



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA DE ENSAYOS, EQUIPOS Y EVALUACIONES EN
LUBRICANTES PARA EL LABORATORIO DE DISEÑO DE
MÁQUINAS 3**

Rafael Andrés Sarti Valdez

Asesorado por el Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco

Guatemala, octubre de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE ENSAYOS, EQUIPOS Y EVALUACIONES EN
LUBRICANTES PARA EL LABORATORIO DE DISEÑO DE
MAQUINAS 3**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

RAFAEL ANDRÉS SARTI VALDEZ

ASESORADO POR EL ING. ESDRAS FELICIANO MIRANDA
OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Sanabria Solchaga
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROPUESTA DE ENSAYOS, EQUIPOS Y EVALUACIONES EN
LUBRICANTES PARA EL LABORATORIO DE DISEÑO DE
MÁQUINAS 3,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 15 de mayo de 2008.



Rafael Andrés Sarti Valdez

Ingeniero
Julio César Campos Paíz
Facultad de ingeniería
Escuela de Mecánica
Presente:

Por este medio hago constar que después de haber asesorado y revisado ha su totalidad el Trabajo de Graduación titulado PROPUESTA DE ENSAYOS, EQUIPOS Y EVALUACIONES EN LUBRICANTES PARA EL LABORATORIO DE DISEÑO DE MÁQUINAS 3, del estudiante **Rafael Andrés Sarti Valdez**, recomiendo su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
ASESOR

Guatemala, marzo de 2009

JCCP/behdei

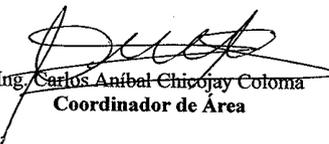
**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Coordinador del Área de Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el Trabajo de Graduación titulado, PROPUESTA DE ENSAYOS, EQUIPOS Y EVALUACIONES EN LUBRICANTES PARA EL LABORATORIO DE DISEÑO DE MÁQUINAS 3, del estudiante **Rafael Andrés Sarti Valdez**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. **Carlos Anibal Chicoy Coloma**
Coordinador de Área

Guatemala, marzo de 2009

JCCP/behdei

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área de Laboratorios, al Trabajo de Graduación titulado PROPUESTA DE ENSAYOS, EQUIPOS Y EVALUACIONES EN LUBRICANTES PARA EL LABORATORIO DE DISEÑO DE MÁQUINAS 3, del estudiante Rafael Andrés Sarti Valdez, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Camps Paíz
DIRECTOR



Guatemala, julio de 2009

JCCP/behdei

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.441.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE ENSAYOS, EQUIPOS Y EVALUACIONES EN LUBRICANTES PARA EL LABORATORIO DE DISEÑO DE MAQUINAS 3**, presentado por el estudiante universitario **Rafael Andrés Sarti Valez**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, octubre de 2009

/cc

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
OBJETIVOS	IX
INTRODUCCIÓN	XIII
1. MARCO TERICO	
1.1 Tribología	1
1.1.1 Lubricación	4
1.1.2 Lubricación hidrodinámica	5
1.2 Viscosidad	
1.2.1 Viscosidad	6
1.2.2 Índice de viscosidad	7
1.3 Tipos de Lubricantes	9
1.3.1 Aceites lubricantes	10
1.3.2 Grasas lubricantes	14
2. TIPOS DE ENSAYOS	
2.1 Ensayos no destructivos	19
2.1.1 Medición de la tensión superficial	
2.1.1.1 Tensión superficial	20
2.1.1.2 Medición de la tensión superficial	21
2.1.2 Simulación del pistón congelado	22
2.1.3 Penetración	23
2.2 Ensayos Destructivos	24
2.2.1 Punto de inflamación	24
2.2.2 Punto de combustión	25
2.2.3 Punto de gota	25
2.3 Planos para el Diseño de los equipos de laboratorios	27
2.3.1 Programa Master Cam	33

3. METODOLOGÍA PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO

3.1 Práctica núm.1: Determinación de la viscosidad de los lubricantes	35
3.2 Práctica núm.2: Determinación del punto de inflamación y punto de combustión del aceite.	37
3.3 Práctica núm.3: Determinación de la penetración y el punto de gota.	39
3.4 Práctica núm.4: Clasificación SAE	41
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	47

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Relación desgaste-fricción según los materiales.	3
2. Proceso del fundamento de viscosidad.	8
3. Escala SAE.	8
4. Tabla comparativa de viscosidad.	9
5. Clasificación NLGI.	17
6. Medición de la tensión superficial.	21
7. Simulador de pistón congelado.	22
8. Equipo para el ensayo de penetración.	23
9. Equipo para el ensayo de punto de inflamación.	24
10. Equipo para el ensayo de punto de gota.	26
11. Funcionamiento de Mastercam.	33

GLOSARIO

- ASTM** Por iniciativa de Charles Dudley se inició el 16 de mayo de 1898, la *American Section of the International Association for Testing Materials*. Dudley logró que los hasta entonces rivales ferrocarriles y las fundiciones de acero coordinaran sus controles de calidad. Fue en 1902, cuando la sección americana se constituye como organización autónoma con el nombre de: *American Society for Testing Materials*, que luego se convirtió universalmente conocida en el mundo técnico como ASTM. El campo de acción de la ASTM ha ido creciendo con el tiempo, tratando todo tipo de materiales, comprendiendo los revestimientos y los procesos de tratamiento.
- Desgaste** Pérdidas de material de una superficie de chapa sometida a la acción mecánica.
- DIN** El *Deutsches Institut für Normung e.V.* es el organismo nacional de normalización en Alemania; tiene su sede en Berlín. La DIN elabora estándares técnicos para la racionalización y el aseguramiento de la calidad. Este proceso lo realiza con colaboración del comercio, la industria, la ciencia, los consumidores e instituciones públicas, estándares técnicos (normas) para la racionalización y el aseguramiento de la calidad. El DIN representa los intereses alemanes en las organizaciones internacionales de normalización (ISO, CEI, entre otro.).

El DIN fue establecido el 22 de diciembre de 1917 como *Normenausschuss der deutschen Industrie* (NADI).

Fricción Es la fuerza de rozamiento entre dos superficies en contacto que se opone al movimiento de una superficie sobre la otra (*fuerza de fricción dinámica*) o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (*fuerza de fricción estática*). Se genera debido a las imperfecciones, especialmente microscópicas, entre las superficies en contacto. Estas imperfecciones hacen que la fuerza entre ambas superficies no sea perfectamente perpendicular a éstas, sino que forma un ángulo ϕ con la normal (el ángulo de rozamiento).

Lubricación Estudio de los medios utilizados para reducción de la fricción entre dos superficies con movimiento relativo, de su comportamiento del entorno y de sus consecuencias.

Lubricante Es una sustancia que, colocada entre dos piezas móviles, no se degrada, y forma asimismo una película que impide su contacto, permitiendo su movimiento incluso a elevadas temperaturas y presiones.

Número de NLGI	<p>Uno de una serie de números que clasifican la gama de la consistencia de grasas lubricantes, basada en el número de la penetración del cono de ASTM.</p> <p>Los grados del Instituto Nacional de Grasas Lubricantes (NLGI) están en orden de incremento la consistencia (dureza).</p>
SAE	<p>Significa <i>Society of Automotive Engineers</i>. Es una organización profesional estadounidense que se encarga de suministrar y regular normas técnicas para la industria automovilística.</p>
Viscosidad	<p>Es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal, en realidad todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones.</p>
Viscosímetro	<p>Es un instrumento empleado para medir la viscosidad y algunos otros parámetros de flujo de un fluido. Fue Isaac Newton el primero en sugerir una fórmula para medir la viscosidad de los fluidos, postuló que dicha fuerza correspondía al producto del área superficial del líquido por el gradiente de velocidad, además de producto de un coeficiente de viscosidad. En 1884 Poiseuille mejoró la técnica estudiando el movimiento de líquidos en tuberías.</p>

RESUMEN

El siguiente trabajo de graduación propone la aplicación de ensayos de laboratorio en lubricantes para determinar las propiedades físicas de los mismos. Previamente a estos ensayos se realiza una introducción al campo de la Tribología, tocando temas como el desgaste de piezas, condiciones en que trabajan los lubricantes y la teoría sobre las características de los diferentes lubricantes. Para realizar los ensayos se debe de tener el equipo adecuado, lo que significa, debe estar estandarizado; para nuestro propósito se utilizan las normas ASTM. El equipo a utilizar se diseñó y se fabricó bajo dichas normas, para que los resultados de las prácticas de los ensayos sean lo más reales posible. Los ensayos que se propone son:

- Tensión Superficial
- Simulación de Pistón Congelado
- Penetración
- Punto de Inflamación
- Punto de Combustión
- Punto de Gota

Para tener una mejor interpretación de los resultados de las prácticas, se propone diferentes métodos matemáticos y temas para la investigación.

El tema fue elegido debido a que la lubricación juega un papel importante en el desarrollo de máquinas. El conocer el comportamiento de los lubricantes en condiciones extremas, nos da un mejor panorama para resolver problemas comunes en el desgaste de piezas, o bien, para alargar la vida de las máquinas.

El fin del Trabajo de Graduación es capacitar a los futuros ingenieros en el campo de la Tribología. Ésto con la propuesta de una metodología para prácticas de laboratorio y equipo para complementar la teoría del curso Diseño de Máquinas 3.

El laboratorio se desarrollará en cuatro prácticas y cada una de éstas contiene dos ensayos para realizar. Estas prácticas tienen un manual, para que los estudiantes puedan llevar un procedimiento adecuado, el cual es dictado por las normas ASTM anteriormente mencionadas. Para obtener mejores resultados en cada práctica de laboratorio se propone un modelo matemático con el cual se deducirán los datos teóricamente, para luego ser comparados con los datos recabados en el ensayo.

OBJETIVOS

General:

- Proponer la metodología para realizar las prácticas de laboratorio, como también el diseño de equipos para llevarlas a cabo en el curso de Diseño de Maquinas 3.

Específicos:

1. Conocer las propiedades de los lubricantes, sus ventajas y sus desventajas en una situación determinada de trabajo.
2. Conocer la aplicación de los lubricantes y cómo éstos nos ayudan a obtener una mejora para los elementos mecánicos obteniendo un mejor desempeño en la maquinaria a utilizar.

INTRODUCCIÓN

A medida que el ser humano se desarrolla, sus costumbres, técnicas y conocimientos también lo hacen; el humano ha evolucionado desde la rueda hasta la era de la tecnología satelital, pareciera que no existen límites y cada vez los diseños de maquinarias son más ingeniosos.

Las máquinas desde su primera aparición han sido de gran importancia en el desarrollo de las sociedades, pues facilitan el trabajo con un menor esfuerzo. Cada vez que se diseña una de estas máquinas se evalúa cada detalle para que trabajen el mayor tiempo posible sin dañarse.

Un factor importante en el desempeño de las maquinarias es la selección de la lubricación, ya que la fricción siempre está presente, así como el calor generado por ésta; es determinante conocer las propiedades del lubricante a utilizar para que la aplicación sea la correcta. Estas propiedades son como la huella digital de los lubricantes, son similares en todos mas no idénticas y cada una de estas se combinan para darle ciertas características a estos fluidos.

Para determinar las propiedades de los lubricantes, se han creado dispositivos que nos ayudan a medir dichas propiedades, ya que por medio de éstos llevamos a la práctica lo que antes sólo se conocía en cálculos matemáticos. Estos dispositivos pueden llegar a medir la viscosidad, punto de flama y punto de combustión, en el caso de aceites lubricantes; y para las grasas lubricantes; la penetración y el punto de gota.

Conoceremos más de estos por medio de *la praxis*. Exhibimos cuatro ensayos para el laboratorio de Diseño de Máquinas 3, de aceites y grasas lubricantes que nos ilustren cada una de las propiedades de éstos y así obtener un mejor conocimiento.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Tribología

Tribología, la cual se enfoca en desgaste, fricción y lubricación de superficies que interactúan en un movimiento relativo, es un nuevo campo de la ciencia que se definió en 1967, por medio de un comité de la Organización para Cooperación y Desarrollo Económico. "Tribología" se deriva del vocablo griego "tribos" que significa deslizarse.

El desgaste es el mayor causante que una máquina baje considerablemente su desempeño y cualquier prolongación en el desgaste es un ahorro en los gastos de las maquinarias. La fricción es la principal causa de desgaste y disipación de energía. Se pueden obtener grandes ahorros al mejorar el control sobre la fricción. Se tiene estimado que un tercio de la energía del mundo utilizada hoy en día, es necesaria para neutralizar la fricción de una manera u otra. La lubricación es un medio efectivo para disminuir el desgaste y controlar la fricción. La tribología es un campo de la ciencia que aplica un análisis operacional a problemas que ocurren en equipos de suma importancia, como por ejemplo, equipo técnico, o bien, transbordadores espaciales.

La pregunta es: ¿Por qué dos superficies que interactúan en movimiento son tan importantes en nuestra economía? La respuesta a esto es que cada movimiento controla el funcionamiento de cada máquina desarrollada por el hombre. Todo lo que el hombre crea, se desgasta, casi siempre por el movimiento relativo que existe entre las superficies. Una máquina que deja de funcionar repentinamente, en la mayoría de casos se debe a que existe desgaste en las piezas, tales como, cojinetes, engranes, ejes, entre otros.

La tribología afecta nuestras vidas a tal grado que no es fácil estar consciente de ello. Por ejemplo, hace muchos años atrás, antes de que se discutiera los problemas que causan la fricción y el desgaste, el ser humano y los animales ya experimentaban la lubricación en las articulaciones. Hace poco se descubrió que el sudor que generamos en las palmas de las manos y las plantas de los pies, es para aumentar la fricción entre la piel y alguna otra superficie.

Un resultado derivado de innumerables experimentos y teorías, concluyen que la tribología está comprometida al estudio de:

- Las características de películas de líquidos lubricantes entre superficies en contacto y;
- Las consecuencias de falta de película o destrucción de la misma, que es consecuencia de la presencia de fricción.

La formación de película lubricante entre cualquier par de objetos deslizantes puede ser un fenómeno natural, y puede presentarse sin la intervención humana. La presencia de esta película puede ser un mecanismo fundamental para evitar grandes rangos de desgaste entre dos materiales rígidos y deslizantes. Muchos sistemas no deslizantes muestran ejemplos de la formación de películas lubricantes. Por ejemplo, estudios sobre los movimientos entre placas geológicas en la superficie de la tierra, revelan que una roca muy pequeña y agua se mezclan a cierta presión y temperatura para formar una película lubricante entre las masas de roca.

La formación de este tipo de películas entre objetos sólidos es intrínseca al deslizamiento y a cualquier otro tipo de movimiento; el estudio y aplicación de estas películas lubricantes para el beneficio del ser humano, es la principal razón de la tribología.

En términos simples, parece ser que el objetivo de la tribología, es minimizar las dos grandes desventajas que se presentan entre el contacto sólido-sólido: fricción y desgaste, pero éste no es siempre el caso. En algunas situaciones, como las ilustradas en la figura 1, minimizar la fricción y maximizar el desgaste, o bien, minimizar el desgaste y maximizar la fricción o maximizar la fricción y el desgaste es una situación deseable.

Por ejemplo, reducir el desgaste, pero no la fricción es deseable en los frenos de los automóviles y en embragues hidráulicos; la reducción de fricción, pero no el desgaste, es deseable en los lápices, y por último el aumento, tanto de la fricción como el del desgaste, es deseable en los borradores.

Figura 1. Relación desgaste-fricción según los materiales



1.1.1 Lubricación

Delgadas capas de gas, líquido y sólido son interpuestas entre dos superficies en orden para mejorar la suavidad de movimiento de una superficie sobre otra, como también para prevenir cualquier tipo de daño. Estas capas de material ajeno a las superficies son muy delgadas y comúnmente son difíciles de apreciar a simple vista. En general, el grosor de estas capas o películas miden entre 1-100 [µm]. La efectividad de estas pequeñas películas en prevenir algún tipo de daño se conoce como "lubricación". Aunque no existen restricciones en el tipo de material a utilizar para crear un lubricante, gases, líquidos y también sólidos son todos efectivos, la efectividad del material influye los límites de la película lubricante. Por ejemplo, una película lubricante gaseosa es apropiado en situaciones de poco contacto, mientras que, una película sólida es utilizada en situaciones de bajo contacto y deslizamiento rápido. El análisis detallado de películas gaseosas o líquidas es usualmente llamado lubricación hidrodinámica, mientras que la lubricación por medio de sólidos es llamada lubricación sólida. Una forma de lubricación hidrodinámica que involucra interacción física entre dos cuerpos en contacto por medio del lubricante se llama lubricación elastohidrodinámica y ésta se practica considerablemente.

Otra forma de lubricación que involucra reacciones químicas entre los cuerpos en contacto, es llamado lubricación de límite y extrema presión. Cuando existe ausencia de cualquier película lubricante, lo único que se puede hacer para asegurar un movimiento sin desgaste, es mantener las superficies separadas con alguna técnica en especial. Esto puede llevarse a cabo con la levitación magnética, sin embargo, esta tecnología permanece en estado experimental. Una forma de lubricación que involucra una energía externa para la separación forzosa de las superficies, es llamada lubricación hidrostática.

1.1.2 Lubricación hidrodinámica

Lubricación hidrodinámica es la separación de componentes por un colchón de aceite que se forma hidrodinámicamente. En un motor, la mayoría de la Lubricación de los cojinetes es proporcionada por este colchón hidrodinámico. Cuando la quema de combustible empuja para abajo el pistón contra su biela y el cojinete para forzar el giro del cigüeñal, necesitamos un colchón de aceite para reducir la fricción y el desgaste. La formación de la película hidrodinámica depende de la geometría, velocidad de la máquina, la carga que lleva y la viscosidad del aceite. En un motor, también depende de la presión del aceite y la condición del filtro de aceite.

Para obtener este colchón, se bombea el aceite por el cigüeñal forzándolo a salir por el orificio, entrando a presión en el cojinete para separarlo del cigüeñal. Si el aceite es muy delgado (baja viscosidad), fluye directamente al cárter sin separar las piezas. Si el aceite es muy espeso (alta viscosidad), no puede salir al cojinete con bastante rapidez para formar este colchón. Esto también provoca desgaste prematuro.

Antes de hacer su trabajo de formar el colchón, el aceite tiene que pasar por el filtro de aceite. Si el aceite es muy viscoso por baja temperatura del ambiente, no pasará por el papel filtrante y abrirá la válvula de alivio de presión del filtro, llevando toda la suciedad consigo para contaminar el aceite y lijar los cojinetes y otras piezas.

Cada motor está diseñado con ciertas tolerancias, tomando en cuenta la viscosidad del aceite recomendado. El punto más crítico es el momento de arranque. En el arranque y apagado del equipo no hay lubricación hidrodinámica, eliminando esta lubricación.

Una vez que el motor está en funcionamiento normal, existe un colchón bastante fuerte, aunque una pérdida de viscosidad en el aceite podría dejar de fluir el aceite del cojinete más rápido de lo que entra, causando desgaste.

Uno de los puntos más importantes en la lubricación de motores es la viscosidad cP en puntos calientes del motor bajo altas presiones. Para medir esto se utiliza la prueba HT/HS (alta temperatura/alta cizallamiento) que mide la viscosidad mínima a 150°C a 90 ciclos de estrés para simular las condiciones de los cojinetes del motor. Esta viscosidad determina la protección del aceite en lubricación hidrodinámica. Las normas del SAE J300 dictan que los aceites SAE 40 y SAE 15W-40 mantengan la siguiente viscosidad en estas condiciones:

- Los aceites buenos SAE 15W-40 como *American Supreme* mantienen una viscosidad 4.22 cP en estas condiciones, proveyendo 45% más protección en los puntos más importantes del motor.
- Hay muchos puntos de lubricación en el motor que depende de la viscosidad y los aditivos anti-desgaste correctos.

1.2 Viscosidad

La viscosidad es la principal característica de la mayoría de los productos lubricantes. Es la medida de la fluidez a determinadas temperaturas. Si la viscosidad es demasiado baja el film lubricante no soporta las cargas entre las piezas y desaparece del medio sin cumplir su objetivo de evitar el contacto metal-metal. Si la viscosidad es demasiado alta el lubricante no es capaz de llegar a todos los intersticios en donde es requerido.

Al ser alta la viscosidad es necesaria mayor fuerza para mover el lubricante originando de esta manera mayor desgaste en la bomba de aceite, además de no llegar a lubricar rápidamente en el arranque en frío. La medida de la viscosidad se expresa comúnmente con dos sistemas de unidades SAYBOLT (SUS) o en el sistema métrico CENTISTOKES (CST). Como medida de la fricción interna actúa como resistencia contra la modificación de la posición de las moléculas al actuar sobre ellas una tensión de cizallamiento. La viscosidad es una propiedad que depende de la presión y temperatura y se define como el cociente resultante de la división de la tensión de cizallamiento (T) por el gradiente de velocidad (D).

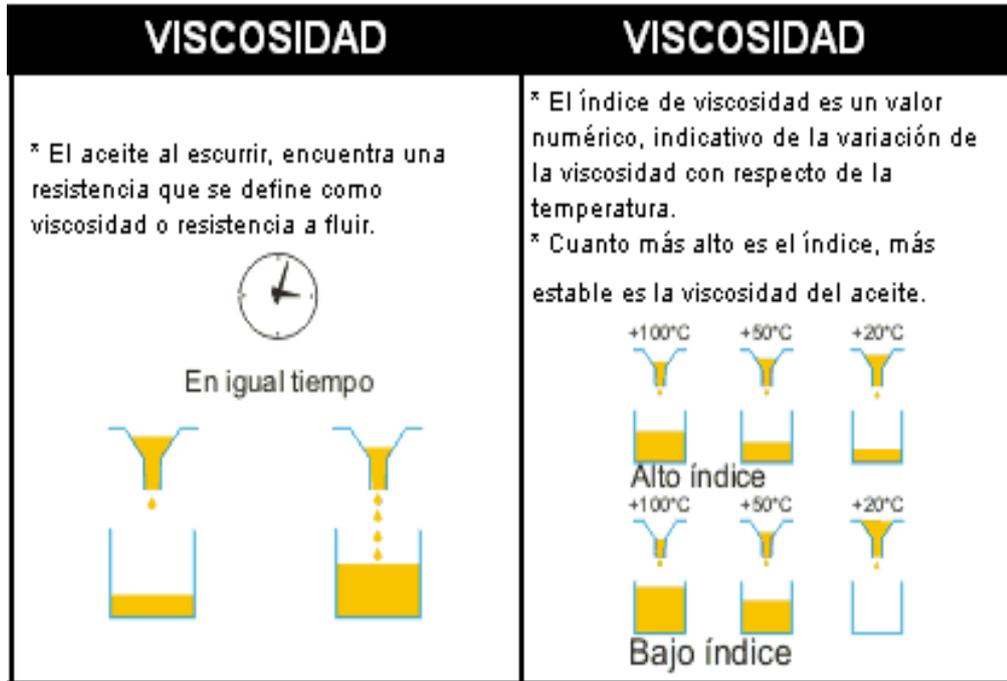
$$\mu = T / D$$

Con flujo lineal y siendo constante la presión, la velocidad y la temperatura afectan la generación de calor entre superficies giratorias (cojinetes, cilindros, engranajes). Esto se relaciona con el efecto sellante del aceite. Éste determina la facilidad con que la maquinaria arranca bajo condiciones de baja temperatura ambiente.

1.2.1 Índice de viscosidad

Los cambios de temperatura afectan a la viscosidad del lubricante generando así mismo cambios en ésta, lo que implica que a altas temperaturas la viscosidad decrece y a bajas temperaturas aumenta. Arbitrariamente se tomaron diferentes tipos de aceite y se midió su viscosidad a 40°C y 100°C. Al aceite que sufrió menos cambios en la misma se le asignó el valor 100 de índice de viscosidad y al que varió en mayor proporción se le asignó valor 0 de índice de viscosidad. Luego con el avance en el diseño de los aditivos mejoradores del índice de viscosidad se logró formular lubricantes con índices mayores a 100.

Figura 2. Proceso del fundamento de viscosidad.



Fuente: Diseño de máquinas Norton.

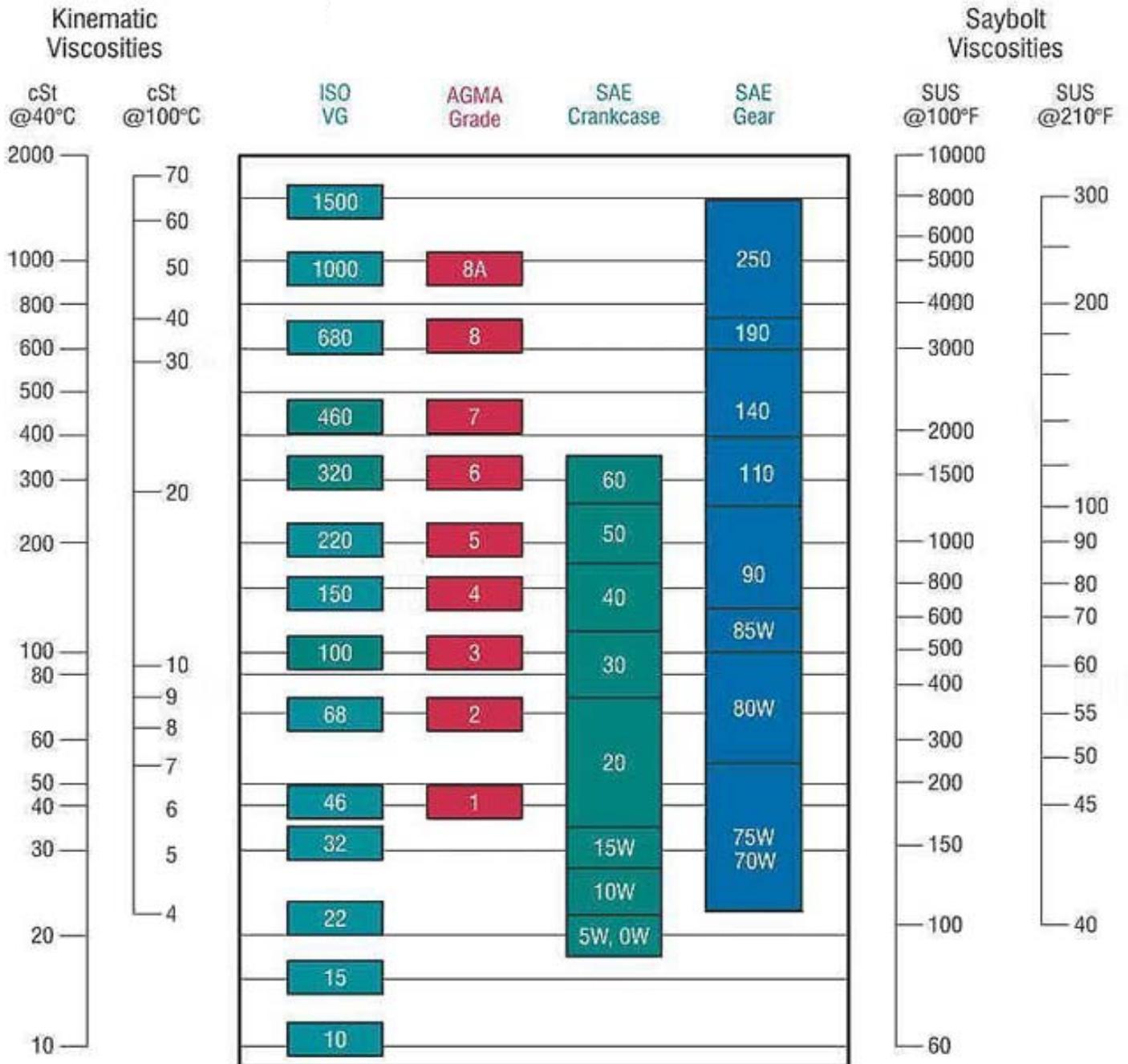
Figura 3. Escala SAE.

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

Fuente: Widman International (2002)

Figura 4. Tabla comparativa de viscosidad.

Tabla Comparativa de Viscosidades



Fuente: Widman International (2002).

1.3 Tipos de aceites lubricantes

1.3.1 Aceites lubricantes

Están constituidos por moléculas largas hidrocarbonadas complejas, de composición química y aceites orgánicos y aceites minerales.

- **Aceites orgánicos:** Se extraen de animales y vegetales. Cuando aún no se conocía el petróleo, eran los únicos utilizados; hoy en día se emplean mezclados con los aceites minerales impartibles ciertas propiedades tales como adherencia y pegajosidad a las superficies.
Estos aceites se descomponen fácilmente con el calor y a temperaturas bajas se oxidan formando gomas, haciendo inútil su utilización en la lubricación.
- **Aceites minerales:** Son derivados del petróleo cuya estructura se compone de moléculas complejas que contienen entre 20 y 70 átomos de carbono por molécula. Un aceite mineral está constituido por una base lubricante y un paquete de aditivos químicos, que ayudan a mejorar las propiedades ya existentes en la base lubricante o le confieren nuevas características.
- **Aceites sintéticos:** Los lubricantes sintéticos tienen por objeto cumplir las funciones de un lubricante convencional, pero mejores prestaciones, incluso podríamos considerarlos lubricantes biónicos. Aunque su producción es un poco más costosa, estos "súper lubricantes" pueden ahorrarnos dinero a largo plazo.

Entre las muchas ventajas que ofrecen los lubricantes sintéticos se encuentra su capacidad para permanecer estables a temperaturas elevadas (en las que los aceites convencionales pueden fallar) y permanecer fluidos a bajas temperaturas (en las que los aceites convencionales se vuelven más densos).

De esta forma se obtiene una lubricación óptima a temperaturas extremas, se reduce el uso y desgaste y se mantiene un motor más limpio y eficaz. A veces los aceites sintéticos se mezclan con aceites convencionales para obtener un producto intermedio económico denominado "mezcla".

Otra forma para mejorar el desempeño de los lubricantes es el de mezclarlos con aditivos. Los aditivos están presentes en un promedio del 15% al 25% en el aceite, su función es mejorar alguna característica según se desee para la aplicación del aceite. Entre otros aditivos podemos encontrar los siguientes:

- Aditivos que mejoran el índice de viscosidad: Su función es permitir al aceite que se mantenga lo suficientemente fluido en frío para facilitar el arranque bajando el punto de congelación entre 15 y -45º C. También que tenga viscosidad en caliente y así poder evitar el contacto con las piezas en movimiento.

Estos aditivos están compuestos por polímeros que permiten mantener la viscosidad en caliente. Los componentes más utilizados provienen de las siguientes familias químicas:

- ✓ Polimetacrilato (PMA)
 - ✓ Copolímeros de hidrocarburos etilénicos (OCP)
 - ✓ Copolímeros mixtos PMA- OCB
 - ✓ Derivados de isopreno, de isopreno - estireno hidrogenado
 - ✓ Derivados de estireno- butadieno hidrogenado.
-
- Aditivos anti-desgaste: Estos refuerzan la acción anti-desgaste que ejerce un lubricante con relación a los elementos que lubrica. Estos aditivos forman una capa protectora, actuando directamente o por medio de sus productos de reacción con las superficies metálicas. La gran familia de los aditivos antidesgaste está formada por los alquilo-ditiofosfatos de zinc y de numerosos derivados fosforados.

 - Aditivos detergentes: Evitan la formación de depósitos o barnices sobre las partes más calientes del motor, como las gargantas del pistón. Ejercen la acción de detergente, principalmente en el interior de los motores donde impiden que los residuos carbonosos de la combustión, o componentes oxidados, formen depósitos o capas sobre las superficies metálicas. Sal "metálicos" de calcio o de magnesio pertenecientes a las siguientes familias principales: Alquilaril - sulfanato, alquilfenato, alquilosalicilato.

- Aditivos de basicidad: Su función es neutralizar los residuos ácidos de la combustión de los carburantes, principalmente en el motor diesel. El aditivo presente en el lubricante neutraliza los residuos ácidos a medida que estos se van formando. El poder de estos aditivos generalmente es aportado por aditivos detergentes específicos. Los fenoles, los sulfanatos y los salicilatos son naturalmente básicos y neutralizantes. Sin embargo es posible reforzar su característica neutralizadora añadiéndoles sales básicas (carbonatos o hidróxidos) en el momento de su fabricación.
- Aditivos dispersantes: Mantienen en suspensión todas las impurezas sólidas formadas durante el funcionamiento del motor: materiales que no han entrado en combustión, barnices, cenizas, hollín diesel, depósitos limpiados por detergentes. Generalmente están formados por compuestos polares de la familia de los alquenilsuccinioamidas, de los ésteres succínicos o de sus derivados, de las bases Mannich.
- Aditivos anticorrosivos: Impiden el ataque a los metales ferrosos, debido a la acción conjugada del agua, del oxígeno del aire y de ciertos óxidos formados durante la combustión. Actúan de tal manera que forman una capa protectora de la superficie de metal. Estos aditivos están formados principalmente por sulfonatos alcalinos o alcalino-terrosos, neutros o básicos (sales de Na, Mg, Ca), de ácidos o de aminas grasas, de ácidos alquenilsuccínicos y sus derivados.
- Aditivos anticongelantes: Permiten al lubricante mantener una buena fluidez a baja temperatura (de - 15°C a - 45°C). Actúan sobre las velocidades y los procesos de cristalización de las parafinas en los aceites minerales.

- Aditivos de extrema presión: Su objetivo es reducir el rozamiento y en consecuencia, economizar energía. Proteger las superficies de las fuertes cargas. Aportan al lubricante propiedades de deslizamiento específicas, principalmente a los órganos dotados de engranajes o de forros de fricción que trabajan bañados en el aceite (puentes auto-blocantes, cajas de cambios, manuales o automáticas, frenos sumergidos, etc.).

1.3.2 Grasas lubricantes

Las grasas son dispersiones de aceite en jabón. Se emplean para lubricar zonas imposibles de engrasar con aceite, bien por falta de condiciones para su retención, o porque la atmósfera de polvo y suciedad en que se encuentra la máquina aconseja la utilización de un lubricante pastoso. Según el jabón que las forma, las grasas pueden ser cálcicas, sódicas, al aluminio, al litio, al bario, entre otros. Sus características y aplicaciones son las siguientes:

- Grasas cálcicas (Ca): Las grasas cálcicas tienen una estructura suave, de tipo mantecoso, y una buena estabilidad mecánica. No se disuelven en agua y son normalmente estables con 1-3% de agua. En otras condiciones el jabón se separa del aceite de manera que la grasa pierde su consistencia normal y pasa de semilíquida a líquida.

Por eso no debe utilizarse en mecanismos cuya temperatura sea mayor a 60°C. Las grasas cálcicas con aditivos de jabón de plomo se recomiendan en instalaciones expuestas al agua a temperaturas de hasta 60°C. Algunas grasas de jabón calcio-plomo también ofrecen buena protección contra el agua salada, y por ello se utilizan en ambientes marinos. No obstante, existen otras grasas cálcicas estabilizadas por otros medios distintos del agua; éstas se pueden emplear a temperaturas de hasta 120°C; por ejemplo, grasas cálcicas compuestas.

- Grasas sódicas (Na): Las grasas sódicas se pueden emplear en una mayor gama de temperaturas que las cálcicas. Tienen buenas propiedades de adherencia y obturación. Las grasas sódicas proporcionan buena protección contra la oxidación, ya que absorben el agua, aunque su poder lubricante decrece considerablemente por ello. En la actualidad se utilizan grasas sintéticas para alta temperatura del tipo sodio, capaces de soportar temperaturas de hasta 120°C.
- Grasas líticas (Li): Las grasas líticas tienen normalmente una estructura parecida a las cálcicas; suaves y mantecosas. Tienen también las propiedades positivas de las cálcicas y sódicas, pero no las negativas. Su capacidad de adherencia a las superficies metálicas es buena. Su estabilidad a alta temperatura es excelente, y la mayoría de las grasas líticas se pueden utilizar en una gama de temperaturas más amplia que las sódicas. Las grasas líticas son muy poco solubles en agua; las que contienen adición de jabón de plomo, lubrican relativamente, aunque estén mezcladas con mucho agua.
- Grasas sintéticas: En este grupo se incluyen las grasas basadas en aceites sintéticos, tales como aceites ésteres y siliconas, que no se oxidan tan rápidamente como los aceites minerales. Las grasas sintéticas tienen por ello un mayor campo de aplicación. Se emplean distintos espesantes, tales como jabón de litio, bentonita y PTFE (teflón).

La mayoría de las calidades están de acuerdo a determinadas normas de pruebas militares, normalmente las normas American MIL para aplicaciones y equipos avanzados, tales como dispositivos de control e instrumentación en aeronaves, robots y satélites. A menudo, estas grasas sintéticas tienen poca resistencia al rozamiento a bajas temperaturas, en ciertos casos por bajo de -70° C.

- Grasas para bajas temperaturas (LT): Tiene una composición tal que ofrecen poca resistencia, especialmente en el arranque, incluso a temperaturas tan bajas como -50°C . la viscosidad de estas grasas es pequeña, de unos $15\text{mm}^2/\text{s}$ a 40°C . su consistencia puede variar de NLGI 0 a NLGI 2; estas consistencias precisan unas obturaciones efectivas para evitar la salida de grasa.
- Grasas para temperaturas medias (MT): Las llamadas grasas "multiuso" están en este grupo. Se recomiendan para equipos con temperaturas de -30 a $+110^{\circ}\text{C}$; por esto, se puede utilizar en la gran mayoría de los casos. La viscosidad del aceite base debe estar entre 75 y $220\text{mm}^2/\text{s}$ a 40°C . la consistencia es normalmente 2 ó 3 según la escala NLGI.
- Grasas para altas temperaturas (HT): Estas grasas permiten temperaturas de hasta $+150^{\circ}\text{C}$. Contienen aditivos que mejoran la estabilidad a la oxidación. La viscosidad del aceite base es normalmente de unos $110\text{mm}^2/\text{s}$ a 40°C , no debiéndose exceder mucho ese valor, ya que la grasas se puede volver relativamente rígida a temperatura de ambiente y provocar aumento del par de rozamiento. Su consistencia es NLGI 3.

- Grasas extrema presión (EP): Normalmente una grasa EP contiene compuestos de azufre, cloro ó fósforo y en algunos casos ciertos jabones de plomo. Con ello se obtiene una mayor resistencia de película, es decir, aumenta la capacidad de carga de la película lubricante. Tales aditivos son necesarios en las grasas para velocidades muy lentas y para elementos medianos y grandes sometidos a grandes tensiones.

Funcionan de tal manera que cuando se alcanzan temperaturas suficientemente altas en el exterior de las superficies metálicas, se produce una reacción química en esos puntos que evita la soldadura. La viscosidad del aceite base es de unos $175\text{mm}^2/\text{s}$ (máx. $200\text{mm}^2/\text{s}$) a 40°C . la consistencia suele corresponder a NLGI 2. En general, las grasas EP no se deben emplear a temperaturas menores de -30°C y mayores de $+110^\circ\text{C}$.

- Grasas anti engrane (EM):_Las grasas con designación EM contienen bisulfuro de molibdeno (MoS_2), y proporcionan una película más resistente que los aditivos EP. Son conocidas como las "anti engrane". También se emplean otros lubricantes sólidos, tales como el grafito.

Las grasas pueden ser clasificadas con diferentes normas, una de ellas es el número NLGI. Este número clasifica a las grasas en orden de su dureza y va desde fluida hasta extremadamente sólida.

Figura 5: Clasificación NLGI.

NLGI	PENETRACION	ESTRUCTURA
000	445/475	Fluida
00	400/430	Casi fluida
0	355/385	Extremadamente blanda
1	318/340	Muy blanda
2	265/295	Blanda
3	220/250	Media
4	175/205	Sólida
5	130/160	Muy sólida
6	85/115	Extremadamente sólida

Fuente: Diseño de máquinas Fayles.

2. TIPOS DE ENSAYOS

2.1 Ensayos no destructivos

Se denomina ensayo no destructivo (también llamado END, o en inglés NDT de *nondestructive testing*) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos, tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

En general los ensayos no destructivos proveen datos menos exactos acerca del estado de la variable a medir que los ensayos destructivos. Sin embargo, suelen ser más baratos para el propietario de la pieza a examinar, ya que no implican la destrucción de la misma. En ocasiones los ensayos no destructivos buscan únicamente verificar la homogeneidad y continuidad del material analizado, por lo que se complementan con los datos provenientes de los ensayos destructivos.

La amplia aplicación de los métodos de ensayos no destructivos en materiales se encuentra resumida en los tres grupos siguientes:

- Defectología: permite la detección de discontinuidades; evaluación de la corrosión y deterioro por agentes ambientales; determinación de tensiones; detección de fugas.

- Caracterización: evaluación de las características químicas, estructurales, mecánicas y tecnológicas de los materiales; propiedades físicas (elásticas, eléctricas y electromagnéticas); transferencias de calor y trazado de isotermas.
- Metrología: control de espesores; medidas de espesores por un solo lado; medidas de espesores de recubrimiento; niveles de llenado.

Los ensayos que se realizaran en el Laboratorio pertenecen al grupo de Caracterización.

2.1.1 Medición de la tensión superficial

2.1.1.1 Tensión superficial

La superficie de cualquier líquido se comporta como si sobre ésta existe una membrana a tensión. A este fenómeno se le conoce como tensión superficial. La tensión superficial de un líquido está asociada a la cantidad de energía necesaria para aumentar su superficie por unidad de área.

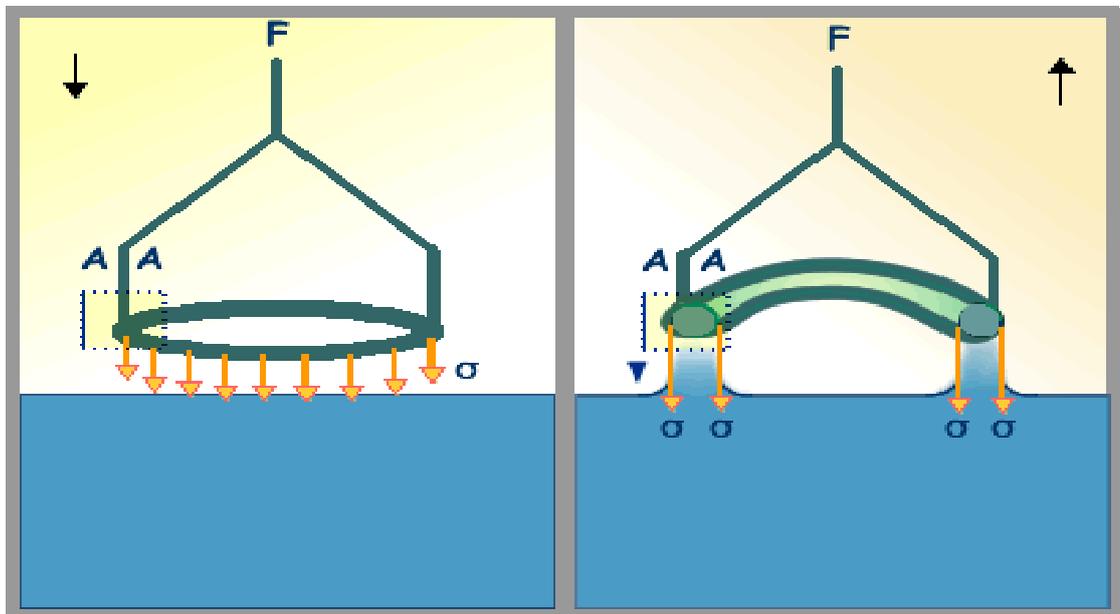
La tensión superficial es causada por los efectos de las fuerzas intermoleculares que existen en la interface. La tensión superficial depende de la naturaleza del líquido, del medio que le rodea y de la temperatura. Líquidos cuyas moléculas tengan fuerzas de atracción intermoleculares fuertes tendrán tensión superficial elevada.

En general, la tensión superficial disminuye con la temperatura, ya que las fuerzas de cohesión disminuyen al aumentar la agitación térmica. La influencia del medio exterior se debe a que las moléculas del medio ejercen acciones atractivas sobre las moléculas situadas en la superficie del líquido, contrarrestando las acciones de las moléculas del líquido.

2.1.1.2 Medición de la tensión superficial

Existen varios métodos para medir la tensión superficial de un líquido. Uno de ellos consiste en utilizar un anillo de platino que se coloca sobre la superficie del agua. Se mide la fuerza que se requiere para separar el anillo de la superficie del agua con una balanza de alta precisión.

Figura 6. Medición de la tensión superficial.



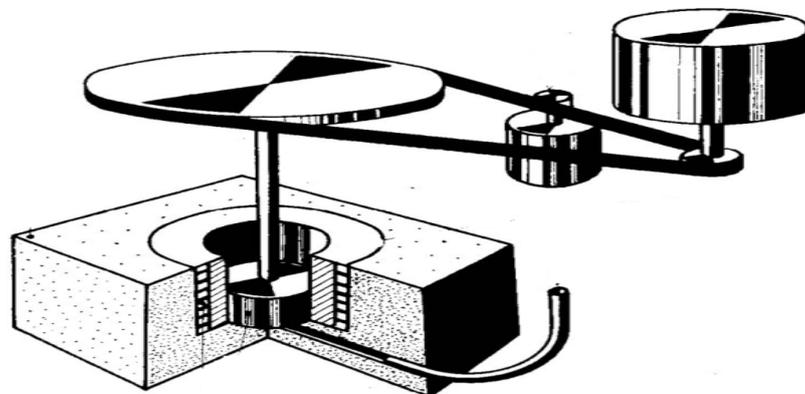
Fuente: Diseño de máquinas Fayles.

2.1.2 Simulación del pistón congelado

Cuando un motor convencional es utilizado bajo las condiciones climáticas de Europa o el Norte de Estados Unidos, la viscosidad del aceite lubricante debe responder a una temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ para permitir un encendido adecuado al motor. Un viscosímetro especial que consta de un cilindro rotativo especial, conocido como el Simulador de Pistón Congelado es utilizado con ese mismo propósito. Este dispositivo cuenta con un cilindro rotativo que gira dentro de un recipiente, al momento que el cilindro se mueve, se introduce un líquido que enfría al equipo a la temperatura deseada. Para determinar que comportamiento demuestra el aceite en estudio, se colocan dos termocoplas entre los dos cilindros.

El cilindro interno gira a una velocidad constante dentro de la muestra del lubricante frío. La viscosidad de la muestra del aceite es probada con el fin de comparar la velocidad rotacional de la muestra en prueba, con la referencia del aceite en las mismas condiciones. Las mediciones indicarán si el motor arrancaría bajo las condiciones climáticas y cuáles serían sus límites en dichas condiciones.

Figura 7. Simulador de pistón congelado.



Fuente: <http://www.haditechnika.hu/Archivum/197401/P03%5C05.jpg>

2.1.3 Ensayo de penetración

Este ensayo se hace para determinar el grado de resistencia a la penetración (grado N.L.G.I.) que tienen las grasas, de forma similar a la que se mide la dureza de los materiales. La diferencia entre un grado de penetración o "dureza" de una grasa y otra, es muy importante a la hora de elegir una grasa para una determinada aplicación. Por ejemplo, una grasa muy dura no sería adecuada para la lubricación de un rodamiento que gire a elevadas velocidades, porque al ofrecer mayor resistencia, se calentaría demasiado, con los inconvenientes que esto aparece.

El aparato para realizar este ensayo consiste en un bastidor con una base donde está ubicada la muestra de grasa. Por encima de la muestra está el cono penetrador (de peso, forma y material normalizados), conectado a un reloj comparador que mide en décimas de mm. Una vez posicionada la muestra en la base, se deja por gravedad caer el cono sobre la superficie rasada de la muestra de la grasa, y el reloj medirá la profundidad que penetró el cono en la grasa. De esta manera, se determina la dureza o grado de penetración de las grasas. Dependiendo de la profundidad de penetración se clasifican las grasas en fluidas, blandas y semiduras, sólidas y duras. Un aspecto a tener en cuenta antes de hacer este ensayo, es trabajar la grasa para homogeneizar su masa y además darle una cierta temperatura, similar a la de trabajo.

Figura 8. Equipo para el ensayo de penetración.



Fuente: Wearcheck Ibérica (2005)

2.2 Ensayos destructivos

2.2.1 Punto de inflamación

El punto de inflamación de un lubricante es la temperatura a la cual el vapor del mismo se encendería. Para determinar el punto de inflamación el aceite es calentado a una temperatura y presión estandarizadas, las cuales son lo suficiente para producir suficiente vapor para iniciar una combustión al momento de mezclarse con el aire.

El punto de inflamación se determina según normas DIN, en crisol abierto. Es la temperatura a la cual se forma sobre la superficie del aceite la cantidad necesaria de vapor para que se inflame al contacto con una llama desnuda (ensayo según DIN 53661).

Su determinación es de importancia en los almacenajes, para clasificar el riesgo, y para su posibilidad de aplicación (aceites para compresores y cilindros). En todos los aceites lubricantes se halla el punto de inflamación por encima de los 100°C. No hay restricciones impuestas por los servicios de extinción de incendios. En los combustibles para motores, el punto de inflamación es más bajo, motivo por el cual existen prescripciones de seguridad dictadas por la autoridad competente. Punto de inflamación inferior a 21°C, riesgo I, de 21 a 55°C, riesgo II; entre 55 y 100°C riesgo III.

Figura 9. Equipo para el ensayo de punto de inflamación.



Fuente: Wearcheck Ibérica (2005)

2.2.2 Punto de combustión

Después de determinar el punto de inflamación, el calentamiento al que es sometido el lubricante se puede prolongar. Dicho proceso hace que el lubricante expulse gases inflamables, al momento que estos gases hacen ignición y mantienen una llama constante se ha encontrado el punto de combustión. En otras palabras, el punto de combustión es aquella temperatura a la cual los gases de un lubricante crean una llama constante.

Con este tipo de ensayo podemos determinar los parámetros de un lubricante en particular, es decir que, sabremos las condiciones a las que puede trabajar el lubricante sin antes perder sus propiedades.

2.2.3 Punto de gota

Cuando se utiliza una grasa para lubricar, ésta debe de mantener la propiedad de pastosidad, si por alguna razón la grasa pierde dicha propiedad ya no sirve. Por este motivo el punto de gota es de suma importancia porque permite conocer la temperatura máxima de empleo de una grasa.

El aparato para realizar este ensayo consta de un envase cilíndrico de vidrio *pyrex* que contiene un aceite siliconado. En el envase se sumerge un tubo de vidrio especial, similar a un tubo de ensayo, dentro del cual se coloca un dispositivo que contiene una pequeña muestra de grasa y tiene un pequeño orificio en la parte inferior. En contacto con la muestra se coloca un termómetro para medir la temperatura de la grasa, y otro en el baño de aceite para determinar la temperatura de éste.

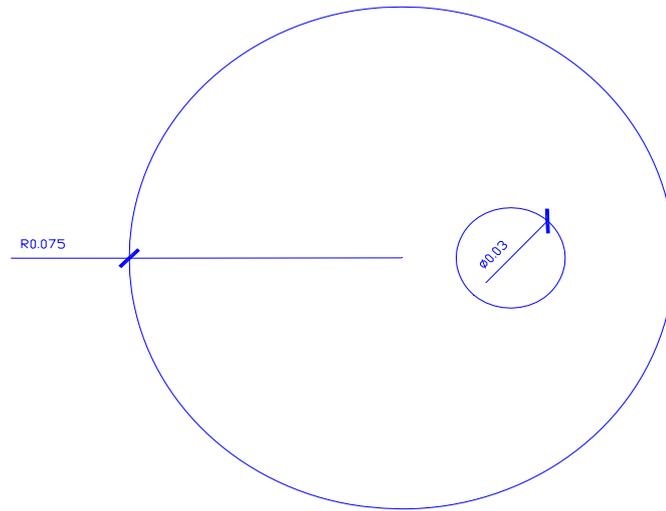
Una resistencia eléctrica calienta el aceite siliconado hasta que del dispositivo que contiene la grasa cae la primer gota de aceite que se separa de la grasa por efecto de la temperatura. En ese momento se registra la temperatura de la grasa con el termómetro y esta se denomina temperatura del punto de goteo, propiedad particular de cada grasa. Este punto es la temperatura máxima a la que puede operar una grasa antes de que el aceite se separe del jabón.

Figura 10. Equipo para el ensayo de punto de gota.

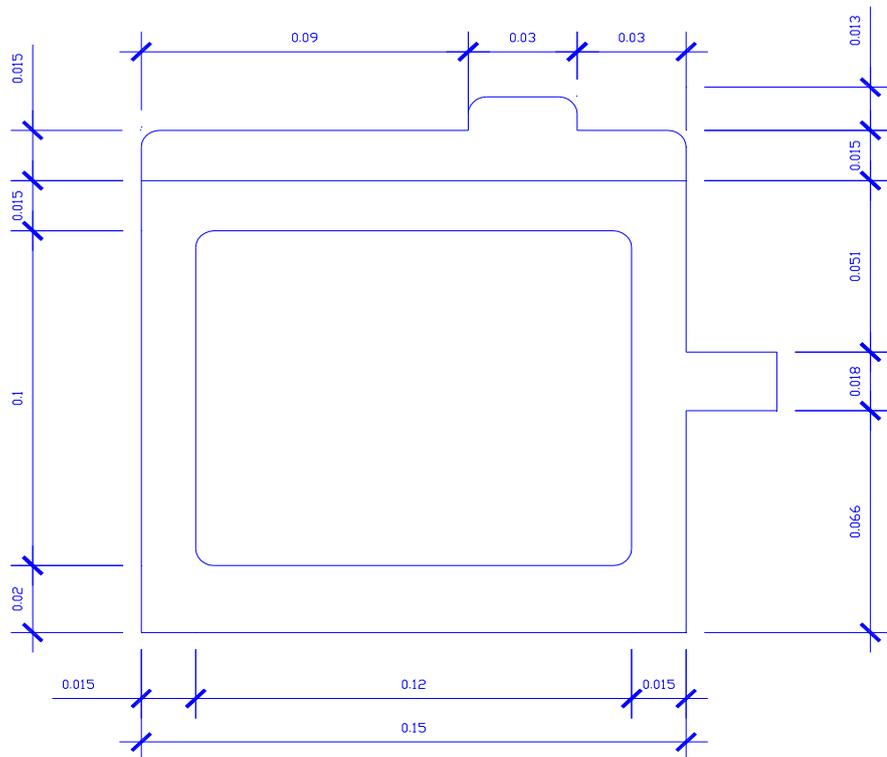


Fuente: Wearcheck Ibérica (2005)

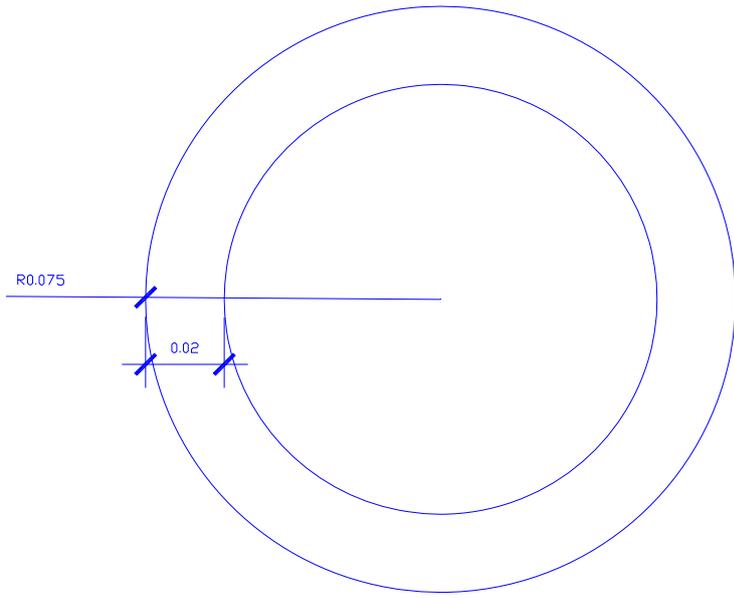
2.3 Planos para el Diseño de los Equipos de Laboratorios



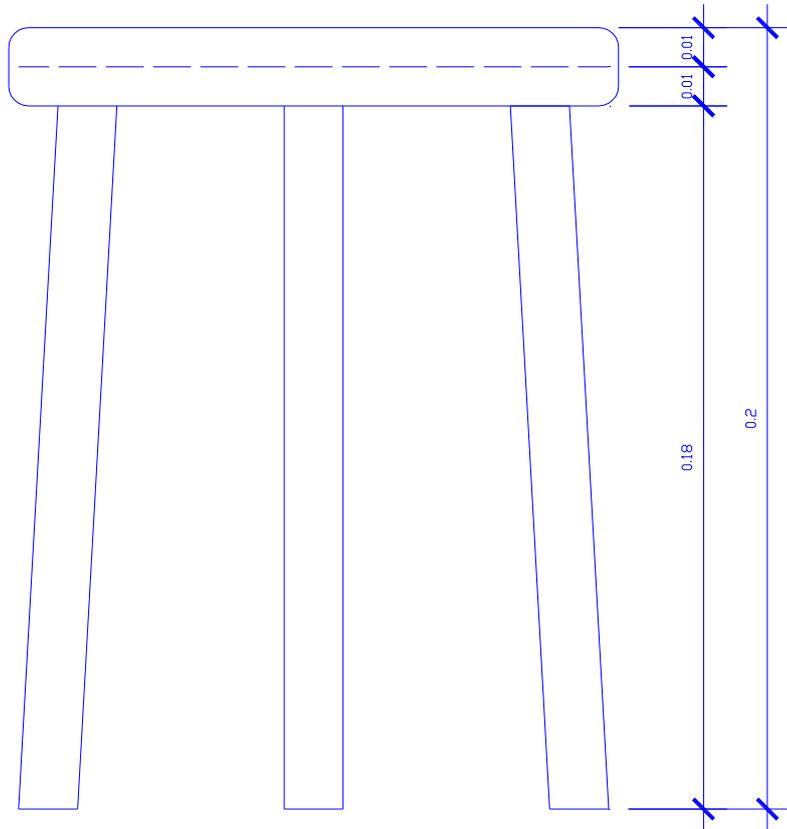
PLANTA ESC. 1:2



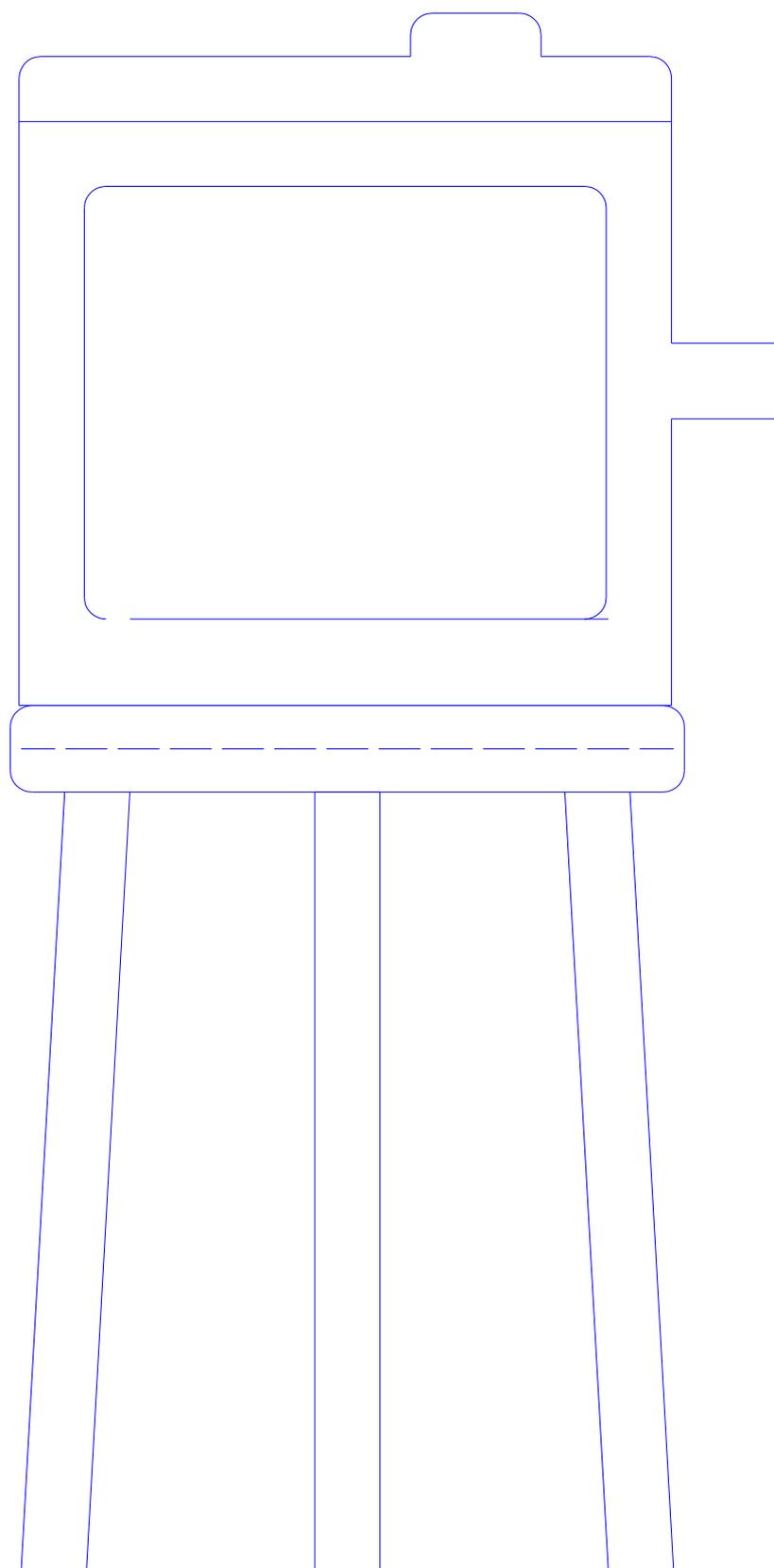
ELEVACION ESC. 1:2

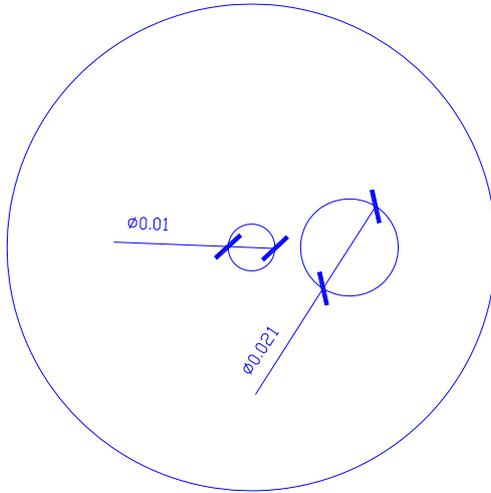


PLANTA ESC. 1:2

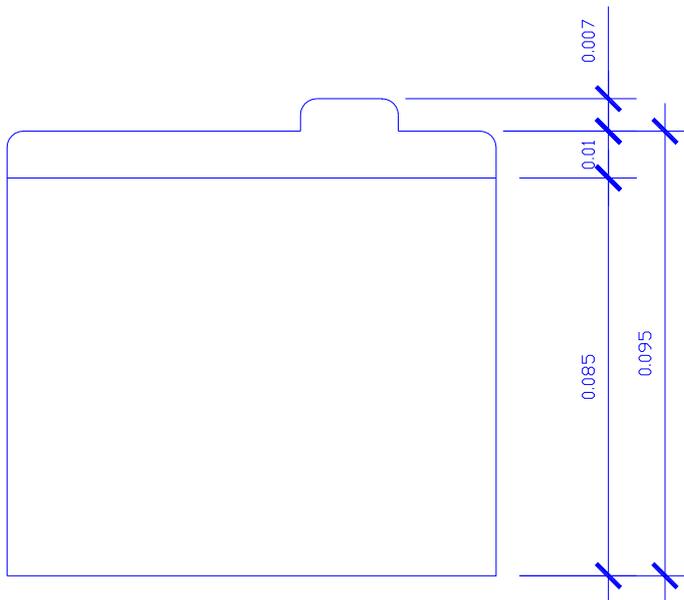


ELEVACION ESC. 1:2

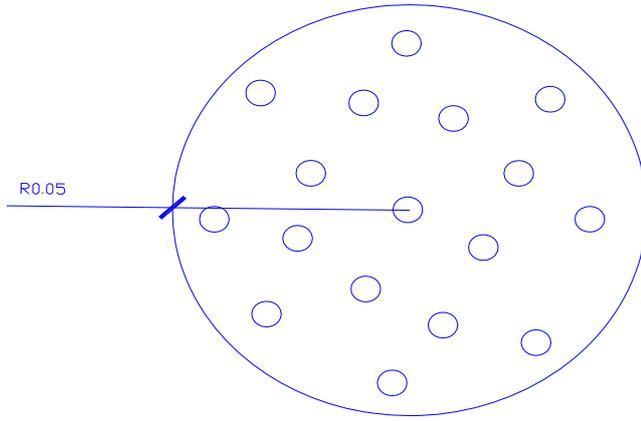




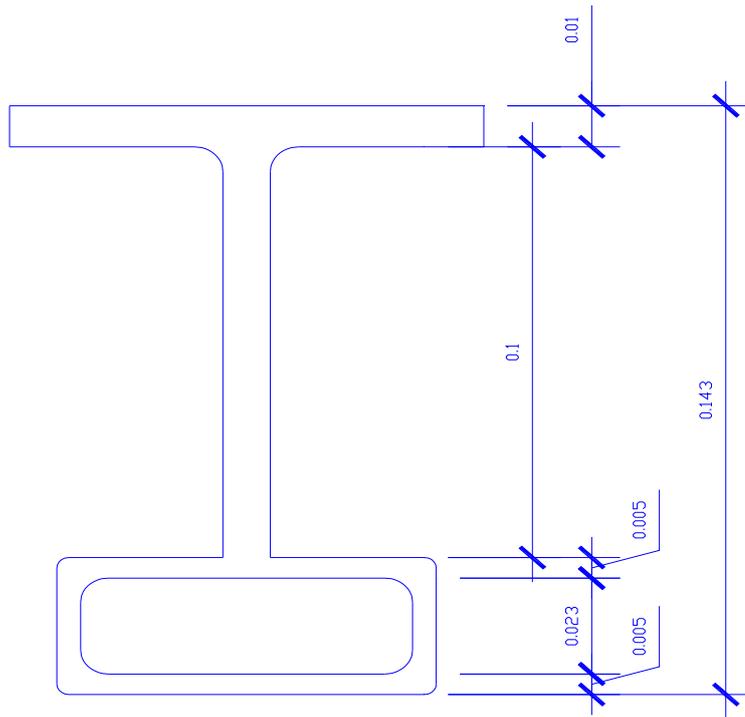
PLANTA ESC. 1:2



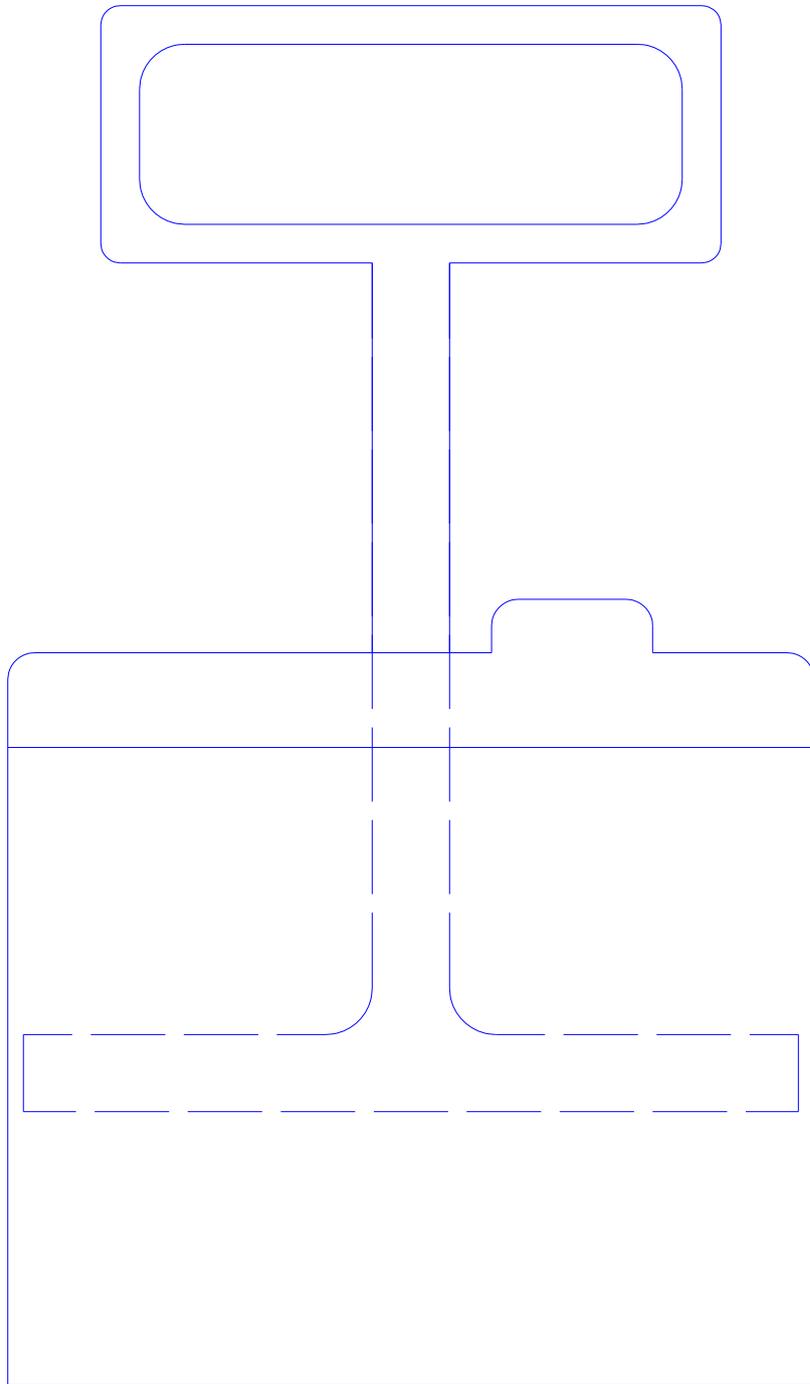
ELEVACION ESC. 1:2



PLANTA ESC. 1:2



ELEVACION ESC. 1:2

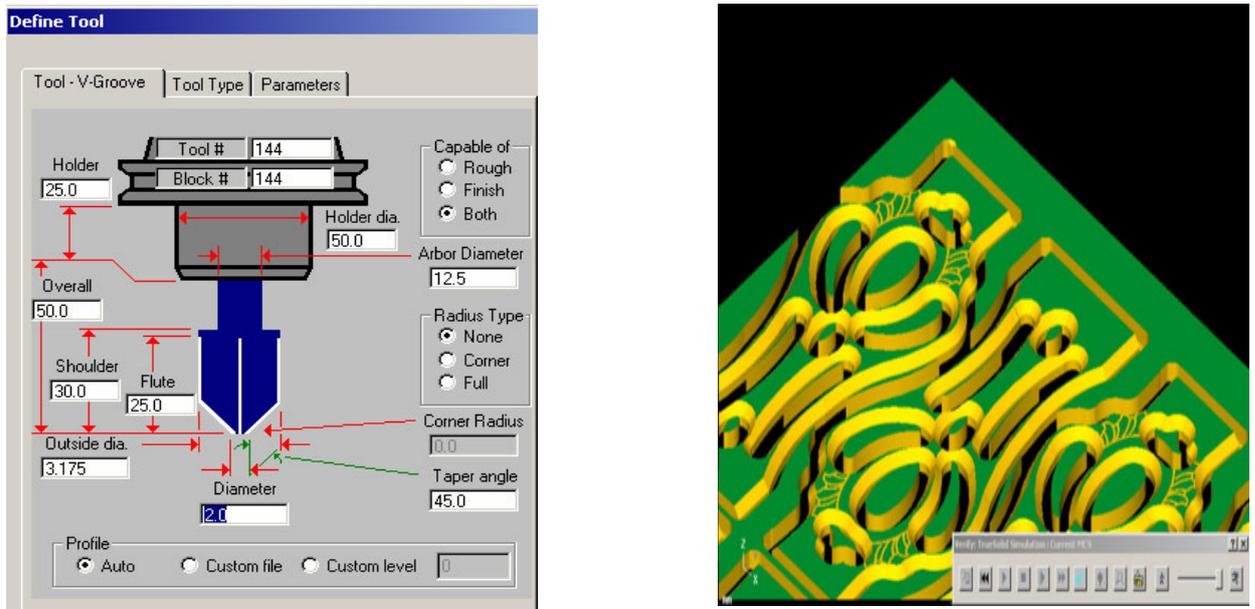


2.3.1 Mastercam

Mastercam es el mejor programa CAD/CAM en el mercado ya que nos permite la creación de líneas, círculos, arcos hasta la generación de superficies en tres dimensiones, para posteriormente agregar sus operaciones de corte, como barrenos, corte de contornos, grabados, etc. Además de definir variantes como el tipo de herramientas a utilizar, la velocidad de giro y avance del router, generación de códigos, entre otras cosas más. Con sus traductores de lectura y escritura, tú puedes diseñar desde AutoCad y generar en MasterCam tus operaciones de corte. Teniendo todo lo anterior se transfiere en segundos el programa al Router CNC THERMWOOD, para el maquinado de cualquier artículo.

MasterCam Router está diseñado específicamente para Routers de CNC por lo que las herramientas de este software son las requeridas para satisfacer tus necesidades.

Figura 11. Funcionamiento de Mastercam.



Fuente: Mastercam.com

3. METODOLOGÍA PARA LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

3.1 Práctica núm.1: Determinación de la viscosidad de los lubricantes

Fundamentos teóricos:

Normas DIN 53655 y 51550. La viscosidad es la característica más usada para la distinción de los aceites. En las normas DIN se expresa la viscosidad en grados Engler (°E), indicándose al mismo tiempo la temperatura. Las temperaturas más usuales para los datos de viscosidad son: aceite de usos 20 °C; aceite de máquinas 55 °C; aceite de cilindros 100 °C. La viscosidad aumenta al disminuir la temperatura y recíprocamente. El concepto de viscosidad está vinculado a la propiedad que poseen los fluidos de fluir con mayor o menor facilidad. En general podría decirse que el aumento de viscosidad de un fluido determina la menor rapidez con que fluye, y viceversa. Es aquella propiedad en virtud de la cual el lubricante opone una resistencia, al deslizamiento mutuo (estacionario, es decir, no acelerado) de dos capas contiguas (resistencia que es función del gradiente de velocidad). La representación gráfica de la viscosidad (y de la viscosidad estructural), referida a la temperatura, presión, proporciones de mezcla y gradiente de velocidad, a partir de dos o tres valores experimentales, da en el visco grama de líneas rectas.

Viscosímetro Saybolt: Es una adaptación del tubo capilar a fines industriales. Se utiliza un corto tubo capilar, midiendo el tiempo que tardan en fluir 60 cm³ de fluido a través del tubo bajo una cierta altura. El tiempo en segundos es la lectura Saybolt. Este dispositivo mide la viscosidad cinemática. La relación que aproximadamente liga a la viscosidad con los segundos Saybolt es:

$$V = 0.0022 \times t - 1.80/t$$

En la cual v esta en Stokes y t en segundos

Instrumentos a utilizar:

- Viscosímetro Saybolt.
- Recipiente de 60 ml
- Cronómetro

Procedimiento:

1. Se coloca el aceite en estudio en el viscosímetro Saybolt.
2. Se conecta a la red eléctrica el viscosímetro y tomamos con el cronómetro el tiempo en que el recipiente de 60 ml se llena de aceite.
3. Éste es el tiempo en segundos que vamos a utilizar para nuestros cálculos.
4. Repetimos para cada aceite en estudio.

Tipo de Lubricante	Viscosidad

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: Investigar algún tipo de ecuación que se ajuste a esta práctica y comparar resultados con los obtenidos en el ensayo.

Conclusiones:

3.2 Práctica núm. 2: Determinación del Punto de Inflamación y Punto de Combustión del Aceite.

Fundamentos teóricos:

Punto de Inflamación: Es la temperatura mínima, a la cual la evaporación el lubricante origina una mezcla inflamable de vapores y aire. La niebla de un aceite es inflamable, incluso por debajo del punto de inflamación. El punto de inflamación se determina según normas DIN, en crisol abierto. Es la temperatura a la cual se forma sobre la superficie del aceite la cantidad necesaria de vapor para que se inflame al contacto con una llama desnuda (ensayo según DIN 53661).

Su determinación es de importancia en los almacenajes, para clasificar el riesgo, y para su posibilidad de aplicación (aceites para compresores y cilindros). En todos los aceites lubricantes se halla el punto de inflamación por encima de los 100°C. No hay restricciones impuestas por los servicios de extinción de incendios. En los combustibles para motores, el punto de inflamación es más bajo, motivo por el cual existen prescripciones de seguridad dictadas por la autoridad competente. Punto de inflamación inferior a 21°C, riesgo I, de 21 a 55°C, riesgo II; entre 55 y 100°C riesgo III.

Punto de combustión: Es la temperatura mínima a la cual, una mezcla de aire y vapores del aceite, arde 5 segundos consecutivos, por lo menos. Su diferencia con respecto al punto de inflamación, permite formar juicio sobre la presencia de componentes volátiles.

Instrumentos a utilizar:

- Recipiente para contener al aceite
- Mechero
- Aceite en estudio
- Trípode para mantener el recipiente sobre el mechero
- Fuente de calor externa que se manifieste en forma de llama
- Termómetro

Procedimiento:

1. Se colocan 100 cm³ de aceite en estudio en el recipiente y se le coloca sobre el trípode que a su vez está colocado encima del mechero.
2. Se enciende el mechero y esperamos a que se caliente un poco el aceite.
3. Después acercamos la llama cerca de la superficie libre del aceite y observamos cuando los vapores despedidos de éste, por la elevación de la temperatura, se empiezan a encender, en este momento tomamos la temperatura del aceite con un termómetro.
4. Apagamos el mechero y apagamos la llama sobre la superficie.

Tipo de lubricante	Punto de inflamación	Punto de combustión

5. Repetimos para cada aceite en estudio.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: Investigar algún tipo de ecuación que se ajuste a esta práctica y comparar resultados con los obtenidos en el ensayo.

Conclusiones:

3.3 Práctica núm.3: Determinación de la penetración y el punto de gota.

Fundamentos teóricos:

Penetración: Se mide por la escala NLGI (National Lubricating Grease Institute), que va desde el 000 (muy blanda) al 6 (muy dura). Estos grados se definen por un margen de valores de penetración, medidos en las condiciones descritas por un ensayo ASTM. Lógicamente, a mayores valores de penetración, menor consistencia de la grasa.

Cuando se mide la penetración en una muestra de grasa a la que se ha sometido a cierto trabajo mecánico el valor obtenido se conoce como penetración trabajada (W). Normalmente, dicho trabajo consiste en 60 golpes en equipo normalizado (60W.)

Punto de gota: Es la temperatura a la cual la grasa presenta un cambio, de semi-sólida a líquida bajo condiciones ya conocidas. El punto de gota es la máxima temperatura a la que puede trabajar cualquier grasa.

Materiales a utilizar:

- Cono de penetración
- Recipiente para contener aceite
- Trabajador de grasa
- Mechero y trípode
- Grasa lubricante
- Termómetro
- Cronómetro
- Aceitelubricante (para calentar)

Procedimiento del ensayo de penetración:

1. Se colocan 100cm³ de la grasa a estudiar en un recipiente, luego el recipiente se coloca en la base del Cono de Penetración. El cono se coloca en la superficie de la grasa y se deja estar un periodo de 5 segundos. Tomar la medición del cono.
2. La misma muestra se coloca en el trabajador de grasa. Se deben de realizar 60 corridas dobles del pistón según la norma ASTM.
3. Luego de realizar este trabajo se repite el paso 1.

Procedimiento del ensayo de punto de gota:

1. Se colocan 50cm³ de la grasa a estudiar en el tubo de ensayo. Este a su vez se coloca en un recipiente para después ser calentado. Se enciende el mechero para calentar el aceite dentro del recipiente.
2. Se coloca el termómetro dentro del baño de aceite para realizar la medición.
3. Cuando la grasa empiece a gotear dentro del tubo de ensayo se toma la lectura del termómetro.

Grasa lubricante	Medición antes	Medición después

Conclusiones:

Grasa lubricante	Medición de temperatura

Conclusiones:

3.4 Práctica núm.4: Clasificación SAE

Fundamentos teóricos:

Clasificación SAE: La clasificación SAE (Society of Automotive Engineers) es la más utilizada a nivel mundial, la misma se refiere a la clasificación de viscosidad de los aceites lubricantes. La SAE propone dos tipos de clasificación, los aceites monogrado y los multigrado. La diferencia es que los monogrado aseguran su grado de viscosidad a una temperatura, mientras que, los multigrado lo aseguran en un rango mas amplio de temperaturas. Una forma muy sencilla de identificar este tipo de clasificación es:

- Monogrado = SAE 40
- Multigrado = SAE 10 **W** 50

La W representa invierno (Winter) en inglés.

Materiales a utilizar en la Práctica:

- Viscosímetro.
- 1 Aceite lubricante monogrado.
- 1 Aceite lubricante multigrado.
- Cronómetro.

Procedimiento:

1. Determinar la viscosidad del aceite lubricante monogrado en un rango de 0°C a 100°C. Tomar 5 lecturas como mínimo.
2. Determinar la viscosidad del aceite lubricante multigrado en un rango de 0°C a 100°C. Tomar 5 lecturas como mínimo.
3. Elaborar una grafica con los datos recabados.

Monogrado	Multigrado	Temperatura °C	Viscosidad

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: Investigar si existe otro tipo de clasificación para la viscosidad de los aceites lubricantes y establecer la diferencia con la SAE.

Conclusiones:

CONCLUSIONES

1. A través de la investigación se puede decir que, la Metodología propuesta por la ASTM y la DIN es la más adecuada para realizar las Prácticas de Laboratorio en Lubricantes. Esto se debe a que sus procedimientos son claros y sencillos, de tal manera que los Ensayos se llevan a cabo sin ningún inconveniente.
2. El Software Master cam 12 es la mejor propuesta para el maquinado de las piezas de los Equipos del Laboratorio de Diseño de Máquinas 3, ya que, después de ser comparado con otros programas similares demuestra tener mejores herramientas para el diseño de piezas similares a las propuestas.
3. Los ensayos destructivos son una parte importante del Laboratorio de Diseño de Máquinas 3, ya que la información que se obtiene sobre las propiedades de los Lubricantes son bastante cercana a los de la Práctica en la Industria.

RECOMENDACIONES

1. Cada una de las Prácticas de Laboratorio se debe de llevar a cabo en un período de 15 días, con el fin de crear coherencia y que exista correspondencia con el curso impartido en el salón de clases.
2. Las Prácticas de Laboratorio se deben de realizar en un lugar seguro y despejado. Los estudiantes también deben tener protección adecuada, debido a que se trabajará con lubricantes a temperaturas altas, el cual puede ocasionar algún tipo de accidente.
3. Que la Escuela de Ingeniería Mecánica realice propuestas para complementar el Laboratorio de Diseño de Máquinas, a través de prácticas relacionadas con cojinetes y ejes.
4. Para enriquecer el aprendizaje sobre lubricantes, se sugiere visitar entidades especializadas tales como: *Gentrac de Guatemala* y el *Ministerio de Energía y Minas*, sección de carburos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Batchlor, Andrew W. y Stachowiak, W.
Engineering Tribology. Butterworth Heinemann, Estados Unidos. 2001
2. Franzinei, Joseph B. y Finnemore E. John
Mecánica de Fluidos con Aplicaciones en Ingeniería. McGraw Hill, España. 1999
3. Galo, Carmen María
Tecnología Didáctica. Editorial Piedra Santa, Guatemala. 2000
4. Hamrock B.J.
Fundamentals of Fluid Film Lubrication. McGraw Hill, Estados Unidos. 1994
5. Lambe, T. William y Whitman, Robert V.
Mecánica de Suelos. Noriega Editores. México. 1997
6. Martínez, Francisco
La Tribología: Ciencia y técnica para el mantenimiento. Editorial Limusa. Mexico. 2002
7. Parker S.P.
Fluid Mechanics Source Book. McGraw Hill, Estados Unidos. 1988

8. Schimid, Steven R. y Kalpakjian, Serope
Manufactura, Ingeniería y Tecnología. Pearson Education, Estados Unidos. 2002

Sitios de Internet

9. <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/histrib.pdf>
Artículo: Generalidades de la Tribología, Fundamentos de la Lubricación, Fricción y el Desgaste.
Sitio: Widman International S.R.L
Autor: Ing. Omar Linares O.
10. <http://www.construsur.com.ar/News-pdf-sid-85.html>
Artículo: ¿Qué es la Tribología?
Sitio: Construsur
11. http://www.wearcheckiberica.es/boletinMensual/PDFs/Nuevo_equipamiento_grasas.pdf
Artículo: Equipamiento para Análisis de Grasas
Sitio: Wearcheck Ibérica