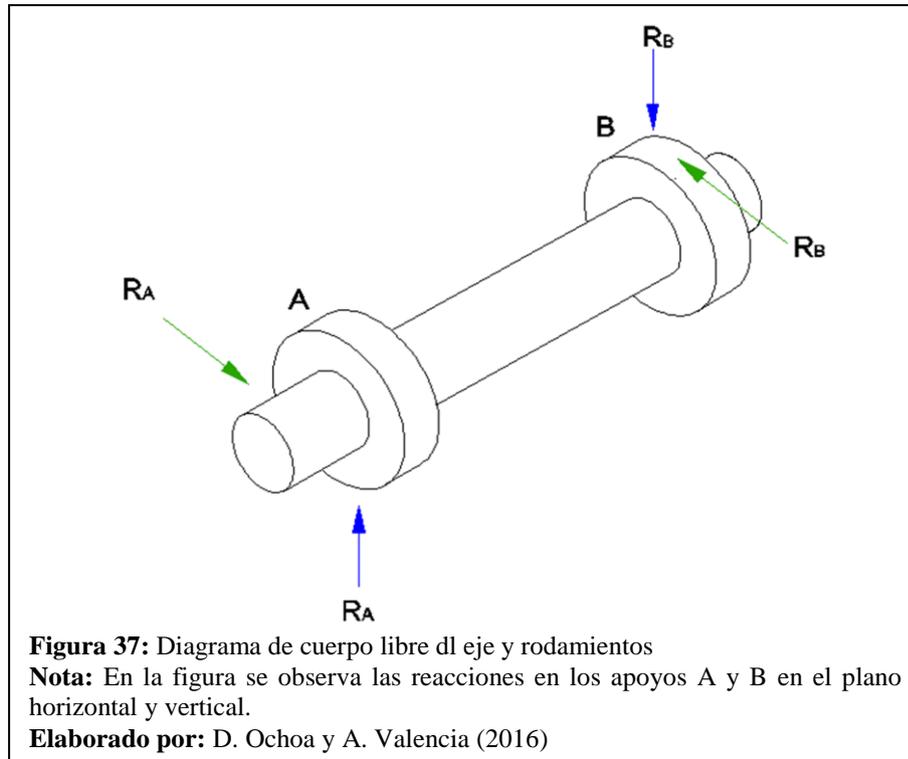
$$b^3 = \frac{1956 \text{ plg}^3}{26850}$$

$$b^3 = 0,0728 \text{ plg}^3$$

$$b = 0,42 \text{ plg}$$

Conclusión, según los cálculos efectuados se obtuvo como resultado que se debe emplear una barra de $7/16 \text{ plg}$, pero por facilidad de construcción se optó por una barra de $5/8 \text{ plg}$.

2.4.5. Selección de rodamientos



En la selección de rodamientos se debe considerar las siguientes condiciones:

- Las cargas que actúan sobre los rodamientos son totalmente radiales, por lo que los más adecuados para estas aplicaciones son los rodamientos rígidos de bola de una hilera.
- El criterio más relevante en esta selección es el diámetro del eje que es de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Según el catálogo de la marca SKF de rodamientos, el más adecuado para el trabajo es el denominado RMS 6.
- Se recomienda comprobar que la vida del rodamiento sea razonablemente larga.

Según el catálogo de la empresa SKF (2006), se deben realizar los cálculos de la vida nominal del rodamiento de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (19)$$

Donde:

- L_{10} = Vida nominal (10^6) revoluciones
 - C = Capacidad de carga dinámica (lbf)
 - P = carga dinámica equivalente (lbf)
 - p = Exponente de vida (para rodamientos de bolas el valor de p es igual a 3)
- (pág. 52)

La carga dinámica equivalente P se obtiene de la ecuación:

$$P = X * Fr + Y * Fa \quad (20)$$

Donde:

- X = factor radial
- Fr = Carga radial
- Y = factor axial
- Fa = Carga axial (pág. 74)

Como se mencionó con anterioridad el rodamiento solo soporta carga radial, el factor radial es igual a uno, por lo que en este caso se puede afirmar que:

$$P = Fr$$

Entonces:

$$P = Fr = Ra = 203,75lbf$$

Obteniendo la capacidad de carga dinámica del rodamiento $C=3574\text{ lbf}$, según catálogo se obtiene:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3$$

$$L_{10} = \left(\frac{3574\text{ lbf}}{203,75\text{ lbf}}\right)^3$$

$$L_{10} = 5397,2 * 10^6 \text{ revoluciones}$$

Conclusión, como la vida nominal calculada es mayor que 10^6 , el rodamiento tiene vida infinita.

2.4.6. Selección de acoples

Para que el motor trabaje en las condiciones planteadas en su diseño se debe conocer el par nominal, el cual se consigue a partir de la relación de la potencia del motor y la velocidad de rotación.

$$C_n = \frac{7160 * P}{w} \quad (21)$$

Donde:

- C_n : Par nominal o de tracción
- P : Potencia en Hp
- w : número de rev/min

$$C_n = \frac{7160 * 2\text{Hp}}{800\text{ rev/min}}$$

$$C_n = 18n \cdot M$$

Según Quilodrán, Pérez, & Lizana, (2011), en la determinación del par nominal de un acoplamiento, se debe tener en cuenta los siguientes factores de corrección de servicio:

- K_1 : Las irregularidades del par debidas a los diferentes tipos de máquinas motrices y receptoras. En este caso corresponde a un valor de 1, ya que la marcha y la inercia son pequeñas.
- K_2 : Las frecuencias de arranque. Para este tema de estudio el valor de este coeficiente será igual a 1,2.
- K_3 : El número de horas de funcionamiento por día. Al ser una máquina de pruebas, no trabajará de manera constante por periodos extensos de trabajo, se toma como referencia unas 4 horas por lo que el factor de corrección será igual a 1 (pág. 10)

Con estos datos se obtiene un coeficiente general de seguridad:

$$\text{Coeficiente de seguridad} = K_1 * K_2 * K_3 \quad (22)$$

$$\text{Coeficiente de seguridad} = 1 * 1,2 * 1$$

$$\text{Coeficiente de seguridad} = 1,2$$

Para calcular el par nominal del acoplamiento se procede a utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{Par nominal del acoplamiento} = C_n * \text{Coeficiente de seguridad} \quad (23)$$

$$\text{Par nominal del acoplamiento} = 18n \cdot M * 1,2$$

$$\text{Par nominal del acoplamiento} = 21,6 n \cdot M$$

Conclusión: Según el catálogo de Samiflex (2004) de acuerdo a las especificaciones requeridas se puede optar por un acople A1 (pág. 5)

CAPÍTULO 3

ENSAYOS

En este capítulo se describe las características de los elementos que se utilizarán en los ensayos así como, el procedimiento y los resultados obtenidos experimentalmente. Debido a la disponibilidad del mercado nacional se optó por cambiar el aceite de prueba SAE20w-40 por un SAE20w-50 de marca Kendall, ya que es el que más se asemeja a las propiedades y comportamiento del lubricante planteado en el tema, además de ser el utilizado con mayor frecuencia en los mantenimientos de automóviles.

3.1.Materiales

La ASTM (2002) en la norma D 2782-02 acerca del método de pruebas estándar para la medición de extrema presión y propiedades de lubricantes fluidos señala las características de las probetas con las que se realizará los ensayos, tal como se muestra en la figura 27, las cuales son descritas a continuación:

3.1.1. Probeta giratoria

Esta probeta cuenta con una dureza de 58 a 62 Rockwell y un acabado superficial en un rango de 0,51-0,76 micras, Sus dimensiones son:

- Diámetro exterior de $1,938^{+0,001}_{-0,005}$ plg
- Ancho de $0,514 \pm 0,002$ plg (pág. 2)

3.1.2. Bloque de prueba o probeta fija

El bloque de prueba tiene como características una de dureza de 18 Rockwell y un acabado superficial entre 0,51-0,76 micras. Las dimensiones de esta probeta son detalladas a continuación:

- Ancho y espesor son valores de igual magnitud $0,485 \pm 0,002$ plg
- Largo de $0,750 \pm 0,016$ plg (pág. 2)

3.2. Procedimiento del ensayo

- a) Limpiar la máquina de ensayo, la probeta giratoria y el bloque de prueba con un desengrasante y dejar secar por 2 minutos.
- b) Acoplar la probeta giratoria en el eje, asentar y ajustar con firmeza.
- c) Pesar el bloque de prueba y registrar este dato en la hoja de ensayo. Se recomienda utilizar una balanza con una apreciación de 0,0001 de gramo.
- d) Colocar el bloque de prueba en el porta probeta y ajustar.
- e) Preparar el aceite o la mezcla con aditivo a ser probado según las especificaciones dadas por el fabricante, como se indica en la hoja de ensayo.
- f) Llenar $\frac{3}{4}$ del depósito de aceite (aproximadamente 120ml) con lubricante.
- g) Energizar el variador de velocidad y establecer la frecuencia acorde a la velocidad de giro requerida, según la tabla de frecuencias Vs RPM expuesta en los anexos.
- h) Arrancar el motor y posicionar el brazo de fuerza, al cabo de aproximadamente 5 minutos medir la temperatura y verificar que alcance los 30°C usando el termómetro infrarrojo.

- i) Colocar las pesas de 5, 10 o 15kg de acuerdo al ensayo que se desee realizar e iniciar el cronómetro.
- j) Permitir que la máquina funcione durante $6 \text{ min} \pm 5 \text{ s}$ adicionales con la carga aplicada.
- k) Retirar las pesas, apagar el motor, medir la temperatura final del depósito de aceite y dejar enfriar el sistema.
- l) Retirar el depósito de aceite y el bloque de prueba. Limpiar las partes que estuvieron en contacto con el aceite utilizando desengrasante y secar.
- m) Pesar el bloque de prueba y registrar los datos obtenidos en la hoja de ensayo, la diferencia de peso será el parámetro para medir el desgaste.

3.3. Datos obtenidos

Se realiza doce ensayos en total, aplicando cargas de 50, 100 y 150 kg, utilizando las siguientes mezclas aceite-aditivo:

- aceite Kendall 20w50
- aceite Kendall 20w50 más aditivo Qualitor
- aceite Kendall 20w50 más aditivo Target
- aceite Kendall más aditivo Liqui Moly

La relación entre la cantidad de aceite y aditivo empleado fue calculada de acuerdo a las especificaciones de cada fabricante, tomando en cuenta que la máxima capacidad del contenedor de aceite es 120ml aproximadamente.

La información que se genera en este proceso es recolectada en hojas de ensayos en las que también se toma en cuenta las ecuaciones planteadas en el capítulo 1 para llenar la información requerida.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
ESCUELA DE INGENIERÍAS			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE DESGASTE			
Datos informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	1
Lugar de estudio:	Lab. de tribología	Fecha:	21/11/2016
Realizado por:	D. Ochoa y A. Valencia	Aprobado por:	Ing. Yanchapaxi
Norma relacionada:	ASTM D 2782		
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE			
Características del aceite:		Características probeta fija:	
Tipo de aceite:	20W-50	Material:	A cero 7210
Marca:	Kendall	Tratamiento térmico:	N/A
Densidad (lbs/gal):	7,32	Dureza:	18 Rockwell
Viscosidad cinemática 40C (cSt):	155	Acabado superficial:	0,51 - 0,76 micras
Cantidad (ml):	117	Peso inicial:	22,1782
Temperatura del fluido (°C):	30	Carga inicial:	Despreciable
Características del aditivo:		Características probeta móvil:	
Tipo de aditivo:	N/A	Material:	A cero 7210
Marca:	N/A	Tratamiento térmico:	Cementado
Cantidad (ml):	N/A	Dureza:	62 Rockwell
RESULTADO			
Marca por desgaste:			
			
Parámetros finales del ensayo:		Parámetros finales de la probeta fija:	
Tiempo de ensayo (min):	6	Peso (g):	22,1509
Temperatura del fluido (°C):	57,55	Desgaste (g):	0,0273
Carga máxima (K gf):	50	Intensidad de desgaste (g/min):	0,00455
Observaciones:			

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
ESCUELA DE INGENIERÍAS			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE DESGASTE			
Datos informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	2
Lugar de estudio:	Lab. de tribología	Fecha:	21/11/2016
Realizado por:	D. Ochoa y A. Valencia	Aprobado por:	Ing. Yanchapaxi
Norma relacionada:	ASTM D 2782		
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE			
Características del aceite:		Características probeta fija:	
Tipo de aceite:	20W-50	Material:	A cero 7210
Marca:	Kendall	Tratamiento térmico:	N/A
Densidad (lbs/gal):	7,32	Dureza:	18 Rockwell
Viscosidad cinemática 40C (cSt):	155	Acabado superficial:	0,51 - 0,76 micras
Cantidad (ml):	117	Peso inicial:	22,1509
Temperatura del fluido (°C):	30	Carga inicial:	Despreciable
Características del aditivo:		Características probeta móvil:	
Tipo de aditivo:	N/A	Material:	A cero 7210
Marca:	N/A	Tratamiento térmico:	Cementado
Cantidad (ml):	N/A	Dureza:	62 Rockwell
RESULTADO			
Marca por desgaste:			
			
Parámetros finales del ensayo:		Parámetros finales de la probeta fija:	
Tiempo de ensayo (min):	6	Peso (g):	22,0341
Temperatura del fluido (°C):	89,2	Desgaste (g):	0,1168
Carga máxima (K gf):	100	Intensidad de desgaste (g/min):	0,01946
Observaciones:			

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
ESCUELA DE INGENIERÍAS			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE DESGASTE			
Datos informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	3
Lugar de estudio:	Lab. de tribología	Fecha:	21/11/2016
Realizado por:	D. Ochoa y A. Valencia	Aprobado por:	Ing. Yanchapaxi
Norma relacionada:	ASTM D 2782		
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE			
Características del aceite:		Características probeta fija:	
Tipo de aceite:	20W-50	Material:	A cero 7210
Marca:	Kendall	Tratamiento térmico:	N/A
Densidad (lbs/gal):	7,32	Dureza:	18 Rockwell
Viscosidad cinemática 40C (cSt):	155	Acabado superficial:	0,51 - 0,76 micras
Cantidad (ml):	117	Peso inicial:	22,0341
Temperatura del fluido (°C):	30	Carga inicial:	Despreciable
Características del aditivo:		Características probeta móvil:	
Tipo de aditivo:	N/A	Material:	A cero 7210
Marca:	N/A	Tratamiento térmico:	Cementado
Cantidad (ml):	N/A	Dureza:	62 Rockwell
RESULTADO			
Marca por desgaste:			
			
Parámetros finales del ensayo:		Parámetros finales de la probeta fija:	
Tiempo de ensayo (min):	6	Peso (g):	21,6877
Temperatura del fluido (°C):	161,1	Desgaste (g):	0,3464
Carga máxima (K gf):	150	Intensidad de desgaste (g/min):	0,05773
Observaciones:			

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
ESCUELA DE INGENIERÍAS			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE DESGASTE			
Datos informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	4
Lugar de estudio:	Lab. de tribología	Fecha:	21/11/2016
Realizado por:	D. Ochoa y A. Valencia	Aprobado por:	Ing. Yanchapaxi
Norma relacionada:	ASTM D 2782		
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE			
Características del aceite:		Características probeta fija:	
Tipo de aceite:	20W-50	Material:	A cero 7210
Marca:	Kendall	Tratamiento térmico:	N/A
Densidad (lbs/gal):	7,32	Dureza:	18 Rockwell
Viscosidad cinemática 40C (cSt):	155	Acabado superficial:	0,51 - 0,76 micras
Cantidad (ml):	110	Peso inicial:	23,2359
Temperatura del fluido (°C):	30	Carga inicial:	Despreciable
Características del aditivo:		Características probeta móvil:	
Tipo de aditivo:	Antidesgaste	Material:	A cero 7210
Marca:	Qualitor	Tratamiento térmico:	Cementado
Cantidad (ml):	8	Dureza:	62 Rockwell
RESULTADO			
Marca por desgaste:			
			
Parámetros finales del ensayo:		Parámetros finales de la probeta fija:	
Tiempo de ensayo (min):	6	Peso (g):	23,2259
Temperatura del fluido (°C):	66,05	Desgaste (g):	0,01
Carga máxima (K gf):	50	Intensidad de desgaste (g/min):	0,00166
Observaciones:			

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
ESCUELA DE INGENIERÍAS			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE DESGASTE			
Datos informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	5
Lugar de estudio:	Lab. de tribología	Fecha:	21/11/2016
Realizado por:	D. Ochoa y A. Valencia	Aprobado por:	Ing. Yanchapaxi
Norma relacionada:	ASTM D 2782		
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE			
Características del aceite:		Características probeta fija:	
Tipo de aceite:	20W-50	Material:	A cero 7210
Marca:	Kendall	Tratamiento térmico:	N/A
Densidad (lbs/gal):	7,32	Dureza:	18 Rockwell
Viscosidad cinemática 40C (cSt):	155	Acabado superficial:	0,51 - 0,76 micras
Cantidad (ml):	110	Peso inicial:	23,2259
Temperatura del fluido (°C):	30	Carga inicial:	Despreciable
Características del aditivo:		Características probeta móvil:	
Tipo de aditivo:	Antidesgaste	Material:	A cero 7210
Marca:	Qualitor	Tratamiento térmico:	Cementado
Cantidad (ml):	8	Dureza:	62 Rockwell
RESULTADO			
Marca por desgaste:			
			
Parámetros finales del ensayo:		Parámetros finales de la probeta fija:	
Tiempo de ensayo (min):	6	Peso (g):	23,1473
Temperatura del fluido (°C):	106,95	Desgaste (g):	0,0786
Carga máxima (K gf):	100	Intensidad de desgaste (g/min):	0,01309
Observaciones:			

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
ESCUELA DE INGENIERÍAS			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE DESGASTE			
Datos informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	6
Lugar de estudio:	Lab. de tribología	Fecha:	21/11/2016
Realizado por:	D. Ochoa y A. Valencia	Aprobado por:	Ing. Yanchapaxi
Norma relacionada:	ASTM D 2782		
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE			
Características del aceite:		Características probeta fija:	
Tipo de aceite:	20W-50	Material:	A cero 7210
Marca:	Kendall	Tratamiento térmico:	N/A
Densidad (lbs/gal):	7,32	Dureza:	18 Rockwell
Viscosidad cinemática 40C (cSt):	155	Acabado superficial:	0,51 - 0,76 micras
Cantidad (ml):	110	Peso inicial:	23,1473
Temperatura del fluido (°C):	30	Carga inicial:	Despreciable
Características del aditivo:		Características probeta móvil:	
Tipo de aditivo:	Antidesgaste	Material:	A cero 7210
Marca:	Qualitor	Tratamiento térmico:	Cementado
Cantidad (ml):	8	Dureza:	62 Rockwell
RESULTADO			
Marca por desgaste:			
			
Parámetros finales del ensayo:		Parámetros finales de la probeta fija:	
Tiempo de ensayo (min):	6	Peso (g):	22,9759
Temperatura del fluido (°C):	153,35	Desgaste (g):	0,1714
Carga máxima (K gf):	150	Intensidad de desgaste (g/min):	0,02856
Observaciones:			

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
ESCUELA DE INGENIERÍAS			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE DESGASTE			
Datos informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	7
Lugar de estudio:	Lab. de tribología	Fecha:	22/11/2016
Realizado por:	D. Ochoa y A. Valencia	Aprobado por:	Ing. Yanchapaxi
Norma relacionada:	ASTM D 2782		
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE			
Características del aceite:		Características probeta fija:	
Tipo de aceite:	20W-50	Material:	A cero 7210
Marca:	Kendall	Tratamiento térmico:	N/A
Densidad (lbs/gal):	7,32	Dureza:	18 Rockwell
Viscosidad cinemática 40C (cSt):	155	Acabado superficial:	0,51 - 0,76 micras
Cantidad (ml):	110	Peso inicial:	22,8908
Temperatura del fluido (°C):	30	Carga inicial:	Despreciable
Características del aditivo:		Características probeta móvil:	
Tipo de aditivo:	Antidesgaste	Material:	A cero 7210
Marca:	Target	Tratamiento térmico:	Cementado
Cantidad (ml):	6	Dureza:	62 Rockwell
RESULTADO			
Marca por desgaste:			
			
Parámetros finales del ensayo:		Parámetros finales de la probeta fija:	
Tiempo de ensayo (min):	6	Peso (g):	22,8434
Temperatura del fluido (°C):	65,6	Desgaste (g):	0,0474
Carga máxima (K gf):	50	Intensidad de desgaste (g/min):	0,00789
Observaciones:			

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
ESCUELA DE INGENIERÍAS			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE DESGASTE			
Datos informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	8
Lugar de estudio:	Lab. de tribología	Fecha:	22/11/2016
Realizado por:	D. Ochoa y A. Valencia	Aprobado por:	Ing. Yanchapaxi
Norma relacionada:	ASTM D 2782		
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE			
Características del aceite:		Características probeta fija:	
Tipo de aceite:	20W-50	Material:	A cero 7210
Marca:	Kendall	Tratamiento térmico:	N/A
Densidad (lbs/gal):	7,32	Dureza:	18 Rockwell
Viscosidad cinemática 40C (cSt):	155	Acabado superficial:	0,51 - 0,76 micras
Cantidad (ml):	110	Peso inicial:	22,8434
Temperatura del fluido (°C):	30	Carga inicial:	Despreciable
Características del aditivo:		Características probeta móvil:	
Tipo de aditivo:	Antidesgaste	Material:	A cero 7210
Marca:	Target	Tratamiento térmico:	Cementado
Cantidad (ml):	6	Dureza:	62 Rockwell
RESULTADO			
Marca por desgaste:			
			
Parámetros finales del ensayo:		Parámetros finales de la probeta fija:	
Tiempo de ensayo (min):	6	Peso (g):	22,6925
Temperatura del fluido (°C):	108,5	Desgaste (g):	0,1509
Carga máxima (K gf):	100	Intensidad de desgaste (g/min):	0,02515
Observaciones:			

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
ESCUELA DE INGENIERÍAS			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE DESGASTE			
Datos informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	9
Lugar de estudio:	Lab. de tribología	Fecha:	22/11/2016
Realizado por:	D. Ochoa y A. Valencia	Aprobado por:	Ing. Yanchapaxi
Norma relacionada:	ASTM D 2782		
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE			
Características del aceite:		Características probeta fija:	
Tipo de aceite:	20W-50	Material:	A cero 7210
Marca:	Kendall	Tratamiento térmico:	N/A
Densidad (lbs/gal):	7,32	Dureza:	18 Rockwell
Viscosidad cinemática 40C (cSt):	155	Acabado superficial:	0,51 - 0,76 micras
Cantidad (ml):	110	Peso inicial:	22,6925
Temperatura del fluido (°C):	30	Carga inicial:	Despreciable
Características del aditivo:		Características probeta móvil:	
Tipo de aditivo:	Antidesgaste	Material:	A cero 7210
Marca:	Target	Tratamiento térmico:	Cementado
Cantidad (ml):	6	Dureza:	62 Rockwell
RESULTADO			
Marca por desgaste:			
			
Parámetros finales del ensayo:		Parámetros finales de la probeta fija:	
Tiempo de ensayo (min):	6	Peso (g):	22,3604
Temperatura del fluido (°C):	163,2	Desgaste (g):	0,3321
Carga máxima (K gf):	150	Intensidad de desgaste (g/min):	0,05535
Observaciones:			

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
ESCUELA DE INGENIERÍAS			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE DESGASTE			
Datos informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	10
Lugar de estudio:	Lab. de tribología	Fecha:	22/11/2016
Realizado por:	D. Ochoa y A. Valencia	Aprobado por:	Ing. Yanchapaxi
Norma relacionada:	ASTM D 2782		
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE			
Características del aceite:		Características probeta fija:	
Tipo de aceite:	20W-50	Material:	A cero 7210
Marca:	Kendall	Tratamiento térmico:	N/A
Densidad (lbs/gal):	7,32	Dureza:	18 Rockwell
Viscosidad cinemática 40C (cSt):	155	Acabado superficial:	0,51 - 0,76 micras
Cantidad (ml):	110	Peso inicial:	21,7478
Temperatura del fluido (°C):	30	Carga inicial:	Despreciable
Características del aditivo:		Características probeta móvil:	
Tipo de aditivo:	Antidesgaste	Material:	A cero 7210
Marca:	Liqui Moly	Tratamiento térmico:	Cementado
Cantidad (ml):	7	Dureza:	62 Rockwell
RESULTADO			
Marca por desgaste:			
			
Parámetros finales del ensayo:		Parámetros finales de la probeta fija:	
Tiempo de ensayo (min):	6	Peso (g):	21,731
Temperatura del fluido (°C):	61,9	Desgaste (g):	0,0168
Carga máxima (K gf):	50	Intensidad de desgaste (g/min):	0,00279
Observaciones:			

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
ESCUELA DE INGENIERÍAS			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE DESGASTE			
Datos informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	11
Lugar de estudio:	Lab. de tribología	Fecha:	22/11/2016
Realizado por:	D. Ochoa y A. Valencia	Aprobado por:	Ing. Yanchapaxi
Norma relacionada:	ASTM D 2782		
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE			
Características del aceite:		Características probeta fija:	
Tipo de aceite:	20W-50	Material:	A cero 7210
Marca:	Kendall	Tratamiento térmico:	N/A
Densidad (lbs/gal):	7,32	Dureza:	18 Rockwell
Viscosidad cinemática 40C (cSt):	155	Acabado superficial:	0,51 - 0,76 micras
Cantidad (ml):	110	Peso inicial:	21,731
Temperatura del fluido (°C):	30	Carga inicial:	Despreciable
Características del aditivo:		Características probeta móvil:	
Tipo de aditivo:	Antidesgaste	Material:	A cero 7210
Marca:	Liqui Moly	Tratamiento térmico:	Cementado
Cantidad (ml):	7	Dureza:	62 Rockwell
RESULTADO			
Marca por desgaste:			
			
Parámetros finales del ensayo:		Parámetros finales de la probeta fija:	
Tiempo de ensayo (min):	6	Peso (g):	21,6114
Temperatura del fluido (°C):	93,4	Desgaste (g):	0,1196
Carga máxima (K gf):	100	Intensidad de desgaste (g/min):	0,01993
Observaciones:			

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
ESCUELA DE INGENIERÍAS			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE DESGASTE			
Datos informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	12
Lugar de estudio:	Lab. de tribología	Fecha:	22/11/2016
Realizado por:	D. Ochoa y A. Valencia	Aprobado por:	Ing. Yanchapaxi
Norma relacionada:	ASTM D 2782		
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE			
Características del aceite:		Características probeta fija:	
Tipo de aceite:	20W-50	Material:	A cero 7210
Marca:	Kendall	Tratamiento térmico:	N/A
Densidad (lbs/gal):	7,32	Dureza:	18 Rockwell
Viscosidad cinemática 40C (cSt):	155	Acabado superficial:	0,51 - 0,76 micras
Cantidad (ml):	110	Peso inicial:	21,6114
Temperatura del fluido (°C):	30	Carga inicial:	Despreciable
Características del aditivo:		Características probeta móvil:	
Tipo de aditivo:	Antidesgaste	Material:	A cero 7210
Marca:	Liqui Moly	Tratamiento térmico:	Cementado
Cantidad (ml):	7	Dureza:	62 Rockwell
RESULTADO			
Marca por desgaste:			
			
Parámetros finales del ensayo:		Parámetros finales de la probeta fija:	
Tiempo de ensayo (min):	6	Peso (g):	21,3295
Temperatura del fluido (°C):	148,55	Desgaste (g):	0,2819
Carga máxima (K gf):	150	Intensidad de desgaste (g/min):	0,04698
Observaciones:			

3.4. Resultados

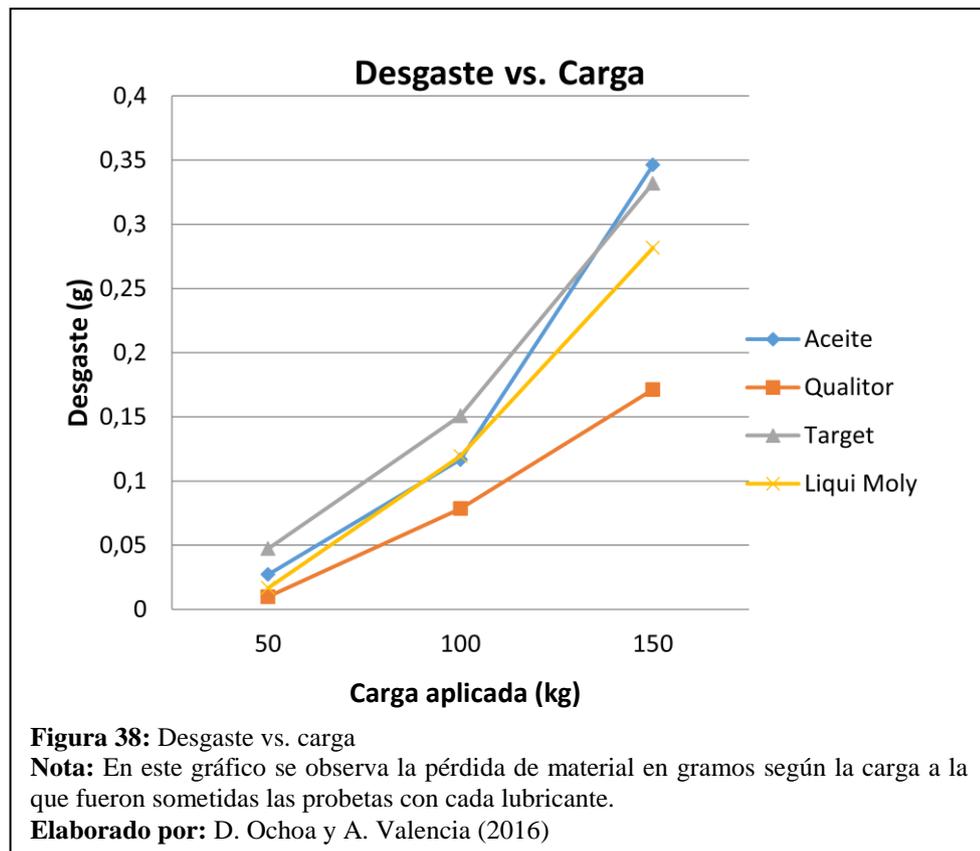
Tabla 7
Resultados de los ensayos

Aceite					
Carga (Kg)	Temperatura (°C)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Desgaste (g)	Intensidad de desgaste (g/min)
5	57,55	22,1782	22,1509	0,0273	0,004550
10	89,2	22,1509	22,0341	0,1168	0,019467
15	161,1	22,0341	21,6877	0,3464	0,057733
Aceite con aditivo Qualitor					
Carga (Kg)	Temperatura (°C)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Desgaste (g)	Intensidad de desgaste (g/min)
5	66,05	23,2359	23,2259	0,0100	0,001667
10	106,95	23,2259	23,1473	0,0786	0,013100
15	153,35	23,1473	22,9759	0,1714	0,028567
Aceite con aditivo Target					
Carga (Kg)	Temperatura (°C)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Desgaste (g)	Intensidad de desgaste (g/min)
5	65,6	22,8908	22,8434	0,0474	0,007900
10	108,5	22,8434	22,6925	0,1509	0,025150
15	163,2	22,6925	22,3604	0,3321	0,055350
Aceite con aditivo Liqui Moly					
Carga (Kg)	Temperatura (°C)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Desgaste (g)	Intensidad de desgaste (g/min)
5	61,9	21,7478	21,731	0,0168	0,002800
10	93,4	21,731	21,6114	0,1196	0,019933
15	148,6	21,6114	21,3295	0,2819	0,046983

Nota: En esta tabla se recopilan los datos obtenidos en los diferentes ensayos para poder compararlos de forma ágil unos con otros.

Elaborado por: D. Ochoa y A. Valencia (2016)

Los datos obtenidos experimentalmente en cada ensayo son interpretados a través de los siguientes gráficos tomando como referencia el comportamiento del aceite:

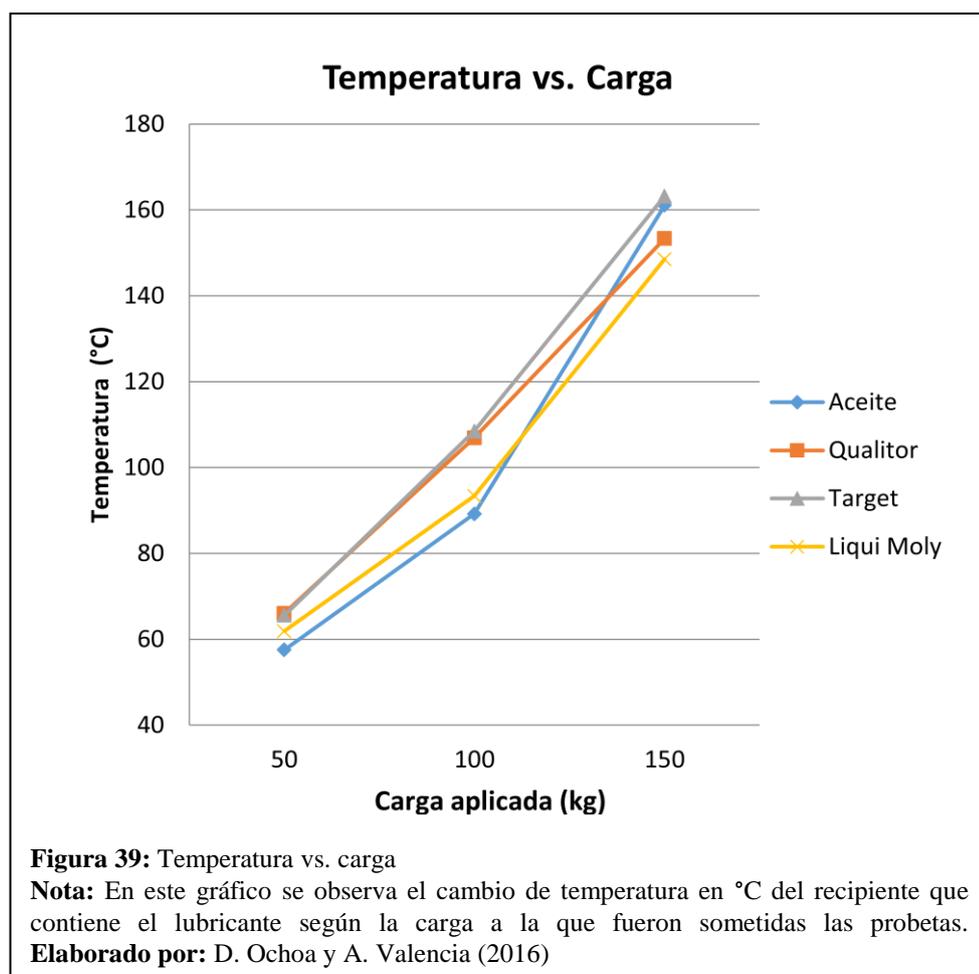


El aceite con el aditivo Qualitor presenta un desgaste casi lineal y mínimo en contraste con los otros lubricantes, debido a que mejora la viscosidad a altas temperaturas para que la capa límite de aceite entre piezas de metal no se rompa y permite un arranque suave a bajas temperaturas como se especifica en su ficha técnica.

El aceite con el aditivo Liqui Moly a ciertas cargas de trabajo tiene menor desgaste que si solo se utiliza aceite para lubricar pero en contraste con el aditivo Qualitor presenta mayor desgaste. También se puede apreciar que al aplicar una carga de 100kg el desgaste es similar al que se obtiene utilizando solo aceite. Esto se da

porque este aditivo a altas cargas mejora su desempeño ya que contiene partículas cerámicas que se depositan en las grietas existentes en las superficies metálicas generando una microestructura laminar que reduce el desgaste.

El comportamiento del aceite con el aditivo Target muestra que al utilizarlo genera mayor desgaste que si se emplea solo aceite pero al superar los 140 kg de carga aplicada presenta una leve disminución de pérdida de material, a pesar de esto su desgaste aún es mayor que el resto de aditivos. Esto difiere de lo que se especifica en su ficha técnica ya que este tuvo que haber formado una capa química que reduce la fricción pero en la práctica esto no ocurrió.



Observando la figura 39:

El aceite con el aditivo Liqui Moly genera un aumento leve de temperatura pero superadas los 100kg de fuerza aplicada la temperatura disminuye, esto se da porque este aditivo es resistente a temperaturas extremas y estables bajo cargas térmicas y dinámicas según señala el fabricante.

Por otro lado, el aditivo Quialitor y el aditivo Target al ser añadidos al aceite incrementan la temperatura considerablemente, con la diferencia de que al sobrepasar los 100kg de fuerza aplicada el aditivo Quialitor disminuye la temperatura final mientras que con el aditivo Target llega a la misma temperatura que si solo se utilizará aceite.

Conclusiones

- El efecto de los aditivos que fueron escogidos para los ensayos: Qualitor, Target y Liqui Moly según la disponibilidad del mercado nacional, se midió a través de la variación de peso de cada probeta utilizada. Con lo que se puede afirmar que el desgaste en ningún caso es proporcional a la carga aplicada.
- En base a lo investigado en el desarrollo del capítulo 1 acerca de la ciencia de la tribología, se puede afirmar que la capa de lubricante entre las piezas en contacto debe ser lo suficientemente gruesa para evitar su desgaste, sin llegar a excederla evitando que exista demasiado juego entre ellas. Esto se consigue procurando mantener la lubricación hidrodinámica.
- De las normas investigadas relacionadas con lubricación y desgaste, se decidió que la más adecuada para nuestra investigación es la ASTM D 2782-02 (método Timken), porque nos indica: procedimiento de ensayo, características de las probetas, fluido de trabajo y ciertos parámetros de funcionamiento de la máquina de pruebas, la cual permite acoplar el diseño según nuestros requerimientos y alcance.
- La máquina fue diseñada para funcionar con corriente trifásica, la carga máxima que se puede aplicar en el brazo de fuerza es de 15 kgf, consta de un variador de velocidad, la velocidad de giro del motor de 2hp es de 800rpm.
- Durante el proceso de prueba de la máquina se determinó que los pesos de ensayo deben ser de 5, 10 y 15 kgf para evidenciar desgaste y evitar deformación en la palanca de fuerza, el tiempo de trabajo debe ser constante en todos los ensayos para no variar resultados, además la temperatura inicial

de 30° de prueba no debe ser alterada ya que afecta el comportamiento del aceite.

- De los resultados obtenidos experimentalmente se puede afirmar que los rendimientos de los aditivos en comparación a solo usar aceite, son los siguientes:
 - Qualitor: alto rendimiento, disminuyó en un 46% el desgaste.
 - Target: no mejora rendimiento, aumentó el desgaste en un 8%.
 - Liqui Moly: rendimiento medio, disminuyó el desgaste en un 14%.

Recomendaciones

- En base a los datos tomados experimentalmente existen aditivos que pueden aumentar la temperatura y fricción por lo que no es recomendable agregar cualquier aditivo al aceite como se muestra en las Figuras 38 y 39 sin contar con el asesoramiento de personal especializado.
- Se debe respetar las cantidades de relación aceite vs. aditivo para que el lubricante se desempeñe de manera adecuada, ya que existen aditivos que en su composición cuentan con partículas de cerámica y otros materiales que si se agregan en grandes cantidades pueden perjudicar los sistemas tribológicos en vez de beneficiarlos.
- Se recomienda establecer el periodo de seis minutos para cada ensayo, si el período es muy largo existirá exceso de temperatura y afectará las propiedades del lubricante y del material con el que están hechas las probetas.
- Al finalizar cada ensayo se recomienda tomar la temperatura del recipiente con la ayuda del termómetro infrarrojo y dejar enfriar a temperatura ambiente antes de proceder a limpiar los elementos contaminados de la máquina.
- Se recomienda continuar con la investigación probando el comportamiento de otros aceites para plantear un modelamiento matemático en base a los datos obtenidos.

Lista de referencias

- AEC. (2016). *Asociación Española para la Calidad*. Recuperado el 15 de 02 de 2016, de <http://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/normas-astm>
- Álvarez, E. (15 de 07 de 2015). *I.exam-10*. Recuperado el 24 de 03 de 2016, de <http://l.exam-10.com/himiya/7495/index.html>
- Asociación española de lubricantes ASELUBE. (02 de 2014). *Lubricación y lubricantes*. España: ASELEBU. Recuperado el 27 de 03 de 2016, de http://www.aselube.com/media/14309/m_dulo_1_lubricaci_n__y_lubricantes_revisada_mas.pdf
- ASTM INTERNACIONAL. (2002). *Standard Terminology Relating to Wear and Erosion G-40*.
- ASTM INTERNATIONAL. (2002). *Standard test method for measurement of extreme-pressure properties of lubricating fluids (Timken Method)*. United States.
- BOSCH. (1999). *Manual de la técnica del automóvil*. Barcelona: EDITORIAL REVERTE S.A.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shyglye*. México: Mc GrawHill.
- Coureaux, D., Saragó, R., Calzadilla, J., Mestra, Á., & Llanes, L. (2015). Influencia de la microestructura en el comportamiento tribológico de carburos cementados (WC-Co) borados. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 23(2), 259-268.
- Díaz, F. (2013). *Engranés: historia, fabricación y fallas*. Cuatitlán Izcalli: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO .
- Ducom Instruments. (2016). *DUCOM Material Characterization System*. Obtenido de <http://ducom.com/test-instruments/lubricant-testers/timken-ok-load-tester/>
- Figuroa, V. (2009). *Universidad nacional de ingeniería*. Recuperado el 16 de 02 de 2016, de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/990/1/figuroa_jv.pdf
- Gill, D. (2010). *Manual práctico del automóvil*. Madrir: CULTURAL S.A.
- Gulf. (2014). Manual técnico. Argentina .
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2007). *Fundamentos de física*. México: GRUPO EDITORIAL PATRIA, S.A. DE C.V.

- Hamrock, Jacobson, & Schimd. (2000). *Elementos de máquinas*. México D.F: McGrawHill.
- Jubel, M. (2008). *Iquímica 2.0*. Recuperado el 16 de 02 de 2016, de <http://iiquimica.blogspot.com/2006/07/mezclas-homogneas-y-heterogneas.html>
- López, D. A. (2005). *Lubricación*. Madrid: Universidad de Nebrija. Recuperado el 10 de 04 de 2016, de <http://www.nebrija.es/~alopezro/Lubricacion.pdf>
- MotorGiga. (2014). Recuperado el 11 de 02 de 2016, de <http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/untuosidad-definicion-significado/gmx-niv15-con195851.htm>
- Noria Latín América. (21 de 11 de 2013). *Lublearn*. Obtenido de <http://noria.mx/lublearn/entendiendo-los-grados-de-viscosidad-sae-para-lubricantes-de-motor/>
- OERLIKON BALZERS. (2010). Recuperado el 16 de 02 de 2016, de <http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bar/spa/02-applications/01-wear-tribology/06-tribo-system/indexW3DnavidW263.php>
- Quilodrán, V., Pérez, R., & Lizana, C. (30 de 9 de 2011). *INACAP*. Obtenido de <https://mantenimiento6to.wikispaces.com/file/view/acoplamientos.pdf>
- SAE. (2015). *SAE México*. Recuperado el 16 de 02 de 2016, de <http://www.saemexico.org/>
- Samiflex. (2004). Acoplamiento elástico. En Q. Rodriguez. España: UBI SOCIETAS, S.L.
- San Román, J., Quesada, A., & Olmeda, E. (2009). *Universidad Carlos III de Madrid*. Recuperado el 12 de 02 de 2016, de http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/tecnologia-de-maquinas/material-de-clase-1/lubricacion_apuntes_transp.pdf
- Santillana, J. (2008). *Torsión*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Shell. (2010). Fundamentos de lubricación.
- SHELL. (2010). Introducción a los lubricantes y lubricación. s.l.
- SKF. (2006). Selección del tamaño de rodamiento. *Catálogo general*, 49-85.
- TIMKEN. (2016). *TIMKEN*. Recuperado el 16 de 02 de 2016, de <http://www.timken.com/en-us/Pages/Home.aspx>
- Tutor de lubricación Shell. (s.f). *Lubricantes para engranajes*. Amsterdam: Shell.

Universidad Carlos III de Madrid. (04 de 11 de 2008). *Lubricacion*. Obtenido de http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/tecnologia-de-maquinas/material-de-clase-1/lubricacion_apuntes_transp.pdf

Universidad de Buenos Aires. (2009). *Facultad de ingeniería* . Recuperado el 12 de 02 de 2016, de <http://materias.fi.uba.ar/7201/Lubricantes2009.pdf>

Universidad de Sevilla. (2012). *Laplace, departamento de física aplicada III*. Recuperado el 16 de 02 de 2016, de [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Movimiento_relativo_\(G.I.T.I.\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Movimiento_relativo_(G.I.T.I.))

WIDMAN INTERNATIONAL. (2016). Obtenido de <http://www.widman.biz/Seleccion/j300.html>

Zambrano Orejuela, J. (2006). *Física I*. Sangolquí: Génesis Ediciones.

Anexos

Anexo 1. Fichas técnicas de lubricantes y aditivos



GT-1[®] High Performance Motor Oil with Liquid Titanium[®]

Kendall[®] GT-1 High Performance Motor Oil with Liquid Titanium protection additive is a high-quality, conventional engine oil designed for use in gasoline-fueled passenger cars and light trucks that do not require an ILSAC GF-5 oil for warranty coverage. Select viscosity grades are particularly recommended for use in high-performance street engines and competition engines, including both gasoline- and alcohol-fueled racing vehicles.

GT-1 High Performance with Liquid Titanium is formulated to provide excellent wear protection, to minimize the formation of sludge and varnish, and to resist viscosity and thermal breakdown, even in severe service. It also protects against rust and bearing corrosion, and is highly resistant to foaming. All viscosity grades are fortified with our exclusive Liquid Titanium protection additive for extra protection against engine wear. This additive enhancement provides increased engine protection by forming a strongly bonded titanium shield on the surface of critical engine parts, which reduces friction and wear and helps extend engine life.

GT-1 High Performance with Liquid Titanium, SAE 20W-50, also contains a boosted level of zinc dialkyldithiophosphate (ZDDP) additive to provide additional wear protection and enhanced oxidation resistance for use in the most demanding applications. It is particularly recommended for use in turbocharged engines and in high-performance engines with flat-tappet camshafts, especially during the critical break-in period.

Applications

- Gasoline-fueled passenger cars, light trucks and sport utility vehicles that do not require an ILSAC GF-5 oil for warranty coverage
- Older vehicles and small four-stroke cycle gasoline engines found in lawn mowers and garden tractors, where the engine manufacturer specifies monograde engine oil (SAE 30, 40)
- Competition engines and high-performance street engines (SAE 20W-50, 50)

**Conventional Engine Oil For Passenger Cars & High-Performance / Competition Engines;
Fortified With Liquid Titanium[®] Protection Additive**



U.S. Customer Service:
1-800-368-7128

Technical Hot Line:
1-877-445-9198

International Customer Service:
1-832-486-3363

E-mail address:
kendallmotoroil@conocophillips.com

www.conocophillips.com
600 N. Dairy Ashford • 2W9000 • Houston, TX 77079



GT-1 High Performance with Liquid Titanium meets or exceeds the requirements of:

- API Service SN (all grades except SAE 50)

Features/Benefits

- Exclusive Liquid Titanium® protection additive provides extra protection against engine wear
- Formulated for engines equipped with turbochargers or superchargers
- Excellent resistance to viscosity and thermal breakdown at high temperatures
- Protects against sludge and varnish formation
- Protects against rust and bearing corrosion
- Highly resistant to foaming
- High ZDDP content for additional wear protection for engines with flat-tappet camshafts (SAE 20W-50)
- Racetrack-proven performance

GT-1® High Performance Motor Oil with Liquid Titanium®

Typical Properties					
SAE Grade	10W-40	20W-50	30	40	50
Specific Gravity @ 60°F	0.870	0.879	0.880	0.883	0.886
Density, lbs/gal @ 60°F	7.25	7.32	7.33	7.36	7.38
Color, ASTM D1500	3.0	3.5	3.5	3.5	4.0
Flash Point (COC), °C (°F)	227 (441)	230 (446)	250 (482)	254 (489)	260 (500)
Pour Point, °C (°F)	<-36 (<-33)	<-30 (<-22)	-33 (-27)	-30 (-22)	-30 (-22)
Viscosity, Kinematic					
cSt @ 40°C	106	155	95.0	136	202
cSt @ 100°C	15.4	18.6	11.5	14.6	18.6
Viscosity Index	150	134	110	107	103
Cold Cranking Viscosity, cP	6,400	7,000	—	—	—
@ (C)	(-25)	(-15)	—	—	—
High-Temp/High-Shear Viscosity, cP @ 150°C	3.9	4.8	3.1	4.2	5.1
Sulfated Ash, ASTM D874, wt %	1.0	1.06	1.0	1.0	1.0
Total Base Number (TBN), ASTM D2896	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
Phosphorus, wt %	0.077	0.108	0.077	0.077	0.077
Titanium, wt %	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
Zinc, wt %	0.085	0.119	0.085	0.085	0.085

Health and Safety Information

For recommendations on safe handling and use of this product, please refer to the Material Safety Data Sheet via <http://w3.conocophillips.com/NetMSDS>.

Typical properties are average values only and do not constitute a specification. Minor variations that do not affect product performance are to be expected during normal manufacture, and at different blending locations. Product formulations are subject to change without notification.

© 2011 ConocoPhillips Company. ConocoPhillips, Kendall, their respective logos, the Two Finger logo, and Liquid Titanium are trademarks of the ConocoPhillips Company in the U.S.A. and other countries.

TRATAMIENTO PARA METAL

- ✓** Para motor, caja y transmisión.
- ✓** Protege el motor en el encendido en frío, elimina la fricción y el desgaste.
- ✓** Prolonga la vida útil de su maquinaria.
- ✓** Baja la temperatura y el consumo de combustible.
- ✓** Protege durante 80.000 KMs o 2500 horas de trabajo.
- ✓** No es un aditivo, no se pierde en los cambios de aceite.
- ✓** Para motores a gasolina y a diesel.
- ✓** Maquinaria automotriz, marítima, industrial, agrícola, petrolera.
- ✓** Cajas automáticas, rodamientos.
- ✓** Sistemas hidráulicos, generadores eléctricos, compresores, etc.



EN POTENCIA Y PROTECCIÓN PARA SU MOTOR::

... Arranques Rápidos y más Fáciles...
Aun con aceite frío grueso TARGET permite el movimiento inmediato de las partes del motor donde hay contacto metal-metal, esto significa el encendido de los motores mas rápido, mas suave y sin esfuerzos.

EN POTENCIA Y PROTECCIÓN PARA SU MOTOR::

Protege contra los Ácidos y la Corrosión

Debido a la acción monomolecular de TARGET, se forma una barrera química casi impenetrable, la cual no solamente reduce la fricción sino que también obstaculiza la acción dañina de elementos presentes en la combustión, como ácidos y agua que afectan a las piezas metálicas. Esta barrera química impide la corrosión y la formación de carbonos en los pistones y las válvulas del motor.

Suministra Lubricación Durante el Encendido en Frío.

La acción laminadora monomolecular de TARGET durante el contacto metal-metal, reduce la fricción durante el encendido en frío, justo cuando la circulación del aceite no está establecida, pues el lubricante se ha depositado en el cárter.

Producto



Tecnología Líder



Protección diaria para su motor.

CERA TEC

Aditivo antifricción cerámico de última generación
Cód. 3721

Descripción:

CERA TEC es una suspensión de un lubricante sólido microcerámico en base de Nitruro de Boro (BN) Hexagonal en aceite lubricante. La estructura laminar, parecida al grafito, reduce la fricción y el desgaste, y evita el contacto directo entre metal y metal. El tamaño de las partículas menor a 0,5 µm garantiza el paso por los filtros y evita la precipitación de las partículas sólidas del lubricante.

Propiedades:

- ✓ Mezclable con todos los aceites de motor habituales
- ✓ No se deposita y no obstruye los filtros de aceite
- ✓ Resiste temperaturas extremas, tanto altas como bajas
- ✓ Reduce el consumo de combustible
- ✓ Aumenta la vida útil del motor
- ✓ Estable también bajo cargas térmicas y dinámicas, altas y punsantes
- ✓ Aumenta la suavidad de marcha del motor
- ✓ Extremadamente resistente contra cargas y presiones
- ✓ Químicamente inerte y muy estable
- ✓ Mayor rendimiento y potencia debido a una fricción reducida
- ✓ No aumenta el contenido de fósforo ni de azufre dentro del aceite de motor
- ✓ Permanece activo por un periodo mínimo de 50.000 kms.



Código	Contenido
3721	300 ml.

Datos Técnicos:

Base	:	Nitruro de Boro Microcerámico	
Color	:	Blanco / amarillo	
Estabilidad a la temperatura de partículas cerámicas	:	Hasta 1200 °C	
Tamaño de partículas	:	Mayoría < 0,5 µm	
Densidad a 20°C	:	0,9 g/ml	DIN 51757
Viscosidad a 20°C	:	300 mPa x s	DIN 51398
Punto de inflamación	:	200°C	DIN ISO 2592
Punto de escurrimiento	:	-20°C	DIN ISO 3016

Campos de Aplicación:

Apropiado para añadir al aceite de motores, compresores, bombas y engranajes. Óptimo para automóviles y vehículos de uso comercial (gasolina y diesel). Mezclable con todos los aceites de motor habituales.

Modo de Empleo:

Agregar cada 50.000 kms. una lata de 300 ml. por cada 5 lts. de aceite de motor. No agregar a embragues bañados en aceite.

 Producto Original Alemán

LIQUI MOLY CHILE S.A.

Av. El Dorado Yáñez 1727, Providencia, Santiago. Fono: (56 2) 33 22 100 - Fax: (56 2) 274 3226 - consultas@liqui-moly.cl - www.liqui-moly.cl

Anexo 2. Relación frecuencia vs RPM

Tabla revoluciones en función de la frecuencia del variador de velocidad	
Revoluciones (rpm)	Frecuencia (Hz)
1100	60,0
1000	54,5
900	49,1
800	43,6
700	38,2
600	32,7
500	27,3
400	21,8
300	16,4
200	10,9

Anexo 3. Fotos de la máquina



Anexo 4. Pesaje de las probetas





Anexo 4. Planos