



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE
LUBRICACIÓN**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA

ARTURO GARCÍA LEÓN

DIRECTOR DE TESIS

DR. JAVIER JIMÉNEZ GARCÍA

Nezahualcóyotl, Edo de Mex, 2016





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

| | Página |
|--|---------------|
| Introducción | 5 |
| I Tribología | 7 |
| I.1 Fricción | 9 |
| I.1.1 Tipos de fricción | 10 |
| I.1.2 Rozamiento estático | 13 |
| I.1.3 Rozamiento dinámico | 15 |
| I.2 Deformación | 18 |
| I.2.1 Deformación elástica | 21 |
| I.2.2 Deformación plástica | 21 |
| I.2.3 Diagrama esfuerzo-deformación | 22 |
| I.2.4 Modulo de Young | 25 |
| I.2.5 Criterios de falla | 26 |
| I.2.5.1 Criterios de Rankine | 28 |
| I.2.5.2 Criterios de Tresca | 31 |
| I.2.5.3 Criterio de Von Mises | 33 |
| I.2.5.4 Teoría de Griffith | 34 |
| I.2.6 Tensiones residuales | 35 |
| I.3 Análisis de superficies | 36 |
| I.3.1 Rugosidad | 38 |
| I.3.2 Área real de contacto | 40 |
| I.4 Desgaste | 41 |
| I.4.1 Desgaste por fatiga de contacto | 43 |
| I.4.2 Desgaste abrasivo entre dos y tres cuerpos | 44 |
| I.4.3 Desgaste por cavitación | 46 |
| I.4.4 Desgaste adhesivo | 47 |
| I.4.5 Desgaste erosivo | 48 |
| I.4.6 Desgaste por vibración (fretting). | 49 |

| | |
|---|-----------|
| I.4.7 Desgaste por deslizamiento | 51 |
| I.5 Lubricación | 52 |
| I.5.1 Aditivos lubricantes | 55 |
| I.5.2 Película lubricante | 58 |
| I.5.2.1 Película fluida | 58 |
| I.5.2.2 Película delgada | 61 |
| I.5.2.3 Película sólida | 61 |
| I.5.2.4 Tensión superficial | 62 |
| I.5.2.5 Lubricación hidrostática | 63 |
| I.5.2.6 Lubricación hidrodinámica | 65 |
| I.5.3 Viscosidad | 68 |
| I.5.3.1 Sistemas de clasificación de la viscosidad | 69 |
| I.5.3.2 Clasificación AGMA para aceites para engranaje | 70 |
| I.5.3.3 Clasificación SAE para aceites de motor | 71 |
| I.5.3.5 Clasificación SAE para lubricantes de transmisiones manuales y diferenciales | 72 |
| I.5.3.6 Clasificación API | 73 |
| I.5.3.7 Lubricación correctiva, preventiva, predictiva y gestión ambiental | 75 |
| I.5.3.8 Correlación entre análisis de aceite y condición de equipo | 77 |
| I.5.3.9 Almacén y manejo de lubricantes | 78 |
| I.5.4 Lubricante sólido | 80 |
| I.5.5 Lubricante líquidos | 82 |
| I.5.6 Lubricantes semi solidos | 83 |
| I.5.6.1 Clasificación de las grasas lubricantes | 84 |
| I.5.6.2 Distintos tipos de grasas y aditivos empleados | 86 |
| II. Proceso de diseño | 93 |
| II.1 Factores del diseño | 95 |

| | |
|--|------------|
| II.1.1 Consideraciones económicas | 96 |
| II.1.2 Selección de elementos comerciales | 97 |
| II.1.2.1 Manejo de tamaños estándares | 98 |
| II.1.2.2 Utilización de tolerancias | 99 |
| II.1.2.3 Puntos de equilibrio | 99 |
| II.1.2.4 Estimaciones de costo | 100 |
| II.2 Ingeniería de diseño | 100 |
| II.2.1 Identificación de la necesidad | 102 |
| II.2.2 Investigación preliminar | 103 |
| II.2.3 Definición del problema | 103 |
| II.2.4 Especificaciones de funcionamiento | 104 |
| II.2.5 Ideación e invención | 105 |
| II.2.6 Análisis | 107 |
| II.2.7 Diseño detallado | 107 |
| II.2.8 Prototipos y pruebas | 108 |
| II.3 Máquina didáctica de lubricación | 111 |
| II.3.1 Identificación de la necesidad | 111 |
| II.3.2 Investigación preliminar | 112 |
| II.3.3 Definición del problema | 112 |
| II.3.4 Especificaciones de funcionamiento | 112 |
| II.3.5 Ideación e invención | 114 |
| II.3.6 Análisis | 116 |
| II.3.6.1 Obtención de los materiales | 117 |
| II.3.6.2 Características funcionales | 119 |
| II.3.6.3 Selección | 121 |
| II.3.7 Diseño detallado | 163 |
| II.3.8 Prototipos y pruebas | 204 |
| Conclusiones | 219 |
| Bibliografía | 221 |

Introducción

El desgaste hoy en día tiene un papel fundamental en la sociedad. Todo objeto al desgastarse pierde valor. El desgaste toma mayor relevancia cuando se presenta en un objeto que tiene un costo monetario elevado ya que entre más se desgaste el objeto perderá más valor monetario. Este efecto se puede percibir con mayor claridad en construcciones, embarcaciones, automóviles, bicicletas, aviones, generadores, máquinas, etcétera.

Cada año en la ingeniería mecánica se hacen esfuerzos para poder desarrollar componentes que sean más resistentes al desgaste; el reto se presenta en llevar a cabo estas mejoras sin incrementar significativamente el costo del producto.

Cabe mencionar que la industria automotriz es uno de las principales sectores que realiza grandes inversiones buscando nuevos materiales, aleaciones y lubricantes que reduzcan el desgaste en todos los componentes en movimiento que conforman el vehículo, tratando de mantener el mismo costo del vehículo al nivel del modelo anterior.

El mejor ejemplo se observa en los motores de combustión interna que usa cada marca automotriz para propulsar sus vehículos. A mayor potencia y velocidad que se obtienen en el vehículo, el desgaste en el motor, transmisión, suspensión y ruedas es mayor, por mencionar solo algunos componentes.

Sin duda alguna, es de gran importancia que el estudiante de ingeniería mecánica pueda comprender cuales son los principales factores que influyen en el desgaste y como puede ser minimizado.

Al día de hoy existen un sin número de aceites lubricantes en el mercado que aseguran la mejor opción para evitar el desgaste en máquinas, pero no se cuenta con un instrumento fiable y económico que le permita al estudiante de ingeniería mecánica estudiar la veracidad de estos lubricantes para evitar el desgaste.

Por ello el eje rector de este proyecto de investigación, es el de desarrollar el prototipo de una máquina didáctica de lubricación, fundamentada en la investigación de campo, el análisis y cálculo matemático de sus componentes, así como la adecuada selección de materiales para usos mecánicos; todo ello bajo una plataforma técnica y económica específica, que permita determinar su factibilidad.

I. Tribología

La tribología se define como la ciencia y tecnología de la interacción entre superficies en movimiento relativo e involucra el estudio de la fricción, el desgaste y lubricación. Como ciencia se estudia la fricción y sus efectos asociados, como el desgaste, tratando de prevenirlos con mejores diseños y prácticas de lubricación. Considera, entre otros aspectos el diseño, los materiales de las superficies en contacto, el sistema de aplicación del lubricante, el medio circulante y las condiciones de operación.

Así, tribología es el arte de aplicar un análisis operacional a problemas de gran importancia económica, llámese, confiabilidad, mantenimiento y desgaste del equipo técnico, abarcando desde la tecnología aeroespacial hasta aplicaciones domésticas.

Es importante mencionar que el entendimiento de las interacciones superficiales en una interfaz requiere el conocimiento de varias disciplinas incluyendo la física, química, matemáticas aplicadas, mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, termodinámica, transferencia de calor, ciencia de materiales, lubricación, diseño de máquinas, desempeño y confiabilidad, entre otras.

En general la tribología se centra en el estudio de tres fenómenos fundamentales, fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de dicho fenómeno y la lubricación como un medio para evitar el desgaste.

Cabe destacar que la tribología es de gran utilidad para diagnosticar y prevenir averías en equipos industriales, es decir permite identificar casos de fallo, hallando la causa

raíz de la problemática a través del estudio de las superficies en contacto y del estado del lubricante, ya que una correcta lubricación puede alargar la vida del equipo.

Está involucrada prácticamente en todos los aspectos de la maquinaria, motores y componentes de la industria en general, Los componentes tribológicos más comunes son (Tribología, 2014).

- Frenos y embragues
- Sellos
- Anillos de pistones
- Engranajes

Cabe mencionar que las aplicaciones de los conocimientos de la tribología en estas prácticas deriva en: ahorro de materias primas, aumento en la vida útil de las herramientas y la maquinaria, ahorro en los recursos naturales, ahorro de energía, protección al medio ambiente y ahorro económico.

I.1 Fricción

La fricción se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción entre dos superficies en contacto a la fuerza que se opone al movimiento de una superficie sobre la otra (fuerza de fricción cinética) o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática). Generándose debido a las imperfecciones, mayormente microscópicas, entre las superficies en contacto.

Cabe mencionar que las fuerzas de fricción son importantes en la vida cotidiana, ya que nos permiten caminar y correr. Toda fuerza de fricción se opone a la dirección del movimiento relativo.

En el rozamiento entre dos cuerpos se ha observado los siguientes hechos:

- La fuerza de rozamiento tiene dirección paralela a la superficie de apoyo.
- El coeficiente de rozamiento depende exclusivamente de la naturaleza de los cuerpos en contacto, así como del estado en que se encuentren sus superficies.
- La fuerza máxima de rozamiento es directamente proporcional a la fuerza normal que actúa entre las superficies de contacto.
- Para un mismo par de cuerpos (superficies de contacto), el rozamiento es mayor un instante antes de que comience el movimiento que cuando ya ha comenzado.
- El rozamiento puede variar en una medida mucho menor debido a otros factores.
- El coeficiente de rozamiento es prácticamente independiente del área de las superficies de contacto.

- El coeficiente de rozamiento cinético es prácticamente independiente de la velocidad relativa entre los móviles.
- La fuerza de rozamiento puede aumentar ligeramente si los cuerpos llevan mucho tiempo sin moverse uno respecto del otro ya que pueden sufrir atascamiento entre sí.

Algunos autores sintetizan las leyes del comportamiento de la fricción en los siguientes dos postulados básicos:

- a) La resistencia al deslizamiento tangencial entre dos cuerpos es proporcional a la fuerza normal ejercida entre los mismos.
- b) La resistencia al deslizamiento tangencial entre dos cuerpos es independiente de las dimensiones de contacto entre ambos.

I.1.1 Tipos de fricción

Existen dos tipos de rozamiento o fricción, la fricción estática (F_e) y la fricción dinámica (F_d). El primero es la resistencia que se debe superar para poner en movimiento un cuerpo con respecto a otro que se encuentra en contacto. El segundo, es la resistencia, de magnitud considerada constante, que se opone al movimiento pero una vez que éste ya comenzó. En resumen, lo que diferencia a un roce con el otro, es que el estático actúa cuando los cuerpos están en reposo relativo en tanto que el dinámico lo hace cuando ya están en movimiento.

La fuerza de fricción estática, necesaria para vencer la fricción homóloga, es siempre menor o igual al coeficiente de rozamiento estático entre los dos objetos es denotado por la letra griega μ_e multiplicado por la fuerza normal. La fuerza cinética, en cambio, es igual al coeficiente de rozamiento dinámico, denotado por la letra griega μ_d , multiplicado por la normal en todo instante.

No se tiene una idea perfectamente clara de la diferencia entre el rozamiento dinámico y el estático, pero se tiende a pensar que el estático es algo mayor que el dinámico, porque al permanecer en reposo ambas superficies pueden aparecer enlaces iónicos, o incluso micro soldaduras entre las superficies, factores que desaparecen en estado de movimiento. Éste fenómeno es mayor cuanto más perfectas son las superficies. Un caso más o menos común es el del gripaje de un motor por estar mucho tiempo parado (no sólo se arruina por una temperatura muy elevada), ya que al permanecer las superficies, del pistón y la camisa, durante largo tiempo en contacto y en reposo, pueden llegar a soldarse entre sí.

Como comprobación de lo anterior, se realiza el siguiente ensayo, sobre una superficie horizontal se coloca un cuerpo, y le aplica un fuerza horizontal F , muy pequeña en un principio, se puede ver que el cuerpo no se desplaza, la fuerza de rozamiento iguala a la fuerza aplicada y el cuerpo permanece en reposo, en la figura 1 se representa en el eje horizontal la fuerza F aplicada, y en el eje vertical la fuerza de rozamiento F_r .

Entre los puntos O y A, ambas fuerzas son iguales y el cuerpo permanece estático; al sobrepasar el punto A el cuerpo súbitamente se comienza a desplazar, la fuerza ejercida en A es la máxima que el cuerpo puede soportar sin deslizarse, se denomina F_e o fuerza estática de fricción; la fuerza necesaria para mantener el cuerpo

en movimiento una vez iniciado el desplazamiento es F_d o fuerza dinámica, es menor que la que fue necesaria para iniciarlo (F_e). La fuerza dinámica permanece constante.

A continuación, se ilustra este fenómeno figura 1.

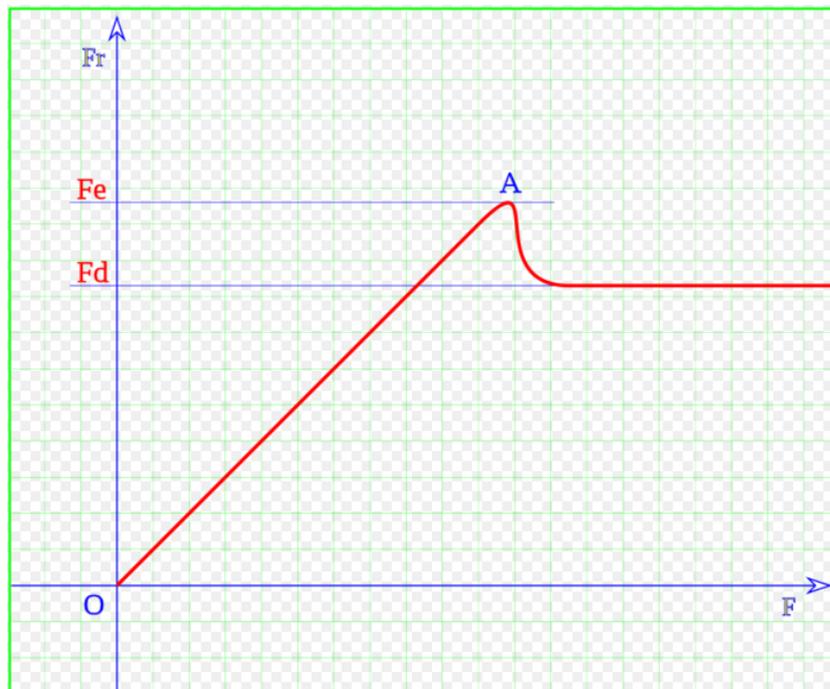


Figura 1. Representación gráfica de la fricción dinámica y fricción estática.

Si la fuerza de rozamiento F_r es proporcional a la normal N , y a la constante de proporcionalidad se obtiene la ecuación 1:

$$F_r = \mu_e N \quad \dots \quad (1)$$

Y permaneciendo la fuerza normal constante, se puede calcular dos coeficientes de rozamiento: el estático y el dinámico como:

$$\mu_e = \frac{Fr_e}{N} \quad \dots \quad (2)$$

$$\mu_d = \frac{Fr_d}{N} \quad \dots \quad (3)$$

Donde:

μ_e = Coeficiente de rozamiento estático, corresponde al de mayor fuerza que el cuerpo puede soportar inmediatamente antes de iniciar el movimiento

μ_d = Coeficiente de rozamiento dinámico, corresponde a la fuerza necesaria para mantener el cuerpo en movimiento una vez iniciado

Fr = Fuerza de rozamiento entre la superficie de apoyo y el cuerpo, y que se opone al deslizamiento

N = Fuerza normal. N siempre será directamente proporcional al peso del cuerpo

I.1.2 Rozamiento estático

El rozamiento estático es la fuerza que se opone al inicio del deslizamiento. Sobre un cuerpo en reposo al que se aplica una fuerza horizontal F , intervienen cuatro fuerzas:

Donde:

F= Fuerza aplicada

P= Peso del propio cuerpo, igual a su masa por la aceleración de la gravedad

Fr= Fuerza de rozamiento entre la superficie de apoyo y el cuerpo, y que se opone al deslizamiento

N= Fuerza normal. N será inversamente proporcional al peso del cuerpo

Dado que el cuerpo está en reposo la fuerza aplicada y la fuerza de rozamiento son iguales a su vez que el peso del cuerpo y la normal también son iguales tenemos:

$$P = mg \quad \dots \quad (4)$$

$$P = N \quad \dots \quad (5)$$

$$F = Fr \quad \dots \quad (6)$$

Sustituimos la ecuación 1 en 6 y obtenemos

$$F = Fr = \mu_e N \quad \dots \quad (7)$$

Sustituimos en la ecuación 7 la N con su valor ecuación 5 y después 4

$$F = \mu_e P = \mu_e mg \quad \dots \quad (8)$$

La fuerza horizontal F máxima que se puede aplicar a un cuerpo en reposo es igual al coeficiente de rozamiento estático por su masa y por la aceleración de la gravedad. Para ilustrar el rozamiento estático se muestra la figura 2.

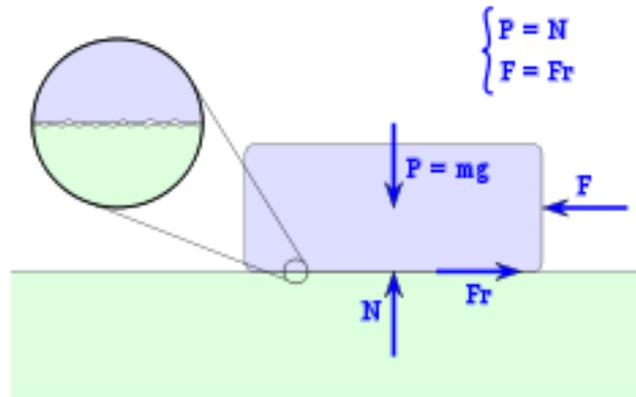


Figura 2. Rozamiento estático.

I.1.3 Rozamiento dinámico

Dado un cuerpo en movimiento sobre una superficie horizontal, deben considerarse las siguientes fuerzas; F_i , F , P , Fr , N .

Donde:

F_i = Fuerza aplicada

F = Fuerza resultante

P = Peso del propio cuerpo, igual a su masa por la aceleración de la gravedad (g)

$F_r =$ Fuerza de rozamiento entre la superficie de apoyo y el cuerpo, y que se opone al deslizamiento

$N =$ Fuerza normal. N siempre será directamente proporcional al peso del cuerpo

$a =$ Aceleración del cuerpo

Como equilibrio dinámico, se puede establecer que:

$$F = F_i - F_r \quad \dots \quad (9)$$

$$F_i = F_r = \mu_e N \quad \dots \quad (10)$$

$$F_r = \mu_d N \quad \dots \quad (11)$$

$$F = ma \quad \dots \quad (12)$$

De la ecuación 9 despejamos a F_i y nos queda

$$F_i = F + F_r \quad \dots \quad (13)$$

Sustituyendo en 13 las ecuaciones 11,12 nos queda

$$F_i = ma + \mu_d N \quad \dots \quad (14)$$

En la ecuación 14 sustituimos a N con la ecuación 5 y 4

$$F_i = ma + \mu_d mg \quad \dots \quad (15)$$

Si de la ecuación 15 despejamos a la aceleración nos queda.

$$a = \frac{F_i}{m} - \mu_d g \quad \dots \quad (16)$$

Es decir, la fuerza de empuje aplicada sobre el cuerpo F_i es igual a la fuerza resultante F menos la fuerza de rozamiento F_r que el cuerpo opone a ser acelerado, figura 3. De esa misma expresión se deduce que la aceleración a que sufre el cuerpo, al aplicarle una fuerza F_i mayor que la fuerza de rozamiento F_r con la superficie sobre la que se apoya (Fricción, 2014).

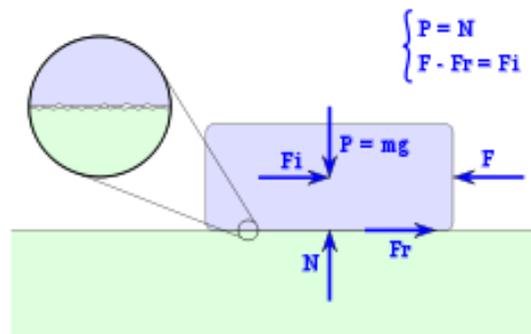


Figura 3. Rozamiento dinámico.

A continuación se presenta la tabla 1, con los coeficientes de roce estático y dinámico más comunes entre pares de superficies.

| COEFICIENTES DE ROZAMIENTO | | |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| Materiales en contacto | Fricción estática | Fricción cinética |
| Hielo // Hielo | 0,1 | 0,03 |
| Vidrio // Vidrio | 0,9 | 0,4 |
| Madera // Cuero | 0,4 | 0,3 |
| Madera // Piedra | 0,7 | 0,3 |
| Madera // Madera | 0,4 | 0,3 |
| Acero//Acero grado herramienta | 0,74 | 0,57 |
| Acero // Hielo | 0,03 | 0,02 |
| Acero // Latón | 0,5 | 0,4 |
| Acero // Teflón | 0,04 | 0,04 |
| Teflón // Teflón | 0,04 | 0,04 |
| Caucho // Cemento (seco) | 1 | 0,8 |
| Caucho // Cemento (húmedo) | 0,3 | 0,25 |
| Cobre // Hierro (fundido) | 1,1 | 0,3 |
| Esqui (encerado) // Nieve (0°C) | 0,1 | 0,05 |
| Articulaciones humanas | 0,1 | 0,003 |

Tabla 1. Principales coeficientes de rozamiento.

I.2 Deformación

Un material, sea cual sea su naturaleza y composición se ve sometido a fuerzas constantemente. Estas pueden ser fuerzas internas, esto es, de ligadura entre partículas del cuerpo o sistema, que no nos interesan ya que según la 3ª ley de Newton al considerar el sistema globalmente su suma total es nula, o bien fuerzas externas, debidas a actuaciones externas sobre el sistema considerado.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots \quad (17)$$

Donde:

F= Fuerza aplicada

A= Área donde es aplicada la fuerza

σ = Esfuerzo

Estas fuerzas externas producen sobre los cuerpos tensiones, que resulta de considerar la propia fuerza y la sección sobre la que ésta se aplica. Formalmente se define la tensión como la distribución de fuerzas por unidad de área en el entorno de un punto material dentro de un cuerpo material o medio continuo. Estas tensiones provocan en los cuerpos reales (por tanto, no en la simplificación de sólidos rígidos) unas deformaciones, que son variaciones en el tamaño o forma de estos.

Desde un punto de vista molecular, la distancia entre las moléculas de un material no sometido a esfuerzo depende de un equilibrio entre las fuerzas moleculares de atracción y repulsión.

Cuando se aplica una fuerza externa que crea una tensión en el interior del material, las distancias moleculares cambian y el material se deforma. Si las moléculas están firmemente unidas entre sí, la deformación no será muy grande incluso con un esfuerzo elevado. En cambio, si las moléculas están poco unidas, una tensión relativamente pequeña causará una deformación grande.

Cabe destacar que existen tipos de tensiones y deformaciones:

- Axiales (o unitarias): Resulta de considerar fuerzas actuantes en una sola dirección, por lo que la tensión y por tanto la deformación será a lo largo de un eje. En este caso simple, la deformación será la variación respecto a la longitud inicial.

$$\epsilon = \frac{\Delta S}{S} = \frac{S' - S}{S} \quad \dots \quad (18)$$

Donde:

ϵ = Deformación unitaria.

S = Longitud del material antes de ser sometido a una fuerza de tensión o compresión

S' = Longitud del material después de ser sometido a una fuerza de tensión o compresión

- Vectorial: Es el caso general en el que actúan varias fuerzas en distintas direcciones sobre el cuerpo. Esto produce deformaciones simultáneas sobre esas direcciones. Para estudiarlas se recurre al empleo de tensores, el tensor tensión, y el tensor deformación.

I.2.1 Deformación elástica

En los materiales elásticos, en particular en muchos metales dúctiles, un esfuerzo uni axial de tracción pequeño lleva aparejado un comportamiento elástico. Eso significa que pequeños incrementos en la tensión de tracción implica pequeños incrementos en la deformación, si la carga se vuelve cero, de nuevo el cuerpo recupera exactamente su forma original, es decir, se tiene una deformación completamente reversible, a esto se le llama deformación elástica.

I.2.2 Deformación plástica

Sin embargo, se ha comprobado experimentalmente que existe un límite, llamado límite elástico, tal que si cierta función homogénea de las tensiones supera dicho límite entonces al desaparecer la carga quedan deformaciones remanentes y el cuerpo no vuelve exactamente a su forma, es decir, aparecen deformaciones no reversibles, a esto se le conoce como deformación plástica.

Ambos tipos de deformaciones tienen un límite, el primero vendrá marcado por el límite elástico o de elasticidad, y el límite de la deformación plástica será la fractura o rotura del material, esto puede ser observado fácilmente en un diagrama esfuerzo deformación (Mecánica de Materiales, 2015)

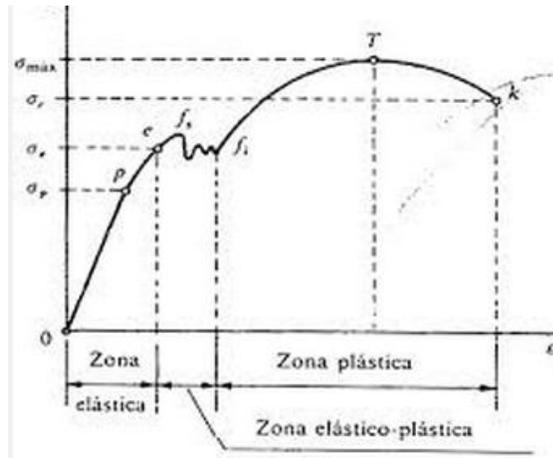


Figura 4. Diagrama esfuerzo-deformación para aceros.

I.2.3 Diagrama esfuerzo – deformación

Para estudiar el comportamiento elástico-plástico de los materiales se recurre a los diagramas tensión-deformación obtenidos a partir del ensayo a tracción del material considerado.

Para reflejar las posibles respuestas del material a los diferentes valores de tensión aplicados veremos un diagrama que incluye la zona de fluencia por ejemplo los aceros, figura 5.

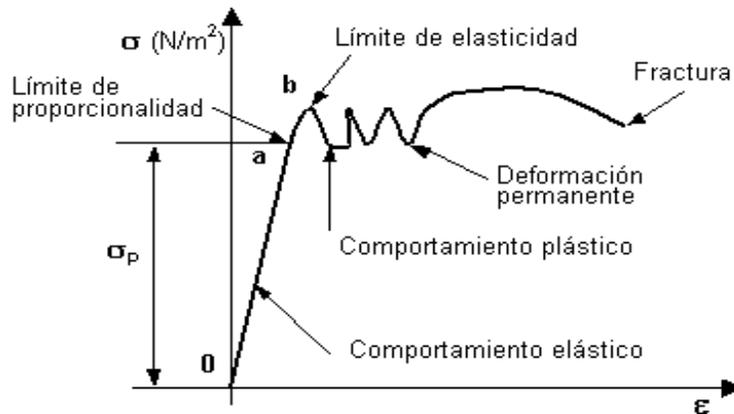


Figura 5. Representación de un diagrama esfuerzo-deformación para un acero.

Y otro sin zona de fluencia por ejemplo el hormigón, que es un material frágil, figura 6.

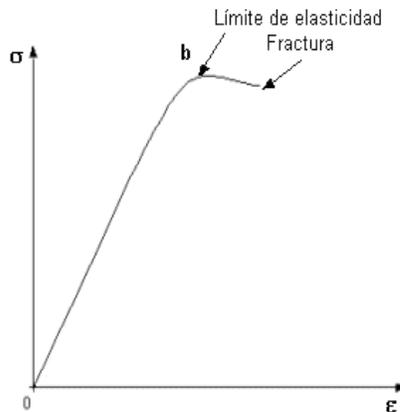


Figura 6. Representación de un diagrama esfuerzo-deformación para el concreto.

Consideramos la actuación de dos fuerzas en la misma dirección y sentido contrario, esto es, a tracción, sobre el material a estudiar. Estas fuerzas provocaran que exista una deformación longitudinal.

El tramo comprendido entre 0 y b en ambas figuras representa el tramo elástico de la deformación, donde al cesar el esfuerzo se recupera la forma original. Podemos ver como de 0 hasta a la deformación es lineal con la tensión, cumpliéndose la Ley de Hooke.

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad \dots \quad (19)$$

Donde:

E= Módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal

σ = Esfuerzo que se genera en el material

ϵ = Deformación unitaria

El tramo de b hasta fractura muestra la zona de deformación plástica, donde pueden darse los casos de una rápida rotura figura 6 en los materiales frágiles, o una previa zona de gran deformación, incluso sin aumentar la tensión, denominada zona de fluencia.

El punto b, que no se alcanza justo después del tramo lineal, sino que se alcanza en el máximo del tramo curvo posterior a este, marca la separación entre un comportamiento elástico y uno plástico y recibe el nombre de límite de elasticidad, esto es: la tensión máxima que un material elástico puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes. Este punto, que teóricamente está bien definido, en la realidad práctica es difícil de precisar, debido a que gráficamente no es claro el punto en el cual cambia el comportamiento del material.

Debido a este problema, en ingeniería se adopta un criterio convencional y se considera como límite elástico la tensión a la cual el material tiene una deformación plástica del 0.2% (o también $\epsilon = 0.002$), como se ve en la figura 7. Este criterio no trata de ajustar al máximo real el límite, ya que así tendríamos un coeficiente de seguridad elástico mayor.

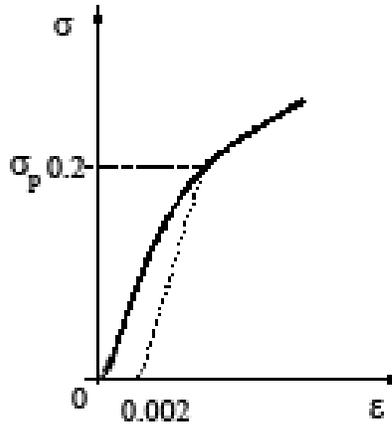


Figura 7. Ejemplo de deformación plástica del 0.2%.

I.2.4 Módulo de Young

El módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinales es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico según la dirección en la que se aplica una fuerza. Este comportamiento fue observado y estudiado por el científico inglés Thomas Young.

Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de Young tiene el mismo valor para una tracción que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico, y es siempre mayor que cero.

Tanto el módulo de Young como el límite elástico son distintos para los diversos materiales. El módulo de elasticidad es una constante elástica que, al igual que el límite elástico, puede encontrarse empíricamente mediante ensayo de tracción del material. Además de este módulo de elasticidad longitudinal, puede definirse el módulo de elasticidad transversal de un material.

Para un material elástico lineal el módulo de elasticidad longitudinal es una constante (para valores de tensión dentro del rango de reversibilidad completa de deformaciones). En este caso, su valor se define como el cociente entre la tensión y la deformación que aparecen en una barra recta estirada o comprimida fabricada con el material del que se quiere estimar el módulo de elasticidad, (Anderson, J., 2013).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \dots(20)$$

Dónde:

E= Módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal

σ = Esfuerzo que se genera en el material

ϵ = Deformación unitaria

1.2.5 Criterios de Falla

Sabemos que fuerzas aplicadas a un medio continuo generan estados de esfuerzos en los diferentes puntos del medio y éstos a su vez producen estados de deformación.

Para ligar los esfuerzos con las deformaciones fue necesario involucrar las propiedades del material, lo cual como una primera aproximación al comportamiento real de los materiales, dicha liga se hizo mediante la teoría de los materiales elásticos lineales homogéneos e isótropos.

Es claro que la falla o ruptura de un material deberá estar ligada a los esfuerzos o a las deformaciones que experimente éste cuando se le somete a ciertas sollicitaciones, o bien, a un concepto que involucre tanto los esfuerzos como las deformaciones, tal es el caso de la energía de deformación. Normalmente la falla de un material se asocia a una condición límite que no necesariamente involucre la pérdida de continuidad del material, condición bajo la cual estaríamos hablando de una franca ruptura del medio, en cuyo caso deja de ser aplicable la mecánica del medio continuo.

A continuación, se establecen criterios de falla y ruptura, algunos aplicables a materiales dúctiles y otros a frágiles. Si bien la temperatura es una variable que influye de manera notable en el comportamiento de los materiales, ésta no se toma en cuenta en ninguno de los criterios de falla y ruptura que se expondrán más adelante.

Cabe señalar que históricamente las primeras teorías de falla desarrolladas fueron para el caso del comportamiento de metales y es hasta una época más reciente que se han establecido teorías de falla para otros materiales involucrados en el diseño de las obras civiles, como ha sido el caso del concreto, los suelos y las rocas.

Normalmente la condición de falla en un material se establece al comparar el estado de esfuerzos o deformaciones que generan las cargas aplicadas en el medio con su

resistencia, determinada ésta en una prueba de laboratorio representativa del fenómeno estudiado.

En el caso de los metales cuyo comportamiento a tensión o compresión es muy similar, la prueba representativa que se emplea en laboratorio para determinar su resistencia es la prueba de tensión que se ejecuta en una probeta del material en estudio y la cual se denominará en adelante S_f . Cuando se aplican esfuerzos superiores a S_f al material puede fluir o se rompe, por lo que asumiremos en lo que sigue que S_f representa el límite de aplicabilidad de la teoría elástica para el estado de esfuerzos aplicado a la probeta.

Materiales como el concreto, el suelo y la roca, cuya resistencia a la tensión es muy limitada en comparación con su resistencia a la compresión, es usual que el valor límite S_f se establezca en una prueba de compresión que tome en cuenta las diferentes variables que influyen en el comportamiento del material, como puede ser su composición, temperatura de operación, geometría, etcétera.

La mayoría de estas teorías tienen su aplicación principal en el comportamiento de metales y permiten establecer la condición límite de falla del material y no tanto la condición de ruptura o pérdida de continuidad.

Para el estudio de materiales cerámicos como lo son cristales y rocas se aplica las teorías de Griffith, ésta última con mayores aplicaciones a la mecánica de rocas.

I.2.5.1 Criterios de Ranking

Esta teoría establece que en un material sometido a un estado de esfuerzos principales se genera fluencia cuando cualquiera de los esfuerzos principales alcanza el valor límite S_f , en una probeta representativa del mismo material sometida a una prueba de tensión en el laboratorio. Matemáticamente estas condiciones quedan expresadas por:

$$\sigma_1 = S_f \quad \dots \quad (21)$$

$$\sigma_2 = S_f \quad \dots \quad (22)$$

$$\sigma_3 = S_f \quad \dots \quad (23)$$

Donde:

$\sigma_{1,2,3}$ = Esfuerzos principales

S_f = Valor límite

Las condiciones anteriores se pueden representar gráficamente en un sistema de referencia donde los ejes corresponden a los esfuerzos σ_1 , σ_2 y σ_3 figura 8. De esta manera, el límite de aplicabilidad de la teoría elástica queda definido por seis superficies planas que conforman a un cubo de lado $2S_f$.

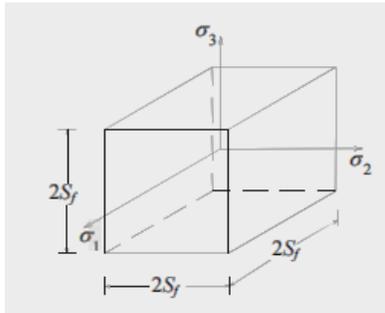


Figura 8. Volumen de fluencia.

Cuando un punto P (σ_1 , σ_2 y σ_3), que representa a un estado tridimensional de esfuerzos, se ubica en el sistema de referencia establecido, se tendrá una condición de fluencia si P se encuentra fuera del cubo o en las caras. Si P se localiza dentro del cubo, el material tiene un comportamiento elástico.

Para un estado de esfuerzo plano, con $\sigma_3 = 0$, se obtendrá la superficie límite o de fluencia que se muestra en la figura 9, delimitada por las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_1 = \pm S_f \quad \dots \quad (24)$$

$$\sigma_2 = \pm S_f \quad \dots \quad (25)$$

Un punto en este plano representaría a un estado de esfuerzo plano. Cuando el punto está dentro del cuadrado, el material tiene un comportamiento elástico, mientras que si está fuera o en los bordes del cuadrado, el material habrá dejado de ser elástico.

La teoría de Rankine es aplicable sobre todo a materiales frágiles, esto es, aquellos materiales que presentan bajos niveles de deformación antes de alcanzar la condición de fluencia.

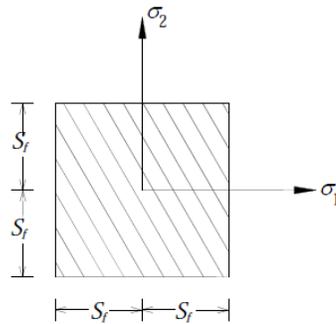


Figura 9. Superficie de fluencia para el estado de esfuerzo plano.

I.2.5.2 Criterios de Tresca

El material deja de ser elástico cuando el esfuerzo cortante máximo generado por un estado de esfuerzos principales, en un punto cualquiera del cuerpo, iguala al esfuerzo cortante máximo que se engendra en una probeta sometida a tensión.

Para un estado tridimensional de esfuerzos, el esfuerzo cortante máximo queda definido por:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{S_f}{2} \quad \dots \quad (26)$$

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{S_f}{2} \quad \dots \quad (27)$$

$$\frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} = \frac{S_f}{2} \quad \dots \quad (28)$$

Si cualquiera de las condiciones anteriores es satisfecha, se tendría la condición límite para que el medio deje de ser elástico, figura 10.

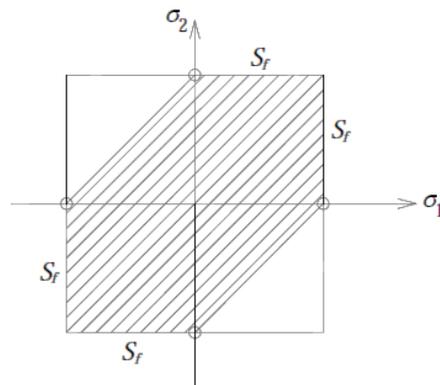


Figura 10. Superficie de fluencia para el estado de esfuerzo plano.

Este criterio se aplica principalmente a materiales dúctiles. Sus principales características son:

- Aplicables a materiales cuyos esfuerzos cortantes son grandes y no sometidos a esfuerzos triaxiales hidrostáticos
- No tiene en cuenta la orientación del esfuerzo
- Sólo válido para materiales isótropos

Este criterio es ampliamente usado en el diseño de estructuras de acero, (William, F., 2002).

I.2.5.3 Criterio de Von Mises

El criterio de falla de Von Mises o criterio de máxima tensión de von Mises expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión.

El límite elástico es una propiedad dependiente de la temperatura. Este valor especificado del límite elástico debe considerar la temperatura del componente, (Criterios de máxima tensión de Von Mises, 2013).

En la figura 11, podemos ver un comparativo entre el criterio de Tresca donde considera el esfuerzo cortante máximo y el criterio de Von Mises que considera el esfuerzo a la tensión máximo.

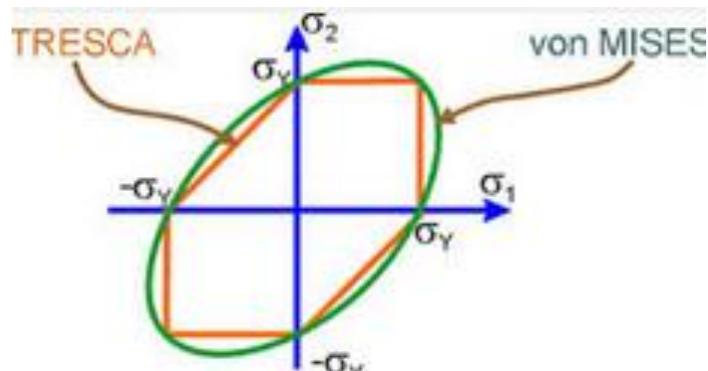


Figura 11. Comparación entre ambos criterios.

I.2.5.4 Teoría de Griffith

La Mecánica de la Fractura empezó a desarrollarse durante la Primera Guerra Mundial por el ingeniero aeronáutico inglés Alan Arnold Griffith para explicar el fallo de materiales frágiles. El trabajo de Griffith estaba motivado por dos hechos aparentemente contradictorios:

- La tensión necesaria para la fractura del vidrio es aproximadamente de 100 MPa.
- La tensión teórica para romper los enlaces atómicos del vidrio era aproximadamente de 10.000 MPa.

Era necesaria una teoría que reconciliara estos dos hechos contradictorios. Además los experimentos en fibras de vidrio, que el mismo Griffith realizó, demostraron que la tensión de rotura aumentaba cuando el diámetro de la fibra era menor. Por lo tanto la resistencia a tensión uniaxial, que se había usado extensamente para predecir la rotura del material, no podía ser una propiedad independiente del material.

Griffith sugirió que la baja resistencia a la fractura observada en los experimentos, al igual que la dependiente del tamaño, era debida a la presencia de pequeñas roturas microscópicas en la masa del material figura 12.

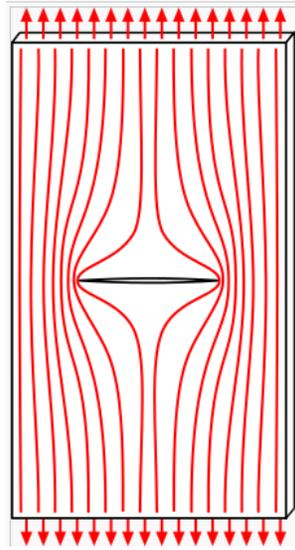


Figura 12. La existencia de grietas dentro de los materiales cerámicos ocasiona la concentración de esfuerzos.

La teoría de Griffith solo es aplicable a materiales cerámicos, ya que en materiales que tienen mayor comportamiento elástico y plástico que los cerámicos, se obtiene un resultado poco razonable y no son precisos.

I.2.6 Tensiones residuales

Son tensiones que permanecen en el material o componente en ausencia de cargas externas. Su origen generalmente ocurre en el proceso de fabricación del componente, como conformado en frío de metales, tratamientos superficiales, procesos de soldadura etcétera.

Para poder medir las tensiones superficiales es necesario aplicar las técnicas de instrumentación, la cual consiste en colocar galgas extensométrico figura 13, orientadas en diferentes direcciones en el material. Estas pequeñas galgas son capaces de medir las micro deformaciones que sufre la superficie de un material o componente a la que están adheridas por medio de un adhesivo amigable al material de la galga.



Figura 13. Imagen de una galga extensométrico pegada a una superficie metálica.

Es importante evitar generar tensiones residuales en el componente durante su proceso de fabricación o conformación del material, ya que las tensiones residuales pueden generar fracturas en el material cuando esté es sometido a una carga que no supera su límite elástico, (Jiménez, R., 2002).

I.3 Análisis de superficies

El análisis de una superficie aporta información sobre el comportamiento de la superficie de los materiales: corrosión, comportamiento óptico de un cristal, química de los polímeros y catalizadores, etcétera.

En una gran variedad de aplicaciones de materiales, las reacciones ocurren en la interface superficie-entorno, por lo que la reactividad de la superficie determinará la funcionalidad del material.

Resulta prioritario comprender las propiedades y comportamiento de la superficie de los materiales, por lo que se requiere el estudio de técnicas capaces de analizar el estado físico y químico de la superficie de un material, diferenciándolo del resto del material.

Para comprender las propiedades y reactividad de una superficie se requiere caracterizar:

- Topografía física
- Composición química
- Estructura química
- Estructura atómica
- Estado electrónico
- Descripción detallada del enlace en las moléculas de la superficie.

Sabiendo las propiedades y comportamiento de las superficies es posible diseñar una pieza con mejores propiedades, como mayor durabilidad. Esto reducirá la posibilidad de una falla en su entorno de trabajo, (Análisis de superficies, 2015).

I.3.1 Rugosidad

En mecánica la rugosidad es el conjunto de irregularidades que posee una superficie. La mayor o menor rugosidad de una superficie depende de su acabado superficial. Éste, permite definir la micro geometría de las superficies para hacerlas válidas para la función para la que hayan sido realizadas. Es un proceso que, en general, habrá que realizar para corregir los errores de forma y las ondulaciones que pudiesen presentar las distintas superficies durante su proceso de fabricación (fundición, forja, laminación, etcétera).

En el Sistema Internacional la unidad de rugosidad es el micrómetro o micra ($1 \text{ micra} = 1 \mu\text{m} = 0,000001 \text{ m} = 0,001 \text{ mm}$), mientras que en el sistema anglosajón se utiliza la micro pulgada (μ''). Esta medida se indica en los planos constructivos de las piezas mediante signos y valores numéricos, de acuerdo a las normas de calidad existentes, que varían entre países.

Para medir la rugosidad de las piezas se utilizan instrumentos electrónicos llamados rugosímetros, que miden la profundidad de la rugosidad media (R_z) y el valor de la rugosidad media (R_a) expresada en micras y muestran la lectura de la medida en una pantalla o en un documento gráfico.

Para indicar las características superficiales en los planos, se parte de un símbolo básico figura 14, representado por dos trazos desiguales, inclinados 60° respecto a la superficie que se apoyan.

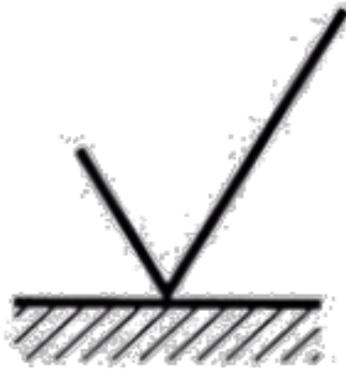


Figura 14. Símbolo base usado para indicar las características superficiales de un material en un plano.

Si el mecanizado se realiza por arranque de viruta (taladrado, torneado, fresado, cepillado, etcétera.) se utiliza el símbolo de la figura 15.

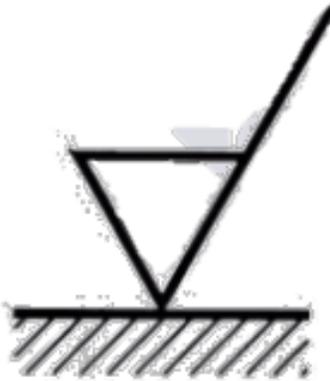


Figura 15. Mecanizado por arranque de viruta.

Si el mecanizado se realiza por un proceso de conformación, sin arranque de viruta, (laminado, estirado, estampado, forjado, etcétera) se emplea el símbolo de la figura 16.

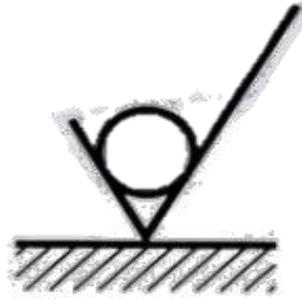


Figura 16. Mecanizado por proceso de conformado.

Para indicar características especiales de la superficie se utiliza el símbolo de la figura 17, (Rugosidad,2015).

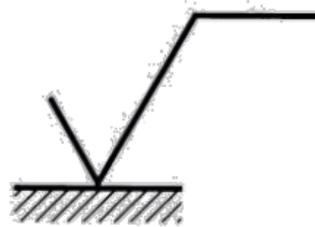


Figura 17. Símbolo para indicar características especiales de la superficie.

I.3.2 Área real de contacto

Este fenómeno se presenta principalmente en superficies esféricas, donde la superficie de contacto se ve afectada por la presión que está sometida las superficies. Este fenómeno fue estudiado por Heinrich Hertz quien dedujo que la verdadera superficie en contacto en materiales rugosos es generalmente proporcional a la fuerza normal figura 18,(Teoría de contacto mecanismos de fricción y Adherencia, 2015).

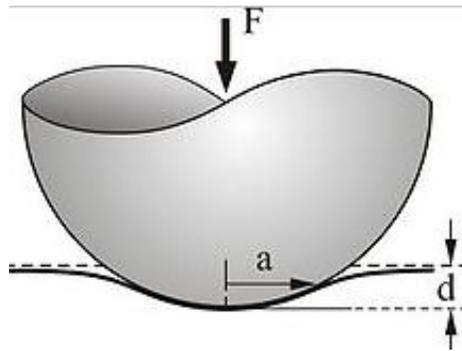


Figura 18. Representación de la superficie real de contacto.

Donde:

$F=$ Fuerza normal a la superficie.

$a=$ área real de contacto.

$d=$ Distancia de penetración

1.4 Desgaste

El desgaste es conocido desde que el ser humano comenzó a utilizar elementos naturales que le servían como utensilios" domésticos. Este fenómeno al igual que la corrosión y la fatiga, es una de las formas más importantes de degradación de piezas, elementos mecánicos y equipos industriales.

El desgaste puede ser definido como el daño superficial sufrido por los materiales después de determinadas condiciones de trabajo a los que son sometidos. Este fenómeno se manifiesta por lo general en las superficies de los materiales, llegando a

afectar la sub-superficie. El resultado del desgaste, es la pérdida de material y la subsiguiente disminución de las dimensiones y por tanto la pérdida de tolerancias. Los mecanismos de daño en los materiales se deben principalmente a deformación plástica, formación y propagación de grietas, corrosión y/o desgaste.

Desde que el desgaste comenzó a ser un tópico importante y que necesitaba ser estudiado y comprendido, comenzaron a aparecer en los libros de diseño y en la mente de los diseñadores, ideas sencillas de cómo prevenirlo o combatirlo, entre esas ideas se tienen:

- Mantener baja la presión de contacto.
- Mantener baja la velocidad de deslizamiento.
- Mantener lisas las superficies de rodamientos.
- Usar materiales duros.
- Asegurar bajos coeficientes de fricción.
- Usar lubricantes.

Diversos autores han clasificado los diferentes tipos de desgaste que a continuación se describen.

1.4.1 Desgaste por fatiga de contacto

Este tipo de desgaste ocurre cuando piezas son sometidas a elevados esfuerzos, los cuales provocan la aparición y propagación de grietas bajo la acción repetitiva de estos. En el caso de piezas sometidas a deslizamiento, las capas superficiales sufren intensas deformaciones como resultado de la acción simultánea de las tensiones de contacto y de la fuerza de fricción. Los esfuerzos a los que están sometidos los materiales particularmente en las capas superficiales promueven en la mayoría de los casos, alteraciones en la estructura cristalina y en el tamaño de grano. Con las nuevas tecnologías se ha necesitado de materiales, que a través de modernos procesos de producción o de tratamiento térmico, presenten una combinación especial de microestructura y propiedades mecánicas, garantizando con esto niveles de tolerancia, acabado superficial y desvíos de forma y posición cada vez mejores.

Por otra parte las leyes son cada vez más rigurosas, controlando los niveles de ruido y contaminantes perjudiciales para el hombre y el medio ambiente que provienen de selecciones equivocadas de materiales o procesos de producción empíricos.

El picado originado a partir de grietas, es una de las fallas por fatiga de contacto superficial típica de elementos de máquinas, los cuales trabajan bajo régimen de lubricación elastohidrodinámica y elevadas cargas superficiales. Este es el caso de cojinetes de rodamiento y ruedas dentadas en su punto de contacto. Aquí, el mecanismo principal de falla es la aparición y propagación de grietas después que las superficies han almacenado una determinada deformación plástica. Por esto, es importante el buen acabado superficial y la correcta selección y filtrado de los lubricantes, la figura 19 ilustra este fenómeno.

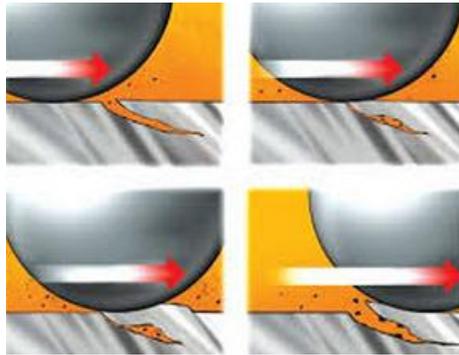


Figura 19. Representación de desgaste por fatiga de contacto.

1.4.2 Desgaste abrasivo entre dos y tres cuerpos

La Norma ASTM G40-92 define el desgaste abrasivo como la pérdida de masa resultante de la interacción entre partículas o asperezas duras que son forzadas contra una superficie y se mueven a lo largo de ella. La diferencia entre desgaste abrasivo y desgaste por deslizamiento es el grado de desgaste entre los cuerpos involucrados (mayor en el desgaste abrasivo), ya sea por la naturaleza, tipo de material, composición química, o por la configuración geométrica.

Como se muestra en la figura 20, existen básicamente dos tipos de desgaste abrasivo, entre dos cuerpos o entre tres cuerpos.

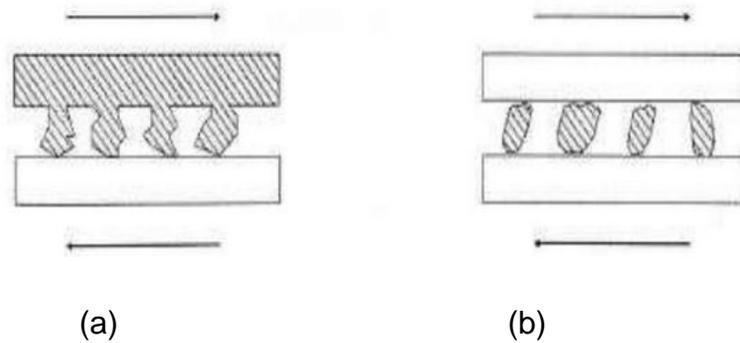


Figura 20. a) Desgaste abrasivo entre 2 cuerpos b) Desgaste abrasivo entre 3 cuerpos.

En abrasión (a) de dos cuerpos, el desgaste es causado por rugosidades duras pertenecientes a una de las superficies en contacto, mientras que la abrasión a tres cuerpos (b), el desgaste es provocado por partículas duras sueltas entre las superficies que se encuentran en movimiento relativo. Como ejemplo de desgaste abrasivo a dos cuerpos, se tiene un taladro penetrando una roca, mientras que a tres cuerpos se puede citar el desgaste sufrido por las mandíbulas de una trituradora al quebrar la roca, o por la presencia de partículas contaminantes en un aceite que sirve para lubricar de las superficies en contacto deslizante.

Cabe mencionar que las partículas abrasivas son partículas de cualquier tipo o tamaño que sean tan duras o más duras que la superficie que se desgasta. Suelen ser partículas de material abrasivo de discos de esmerilar, partículas de pintura, polvo, arena, suciedad y virutas de metal.

1.4.3 Desgaste por cavitación

La cavitación es un problema frecuentemente encontrado en equipos hidráulicos, el cual genera gran dificultad para su mantenimiento. La teoría más aceptada para explicar el fenómeno de la cavitación se puede definir como aquel daño en los materiales debido al crecimiento y colapso de pequeñas burbujas que surgen debido a las variaciones de presión durante el flujo de un fluido.

El problema de la cavitación surgió con el desarrollo de los barcos a vapor en el inicio de este siglo. Con la fabricación, estos barcos capaces de alcanzar mayores velocidades, comenzaron a presentar un desgaste severo y localizado en sus hélices. Inicialmente se pensó que este desgaste se debía a la corrosión de los materiales de las hélices, siendo esta la responsable por el daño en dichos materiales, aprovechando su baja resistencia a la corrosión. Pero, al estudiarse el fenómeno más detalladamente, se descubrió que las hélices no sufrían desgaste cuando no estaban en funcionamiento y que este también ocurra en medios químicamente inertes.

Durante el flujo de un fluido pueden ocurrir por caídas de presión que pueden alcanzar valores del orden de la presión de vapor del líquido en la temperatura de trabajo, provocando la nucleación de pequeñas burbujas de vapor.

Estas burbujas son llevadas por el flujo y al alcanzar regiones de mayores presiones sufren un colapso violento y caótico que genera altas presiones y velocidades en las regiones próximas al colapso. Estas altas presiones y velocidades que surgen del colapso, provocan el desgaste de superficies sólidas próximas. Como conclusión a esta teoría, hasta ahora la más aceptada, es que, el desgaste por cavitación se puede

definir como aquel dado que ocurre en los materiales debido al crecimiento y colapso de pequeñas burbujas, que surgen debido a las variaciones de presión durante el flujo de un fluido.

Los efectos que el desgaste por cavitación provocan, van desde la pérdida de eficiencia, hasta la inutilización completa del equipo. Hasta hoy no hay una manera de preverse el desgaste de un equipo sujeto a cavitación y las paradas para mantenimiento de un equipo aún son estipuladas con base en la experiencia de los operadores. Sin embargo hoy tenemos dos maneras de lidiar con el problema de la cavitación uno es el desarrollo de materiales más resistentes y otro, es mejor el diseño de equipos hidráulicos evitando caídas de presión muy bruscas.

I.4.4 Desgaste adhesivo

La adhesión está asociada a toda formación y posterior rompimiento de enlaces adhesivos entre las interfaces, cuando dos superficies son colocadas en contacto íntimo. La adhesión con lleva además al soldado en frío de las superficies.

Con respecto al desgaste adhesivo, el papel principal lo juega la interacción entre las superficies y su grado de limpieza, es decir cuando el acercamiento entre los cuerpos es tal, que no se presenta ningún tipo de impurezas, capa de óxido o suciedades, se permite que el área de contacto sea aumentada, pudiéndose formar uniones adhesivas más resistentes.

El desgaste adhesivo es ayudado por la presencia de altas presiones localizadas en las asperezas de contacto, lo que conlleva al desprendimiento de material de las superficies menos duras, cuando una de las superficies se desplaza, figura 21.

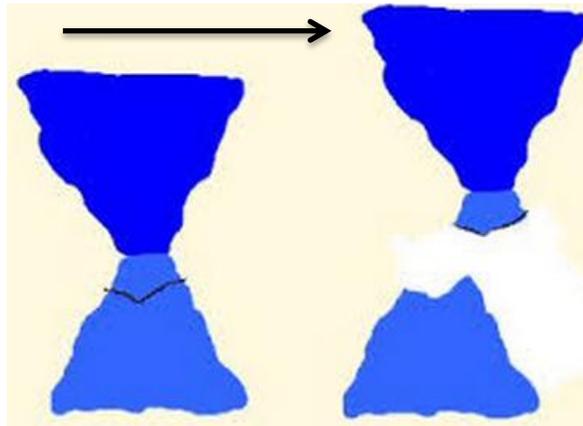


Figura 21. Ejemplo de desgaste adhesivo.

I.4.5 Desgaste erosivo

El desgaste erosivo se presenta en la superficie de los cuerpos, resultado del impacto de partículas sólidas, líquidas o gaseosas que los impactan. Estas partículas pueden actuar de manera sola o de manera combinada. La erosión afecta muchos materiales de ingeniería, especialmente elementos que componen maquinaria usada en la industria minera y en general toda pieza impactada por cualquier tipo de partícula. Las partículas que causa el desgaste erosivo pueden estar en ambientes secos o húmedos pudiendo actuar de forma muy variadas tal y como se muestra en la figura 22. Cuando el medio de trabajo es húmedo (por ejemplo un medio de agua con partículas de arena), la erosión y la corrosión son fenómenos que actúan de forma sinérgica, provocando la aceleración de los materiales.



Figura 22. Desgaste erosivo.

Juega un papel fundamental en el desgaste erosivo el tipo de material del cual es la superficie de nuestra pieza así como su acabado superficial. El desgaste erosivo puede estar presente en dos medios: en un medio Seco y en un medio acuoso.

En el desgaste erosivo en seco las partículas son arrastradas por aire u otro gas y son obligadas a impactar una superficie.

En el desgaste erosivo en medio acuoso se presenta cuando partículas duras son arrastradas en un medio acuoso y son obligadas a impactar una superficie.

I.4.6 Desgaste por vibración (fretting)

El desgaste por vibración o fretting es un desgaste, acompañado a veces de daño corrosivo, en superficies con una cierta rugosidad. Este defecto es ocasionado en zonas en las que existen desplazamientos relativos oscilatorios de muy pequeña amplitud, como por ejemplo, una vibración, entre piezas que se encuentran en contacto bajo carga, figura 23.

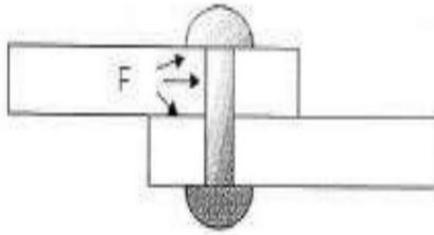


Figura 23. Desgaste por vibración (fretting).

El movimiento vibratorio provoca un desgaste mecánico y la transferencia de material en la superficie, a menudo seguida de oxidación tanto del metal arrancado como de las superficies metálicas que acaban de quedar al descubierto. La amplitud de dicho movimiento vibratorio va del orden de micrómetros a milímetros, pero puede ser tan pequeña como de 3 o 4 nanómetros.

Puesto que el óxido suele ser mucho más duro que la superficie de la que procede, éste termina actuando como un agente abrasivo que aumenta el desgaste por rozamiento y da lugar a la formación de estrías.

En general el desgaste por vibración disminuye la resistencia a la fatiga de los materiales que operan bajo ciclos de carga. Como consecuencia de la misma, las grietas pueden crecer de modo que se produzca el fallo de uno de los componentes.

La forma fundamental para evitar el desgaste por vibración es crear diseños que no permitan ningún movimiento relativo entre las superficies en contacto. El acabado superficial también desempeña un papel importante, ya que el fretting normalmente se produce por el contacto de las asperezas de las superficies de acoplamiento.

El uso de lubricantes también se emplea a menudo para mitigar el fretting porque reduce la fricción e inhibe la oxidación. Los materiales blandos a menudo muestran una mayor susceptibilidad al fretting que los materiales duros similares. La relación de dureza de los dos materiales deslizantes también tiene un efecto sobre el desgaste.

Sin embargo, materiales más blandos, tales como polímeros pueden mostrar el efecto contrario, ya que atrapan las esquirlas de metal arrancadas, que quedan incrustados en sus superficies. En ese momento pasan a actuar como agentes abrasivos muy eficaces, capaces de desgastar el metal con el que están en contacto, aunque este sea más duro.

I.4.7 Desgaste por deslizamiento

Esencialmente, el desgaste por deslizamiento es aquel en el cual hay un movimiento relativo entre dos superficies en contacto con una carga aplicada, en el cual se trasfiere material de una superficie a otra superficie o se desprende material en forma de viruta y rebaba donde el daño de la superficie no ocurre por riscado debido a la penetración de las asperezas o por partículas externas. El desgaste por deslizamiento es uno de los tipos de desgaste que ocurre con más frecuencia en la industria y por esto es estudiado con grandes interés por los investigadores.

Una de las razones del gran esfuerzo dedicado al estudio del desgaste por deslizamiento es su complejidad, especialmente en lo que se refiere a los múltiples mecanismos involucrados. En el desgaste por deslizamiento están presentes mecanismos de adhesión, formación y crecimiento de grietas sub-superficiales por fatiga y formación de películas superficiales por procesos triboquímicos. También

ocurre abrasión por micro corte o surcado. Un esquema mostrando un sistema que sufre este tipo de desgaste es presentado en la siguiente figura 24, (Desgaste, 2015).



Figura 24. Ejemplo de desgaste por deslizamiento.

I.5 Lubricación

La lubricación o lubricación es la acción para reducir el rozamiento y sus efectos en superficies conexas con movimientos que les puedan ocasionar algún tipo de maquinado (debido a los movimientos sincronizados de una pieza respecto de la otra), al interponer entre las superficies una sustancia lubricante, por ello logra formarse e interponerse una capa de lubricante capaz de soportar o ayudar a soportar la carga (presión generada) en las superficies por imposibilitar el contacto directo. La película de lubricante interpuesta puede ser un sólido, un líquido o excepcionalmente un gas.

Una adecuada lubricación permite un funcionamiento continuo y suave de los equipos mecánicos, con un ligero desgaste, y sin excesivo estrés o ataque a las partes móviles (cojinetes y engranajes). Cuando falla la lubricación, los metales y otros materiales pueden rozar y destruirse unos a los otros, causando daños irreparables.

Asimismo un 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. Principalmente los lubricantes se clasifican por el estado de la materia en que se encuentran figura, 25.

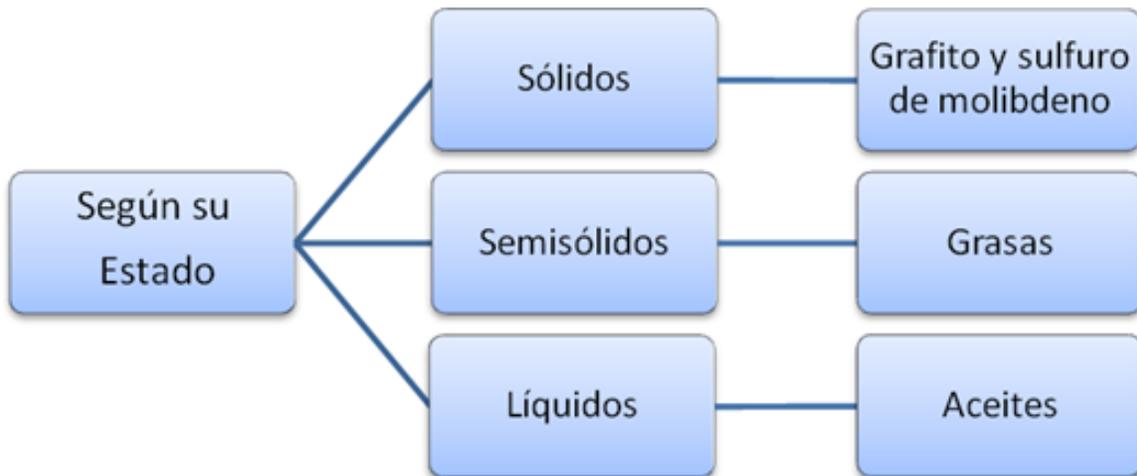


Figura 25. Clasificación de los lubricantes según su estado.

Las funciones básicas de un lubricante se describen a continuación.

1) Reducción de la fricción

La reducción de la fricción se realiza manteniendo una película de lubricante entre las superficies que se mueven una con respecto de la otra, previniendo que entren en contacto y causen un daño superficial.

Cabe mencionar que la fricción es un elemento común en la vida diaria. Una persona puede caminar por una rampa inclinada sin resbalar debido a la alta fricción entre la suela de sus zapatos y la rampa, y puede deslizarse montaña abajo en sus esquíes porque la fricción entre éstos y la nieve es baja. Ambos casos ilustran la fricción entre dos superficies ordinarias.

2) Disipador de calor

Otra importante función de un lubricante es actuar como un enfriador, removiendo el calor generado por la fricción o por otras fuentes tales como la combustión o el contacto con sustancias a alta temperatura.

Para realizar esta función, el lubricante debe permanecer relativamente sin cambios. Los cambios en la estabilidad térmica y estabilidad a la oxidación harán disminuir la eficiencia del lubricante. Para resolver estos problemas es que generalmente se agregan los aditivos.

3) Dispersor de contaminantes

La habilidad de un lubricante para permanecer efectivo en la presencia de contaminantes es bastante importante. Entre estos contaminantes se cuentan agua, productos ácidos de la combustión. Los aditivos son generalmente la respuesta para minimizar los efectos adversos de los contaminantes.

En cuanto a la fabricación de lubricantes los procesos a seguir para la obtención de las distintas gamas de lubricantes, son los siguientes:

- a) Se efectúan las mezclas de bases (dos máximos) para obtener las viscosidades y calidades requeridas.
- b) Se complementan sus características incorporando a aquellos que lo requieran, distintos tipos de aditivos de acuerdo con su aplicación y posterior servicio.

I.5.1 Aditivos lubricantes

Como aditivos lubricantes se entienden aquellos compuestos químicos destinados a mejorar las propiedades naturales de un lubricante, para conferirle otras que no posee y que son necesarias para cumplir su cometido.

Cada aditivo tiene una o varias misiones que cumplir, clasificándose como uní o multifuncionales, fundamentalmente persiguiendo los siguientes objetivos:

- a) Limitar el deterioro del lubricante a causa de fenómenos químicos ocasionados por razón de su entorno o actividad.
- b) Proteger a la superficie lubricada de la agresión de ciertos contaminantes.

- c) Mejorar las propiedades físico-químicas del lubricante o proporcionarle otras nuevas.

Estos aditivos no modifican las propiedades intrínsecas del lubricante, tales como la estabilidad térmica y química, siendo además compatibles con otro aditivo. La acción de estos aditivos se traduce en el espesamiento general del lubricante, más pronunciado a temperaturas elevadas.

- 1) Los antioxidantes son sustancias capaces de retardar o impedir la fijación de oxígeno libre sobre los compuestos en los que se puede producir dicho efecto, y por consiguiente la polimerización de éstos. Los principales antioxidantes utilizados actualmente son:

- a) Ditiofosfatos de zinc
- b) Fenoles
- c) Aminas

- 2) Por otro lado se aplican anticorrosivos a los productos que protegen los metales no ferrosos susceptibles a los ataques de contaminantes ácidos presentes en el lubricante, se clasifican en:

- a) Ditiofosfatos metálicos
- b) Ditiocarbonatos metálicos
- c) Terpenos sulfurizados
- d) Terpenos fosfosulfurizados

3) Para proteger las superficies ferrosas contra la formación de óxido se manejan los productos conocidos como anti herrumbe, muy utilizado para los sistemas de lubricación re circulante, debido a que los lubricantes utilizados en estos sistemas deben soportar la presencia del agua o disuelta en el mismo. Estos desplazan la humedad formando una capa protectora entre la superficie y la humedad, se anexan ejemplos de anti herrumbe.

- a) Sulfoncitos
- b) Aminas
- c) Ácidos grasos
- d) Fosfatos
- e) Esteres

4) Los dispersantes son aditivos que se designan para dispersar los lodos húmedos originados en el funcionamiento frío del sistema. Suelen estar constituidos por una mezcla compleja de productos no quemados en la combustión, carbón, óxidos de plomo y agua.

- a) Polímeros hidrocarbonados
- b) Las alquil-sicínmidas de alto peso molecular
- c) Esteres poliésteres de alto peso molecular
- d) Sales amínicas de alto peso molecular

- 5) Los Antiespumantes son utilizados para eliminar el efecto de cuando un lubricante se encuentra sometido a la acción de batido o agitación violenta, lo cual ocasiona el origen de burbujas que tienden a subir a la superficie. Formando espuma.

Estos son algunos de los aditivos que se encuentran disponibles para modificar el comportamiento de los lubricantes, pero se pueden encontrar más tipos con fines específicos como los antes mencionados.

I.5.2 Película lubricante

En todo proceso de lubricación la presencia de un elemento que evite el contacto entre las superficies es necesaria. Este elemento permite que resbalen y se reduzca la fricción y el desgaste de ellas. Denominaremos “película” a la porción del elemento lubricante que facilitará el movimiento de los componentes.

I.5.2.1 Película fluida

La lubricación por película fluida ocurre cuando dos superficies opuestas se separan completamente por una película lubricante y ninguna aspereza está en contacto. La presión generada dentro el fluido soporta la carga aplicada, y la resistencia por fricción al movimiento se origina completamente del cortante del fluido viscoso.

El espesor de la película lubricante depende en gran parte de la viscosidad del lubricante tanto en el extremo alto como bajo de la temperatura.

Las superficies concordantes se ajustan bastante bien una con otra con un alto grado de conformidad geométrica, de manera que la carga se transfiere a un área relativamente grande. Por ejemplo el área de lubricación para una chumacera será de 2π por el radio por la longitud.

El área de la superficie que soporta una carga permanente generalmente constante mientras la carga se incrementa, figura 26.

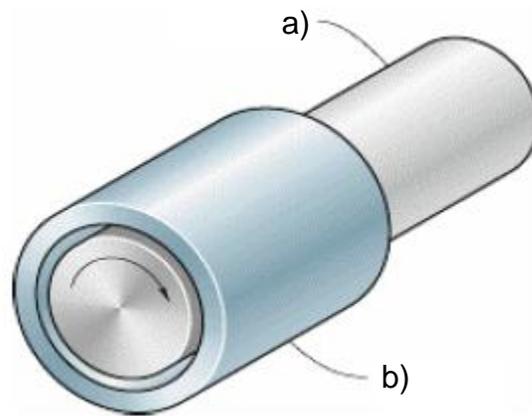


Figura 26. a) Chumacera y b) Manguito.

La chumacera con lubricación de película fluida los cojinetes deslizantes tienen superficies concordantes. En las chumaceras la holgura radial entre el cojinete y el manguito es por lo general la milésima parte del diámetro del cojinete; en los cojinetes deslizantes la inclinación de la superficie de estos respecto al rodillo de rodadura suele ser muy rara. Un ejemplo de superficie concordante es la junta de la cadera del ser humano.

Muchos elementos de máquinas lubricados por una película fluida tienen superficies que no concuerdan entre sí. Entonces un área pequeña de lubricación debe soportar

todo el peso de la carga. Por lo general el área de lubricación de una conjunción no concordante es 3 veces menor que la magnitud que la de una superficie concordante.

El área de lubricación entre superficies no concordantes se agranda bastante con el incremento de carga; pero aun así es más pequeña que el área de la lubricación entre las superficies concordantes, figura 27. Algunos ejemplos de superficies no concordantes son el acoplamiento de los dientes de un engranaje, el contacto entre levas y seguidores, y también los cojinetes de elementos rodantes.

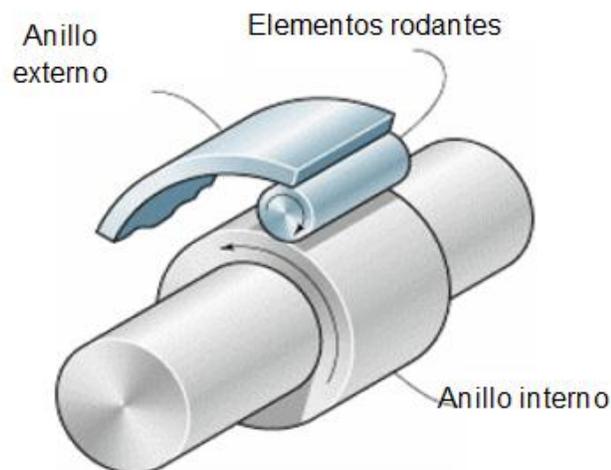


Figura 27. Representación de superficies no concordantes.

La película fluida puede ser formada de varias maneras a saber:

- | | |
|-----------------------------|---|
| a) Película Hidrodinámica = | Se forma a través del movimiento de las superficies lubricadas convergiendo en un punto, en el cual, se genera una presión tal, que permite mantener estas superficies separadas. |
|-----------------------------|---|

- b) Película Hidrostática = Se genera mediante el bombeo a presión de un fluido entre las superficies, las cuales pueden o no estar en movimiento.
- c) Película Elasto-Hidrodinámica = Las películas Elasto-Hidrodinámica se forman en sistemas que contienen dos superficies metálicas lubricadas en movimiento y soportando una determinada carga.

El elemento metálico se deforma leve y elásticamente, permitiendo la formación de la película hidrodinámica, la cual separa dichas superficies.

I.5.2.2 Película delgada

Distinta a la consideración anterior, existen sistemas que por diseño o por limitaciones del propio equipo, no permiten la lubricación continua y suficiente. En estos casos, se lubrica bajo dosificación o, eventualmente.

I.5.2.3 Película sólida

Existen situaciones en las cuales la lubricación con aceites o grasas no es posible. De igual modo, en ciertos sistemas o equipos pueden observarse la presencia de fugas, o existir la posibilidad de contaminación. Bajo este conocimiento es conveniente pensar

en la aplicación de algún agente como vehículo, ligero o poco viscoso, que al volatilizarse deje como residuo una película sólida en los metales en movimiento.

Esta película estará compuesta por productos de muy bajo coeficiente de fricción, tales como el Bisulfuro de Molibdeno, Grafito, Mica, etc. Las moléculas de estos productos se alojarán en las irregularidades de las superficies metálicas, rellenando y emparejando sus cavidades, todo lo cual, permitirá reducir la fricción y el desgaste.

I.5.2.4 Tensión superficial

La tensión superficial es la energía libre existente en la superficie de un líquido gracias a la cual el líquido tiende a tener la menor superficie posible. La tensión superficial es debida a las fuerzas de atracción entre las moléculas de la superficie del líquido, las cuales no están rodeadas totalmente de otras moléculas, con lo cual deja parte de esta fuerza sin utilizarse.

La tensión superficial puede observarse viendo el menisco curvo de la superficie del líquido cuando este está en un tubo estrecho. Permite que se formen gotas y evita que los líquidos se emulsionen espontáneamente con el aire. Es un factor que afecta a la capacidad del aceite para adherirse a una superficie, para mantener la estabilidad de la emulsión y para mantener sustancias sólidas dispersas.

La tensión superficial de dos aceites puede observarse poniendo una gota de ellos sobre una superficie metálica y observando si la gota se contiene (tensión superficial alta) o si se extiende (tensión superficial baja).

La tensión superficial disminuye al aumentar la temperatura, debido al incremento en la energía cinética de las moléculas y a la consecuente disminución de la atracción entre ellas. Igualmente la variación del pH también afecta a la tensión superficial, ya con este varía el nº de moléculas polares en el aceite. La unidad de tensión superficial en el Sistema Internacional de unidades (SI) es el N/m, aunque suele usarse la dina/cm o erg/cm².

I.5.2.5 Lubricación hidrostática

El objetivo de la lubricación hidrostática es formar una película de lubricante entre los elementos de fricción por ejemplo, guías de deslizamiento y correderas de herramientas para evitar el desgaste y los movimientos bruscos durante los impactos.

Para ello se bombea aceite a presión entre las superficies de fricción. De este modo, los elementos de fricción permanecen separados incluso durante las paradas de la máquina figura 28.

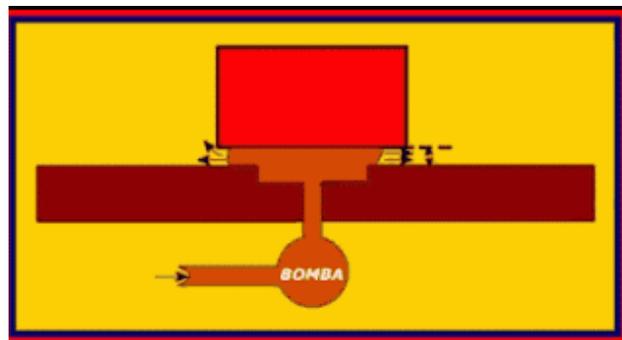


Figura 28. Ejemplo de presión hidrostática.

Con ello se consigue:

- Estabilidad y amortiguación
- Vida del rodamiento ilimitada
- Eliminación del desgaste de la superficie de deslizamiento
- Estabilidad térmica
- Seguridad en los impactos
- Precisión de posicionamiento absoluta
- Precisión de mecanizado

Aplicaciones:

Guías planas (guías planas en V) con y sin chapa de sujeción:

- rodamientos radiales
- rodamientos axiales
- tuercas para husillos de bolas

Destacando:

- Máquinas herramienta
- Rodamientos de husillos para tornos, fresadoras y perforadoras
- Rodamientos de mesas giratorias
- Rodamientos para telescopios astronómicos de grandes dimensiones
- Rodamientos de calandrias
- Hornos tubulares giratorios
- Rodamientos de turbinas

I.5.2.6 Lubricación hidrodinámica

La 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, figura 29.

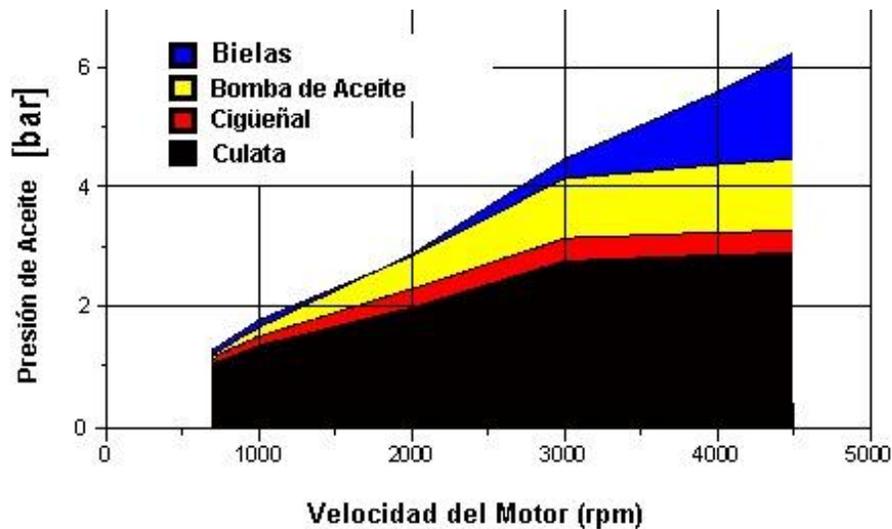


Figura 29. Lubricación de un motor

Si el aceite es muy delgado (baja viscosidad), fluye directamente al cárter sin separar las piezas. Esto provoca desgaste prematuro. 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 el 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 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 ciertas condiciones como se muestra en la tabla 2.

| Clasificación API | Viscosidad Mínima |
|-------------------|------------------------|
| CD | 2.9 cP |
| CE | 2.9 cP |
| CF, CF-2, CF-4 | 2.9 cP |
| CG-4 | 2.9 cP |
| CH-4 | 2.9 cP |
| CI-4 | 3.7 cP para SAE 15W-40 |

Tabla 2. Viscosidad mínima para los aceites SAE 40 y SAE 15W-40.

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, como se muestra en la figura 30.

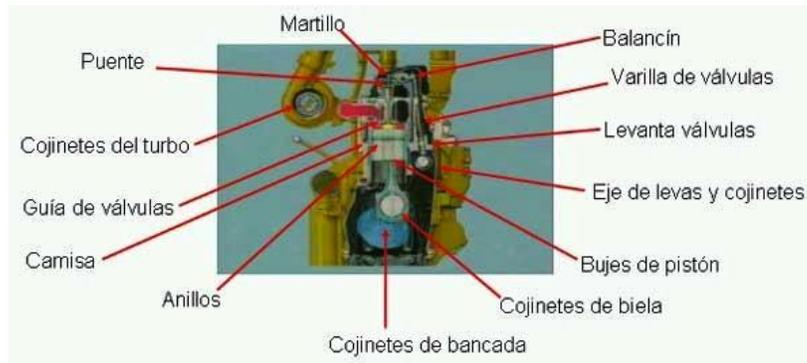


Figura 30. Puntos de lubricación en un motor.

I.5.3 Viscosidad

La viscosidad es la propiedad más importante de cualquier tipo de lubricante, por ser el factor primordial en la formación de la cuña lubricante que separa las superficies. Se puede definir la viscosidad, como una medida de la resistencia a fluir o a permitir el movimiento de un determinado fluido, a una temperatura establecida.

Por ejemplo; si la viscosidad es muy baja o el fluido "muy delgado", el lubricante se fugara de las superficies metálicas en movimiento, permitiendo el contacto entre ellas .Si la viscosidad es muy alta o el fluido" muy grueso" requerirá (durante el arranque del equipo) más tiempo para fluir a los elementos que requieren ser lubricados y además se requerirá mayor cantidad de energía para moverlo, ocasionando desgastes indeseables durante el inicio del movimiento y un excesivo consumo de energía. No obstante, se formara la película lubricante que separara ambas superficies.

El consumo adicional de energía se traduce en calor que a su vez degrada al aceite modificando sus propiedades lubricantes por lo tanto, es fundamental una correcta

selección de la viscosidad que por lo general la establece el fabricante de los equipos, en función del diseño, la ingeniería de los materiales y las condiciones de operación (velocidad, temperatura, carga).

I.5.3.1 Sistemas de clasificación de la viscosidad

La ISO (Organización de Normalización Internacional), debido a la existencia de varios sistemas de clasificación, géneró un único sistema para evitar las tablas de conversión de un sistema a otro. Las características de esta clasificación son las siguientes:

- Posee 18 grados de viscosidad, desde 2 hasta 1500 cts. a 40° cada grado se designa por el número entero más próximo a su viscosidad cinemática media.
- Cada grado representa un intervalo de viscosidad generado a partir de su viscosidad cinemática media más o menos (+ - 10 %) de este valor, estos valores se muestran en la tabla 3.

| Grado Iso | Viscosidad cinemática a 40 ° C | Limites de viscosidad cinemática, cts. a 40°C |
|------------------|---|--|
| 2 | 2.2 | 1.98 /2.42 |
| 3 | 3.2 | 2.88/3.52 |
| 5 | 4.6 | 4.14/5.06 |
| 7 | 6.8 | 6.12/7.48 |
| 10 | 10 | 9.00/11.0 |
| 15 | 15 | 13.5/16.5 |
| 22 | 22 | 19.8/24.2 |
| 32 | 32 | 28.8/35.2 |
| 46 | 46 | 41.4/50.6 |
| 68 | 68 | 61.2/74.8 |

Tabla 3. Clasificación ISO para aceites industriales parcial.

I.5.3.2 Clasificación AGMA para aceites para engranajes

La asociación Americana de fabricantes de Engranajes (AGMA) posee dos clasificaciones de viscosidad para engranajes de uso industrial: Cerrados (AGMA 250.04) y abiertos (AGMA 251.02), para la protección a la herrumbre y oxidación (R&O), protección extrema presión (EP).

En el primer caso incluye los compuestos (compounded) donde la aditivación está basada en ácidos grasos y se recomiendan frecuentemente para engranajes del tipo sinfín generalmente construido de bronce, tabla 4.

| R & O | RANGO DE VISCOSIDAD | GRADO | EP | GRADO AGMA ANTIGUO |
|---------|---------------------|-------|-------|--------------------|
| AGMA | cts. a 40 °C | ISO | AGMA | SSU @ 100° F |
| 1 | 41.4 - 50.6 | 46 | | 193 - 235 |
| 2 | 61.2 - 74.8 | 68 | 2 EP | 284 - 387 |
| 3 | 90 - 110 | 100 | 3 EP | 417 - 510 |
| 4 | 135 - 165 | 150 | 4 EP | 626 - 725 |
| 5 | 198 - 242 | 220 | 5 EP | 918 - 1122 |
| 6 | 288 - 352 | 320 | 6 EP | 1335 - 1632 |
| 7 Comp. | 414 - 506 | 460 | 7 EP | 1919 - 2346 |
| 8 Comp. | 612 - 748 | 680 | 8 EP | 2837 - 3467 |
| 8A | 900 - 1100 | 1000 | 8A EP | 4171 - 5098 |

Tabla 4. Clasificación AGMA para aceites para engranajes.

I.5.3.3 Clasificación SAE para aceites de motor

SAE (Sociedad Americana de Ingenieros) define la clasificación de viscosidad de aceites de uso automotor. Esta clasificación define los límites para once grados de viscosidad distribuidos en dos series: con la letra "W" asociada, están definidos por la temperatura baja del Carter y de la capacidad de bombeo (condición de invierno), además de un mínimo a 100° C y sin la letra "W" están caracterizados únicamente por un rango de viscosidad a 100° C. (condición de verano).

Cabe mencionar que estas viscosidades se definen como aceites mono grado y cuando se combinan las características de ambas series, como multigrados. Los grados 20,30 y algunos multigrados, especifican viscosidad de alto corte a 150 ° C para simular la estabilidad de la viscosidad en cojinetes y anillos y cilindros bajo condiciones severas de operación, tabla 5.

| GRADO | Viscosidad | Viscosidad | Viscosidad | viscosidad | viscosidad |
|-------|--------------|-------------|-----------------|------------------|----------------|
| SAE | Carter | Bomba | Cinemática | Cinemática | Alto corte |
| | °C, cp. Max. | °C, cpmax. | 100°C cts. Min. | 100° C cts. Max. | 150°C cp. min. |
| 0w | 3250 a -30 | 60000 a-40 | 3.8 | 0 | 0 |
| 5w | 3500 a -25 | 60000 a -35 | 3.8 | 0 | 0 |
| 10w | 3500 a -20 | 60000 a -30 | 4.1 | 0 | 0 |
| 15w | 3500 a -15 | 60000 a -25 | 5.6 | 0 | 0 |
| 20w | 4500 a -10 | 60000 a -20 | 9.3 | 0 | 0 |
| 25w | 6000 a -5 | 60000 a -15 | 5.6 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 9.3 | menor 9.3 | 2.6 |
| 30 | 0 | 0 | 12.5 | menor 12.5 | 2.9 |
| 40 | 0 | 0 | 12.5 | menor 16.3 | 2.9 |
| 50 | 0 | 0 | 16.3 | menor 21.9 | 3.7 |
| 60 | 0 | 0 | 21.9 | menor 26.1 | 3.7 |

Tabla 5. Grados SAE de viscosidad para aceites de motor

1.5.3.5 Clasificación SAE para lubricantes de transmisiones manuales y diferenciales.

Este sistema establece grados de invierno 75W ,80W, y 85W determinados por la máxima temperatura baja a la cual alcanzan una viscosidad de 150.000, medida en centipoise. Grados de verano 90,140, y 250 definidos por un rango de viscosidad a 100 °C en contestones y las combinaciones de los grados de invierno y verano para dar origen a los aceites multi clima, siendo en estos casos los más recomendados por los fabricantes el SAE 80w90 y 80w140 .Grados semi sintéticos se encuentran como SAE 75w90 y 80w140, tabla 6.

| Viscosidad a 100° C | 75W | 80W | 85W | 80W90 | 85W140 | 90 | 140 | 250 |
|------------------------------------|------------|------------|------------|--------------|---------------|-----------|------------|------------|
| min. Cts. | 4.1 | 7.0 | 11.0 | 13.5 | 24.0 | 13.5 | 24 | 41.0 |
| max. Cts. | NR | NR | NR | <24.0 | <41.0 | <24.0 | <41.0 | NR |
| Viscosidad de 150000 Cp | -40 | -26 | -12 | -26 | -12 | NR | NR | NR |

NR = no requerido

Tabla 6. Grados SAE para transmisiones manuales y diferenciales automotrices.

I.5.3.6 Clasificación API

Los rangos de servicio API, definen una calidad mínima que debe de tener el aceite. Los rangos que comienzan con la letra C (Compression (compresión) – por su sigla en inglés) son para motores tipo diésel, mientras que los rangos que comienzan con la letra s (spark (chispa) - por su sigla en inglés) son para motores tipo gasolina. La segunda letra indica la fecha o época de los rangos, según tabla 7.

| ACEITES MOTORES GASOLINA | | ACEITES MOTORES DIESEL | |
|--------------------------|------------|------------------------|------------|
| SA | ANTES 1950 | CA | ANTES 1950 |
| SB | 1950-1960 | CB | 1950-192 |
| SC | 1960-1970 | CC | 1952-1954 |
| SD | 1965-1970 | CD/CD II | 1955-1987 |
| SE | 1971-1980 | CE | 1987-1992 |
| SF | 1981-1987 | CF/CF-2 | 1992-1994 |
| SG | 1988-1992 | CF-4 | 1992-1994 |
| SH | 1993-1996 | CG-4 | 1995-200 |
| SJ | 1997-2000 | CH-4 | 2001 |
| SL | 2001 | "4" = 4 Tiempos | |

Tabla 7. Rangos de servicio API para aceites de motores de gasolina y diésel.

Todos los aceites varían de viscosidad con la temperatura pero dependiendo de su origen, en mayor o menor cantidad .debido a esta observación, fue necesario definir el término "índice de viscosidad" y para establecerlo, se mide la viscosidad a dos temperaturas referenciales ,40°C y 100°C.

Originalmente se asignó una escala arbitraria donde un aceite con el menor cambio se le otorgo el valor de 0. De este modo, dependiendo de su tipo, todos los aceites tendrían un índice de viscosidad entre estos dos valores. Con las mejoras de las técnicas de refinación y el desarrollo de los aditivos mejoradores de índice de viscosidades posible contar con aceites de índice de viscosidad mayor a 100 igualmente con el desarrollo de los aceites sintéticos.

En general, se consideran aceites de bajo índice de viscosidad aquellos con valores entre 15 y 30 índice de viscosidad intermedio entre 30 y 85. Índice de viscosidad alto entre 85 y 100 e índice de viscosidad muy alto a los mayores a 100. Existen básicos con índice de viscosidad negativo, lo que refleja que su índice es inferior al de referencia que estableció el valor cero.

I.5.3.7 Lubricación correctiva, preventiva, predictiva y gestión ambiental

A fin de mantener el rendimiento eficaz y continuo de las plantas, fábricas y talleres, es esencial contar con un departamento de mantenimiento. El mantenimiento, a su vez, puede dividirse en "Predictivo", "Correctivo" y "Preventivo".

- a) El mantenimiento predictivo es un programa de mantenimiento de los equipos a través del análisis de aceite. Conociendo el estado de la lubricación nos podemos anticipar a los fallos mecánicos y de esta forma buscar soluciones, optimizar la de vida de la maquinaria y del propio aceite, y reducir paradas imprevistas.

- b) El mantenimiento correctivo es, tal y como su nombre implica, el hecho de detectar el más leve signo de daño en la maquinaria o el equipamiento. Este tipo de mantenimiento abarca la reparación de la pieza y es, por lo general, la política que se sigue en aquellas fábricas de menor tamaño que disponen de un pequeño número de máquinas y en las que cualquier daño de este tipo normalmente no afecta a la corriente de producción.

- c) El mantenimiento preventivo está dirigido a conseguir el mayor tiempo posible de funcionamiento de la máquina sin problemas o daños que diesen lugar a la interrupción de la producción habitual. De contar con un mantenimiento preventivo eficaz, es posible mantener una máxima eficacia en la producción industrial con una pérdida de tiempo mínima causada por las interrupciones, lo que hace posible conseguir el producto final a un coste menor.

En cuanto a la gestión ambiental, se considera que en el conjunto de diligencias conducentes al manejo integral del sistema ambiental. Dicho de otro modo e incluyendo el concepto de desarrollo sostenible, es la estrategia mediante la cual se organizan las actividades que afectan al medio ambiente, con el fin de lograr una adecuada calidad de vida, previniendo o mitigando los problemas ambientales.

La gestión ambiental responde al "cómo hay que hacer" para conseguir lo planteado por el desarrollo sostenible, es decir, para conseguir un equilibrio adecuado para el desarrollo económico, crecimiento de la población, uso racional de los recursos y protección y conservación del ambiente.

Abarca un concepto integrador superior al del manejo ambiental: de esta forma no sólo están las acciones a ejecutarse por la parte operativa, sino también las directrices, lineamientos y políticas formuladas desde los entes rectores, que terminan mediando la implementación.

I.5.3.8 Correlación entre análisis de aceite y condición de equipo

Mediante la extracción de muestras de aceite a equipos en funcionamiento es posible controlar causas de fallas y monitorear síntomas de falla. El aceite es testigo de lo acontecido dentro del equipo y colecta toda partícula generada por desgaste de los elementos mecánicos interactuantes y de la contaminación proveniente del exterior de la unidad.

Es recomendable inspeccionar la unidad por detección de modos de desgaste normal.

a) Mantenimiento correctivo

Corrige los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localizar averías o defectos y corregirlos o repararlos.

- Paradas de emergencia interrumpen procesos continuos de producción.
- Elevado costo de lucro cesante
- Elevado costo de las reparaciones

b) Mantenimiento preventivo

Destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad.

- Paradas programadas según recomendación del fabricante o proveedor del aceite.
- Paradas innecesarias en la mayor parte de los casos

c) Técnicas en mantenimiento predictivo

- Análisis de vibraciones
- Termografía
- Análisis de consumo de energía
- Inspección por ultrasonido
- Inspección por video (fibra óptica, etc.)
- Análisis de corriente en motores eléctricos
- Análisis de aceite
- Análisis de partículas metálicas

d) Técnicas de mantenimiento proactivo

- Alineación laser
- Balanceo
- Control de la contaminación- eliminación de puntos de ingreso de contaminación
- Análisis de aceite. Control de las propiedades físico – químicas (viscosidad-tan).

1.5.3.9 Almacén y manejo de lubricantes

Los fabricantes de lubricantes, así como sus almacenistas y distribuidores, cuidan que sus productos se hallen en el mejor estado cuando los entregan al consumidor, no

obstante pueden surgir accidentes que los deterioren o los contaminen. El usuario a su vez debe cuidar y vigilar que cuando el producto se aplique a un sistema, se encuentre en perfectas condiciones.

Por lo general la mayoría de los lubricantes no son productos excesivamente delicado que requieran precauciones extremas, de ser así vendría especificado por el fabricante, pero precisan de cierta vigilancia y atención durante su almacenamiento, con el fin de evitar el riesgo de posibles contaminaciones o alteraciones que produzcan averías o falta de rendimiento en las máquinas que con ellos se lubriquen.

Por tanto se deben seguir las siguientes reglas generales:

- 1) Buscar un lugar apropiado para el almacenamiento, de modo que las distancias a los sitios de aplicación sean reducidas.
- 2) El almacenamiento debe procurarse siempre bajo techo.
- 3) Si el almacenamiento es en el exterior, los bidones (recipiente hermético) no deben apoyarse directamente en el suelo.
- 4) La limpieza y el orden, deben ser factores tenidos muy en consideración.
- 5) La mecánica de trasiego (proceso de trasvase de un depósito a otro a fin de eliminar los residuos que se depositan en el fondo) de los lubricantes, debe efectuarse con las precauciones necesarias para evitar contaminaciones, derrames, etcétera.

- 6) El material empleado en el trasiego de lubricantes, debe estar depositado en un sitio central, determinado, y debe conservarse siempre limpio.
- 7) Se deben utilizar primeramente los lubricantes de más antigua procedencia (para ir reponiendo por aceites más nuevos).
- 8) Deben existir servicios de extinción de incendios por si existe algún percance o descuido (accidente).
- 9) Debe preverse siempre unos stocks (provisiones) mínimos vitales para evitar paradas o retrasos debidos al suministro.
- 10) A la recepción de los bidones y al comenzar a emplearlos debe controlarse visualmente su aspecto, color, transparencia, y brillantez; en las grasas su estado, color, y que no existan residuos extraños en su superficie, en caso de la más pequeña duda, consulte con el proveedor ya que en ocasiones procederá la devolución y sustitución de los mismos para su análisis y comprobación de sus características para descifrar su posible cambio y fallos.

I.5.4 Lubricante sólido

Los lubricantes secos o lubricantes sólidos son materiales que a pesar de que se encuentran en fase sólida, son capaces de reducir la fricción entre dos superficies que se deslizan entre sí, sin necesidad de contar con un medio líquido.

Este tipo de lubricantes, que comprenden materiales tales como el grafito, el nitruro de boro hexagonal, el di sulfuro de molibdeno y el di sulfuro de tungsteno son también capaces de brindar lubricación a temperaturas superiores a las que pueden operar los líquidos y lubricantes basados en aceites. Estos materiales pueden ser utilizados hasta temperaturas de 350 °C en medios oxidantes y aún más elevadas en medios reductores o no-oxidantes (el di sulfuro de molibdeno hasta 1100 °C). Sus propiedades de lubricación se atribuyen a sus estructuras en formas de láminas a nivel molecular con fuerzas de unión débiles entre las láminas. Sus láminas son capaces de deslizarse unas sobre otras con muy pequeñas fuerzas de tracción, lo que les confiere las propiedades de baja fricción.

Los lubricantes sólidos más utilizados son:

Grafito = Uso en compresores de aire, industria alimenticia, uniones de vías de ferrocarril, engranajes abiertos, trabajos en centros de maquinado de metales, etcetera.

Di sulfuro de molibdeno = Uso en vehículos espaciales

Nitruro de boro hexagonal = Uso en vehículos espaciales. También llamado "grafito blanco"

Su principal Ventajas de los lubricantes solidos es:

- Permiten la lubricación en condiciones de presión y temperatura en donde un lubricante líquido no funciona correctamente.

I.5.5 Lubricantes líquidos

Con respecto a los lubricantes líquidos tenemos principalmente los aceites que se pueden clasificar en 2 tipos.

a) Minerales

Los aceites minerales proceden del petróleo, y son elaborados del mismo después de múltiples procesos en sus plantas de producción, en las Refinerías. El petróleo bruto tiene diferentes componentes que lo hace indicado para distintos tipos de producto final, siendo el más adecuado para obtener aceites el crudo parafínico.

b) Sintéticos

Los aceites sintéticos no tienen su origen directo del crudo o petróleo, sino que son creados de sub-productos petrolíferos combinados en procesos de laboratorio. Al ser más larga y compleja su elaboración, resultan más caros que los aceites minerales. Son de máxima calidad, especialmente diseñado para vehículos con tratamientos de gases de escape y para cumplir los más exigentes requisitos de los motores de vehículos más actuales.

Su estudiada formulación con reducido contenido en cenizas lo hace adecuado para las últimas tecnologías de motores existentes y a la vez contribuye a la conservación del medio ambiente minimizando emisiones nocivas de partículas. Cualidades que lo hacen altamente recomendado para vehículos gasolina y diésel con o sin turbocompresores y que incluyan tratamientos de gases de escape. Formula optimizada con aditivos antifricción de alta calidad contribuyendo al ahorro de combustible a la vez que proporciona la protección anti desgaste adecuado para motores de altas prestaciones. Bajo consumo de lubricante por su tecnología sintética y estudiada viscosidad. Producto de larga duración, que puede prolongar notablemente los intervalos de cambio de aceite sin sacrificar la limpieza del motor.

Excelente comportamiento visco simétrico en frío; facilita el flujo del lubricante en el arranque, disminuyendo el tiempo necesario de formación de película y por tanto reduciendo el desgaste. Su reducido contenido en cenizas, lo hace necesario para la durabilidad de las nuevas tecnologías de disminución de emisiones como filtro de partículas diésel (DPF), contribuyendo por tanto en mayor medida a la conservación del medioambiente que los lubricantes convencionales.

I.5.6 Lubricantes semi-sólidos

Los lubricantes semi sólidos principalmente se conocen como grasas lubricantes:

Una grasa lubricante como una dispersión semilíquida a sólida de un agente espesante en un líquido (aceite base). Consiste en una mezcla de aceite mineral o sintético (85-90%) y un espesante. Al menos en el 90% de las grasa, el espesante es un jabón

metálico, formado cuando un metal hidróxido reacciona con un ácido graso. Un ejemplo es el estearato de litio (jabón de litio).

Cuando la grasa tiene que contener propiedades especiales, se incluyen otros constituyentes que actúen como inhibidores de la oxidación y mejoren la resistencia de la película. Existe otro tipo de aditivo: los estabilizadores. Cambiando el jabón, aceite o aditivo, se pueden producir diferentes calidades de grasas por una amplia gama de aplicaciones.

Las grasas son usadas en aplicaciones donde los lubricantes líquidos no pueden proveer la protección requerida. Es fácil aplicarlas y requieren poco mantenimiento.

Están básicamente constituidas por aceite (mineral o sintético) y un jabón espesante que es el "transporte" del aceite, siendo este último el que tiene las propiedades lubricantes, no así el jabón. Las principales propiedades de las grasas son que se quedan adheridas en el lugar de aplicación, provee un sellamiento y un espesor laminar extra.

I.5.6.1 Clasificación de las grasas lubricantes

La clasificación de las grasas lubricantes no está regulada de forma clara. A causa de las múltiples aplicaciones y de las diferentes composiciones, las grasas se clasifican principalmente según su aceite base o su espesante.

- 1) Aceite base : El aceite contenido en una grasa se denomina aceite base. Su porcentaje varía según el tipo y la cantidad de espesante, así como según la aplicación prevista de la grasa lubricante. El porcentaje de aceite base se sitúa en la mayoría de las grasas entre 85 y 97%.

El tipo de aceite base aporta a la grasa alguna de sus propiedades típicas.

- 2) Espesantes : Los espesantes se dividen en dos grupos: los organometálicos (jabón) y los no organometálicos, y confieren a las grasas lubricantes su comportamiento típico. Las grasas lubricantes de jabón se dividen en grasas lubricantes de jabón complejo y normal, tomando su denominación según el catión básico del jabón (p. ej. Grasas lubricantes de jabón de litio, sodio, calcio, bario, aluminio).

Estos jabones se elaboran a partir de ácidos grasos, que son productos obtenidos de aceites y grasas animales y vegetales.

En una unión de estos ácidos con los hidróxidos metálicos correspondientes se produce la formación de jabones utilizados como espesantes para la fabricación de grasas lubricantes.

Esta subdivisión según cationes de jabón es especialmente significativa. Los cationes aportan importantes características específicas del producto, por ejemplo, el punto de goteo de las grasas de jabón de calcio asciende a $< 130^{\circ}\text{C}$, mientras que el de las grasas de jabón de litio alcanza unos 180°C .

Si se combinan dos o más cationes, se habla de tipos de grasas lubricantes de base mixta. El porcentaje de espesantes en las grasas lubricantes se sitúa, por término medio, entre 3 y 15%, siendo algunas veces mayor. El porcentaje de espesante depende de la composición de la grasa, de su consistencia, así como del tipo de espesante y del procedimiento de fabricación correspondiente.

I.5.6.2 Distintos tipos de grasas y aditivos empleados

Entre los principales tipos, tenemos grasas:

- a) **Cálcicas :** 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.

- b) Sódicas : 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.

- c) Líticas : 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. No obstante, cuando esto sucede, están de alguna manera emulsionadas,

por lo que en estas condiciones sólo se deberían utilizar si la temperatura es demasiado alta para grasas de jabón de calcio-plomo, esto es, 60°C.

- d) De jabón compuesto : Este término se emplea para grasas que contienen una sal, así como un jabón metálico, usualmente del mismo metal. Las grasas de jabón de calcio compuesto son las más comunes de este tipo, y el principal ingrediente es el acetato cálcico. Otros ejemplos son compuestos de Li, Na, Ba (Bario), y Al (Aluminio). Las grasas de jabón compuesto permiten mayores temperaturas que las correspondientes grasas convencionales.

- e) Espesadas con sustancias inorgánicas : En lugar de jabón metálico se pueden emplear distintas sustancias inorgánicas como espesantes, por ejemplo, bentonita y gel de sílice. La superficie activa utilizada sobre partículas de estas sustancias absorben las moléculas de aceite. Las grasas de este grupo son estables a altas temperaturas y son adecuadas para aplicaciones de alta temperatura; son también resistentes al agua. No obstante, sus propiedades lubricantes decrecen a temperaturas normales.

- f) Sintética : 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 .

- g) Para bajas temperaturas : 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.

- h) Para medias temperaturas : Las llamadas grasas multi-uso" 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.

- i) Para altas temperaturas : 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.

- j) Para extrema presión : 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, esto es, 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 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.
- k) Antiengrane : 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.
- l) Aditivos : Para obtener una grasa con propiedades especiales, se incluyen a menudo uno o más aditivos. Entre los existentes, relacionamos los más comunes:

Los aditivos anti desgaste mejoran la protección que la propia grasa ofrece. Es especialmente importante que el equipo en contacto esté bien protegido contra la oxidación si funciona en

ambientes húmedos.

Los antioxidantes retrasan la descomposición del aceite base a alta temperatura. Esto da lugar a mayores intervalos de re lubricación, manteniendo bajos los costos.

Los aditivos EP (extrema presión), por ejemplo jabones de plomo y compuestos de azufre, cloro o fósforo, aumentan la capacidad de carga de la película.

Los estabilizadores hacen posible el espesado de aceite base con jabones con los que no forma compuestos fácilmente. Generalmente, sólo se precisa poca cantidad, por ejemplo, la grasa cálcica tiene un 1 a 3% de agua como estabilizador.

La lubricación por grasa posee ciertas ventajas en relación con la lubricación por aceite:

- La construcción y el diseño son menos complejos.
- Requiere de menor mantenimiento, al ser posible la lubricación de por vida.
- Menor riesgo de fugas y juntas de estanqueidad más sencillas.
- Eficaz obturación gracias a la salida de la grasa usada, es decir, la "formación de cuellos de grasa".

- Con grasas para altas velocidades, cantidades de grasa dosificadas y un proceso de rodaje pueden obtenerse bajas temperaturas del cojinete a elevado número de revoluciones.

Pero también posee desventajas como son:

- No es posible la evacuación de calor.
- La película de grasas absorbe las impurezas y no las expulsa, sobre todo en el caso de lubricación con cantidades mínimas de grasa.
- Según el nivel actual de conocimientos, menores números límites de revoluciones o bien factores de velocidad admisibles en comparación con la lubricación por inyección de aceite y la lubricación por pulverización, (Lubricantes, 2013).

II. Proceso de diseño

Debido a que el diseño mecánico es la base teórica que lo sustenta el proyecto de investigación, inicialmente se dará una descripción de lo que es el diseño y las etapas del mismo de manera general, para posteriormente desarrollar y aplicar de manera práctica las que así sean necesarias para obtener un prototipo funcional y dar solución a la problemática planteada.

Etimológicamente la palabra Diseño proviene del latín designare (designar, referente al signo, signar, señalar, señal, indicación gráfica de sentido o dirección) representada mediante cualquier medio y sobre cualquier soporte analógico, digital, virtual en dos o más dimensiones.

Como verbo, "diseñar" se refiere al proceso de creación y desarrollo para producir un nuevo objeto o medio de comunicación (máquina, producto, edificio, etc.) para uso humano. Como sustantivo, el diseño se refiere al plan final o proposición determinada, fruto del proceso de diseñar (dibujo, proyecto, maqueta, plano o descripción técnica), o (más popularmente) al resultado de llevar a la práctica el concepto ideado.

Así mismo, diseñar requiere principalmente consideraciones funcionales y estéticas. Por ello se requieren de numerosas fases de investigación, análisis, modelado, ajustes y adaptaciones previas a la producción definitiva del objeto. Además, comprende multitud de disciplinas y oficios dependiendo del objeto a diseñar y de la participación en el proceso de una o varias personas.

Por tal motivo al diseñar se tiene que realizar un proceso metodológico, estructurado, en donde de manera sistematizada se optimizan los recursos con que cuenta una organización, con el fin de transformar un conjunto de ideas y conocimientos en un sistema capaz de satisfacer una necesidad. El diseño puede ser mecánico, eléctrico, electrónico ó una combinación multidisciplinaria de ellos, pero el objetivo siempre es el mismo, satisfacer una necesidad o dar solución a un problema.

Por lo tanto, el diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica: piezas, estructuras, mecanismos, máquinas y dispositivos e instrumentos diversos. En su mayor parte, el diseño mecánico hace uso de las matemáticas, las ciencias de los materiales y las ciencias mecánicas aplicadas a la ingeniería. Esto quiere decir que el diseño mecánico consiste en construir dispositivos que involucran fuerza y movimiento.

Es importante destacar que dichos dispositivos deben diseñarse con base en las normas y estándares vigentes, nacionales e internacionales. Debido a que son sistemas que transmiten movimiento, deben contar con rigidez, tener accesos seguros para los usuarios y un consumo mínimo de energía.

Lo anterior en cuanto a consideraciones generales, pero hoy en día, en diseño mecánico se deben considerar aspectos tan importantes como la calidad, estética e impacto ecológico, esto implica generar productos, procesos ó sistemas limpios y en la medida de lo posible minimizar los desechos, así como, fomentar la reutilización de elementos una vez que cumplieron su ciclo de vida, (Introduction to creative design, 1967), (Introducción a la ingeniería, un enfoque a través del diseño, 2002).

II.1 Factores del diseño

A veces la resistencia de un elemento es un asunto muy importante para determinar la configuración geométrica y las dimensiones que tendrá dicho elemento. En el de diseño tradicional se consideran principalmente aspectos de rigidez, funcionalidad y costo, dentro de éste ámbito es necesario realizar un análisis completo de los elementos mecánicos críticos para determinar los materiales a utilizar, dimensiones y características superficiales.

La expresión factor de diseño significa alguna característica o consideración que influye en el diseño de un elemento o quizás en todo el sistema. Por lo general se tienen que considerar diversos factores en un caso de diseño determinado. En ocasiones alguno de estos factores será crítico y, si se satisfacen sus condiciones, ya no será necesario considerar los demás.

La siguiente lista no pretende indicar todas las consideraciones de diseño que se tienen que realizar en el proyecto, pero puede ser una guía útil a considerar durante el desarrollo del proceso.

1. Resistencia.
2. Confiabilidad.
3. Condiciones térmicas.
4. Corrosión.
5. Desgaste.
6. Fricción o rozamiento.
7. Procesamiento.
8. Utilidad.
9. Costo.
10. Seguridad.
11. Peso.
12. Ruido.
13. Estilización.
14. Forma.
15. Tamaño.
16. Flexibilidad.
17. Control.
18. Rigidez.
19. Acabado de superficies.
20. Lubricación.
21. Mantenimiento.
22. Volumen.

Alguno de estos factores se refiere directamente a las dimensiones, al material, al proceso de fabricación, o bien, a la unión o ensamble de los elementos del sistema; otros se relacionan con la configuración total del sistema.

A continuación se muestran algunas consideraciones relevantes en las que se pueden resumir los factores de diseño tomando en cuenta los más significativos.

II.1.1. Consideraciones económicas

Sin duda alguna las consideraciones económicas son las que tienen mayor relevancia al momento de diseñar, ya que el factor de diseño esta intrínsecamente involucrado con los costos de fabricación y adquisición de materia prima. Para su mejor comprensión únicamente se presentarán algunos enfoques sencillos y reglas generales.

En primer lugar, debe notarse que no se puede decir nada absoluto en lo que respecta a los costos. El costo de los materiales y de la mano de obra se incrementa generalmente año con año. Sin embargo, es de esperar que los costos de procesamiento de materiales manifiesten una tendencia a bajar debido al uso de máquinas-herramientas automatizadas. El costo de fabricar un mismo producto varía de una ciudad a otra y de una planta a otra, debido a las diferencias que hay en gastos generales, de mano de obra, ajustes por fletes y ligeras variaciones por manufactura.

II.1.2 Selección de elementos comerciales

No todos los elementos que se integran en una máquina deben diseñarse, existen empresas dedicadas a fabricar elementos “comerciales”, es decir, cuentan con piezas en tamaños estándar de rodamientos, tornillos, cadenas de rodillos, engranes, ventiladores, baterías, circuitos electrónicos, impresoras, reductores de velocidad y motores eléctricos. Estos últimos de gran importancia en el diseño, ya que en muchas máquinas el movimiento rotativo es constante.

Por ello, el ingeniero de diseño debe conocer los elementos comerciales que existen en el mercado, y evaluar la posibilidad de integrarlos a su diseño. Compara los datos del fabricante como materiales, resistencia, dimensiones, peso y con esto realizar la selección de los mismos.

II.1.2.1 Manejo de tamaños estándares

Este es un principio básico para reducir los costos. Por ejemplo, se requiriera una barra G10350 de acero laminado en caliente y de sección cuadrada de $2\frac{1}{8}$ " (53.9mm) de lado, al cual suele llamarse "cuadrado laminado en caliente" incrementaría el costo del producto siempre si no hubiera cuadrados estándares de 2" (50.8mm) o de $2\frac{1}{4}$ " (57.1mm) que sirvieran también como uno de $2\frac{1}{8}$ " debido a que los cuadrados de esta última medida sólo se pueden adquirir sobre pedido especial o bien laminando o maquinando una barra especial, procedimientos que encarecerían el producto. Cabe mencionar que en los sistemas métricos se emplean medidas en milímetros.

Para tener la seguridad de que se especifiquen tamaños estándares, el ingeniero de diseño debe tener conocimiento de las listas de existencias de los materiales a emplear. Tales listas se pueden consultar en bibliotecas u otros centros de información, o bien, adquirir directamente con los abastecedores o proveedores.

Por otro lado, en el diseño se especifican muchas piezas o máquinas que deben comprarse, como por ejemplo, motores, bombas, cojinetes y sujetadores. En este caso el diseñador tiene que especificar elementos que se puedan conseguir fácilmente. Recordemos que los elementos que se fabrican o venden en grandes cantidades tienen un costo menor, en comparación con los que tienen tamaños poco comunes.

II.1.2.2 Utilización de tolerancias

Entre los efectos que tienen las especificaciones de diseño sobre los costos, los de las tolerancias son las más significativas, debido a que influyen directamente en la rentabilidad del producto final, por ejemplo; se pueden necesitar pasos adicionales en el proceso, los cuales hagan que la fabricación de una pieza sea totalmente incosteable. El término tolerancia abarca tanto la variación de las dimensiones y los límites para la aspereza de las superficies, como la variación de las propiedades mecánicas producidas por tratamientos térmicos u otras operaciones de procesado.

Muchas de las piezas que tienen amplias tolerancias se pueden producir con máquinas de alto rendimiento o alto volumen de producción. Además, el costo de la mano de obra será menor, ya que no se requiere emplear a operarios muy calificados si se desean piezas con altos grados de tolerancia. Así mismo, serán pocas las piezas de este tipo que se rechacen durante el proceso de inspección y por lo general, será más fácil montarlas o ensamblarlas.

II.1.2.3 Puntos de equilibrio

Es muy común que cuando se compara el costo de dos o más diseños, el criterio para elegir uno de ellos, dependerá de otras condiciones como son: volumen de producción, velocidad de las líneas de ensamble o alguna otra. De esta manera se llega a un punto donde se igualan o equilibran los costos, el cual recibe el nombre de punto de equilibrio.

II.1.2.4 Estimaciones de costo

Hay muchas maneras de obtener valores relativos de los costos, de modo que se puede hacer una comparación aproximada entre uno o más diseños; sin embargo, en algunos casos se necesitan bastantes criterios. Una forma de comparar el costo de un diseño con el de otro sería, simplemente, contar el número de piezas, pues es probable que cueste menos el que tenga menos cantidad de partes.

Se pueden utilizar otros estimadores de costos, según se requiera en cada cotización, como área, volumen, potencia, momento o par de torsión, capacidad, velocidad y diversas relaciones o coeficientes de funcionamiento.

II.2 Ingeniería de diseño

La ingeniería de diseño se ha definido como “el proceso de aplicar diversas técnicas y principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o un sistema enormemente complejo, fácil o difícil, matemático o no matemático, y puede implicar un problema trivial o uno de gran importancia”. El diseño es un componente universal en la práctica de la ingeniería. Sin embargo, la complejidad de las cuestiones de ingeniería generalmente requiere que el estudiante disponga de un conjunto de problemas bien estructurados, diseñados para aclarar uno o varios conceptos particulares que se relacionan con un tema específico.

Por desgracia, los problemas de ingeniería de la vida real casi nunca están estructurados así. Por tales motivos al diseñar es conveniente desarrollar un proceso

de diseño, El cual se puede considerar como una guía de las etapas por cumplir con un cierto grado de flexibilidad para la solución de problemas de ingeniería. Debido a que los diseñadores emplean un gran número de combinaciones de etapas y ninguna garantiza ser la mejor, el cumplir estrictamente un proceso de diseño no asegura una solución exitosa. Pero si, un orden en las ideas y en el manejo de la información.

Con base en el planteamiento anterior, en la tabla 8 se propone un orden de pasos del proceso de diseño, describiéndose a continuación cada uno de ellos.

| Proceso de diseño |
|---|
| 1.- Identificación de la necesidad. |
| 2.- Investigación preliminar. |
| 3.- Definición del problema. |
| 4.- Especificaciones de funcionamiento. |
| 5.- Configuración. |
| 6.- Conceptualización. |
| 7.- Diseño detallado. |
| 8.- Prototipo y pruebas. |

Tabla 8. Pasos a seguir en el proceso del diseño.

II.2.1 Identificación de la necesidad

Este primer paso con frecuencia lo realiza alguien más, el encargado directo o un cliente “Lo que se necesita es...” En general este enunciado será breve y carente de detalles. Estará muy lejos de proporcionarle un enunciado de problema estructurado.

Comúnmente, el diseño comienza cuando un ingeniero se da cuenta de que existe una necesidad y decide hacer algo al respecto. Cabe mencionar, que identificar una necesidad y expresarla en determinado número de palabras, es una actividad sumamente creativa, pues la necesidad puede manifestarse simplemente como un vago descontento, o bien, por la intuición de una dificultad o en la sensación de que algo no está bien.

Por lo general, las necesidades se identifican a partir de una circunstancia adversa o bien de una serie de circunstancias fortuitas que surgen casi al mismo tiempo. Además, es obvio que si una persona es sensible y percibe fácilmente las cosas, entonces es más probable que identifique una necesidad y haga algo al respecto. Por esta razón, las personas sensibles son las más creativas.

Como ya se ha indicado, generalmente la necesidad no es evidente. Una necesidad se identifica fácilmente después de que alguien la ha planteado.

II.2.2 Investigación preliminar

Ésta es la fase más importante en el proceso y desafortunadamente suele desdeñarse, ya que la investigación en este caso se realiza para reunir información preliminar acerca de datos de física, química o de otros aspectos relevantes del problema.

Asimismo, es conveniente hallar si éste, o un problema similar, se han resuelto antes. No se necesita “reinventar la rueda”, con suerte ya está en el mercado la solución, y sin duda será más económico comprarla que elaborar una propia. Sin embargo en esta etapa, se puede aprender mucho acerca del problema por resolver cuando se investiga la existencia del arte asociado a tecnologías y productos similares.

La información sobre patentes y las publicaciones técnicas en el área son fuentes de información y es posible tener acceso a ellas por medio de Internet. Es claro que si se halla la solución y ésta amparada por una patente aún en vigencia, se tendrá pocas opciones éticas: adquirir la solución patentada, diseñar algo que no entre en conflicto con la patente, o bien, abandonar el proyecto. Es muy importante que se dediquen la energía y el tiempo suficientes a esta fase de investigación y preparación del proceso, con el fin de evitar tropiezos al elaborar una solución grandiosa para un problema equivocado.

II.2.3 Definición del problema

Una vez que se comprende el funcionamiento del área del problema como originalmente se estableció, se estará listo para expresar de nuevo ese problema en un planteamiento de meta más coherente. Esta nueva especificación del problema debe

tener tres características. Ser concisa, general y no estar matizada por términos que pronostiquen una solución. Debe ser esbozada, con base a una visualización funcional, lo que significa concebir su función, más que señalar cualquier incorporación particular.

El planteamiento de la meta debe abarcar también todas las condiciones para el objeto que se va a diseñar. Tales condiciones son las cantidades de entrada y de salida, las características y dimensiones del espacio que deberá ocupar el objeto, y todas las limitaciones a estas cantidades. Se puede considerar al objeto como algo colocado en una caja negra, invisible desde fuera. En este caso se tiene que determinar lo que entrará y lo que saldrá de dicha caja, así como sus características y limitaciones.

II.2.4 Especificaciones de funcionamiento

Cuando se comprende el funcionamiento, y las metas se establecen claramente, se está listo para formular un conjunto de especificaciones de funcionamiento. Esto no debe incluir especificaciones de diseño. La diferencia es que las especificaciones de funcionamiento definen lo que el sistema debe hacer, en tanto que las especificaciones de diseño definen como debe hacerse. En esta etapa del proceso de diseño no es prudente determinar el objetivo específico. Éste se define en la fase de conceptualización.

Por ello, el propósito de las especificaciones de funcionamiento es definir y restringir cuidadosamente el problema, de modo que se pueda resolver y mostrar que se ha resuelto, después de tal hecho.

Asimismo, las especificaciones definen el costo, la cantidad de piezas a fabricar, la duración esperada, el intervalo o variedad de capacidades, la temperatura de trabajo y la confiabilidad. Entre dichas condiciones sobresalen las velocidades necesarias, las intensidades de alimentación, las limitaciones de temperatura, el alcance máximo, las variaciones esperadas en las variables y las restricciones en tamaño y peso.

Existen muchas condiciones intrínsecas que dependen del ambiente particular del diseñador o de la propia naturaleza del problema. Los procesos de fabricación de que se disponen y las instalaciones de cierta planta industrial son restricciones a la libertad de acción del que diseña; por lo tanto, forman parte de las condiciones intrínsecas. Por ejemplo, una fábrica pequeña tal vez no tenga maquinaria para trabajar metales en frío. Sabiendo esto, el diseñador seleccionará otro método de fabricación que se pueda aplicar en la planta. La habilidad y calificación del personal disponible y la situación competitiva son también condiciones o especificaciones inherentes.

Todo lo que limite la libertad de selección del diseñador es una condición o especificación. Por ejemplo, en los catálogos, los fabricantes listan muchos materiales y tamaños de productos, pero muchas veces no pueden surtirlos todos y frecuentemente hay escasez de alguno. Además la economía de inventario requiere que el fabricante tenga en existencia una cantidad mínima de materiales y producto a sustituir, (Unlocking Human Creativity,1980).

II.2.5 Ideación e invención

Este paso entraña diversión y frustración. Esta fase es, potencialmente, la más satisfactoria para la mayoría de los diseñadores, pero también la más difícil, donde la

creatividad (característica por excelencia de los seres humanos) es la base fundamental para llevar a cabo su desarrollo.

Esta etapa del diseño lleva consigo lo que se llama, proceso creativo, el cual ha desarrollado muchas técnicas para acentuar o inspirar la resolución creativa de problemas.

La generación de ideas, es la etapa más difícil. Incluso personas muy creativas tienen dificultad en la invención "sobre pedido". Se han sugerido muchas técnicas para mejorar la producción de ideas, y la más importante es la del juicio diferido, lo que significa que el espíritu crítico de uno debe anularse temporalmente. La meta aquí es obtener la mayor cantidad posible de diseños potenciales. Aun sugerencias en apariencia ridículas deben ser bienvenidas, ya que pueden hacer surgir nuevas perspectivas y proponer otras soluciones más prácticas y realistas.

Una técnica de gran éxito en la generación de soluciones creativas es la lluvia de ideas. En este método se necesita un grupo de personas, de preferencia entre 6 y 15, y se trata de evitar la más grande barrera a la creatividad que es el miedo al ridículo. En un grupo la mayoría de las personas no manifestarán sus verdaderos pensamientos acerca de una materia por temor a la burla.

Cuando se trabaja solo se requiere utilizar otras técnicas, por ejemplo, las analogías y la inversión con frecuencia son útiles, un problema mecánico se puede convertir en uno hidráulico o eléctrico. La inversión pone de manifiesto otro enfoque de resolución, (Knowledge based systems for design journal of Mechanical, 1995).

II.2.6 Análisis

Una vez que se llega a esta etapa se tendrá estructurado el problema, por lo menos temporalmente, aunque se podrán aplicar técnicas de análisis más refinadas para examinar la realización del diseño en la fase de análisis del proceso respectivo. Cabe destacar que se requerirá mayor iteración a medida que se descubran problemas a partir del análisis.

Cuando el análisis técnico indica que hay algunos diseños potencialmente viables, se debe seleccionar el óptimo disponible para el diseño detallado, el prototipo y las pruebas. Este proceso de selección generalmente incluye un análisis comparativo de las soluciones de diseño disponibles. A veces una matriz de decisión ayuda a identificar la mejor solución y obliga a considerar una variedad de factores en forma sistemática como el costo, la facilidad de uso, la eficiencia, el funcionamiento, la confiabilidad y otras que se juzguen apropiadas para el problema en particular.

II.2.7 Diseño detallado

Este paso por lo general incluye la creación de un conjunto completo de dibujos de ensamblaje y de detalle, o de archivos de partes mediante el diseño asistido por computadora (CAD), para todas y cada una de las partes empleadas en el diseño. Cabe destacar que en esta etapa se efectúa la memoria de cálculo para cada uno de los componentes. Asimismo cada dibujo de detalle debe especificar todas las dimensiones y especificaciones de material necesario para elaborar esa pieza o parte. A partir de esos dibujos (o archivos de CAD) debe construirse un modelo de prueba (o varios modelos) para someterlo a pruebas físicas. Es muy probable que las pruebas revelen más defectos y se requiera realizar una mayor cantidad de iteraciones.

II.2.8 Prototipos y pruebas

El prototipo es un modelo o versión inicial de un producto, previsto para probar y desarrollar el diseño. Antes de invertir en el equipo necesario para fabricar en serie un producto, el fabricante debe estar convencido de que el diseño es seguro y fiable. Los diseñadores e ingenieros emplean prototipos para conseguirlo.

Los prototipos pueden ser muy sencillos, con sólo unos pocos componentes. Un ejemplo sería un prototipo para averiguar la velocidad de giro de una cuchilla de una cortacésped cuando es impulsada por un motor eléctrico determinado donde, solo sería necesario un motor, una cuchilla y una fuente de alimentación para obtener dicho dato.

A medida que el diseño avanza, los prototipos se hacen más complicados. Al aumentar gradualmente la complejidad del prototipo se pueden identificar y corregir posibles problemas del diseño.

En la última fase del proceso de diseño, los prototipos son muy parecidos al producto final. La principal diferencia es que no se fabrican con los medios de producción en serie que se emplearán en el producto final, ya que por lo general se construyen con partes de producción ideal, con la misma propiedad de material y geometría con que se tiene pensado que será en la versión de producción pero no necesariamente fabricadas con los procesos reales que se utilizarán en la manufactura, ya que dichos medios aún no existen.

El papel fundamental de un prototipo es reducir el riesgo de errores de diseño. Con los prototipos, los fabricantes pueden adquirir confianza en sus diseños y justificar la inversión necesaria para su producción en serie. Porque finalmente, no se puede estar seguro de la corrección o viabilidad de un diseño hasta que no sea construido y probado. Un modelo matemático, aunque es muy útil, no puede ser una representación tan completa y segura como un modelo físico, debido a la necesidad de efectuar hipótesis simplificadoras.

Los prototipos con frecuencia son muy costosos, pero aun así son la forma más económica de probar un diseño y no tener que construir un dispositivo real, a escala natural. Los prototipos pueden tomar muchas formas, desde modelos a escala de trabajo hasta representaciones del concepto, de tamaño natural pero simplificado. Los modelos a escala introducen sus propias complicaciones respecto a las tolerancias dimensionales respecto a los parámetros físicos.

Las pruebas que se le realizan al prototipo son de mucha importancia ya que por medio de estas se pueden eliminar peligros, costos y conflictos provenientes de encontrar errores en el diseño después de fabricar grandes cantidades de artículos defectuosos.

Con bastante tiempo, dinero y perseverancia, el diseño estará listo para la producción. Ésta podría consistir en la manufactura de una sola versión final del diseño, pero probablemente significará hacer miles o incluso millones de versiones de un solo diseño. Aunque antes se puede implementar una producción piloto, para prevenir algunas complicaciones que pudieran surgir en la producción final, (Diseño en ingeniería Mecánica, 1980).

En el diagrama de flujo 1 se observa el proceso de diseño en ingeniería.

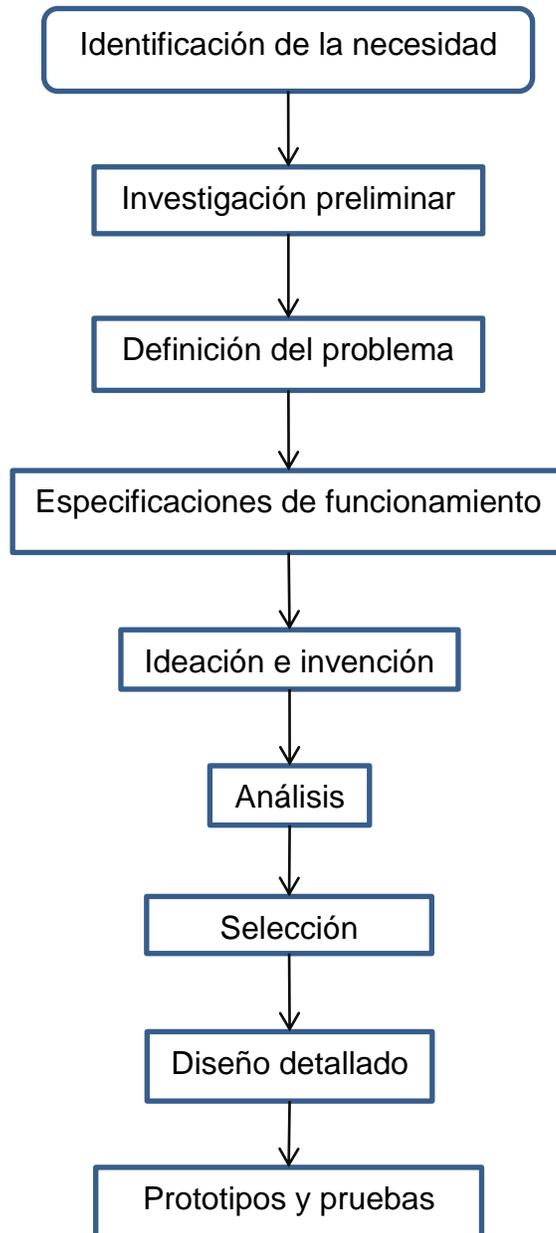


Diagrama de flujo 1. Proceso de diseño en ingeniería.

II.3 Diseño de una máquina didáctica de lubricación para ensayos

II.3.1 Identificación de la necesidad

El presente trabajo de investigación tiene, como finalidad principal demostrar la importancia que tiene el uso de lubricantes líquidos (aceites) para el óptimo funcionamiento de máquinas donde tienen componentes en movimiento que se encuentran en contacto.

II.3.2 Investigación preliminar

Las máquinas al tener conjuntos de elementos móviles, necesitan contar con una capa de lubricante entre sus componentes, de esta manera evitamos el desgaste prematuro y excesivo entre los componentes, también se evita el calentamiento elevado y aumenta la eficiencia de la maquina debido a que reduce el rozamiento entre sus componentes. Esta capa de lubricante puede ser de aceites, grasas, sólidos y gases, como se mencionó en un principio nos enfocaremos a los lubricantes líquidos (aceites).

Si los elementos móviles de la máquina trabajan a altas velocidades como es el caso de los motores de combustión interna, la fricción y la temperatura son mayores, donde es de mayor importancia mantener una película hidrodinámica entre estos. Es por eso que para generar la película hidrodinámica es necesario el uso de aceite lubricante.

En el mercado existen muchas marcas de aceites que aseguran ser las mejores opciones de lubricantes para evitar el desgaste, por mencionar algunas marcas tenemos a Quaker State, Gonher, Roshfrans, Castrol, Esso, Mobil 1. Si todas las marcas aseguran tener el mejor lubricante es necesario diseñar una máquina que nos permita demostrar la importancia de una capa hidrodinámica entre elementos en movimiento y también se puede definir que marca y tipo de lubricante es mejor.

II.3.3 Definición del problema

Diseñar una máquina que demuestre que el uso de lubricantes líquidos “aceites”, evitan el desgaste prematuro, el sobrecalentamiento y el consumo excesivo de energía en las máquinas con elementos en movimiento sometidos a constante fricción en su entorno.

Debe ser posible identificar de forma fácil la diferencia entre no usar, usar aceites sucios y diversos tipos de aceites. La máquina debe tener un precio accesible, debe ser posible transportarla y permitir realizar numerosas pruebas sin presentar fallas.

II.3.4 Especificaciones de funcionamiento

En un principio tenemos que definir cuáles son las especificaciones de funcionamiento más importantes que buscamos en nuestra máquina de lubricación. Es importante formar un grupo de trabajo en donde se puedan escuchar todas las especificaciones deseadas en la máquina de lubricación.

Todas estas especificaciones deben de ingresarse en una tabla de relación de importancia. A cada especificación o necesidad se le asigna un número del 1 al 3, siendo el número 1 el de mucha importancia y el número 3 el de menos importancia.

1.-Mucha importancia, 2.- Media importancia, 3.- Poca importancia

| Necesidad | Relación de importancia |
|---|--------------------------------|
| Fácil de transportar | 2 |
| Económico de construir | 1 |
| Permitir aplicar diferentes valores de peso | 1 |
| Permitir usar diferentes tipos de materiales en la probeta. | 1 |
| La probeta debe ser reemplazable. | 1 |
| El ensamble completo debe ser resistente | 1 |
| Permitir usar diferentes tipos de aceites | 1 |
| Debe tener un botón de paro de emergencia | 2 |
| Fácil de usar | 2 |

Tabla 9. Relación de importancia.

Basándonos en la tabla anterior podemos definir cuáles son los puntos más importantes que son: que permita el uso de diversos aceites, probetas, aceites y económico de construir y buena durabilidad para el ensamble completo. Una vez definido los puntos importantes podemos iniciar la etapa de ideación e invención de la máquina de lubricación.

II.3.5 Ideación e invención .

El objetivo es demostrar la importancia de usar aceites en medio de dos superficies que se encuentran en contacto y en movimiento. Par  asegurar el contacto y una adecuada simulaci3n de condiciones reales, estas dos superficies tendrán que soportar una cierta carga (kg) que permitirá observar el daño causado a la pieza de desgaste (que llamaremos probeta) en un periodo de tiempo corto.

Partiendo de los parámetros anteriores, se propone que la carga aplicada se encuentre entre un rango de los 10 kg a los 100 kg esto con la finalidad de poder aumentar la carga en rangos de 10 kg en periodos de tiempo de 1 a 10 min.

En esta etapa se dise n3 de manera muy general en el software Autodesk Inventor 2013 una primera idea de c3mo ser a nuestro diseño para la máquina de lubricaci3n. En la figura 31 y 32 se observa un modelo con la idea general para el diseño.

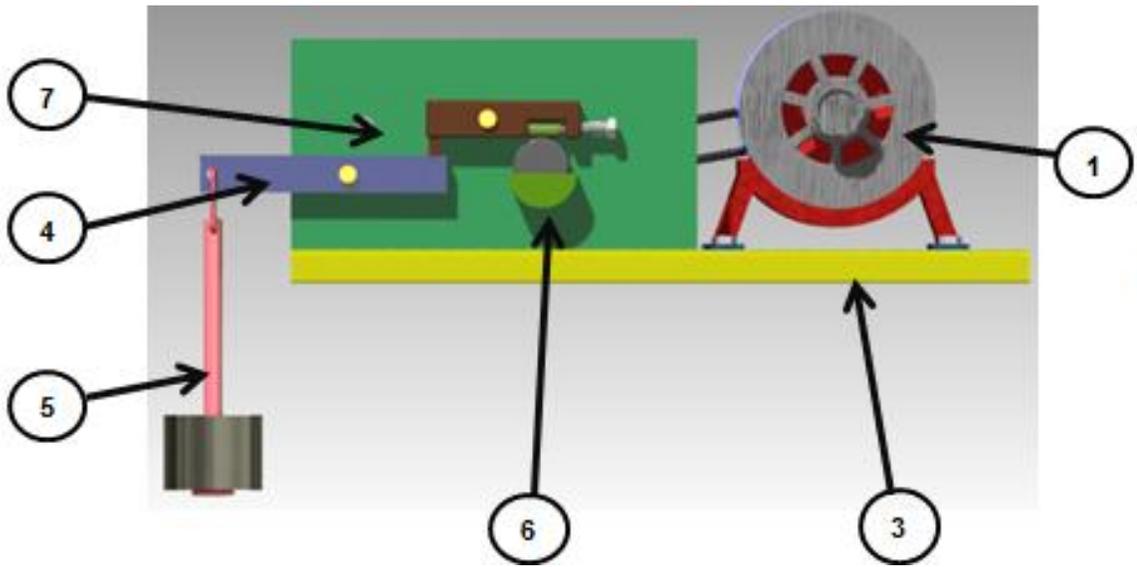


Figura 31. Primer diseño de como sería nuestra máquina de lubricación visto desde la parte frontal.

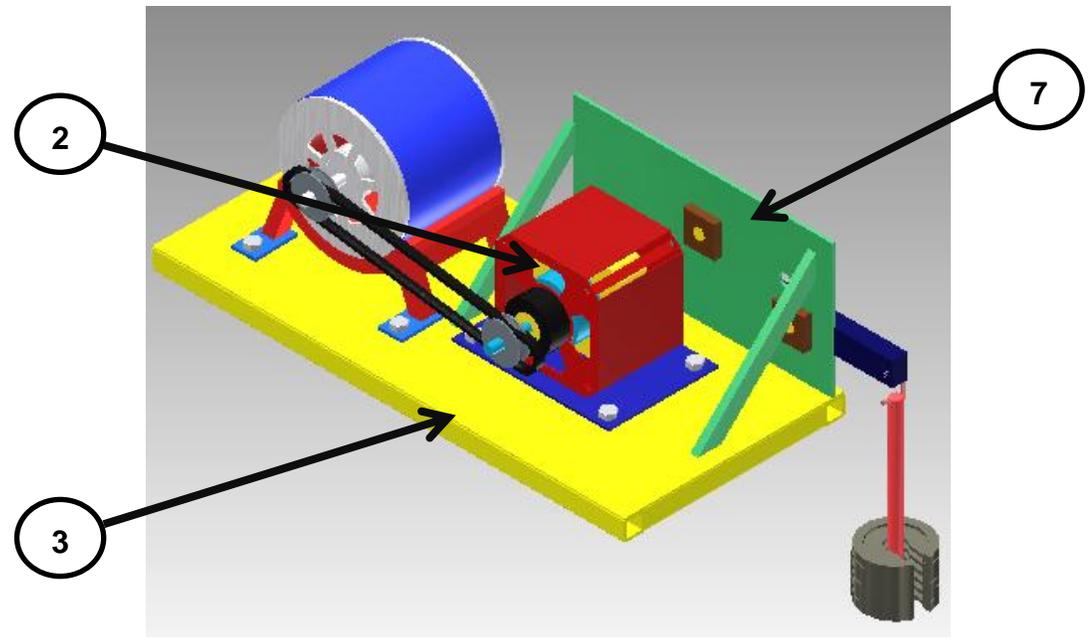


Figura 32. Primer diseño de como sería nuestra máquina de lubricación, vista posterior.

A continuación se enlistan los principales componentes. Son estos los que tienen que ser diseñados o seleccionados en un principio para definir las dimensiones generales, costos de la máquina de lubricación. También estos son los que influyen directamente en la prueba de desgaste y lubricación.

- 1.- Motor eléctrico
- 2.- Conductor de potencia mecánica
- 3.- Base para motores
- 4.- Brazo palanca
- 5.- Barra con pesos
- 6.- Contenedor de aceite.
- 7.- Cubierta frontal

II.3.6 Análisis

1) Componentes primarios

Como se mencionó se requiere de un análisis para el diseño, selección y fabricación de estos principales componentes, para que las pruebas resulten lo más cercanas al cálculo que se planteó en un principio. Posteriormente se analizarán los componentes secundarios. En la figura 31 y 32 pueden verse cuáles son los componentes principales que se consideran.

II.3.6.1 Obtención de los materiales.

1.- Motor eléctrico

El motor eléctrico puede ser adquirido en diversas tiendas de la ciudad de México principalmente en el centro de la ciudad o en internet con una amplia gama de características que se adaptan a los requerimientos de cada cliente.

2.- Conductor de potencia

El conductor de potencia que básicamente es un motor eléctrico desconectado.

3.- Base para motores

La base para motores puede ser fabricada con perfil rectangular y lamina de acero que se puede adquirir en ferreterías a un precio bajo.

4.- Brazo palanca

El brazo palanca puede ser fabricado a partir de macizo rectangular que también se consigue en ferreterías a un costo accesible. El brazo palanca tendrá que ser

seccionado en dos partes esto para producir el momento de torsión en la dirección deseada.

5.- Barra de pesos

Para la barra de pesos, las pesas son las comúnmente usadas en gimnasios y se pueden comprar en tiendas de deportes, centros comerciales o internet, El tubo puede ser un macizo de acero con una base soldada a su extremo. Esta base puede ser de solera o lamina de acero.

6.- Contenedor de aceite

El contenedor de aceite tendrá que ser fabricado en acrílico para que se adapte exactamente a la figura que queremos. El acrílico se vende por metros en las Tlapalerías con un bajo costo.

7.- Placa frontal

La placa frontal tendrá que ser lamina de acero, de esta manera será lo suficientemente resistente para darle soporte al brazo palanca y la barra de pesos. La lámina puede ser adquirida en las ferreterías.

II.3.6.2 Características funcionales

1.- Motor eléctrico

El motor eléctrico debe de funcionar con corriente alterna con un voltaje de 120 V ya que estas son la toma eléctrica más común que se encuentran en las casas, laboratorios, salones, etcétera. Este motor debe seguir rotando cuando se encuentra bajo la máxima carga de 75 kg. También debe ser fácil de transportar y contar con un motor de paro para casos de emergencia.

2.- Motor conducido

Su función será transmitir las revoluciones del motor eléctrico al rotor que estará en contacto con la probeta de desgaste. La relación de poleas entre el motor conducido y el motor eléctrico tendrá que ser 1 a 1 para mantener el mismo valor de rpm y potencia. Debe ser fácil de transportar y de costo bajo.

3.- Base para motores

La base deberá proporcionar el espacio suficiente plana para montar ambos motores y los componentes secundarios. También debe permitir poder instalar y desinstalar los componentes. Debe de tener buena durabilidad para permitir desenas de pruebas. Como objetivo secundario deberá ser fácil de trasladar.

4.- Brazo palanca

Deberá tener la suficiente resistencia mecánica para soportar 14 kg en un extremo de la palanca y en el otro extremo deberá aplicar una carga de 75 kg. Para trasladar la carga debe tener un sistema de articulación tipo balancín, la articulación debe estar firmemente sujeta a la placa frontal. El peso de esta palanca debe de ser menor a los 2 kg para que no interfiera con los cálculos hechos y se pueda suponer su masa como despreciable para la prueba.

5.- Barra con pesos

Esta barra será la encargada de sostener los 14 kg de peso de forma estable. Debe de ser fácil de acoplar con el brazo palanca, también el hecho que sea fácil de trasladar.

6.- Contenedor de aceite

Este suministrará el aceite para las diferentes pruebas. Debe de ser fácil de retirar e instalar de forma continua, ya que en un periodo de pruebas el aceite se cambiara repetidas veces. La limpieza del aceite en el contenedor es muy relevante, este debe quedar totalmente limpio antes de probar otro tipo de aceite.

7.- Placa frontal

Una de sus funciones principales es soportar el brazo palanca y su sistema de articulación de forma firme, sin permitir vibraciones.

II.3.6.3 Selección

1.- Motor eléctrico

Tomando como base los parámetros anteriores se plantea utilizar un motor eléctrico que se encargara de generar el movimiento de rotación que a su vez este movimiento será comunicado a un rotor por medio de una transmisión elástica de hule.

En la actualidad podemos encontrar diferentes tipos de motores eléctricos y dependiendo se la aplicación y presupuesto es en base que se toma una decisión. Estos son los 2 principales tipos de motores.

a) Motores CA

Un motor eléctrico de CA opera mediante la aplicación de corriente alterna (CA), la cual alimenta al motor. Los motores eléctricos de CA se componen de varias partes, pero las partes principales son el estator y el rotor.

- El estator del motor eléctrico de CA tiene bobinas que se suministran con la corriente alterna y producen un campo magnético giratorio.
- El rotor del motor eléctrico de CA gira dentro de las bobinas, y está unido a un eje de salida que produce una torsión por el campo magnético giratorio.

Hay dos tipos diferentes de motores eléctricos de CA y cada uno de ellos utiliza un tipo diferente de rotor.

- El primero se llama motor de inducción (también conocido como motor asíncrono). Un motor de inducción utiliza un campo magnético en el rotor que crea una corriente inducida.
- El segundo se llama motor síncrono y gira precisamente en la frecuencia de alimentación o en un sub-múltiplo de la frecuencia de suministro. Un motor síncrono es capaz de operar con una frecuencia de alimentación de precisión, ya que no responde en la inducción. El campo magnético de un motor síncrono es generado por la corriente suministrada a través de los anillos de deslizamiento o un imán permanente. Los motores síncronos giran más rápido que los motores de inducción ya que la velocidad se reduce por el deslizamiento del motor asíncrono.

b) Motores CD

Los motores eléctricos de CD son máquinas de conmutación que se alimentan de la energía de la corriente directa (CD). Los motores eléctricos de corriente directa tienen

un voltaje inducido giratorio devanado de armadura, y un marco del campo inducido no giratorio devanado que es un campo estático, o un imán permanente. Los motores eléctricos de CD utilizan diferentes conexiones, y un devanado inducido para producir diferentes velocidades y la regulación de la torsión.

A diferencia de los motores eléctricos de CA, la velocidad del motor eléctrico de corriente directa puede ser controlada dentro de la bobina, mediante el cambio de la tensión aplicada a la armadura del motor, o mediante el ajuste de la corriente del marco del campo.

La mayoría de los motores eléctricos de CD hoy se fabrican para ser controlados con variadores de corriente directa industriales. Los motores eléctricos de CD todavía se utilizan en muchas aplicaciones en todo el mundo, tales como las máquinas de producción de papel, y las máquinas laminadoras de acero.

Conclusión: Los motores de corriente directa se ven generalmente en aplicaciones en las que la velocidad del motor debe ser controlada externamente.

Los motores de corriente alterna funcionan mejor en aplicaciones que requieren el rendimiento de la potencia durante largos períodos de tiempo. Todos los motores de CD son monofásicos, y los motores de CA pueden ser monofásicos o trifásicos.

En algunas aplicaciones de hoy en día, los motores eléctricos de CD se sustituyen mediante la combinación de un motor eléctrico de corriente alterna con un controlador

electrónico de velocidad, conocidos como unidades de frecuencia variable, ya que es una solución más económica.

Para determinar la potencia requerida por nuestro motor, primero tenemos que determinar la cantidad de carga estática que tendrá que vencer dicho motor. Para eso con un diagrama de cuerpo libre determinamos la carga, figura 33.

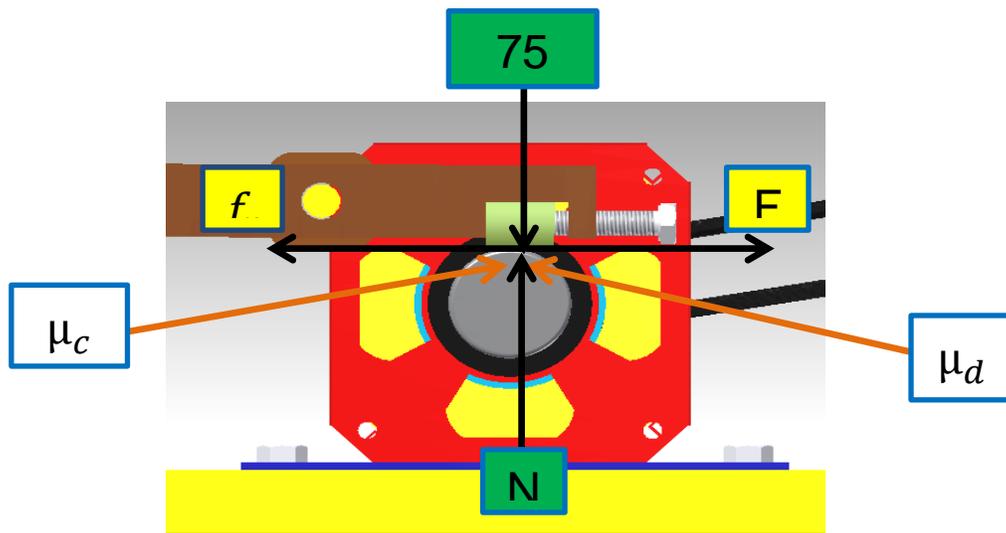


Figura 33. Representación por medio del diagrama de cuerpo libre, las cargas que debe vencer el motor.

La probeta es de acero negro. La polea de desgaste es de acero grado herramienta. Si vemos la tabla 1 coeficientes de rozamiento, podemos determinar que el coeficiente de roce estático entre aceros es de 0.74 y el coeficiente de roce dinámico entre aceros es 0.57.

Aplicando las fórmulas para sumatoria de fuerzas en Y y sumatoria de fuerzas en X, obtenemos las ecuaciones 28 y 29 respectivamente:

$$\Sigma FY = 0 \quad \dots \quad (29)$$

$$75 \text{ kg} - N = 0$$

$$75 \text{ kg} = N$$

$$\Sigma FX = 0 \quad \dots \quad (30)$$

$$F - fr = 0$$

$$F = fr$$

De la ecuación 1, recordamos que fr es igual a $(\mu_e)(N)$:

$$F = (\mu_e)(N)$$

$$F = (0.74)(75 \text{ kg} \times 9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$F = (0.74)(735.75 \text{ N})$$

$$F = 551.82 \text{ N}$$

Entonces el motor para el valor de partida deberá de ser capaz de mover 552 N de peso manteniendo un mínimo de vueltas de 500 RPM.

La fórmula de potencia nos dice que:

$$P = F \times V \quad \dots \quad (31)$$

La unidad de la potencia pueden ser Watts, Caballos de fuerza o caballos de vapor. Consideremos que queremos obtener la potencia en Watts para después convertirla a caballos de potencia.

$$1 \text{ Watt} = \frac{N \cdot m}{s} \quad \dots \quad (32)$$

Dónde:

N= Es la fuerza en Newton.

m= Son los metros recorridos.

s= Son los segundos.

La fuerza en Newtons ya la tenemos, Debemos encontrar cuánto vale el factor de velocidad ($\frac{m}{s}$) partiendo de las 500 RPM.

500 RPM equivalen a

$$1 \text{ RPM} = 1 \frac{\text{rad}}{\text{min}} \quad \dots \text{ (33)}$$

Esto significa que para el cálculo debemos saber el valor de radio de giro en la polea de desgaste. El radio de la polea es de 22.5 mm convertidos a metros son .0225 m.

Sustituyendo nos queda:

$$\frac{m}{\text{seg}} = \left(500 \frac{\text{Rad}}{\text{min}} \right) (0.0225\text{m}) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \right)$$

$$\frac{m}{\text{seg}} = 0.1875$$

Ahora nos queda que la potencia será igual a:

$$\text{Potencia} = F \times V = (552 \text{ N}) \left(0.1875 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$\text{Potencia} = 103.5 \text{ Watts}$$

Un Watt equivale a

$$1 \text{ HP} = 745.7 \text{ Watts} \quad \dots \text{ (34)}$$

Haciendo la conversión nos queda:

$$Potencia = (103.5 \text{ Watts}) \left(\frac{1 \text{ HP}}{745.7 \text{ Watts}} \right)$$

$$Potencia = 0.138 \text{ HP}$$

Lo que significa que con un motor de un ¼ de caballo de potencia será suficiente para nuestra máquina didáctica de lubricación.

Tomando como referencia la investigación anterior seleccionamos un motor eléctrico de corriente alterna monofásico de 120V de 1/4 hp de potencia, ya que funciona con corriente alterna siendo la más común que se puede encontrar en las casas, laboratorios, edificios. Otra ventaja del motor de corriente alterna es su menor precio de compra, que se encuentra en un rango de los 300 a los 1200 pesos, figura 34.

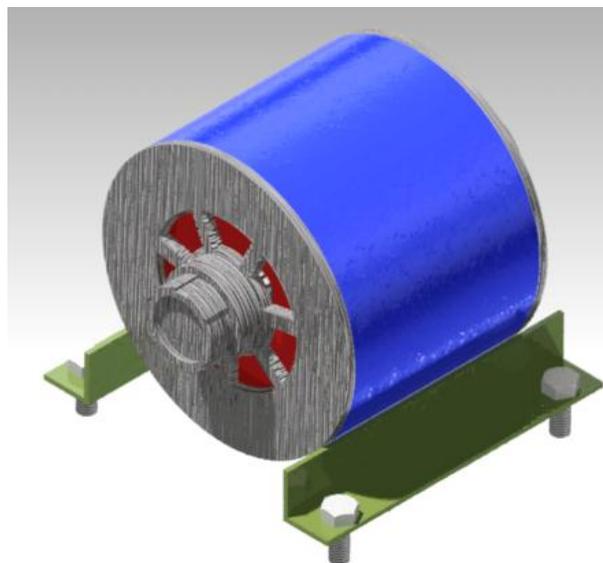


Figura 34. Motor eléctrico.

2.- Motor conducido

El motor conducido es simplemente un motor eléctrico pero con los circuitos eléctricos desconectados, Esto porque al girar el rotor con ayuda de la banda elástica se puede producir una carga eléctrica en motor causando un daño a la persona que opera la máquina.

Uno de los extremos del eje rotatorio de este motor, estará en contacto con la probeta y será el encargado de generar desgaste en esta última. Mientras que el otro extremo del eje rotatorio estará conectado por medio de una banda de hule al motor eléctrico.

El rotor deberá tener una superficie de desgaste a una probeta (material de desgaste que tendrá dimensiones definidas con el propósito de ser sometida a contacto con la parte móvil del rotor.

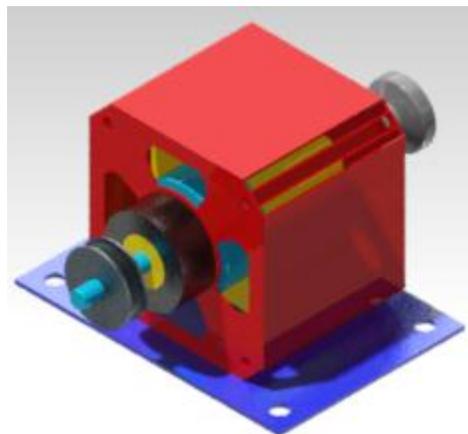


Figura 35. Motor conducido.

3.- Base para motores

La base debe de proveer una superficie plana, estable, Debe de permitir fijar totalmente todos los componentes. Esta base debe de ser durable, económica de construir.

Se propone utilizar una base tubular hecha con perfil rectangular, conocida comúnmente como PTR. EL PTR se puede encontrar en las ferreterías y está hecho a base de distintas aleaciones de acero. Sus dimensiones son muy variadas, dependiendo de la aplicación y alcance que se les quiera dar.

A continuación se anexa una lista con los calibres y medidas comerciales para el PTR, tabla 10.

| Dimensiones | | Color de Identificación | Espesor | | Peso Kg/m |
|---------------|-----------|---------------------------------|----------|-----|-----------|
| pulgadas | mm. | | pulgadas | mm. | |
| 1" x 1" | 25 x 25 | Verde Rojo | 0.095 | 2.4 | 1.62 |
| | | | 0.133 | 3.4 | 2.10 |
| 1 1/2 x 1 1/2 | 38 x 38 | Blanco Verde Rojo | 0.110 | 2.8 | 2.95 |
| | | | 0.125 | 3.2 | 3.29 |
| | | | 0.154 | 4.0 | 3.91 |
| 2" x 2" | 51 x 51 | Blanco Verde Rojo | 0.110 | 2.8 | 4.00 |
| | | | 0.125 | 3.2 | 4.54 |
| | | | 0.156 | 4.0 | 5.45 |
| 2 1/2 x 2 1/2 | 64 x 64 | Blanco Verde Rojo | 0.125 | 3.2 | 5.84 |
| | | | 0.141 | 3.6 | 6.47 |
| | | | 0.188 | 4.8 | 8.32 |
| 3" x 3" | 76 x 76 | Blanco Verde Rojo | 0.125 | 3.2 | 7.12 |
| | | | 0.156 | 4.0 | 8.62 |
| | | | 0.188 | 4.8 | 10.20 |
| 3 1/2 x 3 1/2 | 89 x 89 | Blanco Verde Rojo Azul | 0.125 | 3.2 | 8.39 |
| | | | 0.156 | 4.0 | 10.20 |
| | | | 0.188 | 4.8 | 12.10 |
| | | | 0.250 | 6.4 | 15.60 |
| 3" x 2" | 76 x 51 | Blanco Verde Rojo | 0.125 | 3.2 | 5.84 |
| | | | 0.141 | 3.6 | 6.47 |
| | | | 0.188 | 4.8 | 8.32 |
| 4" x 2" | 102 x 51 | Blanco Verde Rojo | 0.125 | 3.2 | 7.12 |
| | | | 0.156 | 4.0 | 8.62 |
| | | | 0.188 | 4.8 | 10.20 |
| 4" x 3" | 102 x 76 | Blanco Verde Rojo Azul | 0.125 | 3.2 | 8.39 |
| | | | 0.156 | 4.0 | 10.20 |
| | | | 0.188 | 4.8 | 12.10 |
| | | | 0.250 | 6.4 | 15.60 |
| 4" x 4" | 102 x 102 | Blanco Verde Rojo Azul | 0.125 | 3.2 | 9.61 |
| | | | 0.156 | 4.0 | 11.83 |
| | | | 0.188 | 4.8 | 14.10 |
| | | | 0.250 | 6.4 | 18.20 |
| 4 1/2 x 4 1/2 | 114 x 114 | Blanco Verde Rojo Azul | 0.125 | 3.2 | 10.88 |
| | | | 0.156 | 4.0 | 13.41 |
| | | | 0.188 | 4.8 | 15.92 |
| | | | 0.250 | 6.4 | 20.70 |
| 5" x 5" | 127 x 127 | Blanco Verde Rojo Azul | 0.125 | 3.2 | 12.14 |
| | | | 0.156 | 4.0 | 14.99 |
| | | | 0.188 | 4.8 | 17.90 |
| | | | 0.250 | 6.4 | 23.20 |
| 5" x 3" | 127 x 76 | Blanco Verde Rojo Azul | 0.125 | 3.2 | 9.61 |
| | | | 0.156 | 4.0 | 11.83 |
| | | | 0.188 | 4.8 | 14.10 |
| | | | 0.250 | 6.4 | 18.20 |
| 6" x 3" | 152 x 76 | Blanco Verde Rojo Azul | 0.125 | 3.2 | 10.88 |
| | | | 0.156 | 4.0 | 13.41 |
| | | | 0.188 | 4.8 | 15.92 |
| | | | 0.250 | 6.4 | 20.70 |
| 6" x 4" | 152 x 102 | Blanco Verde Rojo Azul | 0.125 | 3.2 | 12.14 |
| | | | 0.156 | 4.0 | 14.99 |
| | | | 0.188 | 4.8 | 17.90 |
| | | | 0.250 | 6.4 | 23.20 |

Tabla 10. Calibres más comunes para el PTR.

Seleccionamos el PTR de 1 pulgada por lado con 3.4 mm de espesor como se muestra en la figura 36.

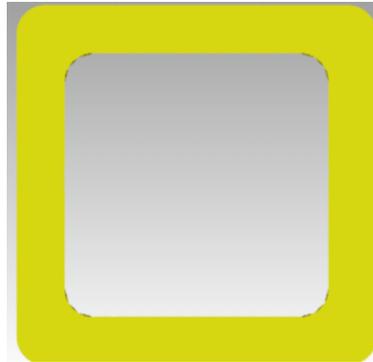


Figura 36. PTR que usaremos para construir la base.

Cortaremos el PTR en 4 segmentos. 2 en longitudes de 720 mm y los otros dos segmentos en 250 mm, figura 37.



Figura 37. Representación de los 4 segmentos de PTR cortados.

Ahora soldamos los cuatro segmentos entre sí para formar una base rectangular quedan de las siguientes dimensiones 800 mm de largo por 280 mm de ancho, ver figura 38 como referencia.



Figura 38. Base rectangular.

Ahora necesitamos colocar una superficie plana que puede ser solada sobre la base que acabamos de crear, esta superficie plana la haremos de Lámina de acero.

A continuación se adjunta la tabla 11 con las medidas comerciales para lámina de acero.

| Tabla de Calibres para Lámina | | | |
|--------------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------|
| Calibre | Pulgadas | Milímetros | Libras por Pie Cuadrado |
| 7 | .187 | 4.7 | 7.871 |
| 8 | .165 | 4.2 | 6.93 |
| 10 | .135 | 3.4 | 5.670 |
| 11 | .120 | 3.0 | 5.040 |
| 12 | .105 | 2.7 | 4.427 |
| 13 | .090 | 2.3 | 3.780 |
| 14 | .075 | 1.9 | 3.154 |
| 16 | .060 | 1.5 | 2.520 |
| 18 | .048 | 1.2 | 2.016 |
| 20 | .036 | 0.9 | 1.512 |
| 22 | .030 | 0.8 | 1.260 |
| 24 | .024 | 0.6 | 1.008 |
| 26 | .020 | 0.5 | 0.756 |
| 28 | .015 | 0.4 | 0.634 |

Tabla 11. Calibres más comunes para la lámina de acero.

Seleccionamos una lámina calibre 14 que cuenta con 1.9 mm de espesor, y la cortamos en forma de rectángulo 600 mm X 280 mm, figura 39.

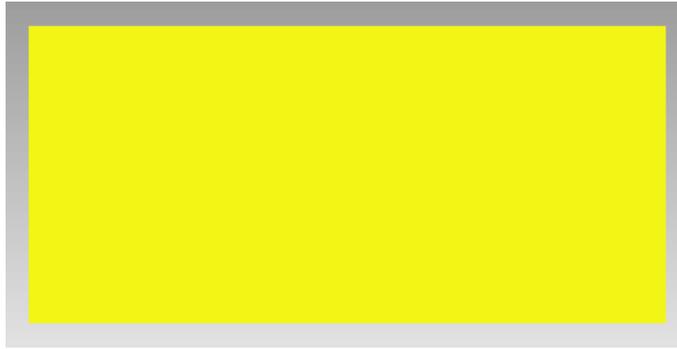


Figura 39. Lámina de acero.

Soldamos la lámina de acero a la base rectangular que ensamblamos antes, figura 40.



Figura 40. Ensamble lámina con base rectangular.

4) Brazo Palanca

Tomando en cuenta que sería muy difícil, poco seguro y no económico conseguir 75 kg de carga, se propone aplicar el principio de la palanca mecánica que permita ejercer 75 kg (W_2) al extremo de una palanca aplicando solo 14 kg en su otro extremo (W_1), ver figura 41. Esta palanca puede ser segmentada en 2 secciones que llamaremos A y B así nos permitirá orientar el momento de torsión en la dirección adecuada.

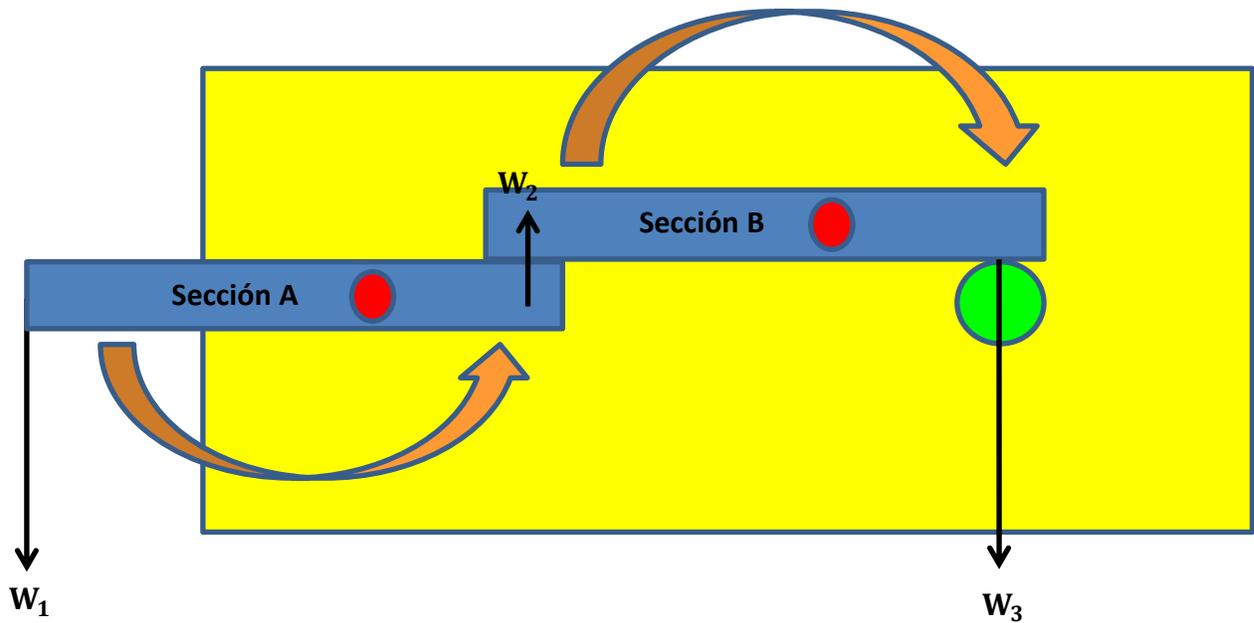


Figura 41. Boceto inicial para ejemplificar el diseño de la palanca mecánica.

Para poder hacer un diseño robusto, tenemos que evaluar todas las cargas que actuarán en la palanca. Para esto, primero haremos el diagrama de cuerpo libre para la sección A, figura 42.

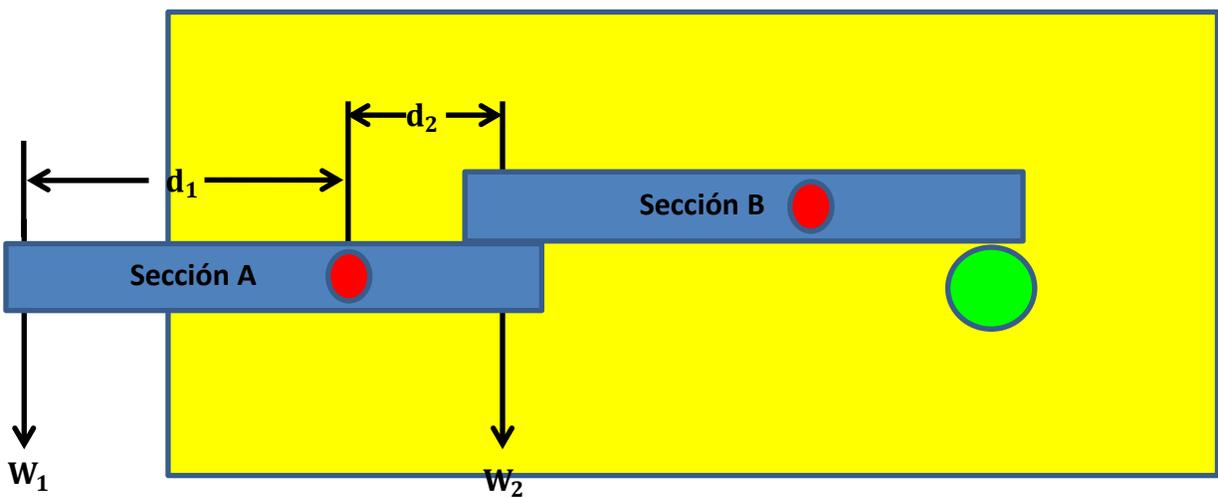


Figura 42. Diagrama de cuerpo libre para el brazo palanca.

Analizando: Si queremos obtener 75 kg de carga a un extremo de la palanca (W_2) utilizando 14 kg de masa al otro extremo de la palanca (W_1), es necesario determinar la distancia requerida en la palanca para obtener los valores buscados.

Las dos fórmulas principales para determinar el momento de torsión son:

$$M = (F)(d) \quad \dots \quad (35)$$

- M= Es el momento de torsión que se genera
- F= Es la fuerza que se está aplicando a la palanca
- d= Distancia a la que se aplica la fuerza sobre la palanca

Para saber la fuerza que representa 14 kg y 75 kg de masa, tenemos que las siguientes formulas:

$$W = (m)(a) \quad \dots \quad (36)$$

Donde:

- W= Peso
- m= Masa
- a= Aceleración de la gravedad

Hacemos el cálculo para los 14 kg de masa:

$$W_1 = (14 \text{ kg})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$W_1 = 137.34 \text{ N}$$

Ahora hacemos el cálculo para los 75 kg de masa:

$$W_2 = (75 \text{ kg})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$W_2 = 735.75 \text{ N}$$

$$W_2 = (m_2)(a_2) \quad \dots \quad \mathbf{(37)}$$

$$M_1 = M_2 \quad \dots \quad \mathbf{(38)}$$

Desarrollando:

$$W_1 d_1 = W_2 d_2$$

$$(137.34 \text{ N})(d_1) = (735.75 \text{ N})(d_2)$$

$$d_1 = \frac{(735.75 \text{ N})(d_2)}{(137.34 \text{ N})}$$

$$d_1 = d_2(5.36)$$

Esto nos dice que d_1 tendrá que ser 5.36 veces mayor que d_2

Si le damos a d_2 valor de 6 cm y lo sustituimos y tenemos:

$$d_1 = d_2(5.36)$$

$$d_1 = 6 \text{ cm} (5.36)$$

$$d_1 = 32.16 \text{ cm}$$

La longitud d_1 y d_2 se representan en la siguiente figura 43.

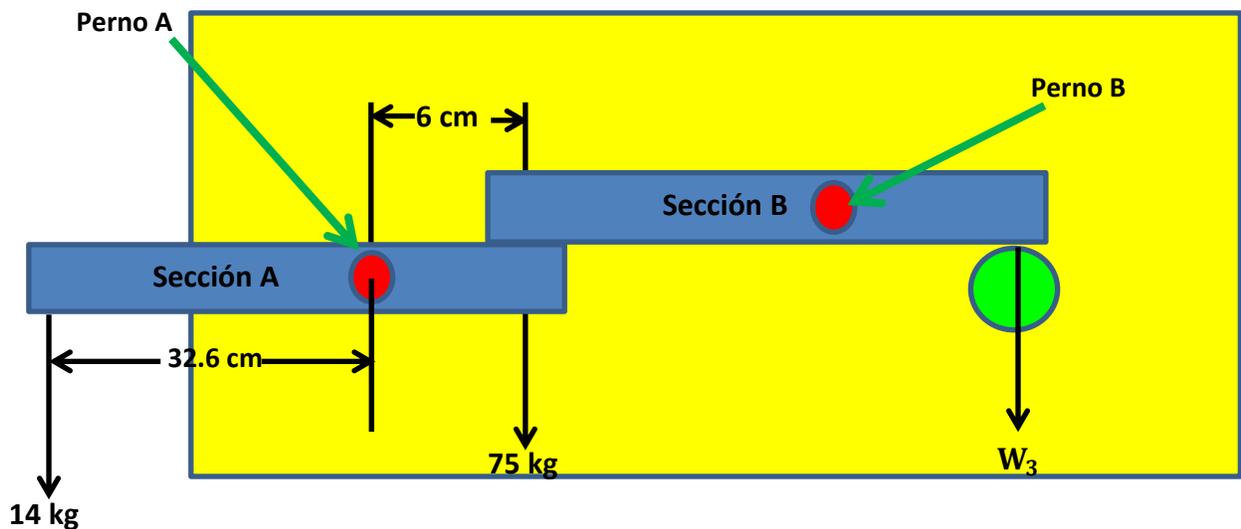


Figura 43. Representación de la longitud d_1 y d_2 .

Ahora tenemos que determinar la carga que soportará el perno A en el segmento A, esto lo hacemos con un diagrama de cuerpo libre donde expresamos todas las fuerzas que actúan sobre la sección A, figura 44.

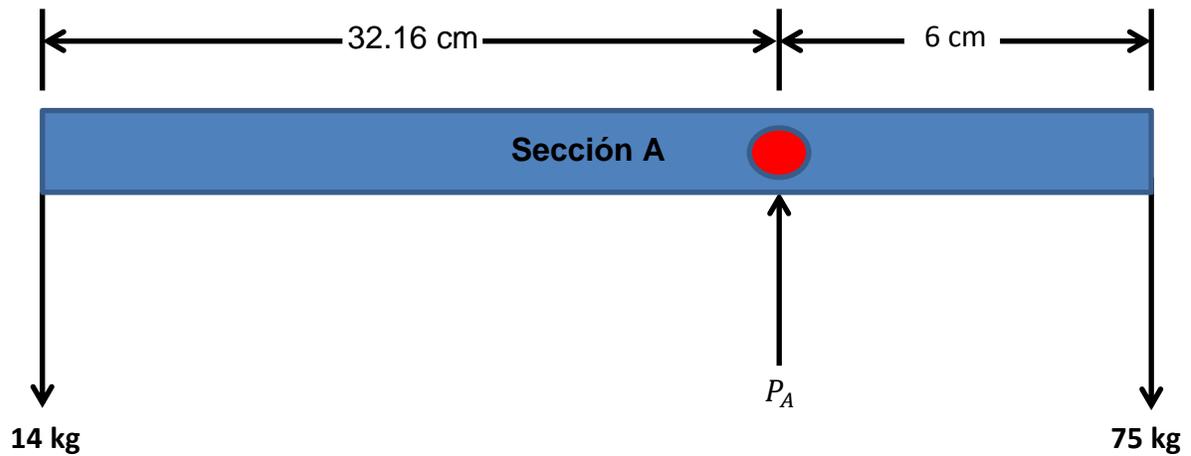


Figura 44. Diagrama de cuerpo libre para la sección A.

Para determinar el valor de la carga en el perno P_A utilizamos las formula de sumatoria de fuerzas en Y.

$$14 \text{ kg} - P_A + 75 \text{ kg} = 0$$

$$P_A = 14 \text{ kg} + 75 \text{ kg}$$

$$P_A = 89 \text{ kg}$$

Ahora calculamos la fuerza que soporta el perno usando la ecuación 41.

$$W = (m)(a) \quad \dots \quad (39)$$

La aplicamos para el perno A de la sección:

$$P_A = (89 \text{ kg})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$P_A = 873.09 \text{ N}$$

Ahora trabajamos con el segmento b.

Para mantener una fuerza equivalente de 75 kg entre el punto W_2 y W_3 , tenemos que mantener la misma distancia en d_3 y d_4 , figura 45.

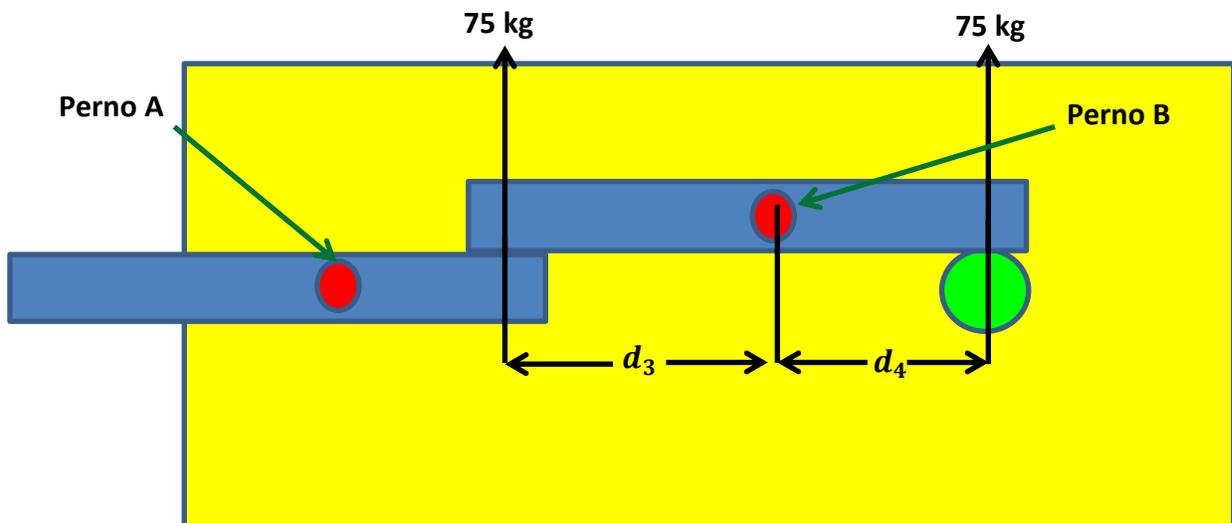


Figura 45. Representación de la distancia d_3 y d_4 .

Por lo tanto si $d_3 = d_4$ y $W_3 = W_4$, podemos determinar de forma empírica la distancia de d_3 y d_4 . Para nuestro caso a d_3 y d_4 le daremos valor de 7.5 cm.

Tenemos que calcular la carga que soporta el perno B en la sección B. Al igual como lo hicimos antes, hacemos el diagrama de punto libre para el segmento b, figura 46 y usamos la fórmula de sumatoria de fuerzas en Y.

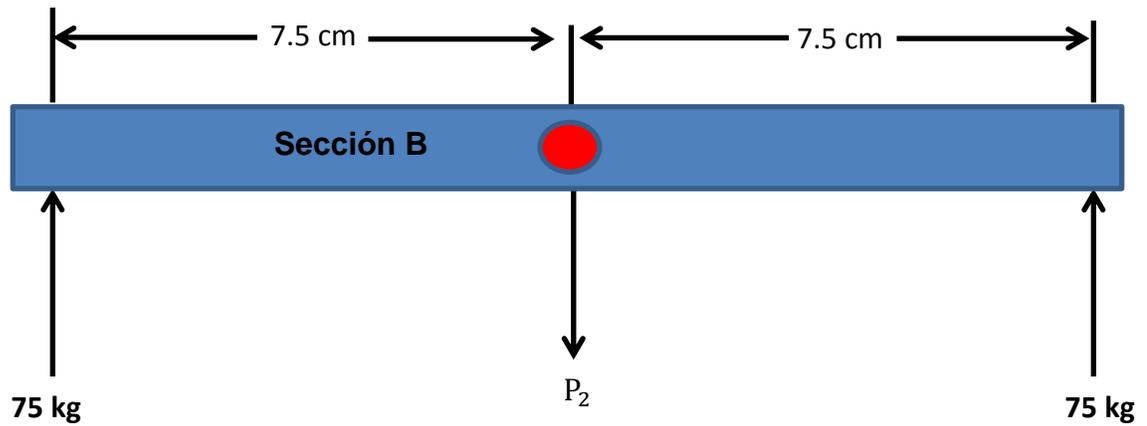


Figura 46. Representación del segmento B.

$$75 \text{ kg} - P_2 + 75 \text{ kg} = 0$$

$$P_2 = 150 \text{ kg}$$

Con las medidas definidas para el brazo palanca, procedemos a asignarlas al modelo en CAD, figura 47.

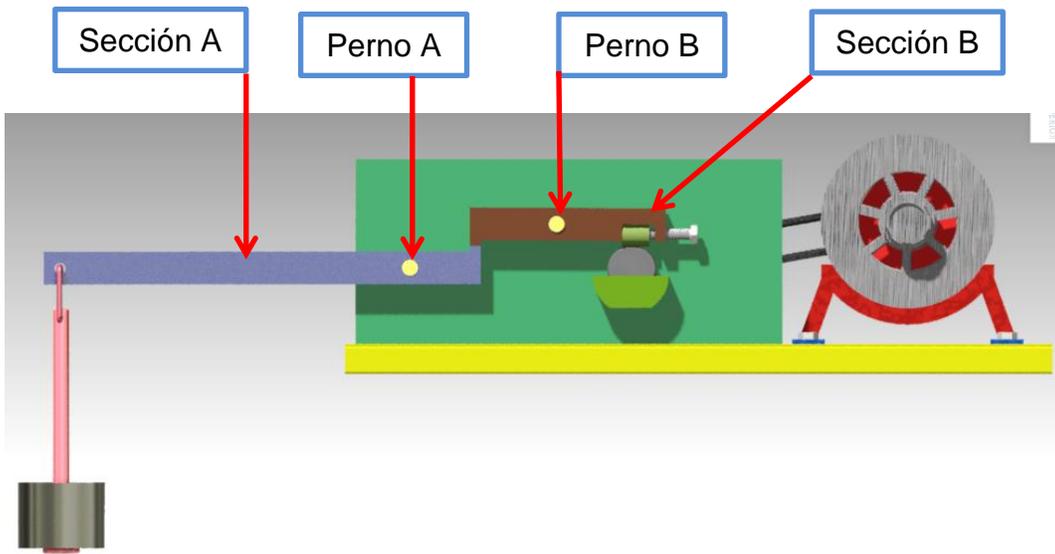


Figura 47. Modelo con las medidas asignadas al brazo palanca.

Ahora procedemos con el análisis de esfuerzos para:

- Sección A
- Perno A
- Perno B
- Sección B

a) Sección A

Dimensiones.

Para poder llevar a cabo el análisis por elemento finito FEA (Finite Element Analysis), necesitamos definir tres variantes, largo, ancho y espesor del material.

Largo: Como se definió antes, la distancia de punto a punto donde se aplica la carga deberá de ser 38.16 mm. Esto funciona para un sistema ideal, donde no son necesarias las tolerancias. Para el caso real, el segmento tendrá que medir más de 38 a 39 mm.

Ancho: Para este primer Análisis de Elemento Finito le daremos 30 mm de ancho. El ancho puede necesitar más o menos de 3 mm pero tenemos que hacer una primera prueba para saber el punto de partida.

Espesor: Es el mismo caso que cuando determinamos el ancho, debemos de partir de un valor. Para este caso nuestro espesor será 20 mm.

Ahora se aplican 14 kg en el punto W_1 y como resultado obtenemos 75 kg en el punto W_2 . Estos kg los convertimos a Newtons:.

- 14 KG

$$W_1 = (14 \text{ kg}) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$W_1 = 137.34 \text{ N}$$

- 75 KG

$$W_2 = (75 \text{ kg})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$W_2 = 735.75 \text{ N}$$

Análisis de Elemento Finito:

- Material acero negro
- Cargas: W_1 137.34 N, W_2 735.75 N
- Punto de fijación P_A

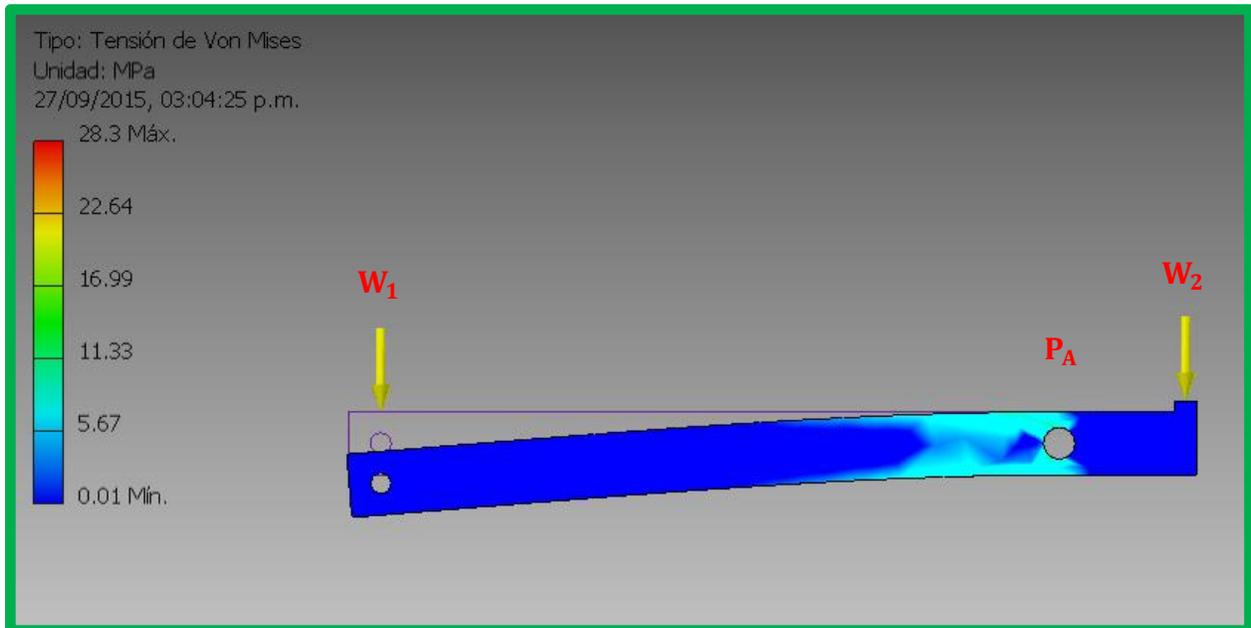


Figura 48. Análisis de tensión para el segmento A.

Si miramos el rango de colores que arroja Inventor, podemos ver que el mayor esfuerzo de tensión está en el área del perno. Inventor plantea que en ese punto tenemos 6 MPa. Si consideramos que el límite de elasticidad en tensión para el acero negro es de 227 Mpa, la sección A soportara la carga.

Con este resultado ahora sabemos que es posible disminuir el ancho y espesor del segmento A, pero considerando que solo son 30 mm de ancho y 20 mm de espesor, las dimensiones se dejaran como están.

b) Perno A

Dimensiones.

Igual que el segmento A, tenemos que partir de un diámetro,

Diámetro: El diámetro de partida será 14 mm.

Longitud: La longitud será de 35 mm.

Recordando la suma de fuerzas en la sección A, sabemos que el perno A está cargando una masa de 89 kg, convertimos los KG a Newtons, tenemos:

$$P_A = 89 \text{ kg}$$

$$W_{perno A} = (89 \text{ kg}) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$W_{\text{perno A}} = 873.09 \text{ N}$$

Análisis de Elemento Finito:

- Material acero negro
- Cargas: $W_{\text{perno A}} = 873.09 \text{ N}$
- Punto de fijación: Se soldó el perno con la placa.

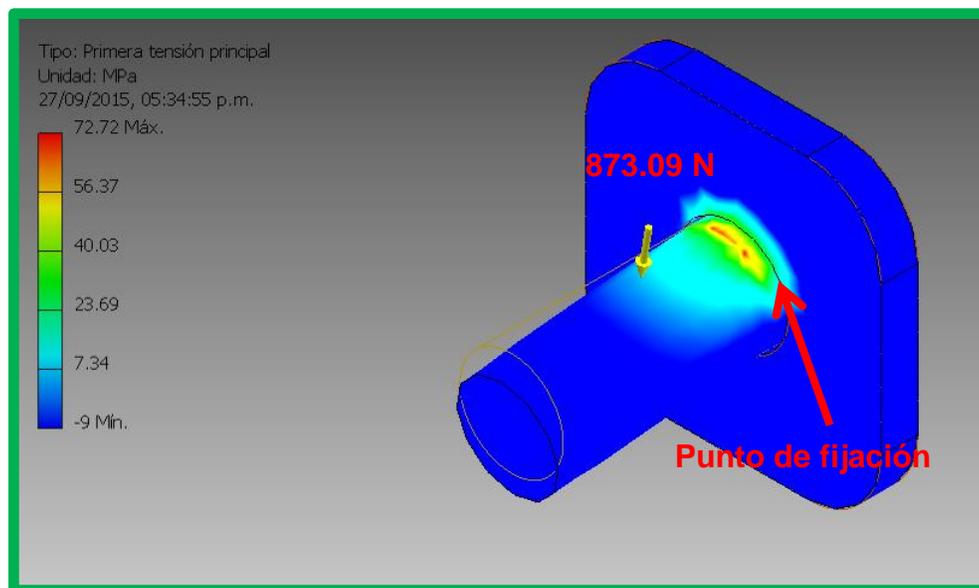


Figura 49. Análisis de tensión para el Perno A.

Inventor muestra que el máximo esfuerzo de tensión será de 72 MPa, tomando en cuenta que el acero soporta 227MPa antes de llegar al límite elástico, concluimos que el perno A soportará la carga sin riesgo de fractura.

Como en el segmento A, es posible reducir el diámetro del perno, pero por factor de seguridad se dejará con las dimensiones propuestas.

c) Sección B

Dimensiones

Largo: Como en el segmento A, la longitud entre puntos de carga fue calculada en 150 mm. La longitud real será de 180 mm.

Ancho: Igual que el segmento A, será 30 mm.

Espesor: 20 mm.

Recordamos que en el punto W_2 se están aplicando 75 kg, en el punto W_3 tenemos los mismos 75 kg que en W_2 recordando que con esa intención fue diseñado el segmento B. De la sección B sabemos que los 75 Kg son 735.75 Newtons.

Análisis de Elemento Finito:

- Material acero negro
- Cargas: W_2 735.75 N, W_3 735.75 N
- Punto de fijación P_A

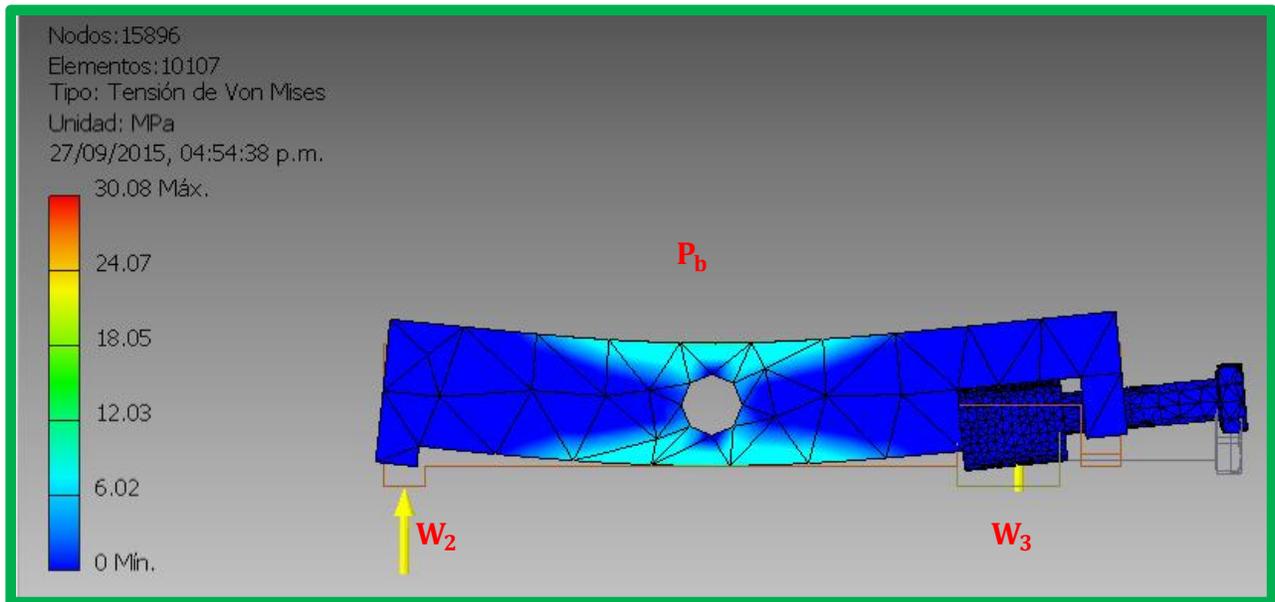


Figura 50. Análisis de tensión para el segmento B.

D) Perno B

Dimensiones:

Las dimensiones del segmento B serán iguales que las del segmento A. Recordando la sumatoria de fuerzas para el Perno B tenemos.

$$P_B = 150 \text{ kg}$$

$$W_{\text{perno B}} = (150 \text{ kg}) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$W_{\text{perno B}} = 1471.5 \text{ N}$$

Análisis de Elemento Finito:

- Material acero negro
- Cargas: $W_{\text{perno A}} = 1471.5 \text{ N}$
- Punto de fijación: Se soldó el perno con la placa.

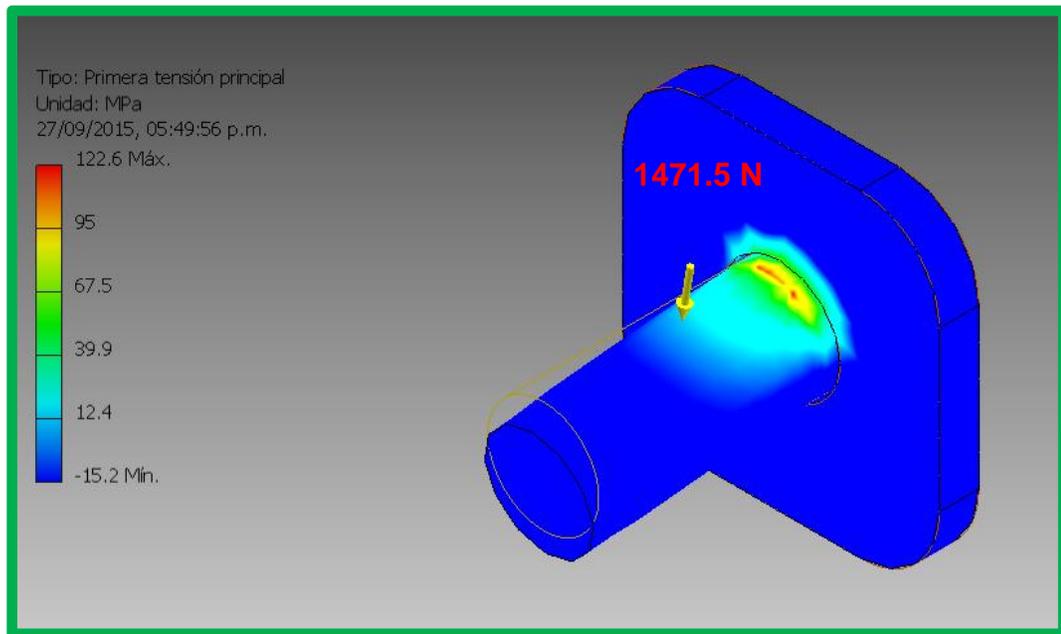


Figura 51. Análisis de tensión para el perno B.

El máximo esfuerzo será de 120 MPa, el perno puede resistir la carga.

5) Barra con pesos

Al igual que en los pernos para los segmentos del brazo palanca, en la barra de pesos es necesario determinar el diámetro adecuado del tubo o macizo de acero que cargara con los 14 kg de masa.

El primer paso es determinar cuáles son las opciones de diámetro que se pueden hallar de forma comercial en el mercado para el tubo de acero. A continuación la tabla 12 muestra los diámetros comerciales para el tubo de acero.

| IDENTIFICACIÓN | | | | | | | | |
|------------------|-------------------|----------------|----------------|-----|----------|-------------------|----------------|---------------|
| Diámetro Nominal | Diámetro Exterior | Espesor Pulg. | Peso lbs/pie. | | Cédula | Diámetro Exterior | Espesor mm. | Peso Kg./mts. |
| Pulg. | Pulg. | | | | | mm. | | |
| Inch | Outside Diameter | Wall Thickness | Weight lbs/ft. | | Schedule | Outside Diameter | Wall Thickness | Weight Kg/m. |
| Size | in. | in. | | | | mm. | mm. | |
| 1/8 | 0.405 | 0.068 | 0.24 | STD | 40 | 10.3 | 1.73 | 0.36 |
| 1/8 | 0.405 | 0.095 | 0.31 | XS | 80 | 10.3 | 2.41 | 0.47 |
| 1/4 | 0.54 | 0.088 | 0.42 | STD | 40 | 13.7 | 2.24 | 0.63 |
| 1/4 | 0.54 | 0.119 | 0.54 | XS | 80 | 13.7 | 3.02 | 0.8 |
| 3/8 | 0.675 | 0.091 | 0.57 | STD | 40 | 17.1 | 2.31 | 0.84 |
| 3/8 | 0.675 | 0.126 | 0.74 | XS | 80 | 17.1 | 3.2 | 1.1 |
| 1/2 | 0.84 | 0.109 | 0.85 | STD | 40 | 21.3 | 2.77 | 1.27 |
| 1/2 | 0.84 | 0.147 | 1.09 | XS | 80 | 21.3 | 3.73 | 1.62 |
| 1/2 | 0.84 | 0.188 | 1.31 | ... | 160 | 21.3 | 4.78 | 1.95 |
| 1/2 | 0.84 | 0.294 | 1.71 | XXS | | 21.3 | 7.47 | 2.55 |
| 3/4 | 1.05 | 0.113 | 1.13 | STD | 40 | 26.7 | 2.87 | 1.69 |
| 3/4 | 1.05 | 0.154 | 1.47 | XS | 80 | 26.7 | 3.91 | 2.2 |
| 3/4 | 1.05 | 0.219 | 1.94 | ... | 160 | 26.7 | 5.56 | 2.9 |
| 3/4 | 1.05 | 0.308 | 2.44 | XXS | | 26.7 | 7.82 | 3.64 |
| 1 | 1.315 | 0.133 | 1.68 | STD | 40 | 33.4 | 3.38 | 2.5 |
| 1 | 1.315 | 0.179 | 2.17 | XS | 80 | 33.4 | 4.55 | 3.24 |
| 1 | 1.315 | 0.25 | 2.84 | ... | 160 | 33.4 | 6.35 | 4.24 |
| 1 | 1.315 | 0.358 | 3.66 | XXS | | 33.4 | 9.1 | 5.45 |
| 1 1/4 | 1.66 | 0.14 | 2.27 | STD | 40 | 42.2 | 3.56 | 3.39 |
| 1 1/4 | 1.66 | 0.191 | 3 | XS | 80 | 42.2 | 4.85 | 4.47 |
| 1 1/4 | 1.66 | 0.25 | 3.76 | ... | 160 | 42.2 | 6.35 | 5.61 |
| 1 1/4 | 1.66 | 0.382 | 5.21 | XXS | | 42.2 | 9.7 | 7.77 |
| 1 1/2 | 1.9 | 0.145 | 2.72 | STD | 40 | 48.3 | 3.68 | 4.05 |

Tabla 12. Diámetros comerciales para el tubo de acero.

Seleccionamos el tubo de diámetro 13.7, espesor 3.02, kilogramo por cada metro. La selección del diámetro de este tubo puede cambiar, pero eso dependerá del resultado del análisis de elemento finito, en caso de ser necesario un mayor diámetro se regresará a la tabla 12 para hacer una nueva selección.

Calculo del peso total del tubo:

$$\text{Peso total} = \frac{(kg)}{(m)} (\text{longitud en metros})$$

$$\text{Peso total} = (.8 \frac{kg}{m}) (.22 \text{ m})$$

$$\text{Peso total} = .176 \text{ KG}$$

Utilizando la ecuación 41 convertimos los 14 kg a Newtons:

$$W=(m)(a)$$

$$W= (14 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$W= 137 \text{ N}$$

Con estos datos obtenidos, se hizo el diseño, figura 52.



Figura 52. Barra de pesos.

Aplicando el Análisis de Elemento Finito a nuestro tubo:

- Material del tubo: Acero Negro
- Diámetro externo: 13.7 mm
- Espesor: 3.02 mm
- Carga: 137 N.

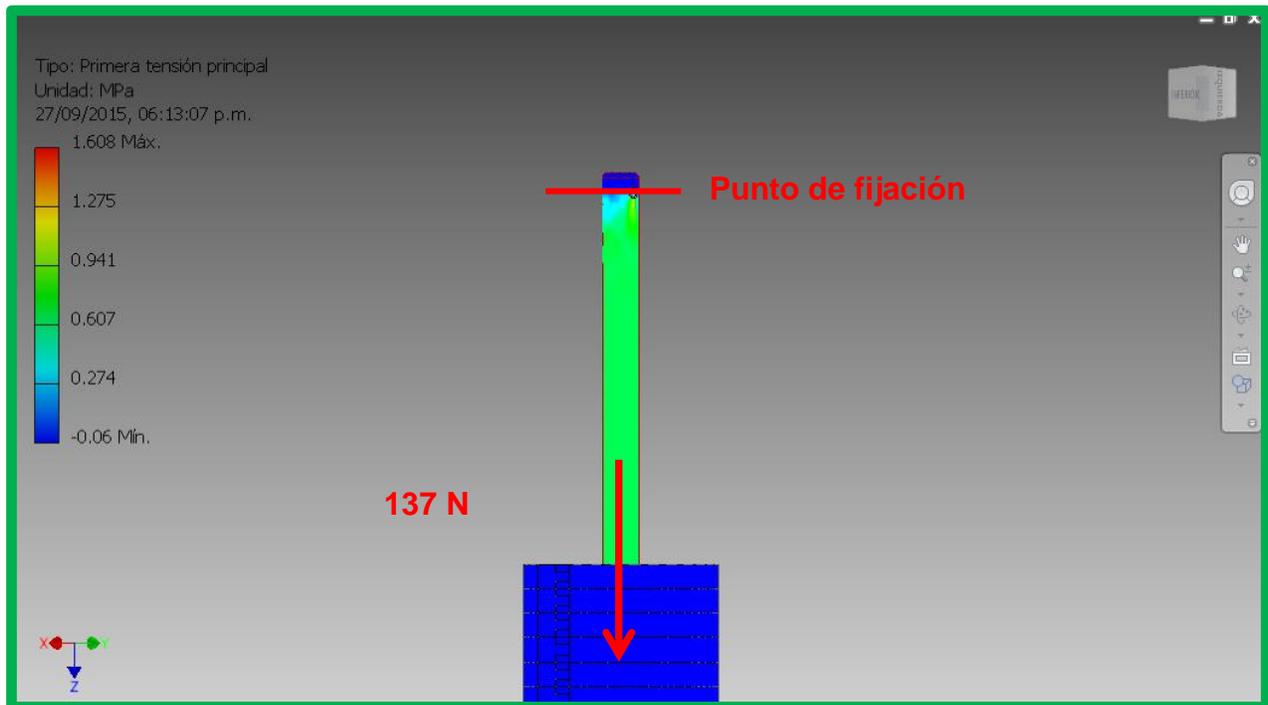


Figura 53. Análisis de tensión para la barra de pesos.

De acuerdo a la escala de colores que podemos observar, el máximo esfuerzo de tensión en el tubo es 0.6 Mpa. Si consideramos que el límite de elasticidad en tensión para el acero negro es de 227 Mpa, podemos llegar a la conclusión que el tubo soportará la carga sin ningún problema o riesgo de seguridad.

De forma ilustrativa se diseñó las pesas, en la siguiente figura 54 se representa.

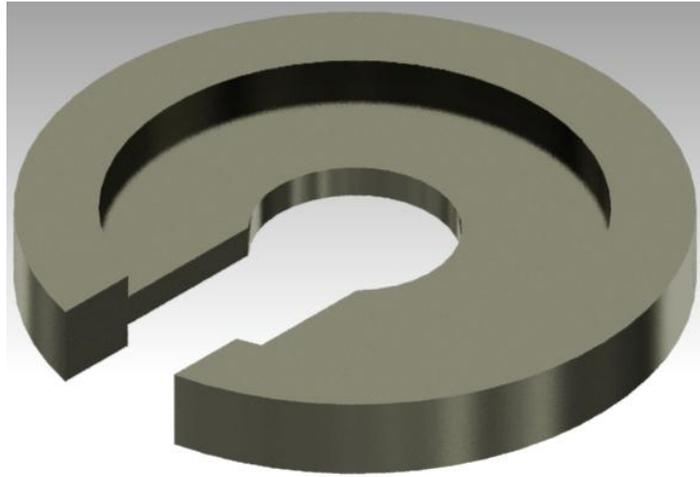


Figura 54. Pesa.

6) Contenedor de aceite

Este será fabricado con segmento de acrílico, ver la figura 56.

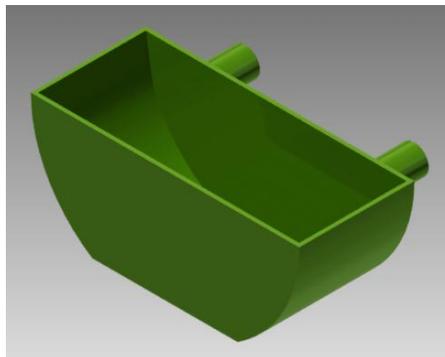


Figura 55. Contenedor de aceite a base de acrílico.

7) Placa frontal

La placa frontal será construida a partir de lámina de acero, como se vio en la tabla 56.

La placa frontal tendrá las siguientes dimensiones, ancho 392 mm, largo 170mm, ver figura 56 para mayor referencia.

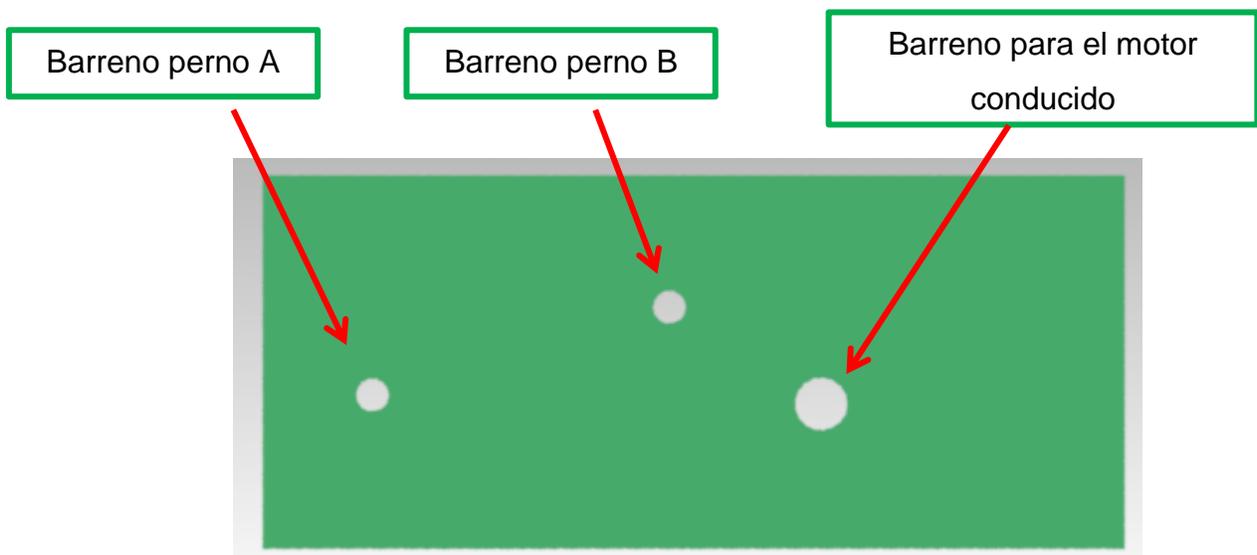


Figura 56. Placa frontal.

En la parte posterior tendrá dos soleras que serán usadas para darle firmeza y pueda sostener la barra de pesos junto con el brazo palanca, figura 57.

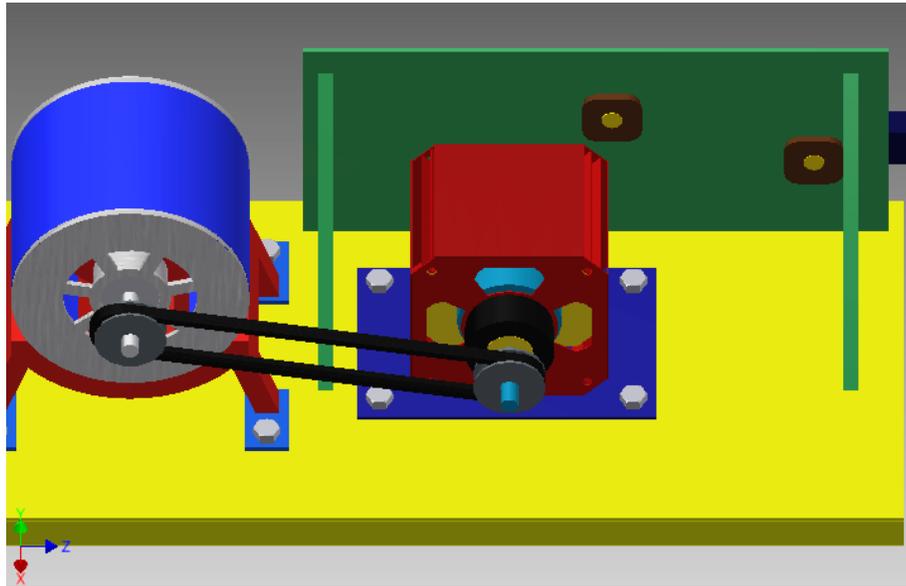


Figura 57. Representación para los soportes detrás de la placa frontal.

b) Componentes secundarios

1) Gancho

El gancho deberá ser lo suficientemente resistente para soportar 14 kg de masa. Debe de permitir una unión rápida y la vez segura, esto es no deberá de soltarse cuando este soportando los 14 kg para evitar los accidentes.

Se usara un gancho que es usado en aplicaciones como alpinismo, Este gancho es fabricado en acero, ver figura 58 y 59.

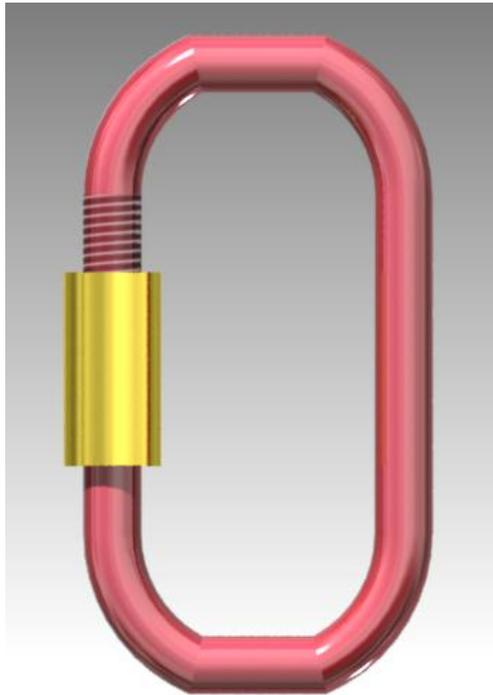


Figura 58. Gancho tipo alpinista.

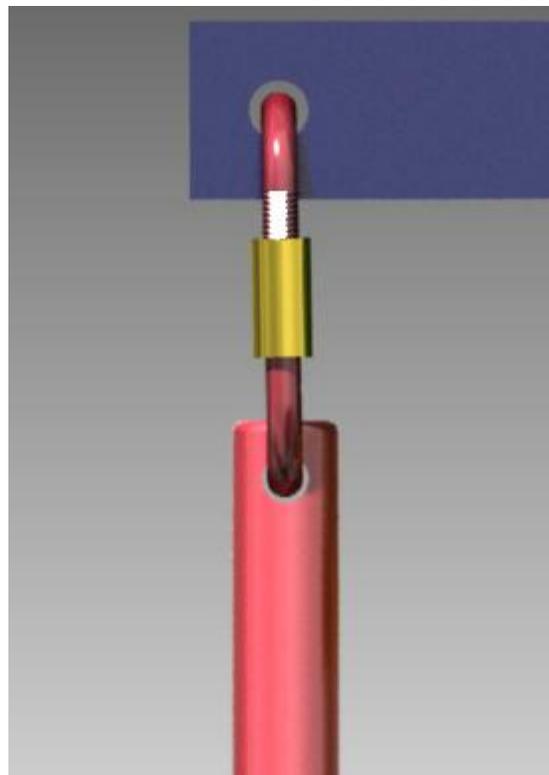


Figura 59. Gancho tipo alpinista.

Se aplica análisis de elemento finito al gancho, con la carga máxima de 14 kg.

Análisis de Elemento Finito:

- Material acero negro
- Cargas: $W_{\text{perno A}} = 137.4 \text{ N}$

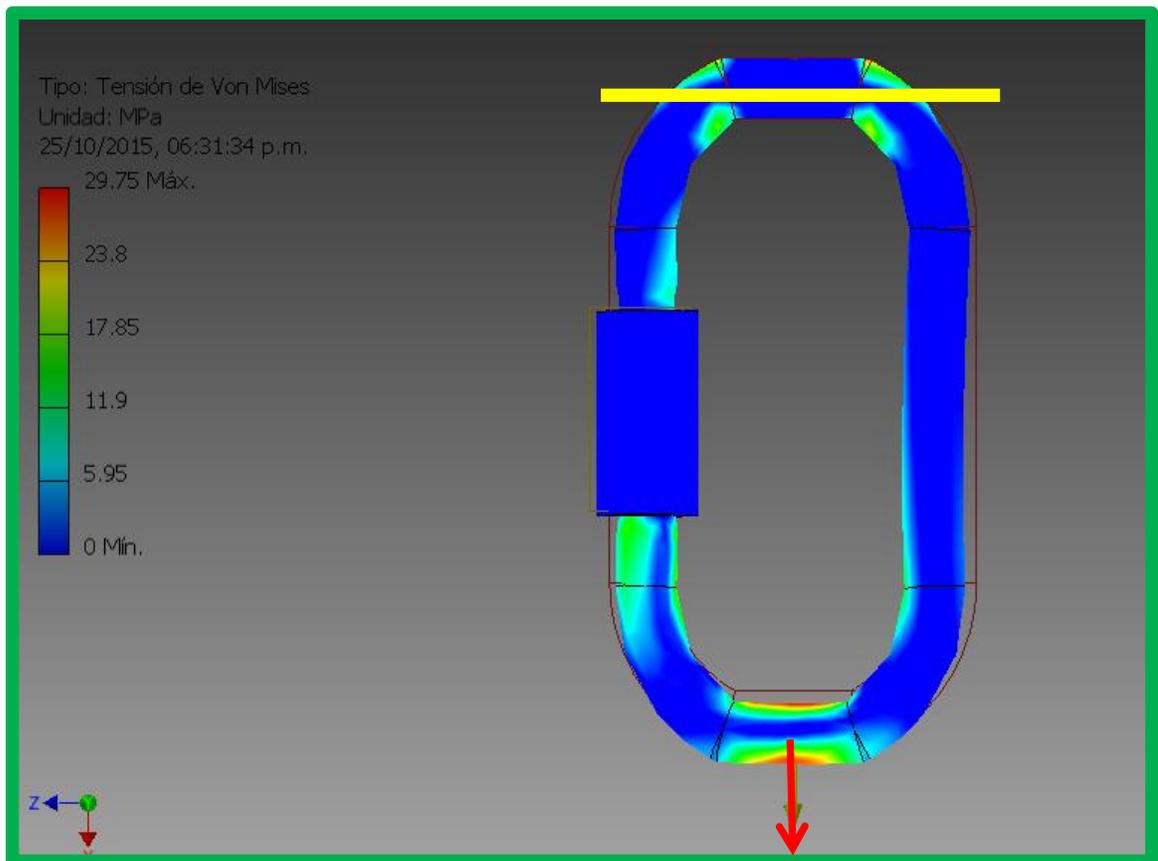


Figura 60. Análisis de Elemento Finito para el gancho.

Podemos observar en la simulación que el máximo esfuerzo será de 29 Mpas, al ser su material de acero, la carga no representa un riesgo para el gancho.

2) Amperímetro

El amperímetro será usado para medir la variación de corriente que experimenta el motor cuando la carga es aumentada, figura 61.

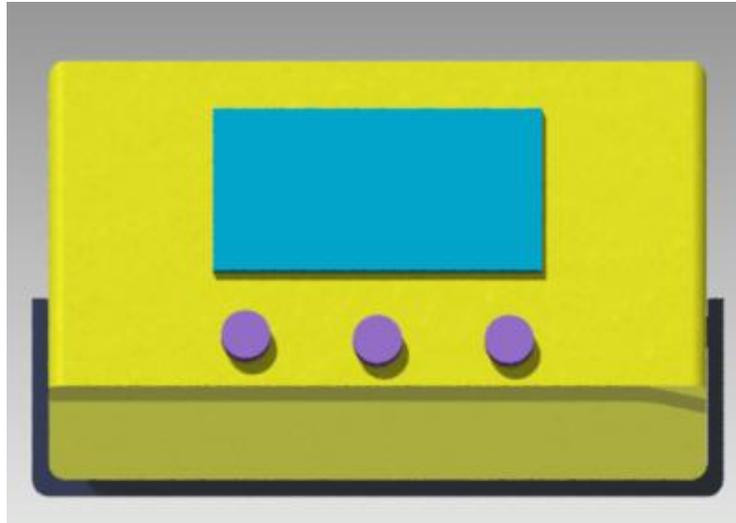


Figura 61. Amperímetro.

3) Botón de encendido y apagado

El botón de encendido y apagado será nuestro interruptor para encender nuestro motor, también será nuestro botón de paro de emergencia, figura 62.

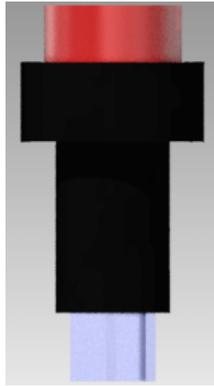


Figura 63. Botón de encendido y apagado.

Diagrama eléctrico

El motor eléctrico estará conectado a una fuente de 120 V. También será conectado el amperímetro en serie con el motor para poder medir el flujo de corriente. Por ultimo tendrá un interruptor que será el botón de encendido y apagado del motor la figura 64 representa el circuito.

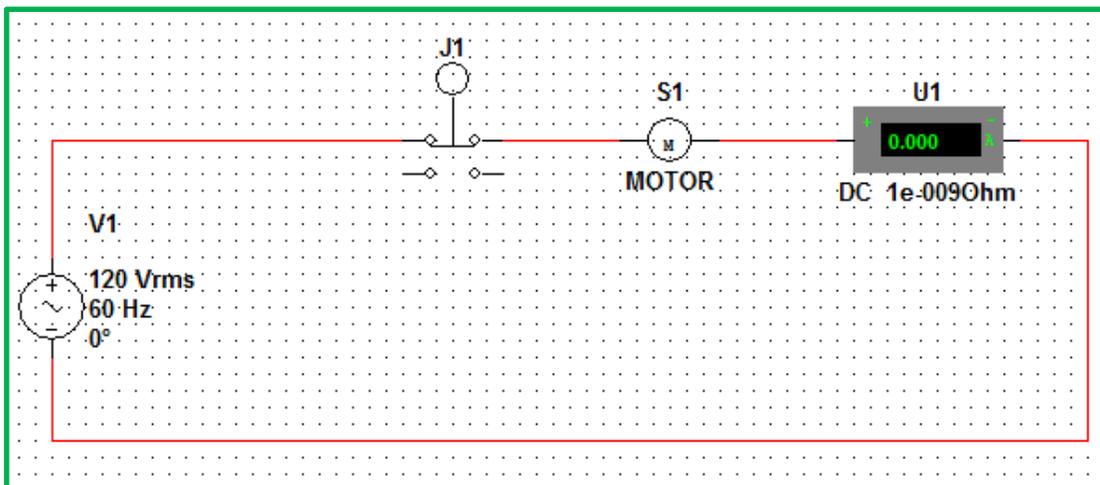


Figura 64. Circuito eléctrico.

4) Probeta

La probeta puede ser fabricada de diversos materiales, dependiendo del tipo de metal que se quiera probar. Deberá de ser de 20 mm de diámetro y 25 mm de largo.

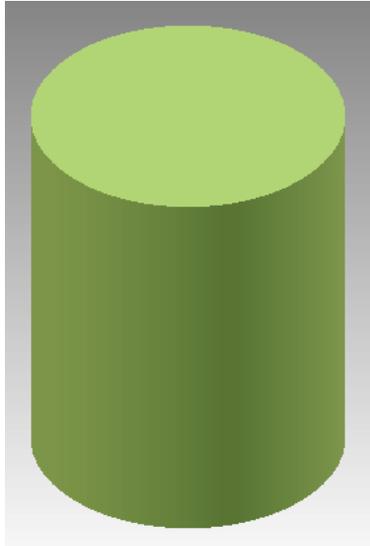


Figura 64. Probeta.

5) Tapa cubierta frontal.

Como medida de seguridad, la cubierta será cerrada en forma de rectángulo, esto con la finalidad de evitar que una mano pueda ser atrapada entre la banda y las 2 poleas de los motores, figura 65.

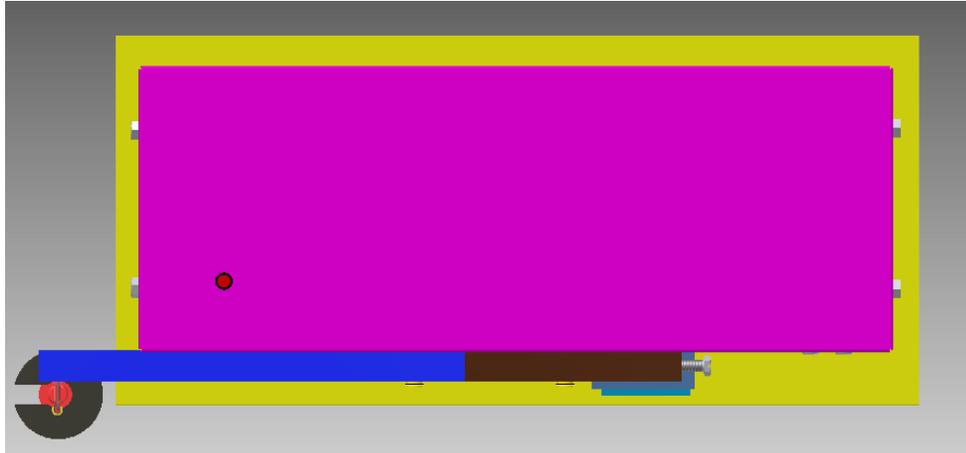


Figura 65. Cubierta.

Se agregan tres soportes que darán firmeza a toda la cubierta y esta pueda sostener el peso del brazo palanca con las pesas. Los dos soportes estarán hechos de placa de acero y serán soldados a la cubierta. Los soportes tendrán 10 mm de espesor. A los dos soportes se le soldaran pequeñas placas de acero, para estas puedan ser atornilladas a la base.

En la figura 66 podemos ver la forma que tendrá el soporte para la base y en la figura 67 podemos ver el soporte con la cubierta y la base para motores.

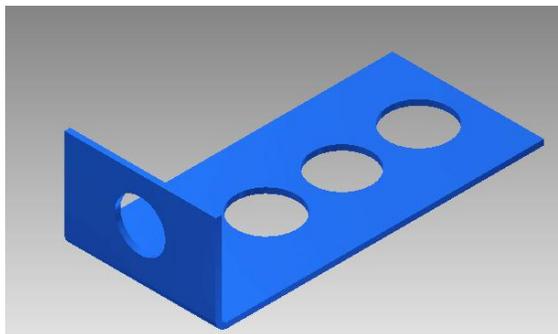


Figura 66. Soporte para la cubierta frontal.

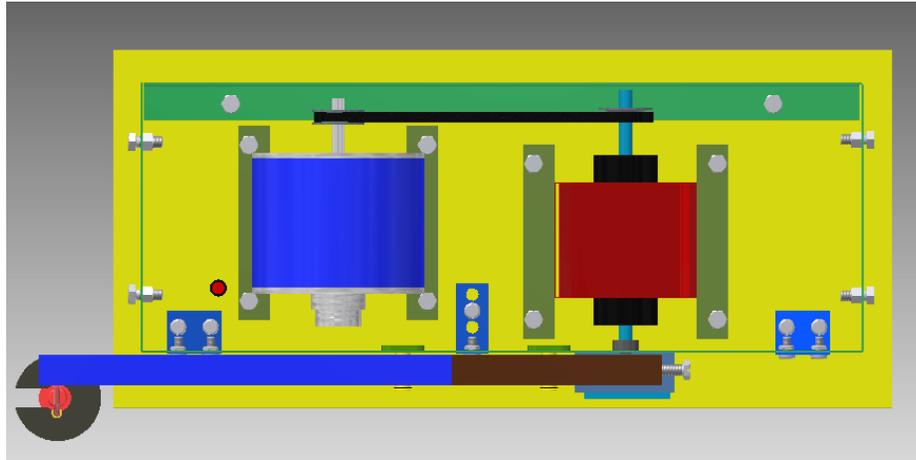


Figura 67. Soportes para cubierta frontal dentro del ensamble.

II.3.7 Diseño detallado.

A continuación se anexan planos para cada uno de los componentes.

II.3.8 Prototipos y pruebas

En la figura 68 se puede ver como luce la base para motores, el motor eléctrico, motor conducido y la banda.

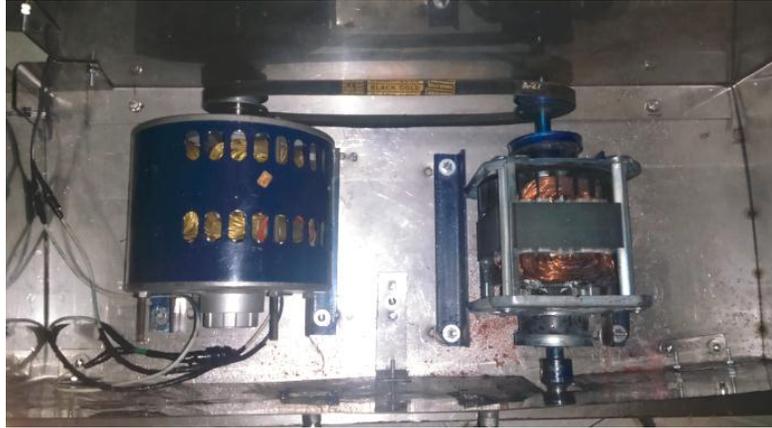


Figura 68. a) Base para motores, b) Motor eléctrico, c) Motor conducido, d) Banda.

En las siguientes imágenes pueden verse los componentes que conforman nuestra máquina didáctica de lubricación.



Figura 69. Contenedor de aceite.



Figura 70. Probeta.



Figura 71. Barra de pesos.



Figura 72. Pesa.



Figura 73.



Figura 74. Brazo palanca sección A.



Figura 75. Brazo palanca sección B.



Figura 76. Boton de encendido y apagado.

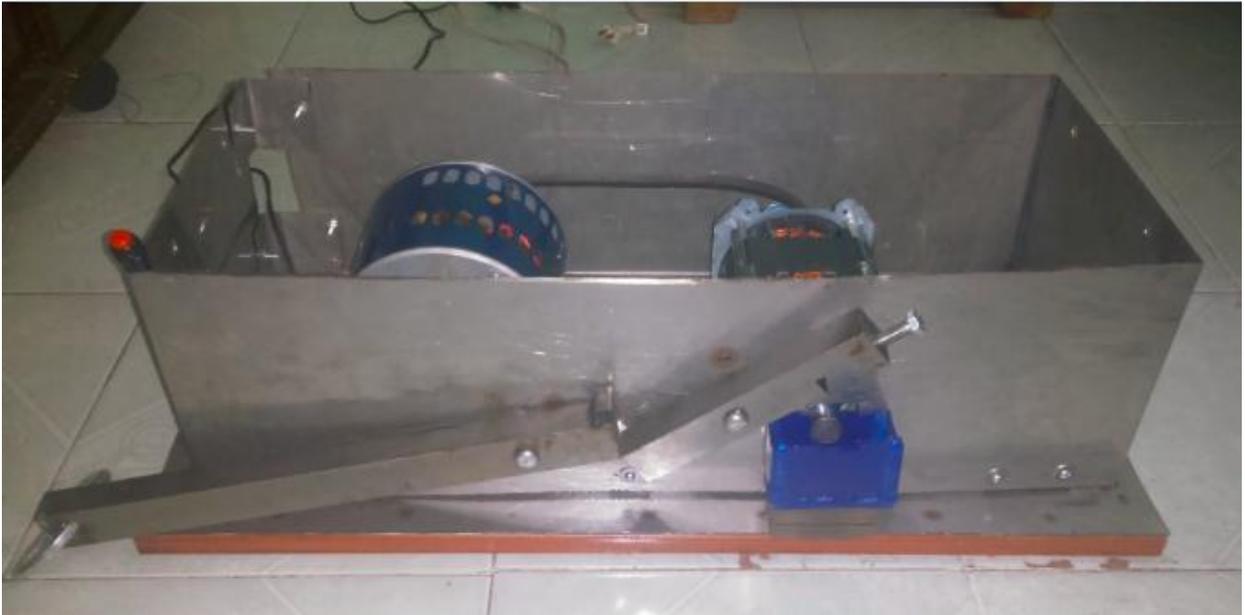


Figura 77. Cubierta frontal.

Pruebas.

Nuestra máquina sin carga alguna consume una corriente 4.05 Amperes, figura 77. Tomaremos esta medida para futuras comparaciones.



Figura 77. Toma inicial de corriente con carga cero.

Una vez que tenemos los componentes reales, observamos que las medidas reales difieren un poco de las ideales. Esto es común ya que durante el proceso de fabricación, se manejan tolerancias, y errores humanos que en el diseño ideal no pueden ser considerados.

Para nuestro brazo palanca es necesario hacer un reajuste de cálculos para saber con exactitud la carga que se está aplicando sobre la probeta. La figura 43,44,45,46 nos muestra las medidas ideales para las distancias $d_1 = 32.6 \text{ cm}$, $d_2 = 6 \text{ cm}$, $d_3 = 7.5 \text{ cm}$, $d_4 = 7.5 \text{ cm}$.

Las medidas reales ahora son: $d_1 = 31.5 \text{ cm}$, $d_2 = 5.5 \text{ cm}$, $d_3 = 7.5 \text{ cm}$, $d_4 = 6.5 \text{ cm}$. Entonces re calculando la fórmula 39 y 41 tenemos:

$$W_1 d_1 = W_2 d_2$$

$$W_2 d_2 = W_3 d_3$$

$$W_1(31.5 \text{ cm}) = W_2(5.5 \text{ cm})$$

$$W_1 \left(\frac{31.5 \text{ cm}}{5.5 \text{ cm}} \right) = W_2$$

$$W_1(5.72) = W_2$$

$$W_3 \left(\frac{6.5 \text{ cm}}{7.5 \text{ cm}} \right) = W_2$$

$$W_3(.87) = W_2$$

$$W_1 \left(\frac{5.72 \text{ cm}}{.87 \text{ cm}} \right) = W_3$$

$$W_1(6.6) = W_3$$

$$m_1 a_1 = m_3 a_3$$

La aceleración de la gravedad para ambos lados de la ecuación es la misma por lo tanto a_1 y a_3 se eliminan.

$$m_1(6.6) = m_3$$

Tabulamos para nuestras pruebas.

| m_1 | $(m_1)(6.6)=m_3$ |
|---------------|------------------|
| 0.5 kg | 3.3 |
| 1.0 kg | 6.6 |
| 1.5 kg | 9.9 |
| 2.0 kg | 13.2 |
| 2.5 kg | 16.5 |
| 3.0 kg | 19.8 |
| 3.5 kg | 23.1 |
| 4.0 kg | 26.4 |
| 4.5 kg | 29.7 |
| 5.0 kg | 33 |
| 5.5 kg | 36.3 |
| 6.0 kg | 39.6 |

Tabla 13. Valores de pesos que se obtienen con el principio de la palanca.

Prueba 1, figura 78.

- Peso de 2 Kg = 13.2 kg.
- Tiempo: 10 minutos.
- Aceite: Ninguno.

- Material probeta prueba: Acero negro.



Figura 78. Prueba 1

Y en la figura 79 se observa la corriente consumida durante la prueba 1.



Figura 79. Corriente consumida durante la prueba 1

Observaciones:

La vibración fue demasiada desde el inicio de la prueba, también hubo un ruido intenso, la prueba se paró a los 6 min con 45 segundos, ya que el desgaste era intenso, también en la polea de desgaste se empezó a perder material.

Prueba 2, figura 80.

- Peso de 2 Kg = 13.2 kg.
- Tiempo: 10 minutos.
- Aceite: Car Lub Sae 60, figura 80.
- Material probeta prueba: Acero negro.



Figura 80. Aceite tipo Car Lub.



Figura 81. Prueba 2.

La figura 82 muestra el consumo de amperaje durante la prueba 2.



Figura 82. Amperaje durante prueba 2.

Observaciones:

El aceite de nombre car lub al tacto no se siente muy viscoso. Durante toda la prueba se escuchan vibraciones, se puede percibir que el motor es sometido a mucho esfuerzo. Cuando la prueba termina, la probeta muestra desgaste. El aceite tiene gran cantidad de metal y su temperatura es elevada.

Prueba 3

- Peso de 2 Kg = 13.2 kg.
- Tiempo: 10 minutos.
- Aceite: Car Lub Sae 60.
- Material probeta prueba: Acero negro.



Figura 83. Aceite Quaker State.

La figura 84 muestra el consumo de corriente durante la prueba 3.



Figura 84. Amperaje medido durante la prueba 3.

Observaciones:

Con el aceite tipo Quaker State la vibración en la máquina se redujo de manera considerable, se puede decir que llegó casi a la vibración normal de operación sin carga. Una vez terminada la prueba, el desgaste encontrado en la probeta fue mínimo, En el aceite se encontraron muy pocos residuos de metal aunque cabe señalar que el aceite se encontraba a mayor temperatura.

Resultados.

Queda demostrado que si se tienen dos superficies en movimiento y en contacto es necesario suministrar un lubricante de por medio, de lo contrario, el desgaste en las superficies es mayor. En nuestra máquina aparte del desgaste ocasionado a las probetas se notó, ruido excesivo y mayor consumo de corriente en las pruebas donde hubo mayor desgaste. La tabla 14 muestra los valores obtenidos en las pruebas.

| | Sin lubricante | Car Lub | Quaker State alto kilometraje |
|-------------------------------|-----------------------|----------------|--------------------------------------|
| Desgaste | Severo | Regular | Minimo |
| Temperatura del aceite | Ninguna | Elevada | Elevada |
| Vibraciones | Excesivo | Elevado | Minimo |

Tabla 14. Obtención de resultados.

A continuación se graficaron los resultados obtenidos figura 81.

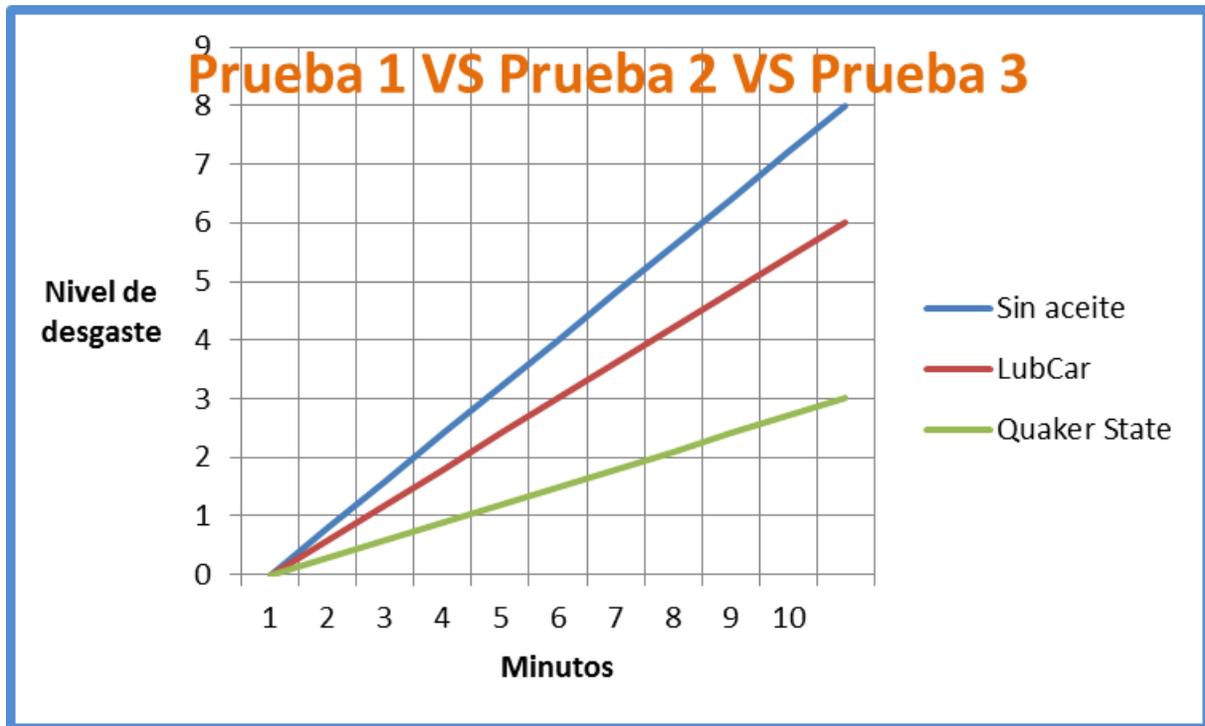


Figura 85. Desgaste respecto el tiempo.

De la misma manera se puede observar en las figuras 79, 82 y 85 que el consumo de corriente eléctrica varía dependiendo del lubricante que fue usado tabla 15.

| | Sin lubricante | Car Lub | Quaker State alto kilometraje |
|---------------------|----------------|-------------|-------------------------------|
| Corriente consumida | .428 Ampers | .416 Ampers | .407 Ampers |

Tabla 15. Consumo de corriente durante las tres pruebas.

Finalmente después de llevar acabo las pruebas, la máquina didáctica de lubricación fue pintada, a continuación en la figuras 86 se muestra la máquina terminada.



Figura 86. a) Vista frontal, b) Vista posterior, c) Vista superior.

Medidas de seguridad tomadas para realizar las pruebas.

- No acercar las mano a las partes móviles cando la máquina está encendida.
- No exceder los 5 kg de carga de la máquina.
- Colocar la máquina sobre una superficie plana.
- No soltar las pesas hasta que estén 100% aseguradas.
- No mantener los pies debajo de las pesas cuando éstas están suspendidas.

Conclusiones

1. Con base en la metodología de investigación se diseñó una máquina didáctica de lubricación que satisface las necesidades iniciales planteadas por los empresarios del ramo.
2. La máquina diseñada es totalmente ergonómica, ya que sus mecanismos permiten ajustar los componentes de manera equilibrada y modificar las condiciones de carga; todo ello bajo la supervisión y condiciones del operario.
3. La máquina cuenta con un sistema de seguridad confiable, donde el operario tiene el control de todo el proceso, mediante el paro instantáneo del equipo y con los mecanismos perfectamente resguardados para evitar accidentes.
4. Debido a la morfología del equipo, no se requiere de un técnico especializado para su mantenimiento, ya que éste es muy simple.
5. Con base en el análisis matemático, la selección de materiales determinada y las pruebas de validación experimental, se demostró que el sistema mecánico funciona adecuadamente para las condiciones de operación planteadas en los requerimientos.
6. El proyecto permite demostrar que las universidades pueden incidir con éxito en aspectos tan importantes, como es la innovación tecnológica en el diseño de máquinas, inmersos en un contexto de mayor conciencia de la investigación en el país, implementando acciones y ubicando los requerimientos esenciales que se pueden cubrir con el sector productivo para generar fuentes de trabajo, bienestar social y la reducción de la enorme dependencia tecnológica.

Respecto a los resultados obtenidos, después de las respectivas pruebas desarrolladas se puede observar lo siguiente.

1. El mantener dos superficies de contacto en movimiento sin un lubricante de por medio, el desgaste que se genera es tal, que termina con las superficies. En un periodo de tiempo relativamente corto sin mencionar el calentamiento excesivo que se presenta entre superficies..
2. El usar lubricantes como Gonher, Pemex Lub, Roshfrans; los cuales prometen máxima lubricación a precios accesibles, no cumplen con esto, se perciben partículas de la probeta en el aceite, también un consume de corriente un elevado por tanto podemos concluir que estos lubricanes no cumplen con lo que prometen.
3. Los aceites como Quaker state, Castrol, evitaron el desgaste entre superficies de mejor manera, esto se observó que en el contenedor de aceite quedo menor cantidad de material, de la misma manera el consumo de electricidad fue menor y el calor que se generó fue poco.

Ahora el estudiante de ingeniería mecánica cuenta con el equipo mecánico necesario para probar los diferentes tipos de aceite en el mercado, evaluar qué tipo de aceite es mejor para prevenir el desgaste y evaluar el saño que ocasiona tener dos superficies en contacto sin ningún lubricante.

Bibliografía

- [1] Facultad de estudios superiores Cuautitlán, Laboratorio de tecnología de materiales, (2014). “Lecturas de ingeniería 2: TRIBOLOGIA: FRICCIÓN, DESGASTE Y LUBRICACIÓN”.

- [2] Beer, P.,(2015). “Mecánica de Materiales”,5^o edición, Editorial Mc Hall Grill.

- [3] Anderson,J, (2001). “Ciencia de los materiales”, 2^o edición, Editorial Limusa Noriega Editores, México, 2000.

- [4] William,F, (2002). “Ciencia e ingeniería de materiales”, 2^o edición, Editorial Mc Graw Hill, México.

- [5] Jiménez, Rosique, (2002). “Ciencia de materiales. Teoría, ensayos, tratamientos” 3^o edición, editorial Pirámide, México.

- [6] Jimenez, J., (2015). “Lubricantes”, Apuntes de Tribología. Centro Tecnológico de Aragón.

- [7] Henry,Jr., (1967). “Introduction to creative Design”, Ed. Prentice hall, Englewood Cliffs, N.J., 1967.

- [8] Wallen, R., (1980). "Unlocking Human Creativity", Proc. Of fourth Conference on Mechanics, Purdue University.
- [9] Pablo,G., (2002). "Introducción a la Ingeniería,Un enfoque a través del diseño". 3º edición, Editorial Prentice Hall, Bogotá D.C.
- [10] Dixon, J.R., (1995). "Knowledge Based systems for design Journal of Mechanical".Vol. 117b(2).
- [11] Shigley, J., (1980), "Diseño en ingeniería Mecánica",2º edición, Editorial Mac. Graw-Hill, México.

Cibergrafía

- [12] <http://www.slideshare.net/josephbriceno/tribologia-completo?related=2> [20 de Diciembre 2014 7:44 pm.]
- [13] http://help.solidworks.com/2010/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Checking_stresses/prot_vonm.html. [17 de Julio 2015 5:20 am.]
- [14] <http://www.telstar-instrumat.com/Productos/An%C3%A1lisis%20de%20Superficies.htm> [15 de febrero 2015 3:15 pm]

- [15] http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-1/material_clase/ocw_rugosidades [16 de Febrero 2015 5:15 pm.]
- [16] <http://www.imem.unavarra.es/EMyV/pdfdoc/elemaq/em-contacto.pdf> [16 de Febrero 2015 4:10 pm.]
- [17] <http://www.utp.edu.co/~dhmesa/pdfs/desgaste.pdf> [2 de Febrero 2015 8:30 pm.]
- [18] http://www.protubsa.com/wp-content/uploads/aceros_carbono.pdf [18 de Abril 2015 5:35 pm.]