



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

**“PLANEACIÓN ESTRATÉGICA DEL  
LABORATORIO DE TRIBOLOGÍA  
PARA EL CENTRO TECNOLÓGICO ARAGÓN”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :**

**MARÍA SUSANA HERNÁNDEZ BONILLA**

**ASESOR: DR. JAVIER JIMÉNEZ GARCÍA**



**MÉXICO**

**2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## *Agradecimientos*

*A mi hijo César Arturo por haberme permitido robarle mucho del tiempo que merecía estar a su lado; por ser la fuente de mi inspiración y motivación para superarme cada día y así poder luchar para que la vida nos dépare un futuro mejor.*

*A mis padres Víctor Hernández y Susana Bonilla por haberme educado y su infinita paciencia, así como a mis hermanos Patricia y Francisco, por su apoyo incondicional, fraternidad y comprensión.*

*A mis abuelos Iríneo Hernández y Marcela Sánchez por sus consejos e instruirme a enfrentar la vida con valentía, por reconocerme mis logros y marcar mis errores para que aprendiera de ellos, por enseñarme que no es malo caer, si no la incapacidad de no poder levantarse.*

*A mis tíos por su apoyo y consejos durante toda la carrera, a mis primos, porque su compañía y cariño, fue un sostén más para mi formación y superación.*

*A mi abuela María Sánchez que también me ayudó con sus consejos y tener fe en mí.*

*A mi director de tesis el Dr. Javier Jiménez y a los Profesores SínoDOS por sus valiosos consejos para la realización de este proyecto.*

*A la MCP Alejandra Zarate que nunca dejó de apoyarme y darme muestras de cariño, por ser mi mejor amiga.*

*Al MADEMS Víctor Rodríguez por todo el apoyo al comienzo de este proyecto, por haber contribuido con su ejemplo de profesionalidad y dedicación.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Máxima Casa de Estudios por su apoyo decidido, generoso y desinteresado durante mis estudios, por permitirme pertenecer a la mejor universidad del país.*

*A la Facultad de Estudios Superiores Aragón por alimentar mi alma y fortalecer mi espíritu.*

*Finalmente a todos aquellos amigos, colegas y compañeros que me brindaron su apoyo, amistad, conocimientos y tiempo, porque con el correr del tiempo voy percibiendo con mayor nitidez que los esfuerzos mayores por más individuales que parezcan siempre estarán acompañados de apoyos imprescindibles para lograr concretarlos.*

*Al Dr. Javier Jiménez García*

*Gracias por su confianza depositada desde un principio, por el apoyo incondicional, por su oportuna, rigurosa, entusiasta y sabia orientación. El rigor de su trabajo supone para mí un inmejorable punto de referencia para mi labor de investigación en el futuro.*

## Índice

	<b>Página</b>
Introducción	10
I. Tribología	12
I.1. Fricción	13
I. 1.1. Las hipótesis de la fricción seca	17
I.1.2. Factor de desgaste	22
I.2. Procesos de desgaste	30
I.2.1. Mecanismos de desgaste	32
I.2.1.1. Desgaste por abrasión	33
I.2.1.2. Desgaste por adhesión	37
I.2.1.3. Desgaste por contacto eléctrico, mecánico y térmico	39
I.2.1.4. Desgaste por delaminación	40
I.2.1.5. Desgaste por descamación	41
I.2.1.6. Desgaste por deslizamiento	42
I.2.1.7. Desgaste por fatiga superficial	46
I.2.1.8. Desgaste por oxidación o desgaste triboquímico	50
I.2.1.9. Desgaste por picado	52
I.2.1.10. Desgaste térmico	53
I.2.1.11. Desgaste por cavitación	53
I.3. Pruebas de fricción y desgaste	55
I.3.1. Pruebas geométricas típicas	55
I.3.1.1. Espiga sobre un disco (carga superficial)	57
I.3.1.2. Espiga sobre una placa	58
I.3.1.3. Espiga sobre un cilindro (cargado por la orilla)	58
I.3.1.4. Pieza de sujeción-empuje (carga superficial)	59
I.3.1.5. Probetas dentro de dados (cargados en el borde)	59
I.3.1.6. Placas rectangulares sobre un cilindro en rotación	60

I.3.1.7.	Cilindros cruzados	60
I.3.1.8.	Aparato de prueba de cuatro esferas	61
I.3.2.	Pruebas por abrasión	62
I.3.2.1.	Prueba de abrasión Taber	62
I.3.2.2.	Prueba abrasiva por banda	63
I.3.2.3.	Prueba de abrasión en seco	63
I.3.2.4.	Prueba por abrasión por arena húmeda	64
I.3.3.	Pruebas por fatiga	64
I.3.3.1.	Prueba de disco sobre disco	65
I.3.3.2.	Rotación en cuatro esferas	66
I.3.3.3.	Elemento de rolado sobre la placa	66
I.4.	Lubricación y película lubricante	68
I.4.1.	Reducción de la fricción	69
I.4.1.1.	Disipador de calor	69
I.4.1.2.	Dispensor de contaminantes	69
I.4.2.	Fabricación de lubricantes	70
I.4.2.1.	Aditivos lubricantes	70
I.4.2.3.	Antioxidantes	71
I.4.2.4.	Anticorrosivos	71
I.4.2.5.	Antiherrumbe	72
I.4.2.6.	Dispersantes	72
I.4.2.7.	Antiespumantes	73
I.4.3.	Película lubricante	73
I.4.3.1.	Película fluida	73
I.4.3.2.	Película delgada	76
I.4.3.3.	Película sólida	76
I.4.3.4.	Tensión superficial, hidrostática e hidrodinámica	77
I.4.3.5.	Lubricación hidrostática	77
I.4.3.6.	Lubricación hidrodinámica	79
I.4.4.	Propiedades y estudios de lubricantes	82

I.4.4.1.	Sistemas de clasificación de la viscosidad (clasificación ISO para aceites industriales)	86
I.4.4.2.	Clasificación AGMA para aceites para engranajes	89
I.4.4.3.	Clasificación SAE para aceites de motor	89
I.4.4.4.	Clasificación SAE para lubricantes de transmisiones manuales y diferenciales.	91
I.4.4.5.	Clasificación API	91
I.4.4.6.	Sistemas de Lubricación	93
I.4.5.	Mantenimiento predictivo, proactivo, correctivo y preventivo	95
I.4.6.	Correlación entre análisis de aceite y condición de equipo	97
I.4.7.	Almacén y manejo de lubricantes	98
I.5.	Triboecología	100
I.5.1.	Legislación ambiental	100
I.5.2.	Contaminación industrial, comercial y de residuos por contaminación de aceites.	104
I.5.3.	Composición y clasificación de los aceites usados	105
I.5.4.	Contaminación del aire	106
I.5.5.	Contaminación del agua	107
I.5.6.	Contaminación del suelo	109
I.5.6.1.	Peligros que encierra el aceite usado	109
I.5.7.	Lubricantes ecológicos	111
I.5.7.1.	Lubricantes biodegradables	114
I.5.8.	Grasas lubricantes ecológicas	115
I.5.8.1.	Alternativa a los espesantes metálicos contaminantes	116
I.5.8.2.	Aceite de cadenilla BIOLUBE	117
I.5.9.	Pruebas de Laboratorio encargadas del estudio de lubricantes ecológicos	117
I.5.10.	Lubricantes ecológicos para operaciones de corte y conformado	118

I.5.11.	Ensayos tribológicos	119
I.5.12.	Corte, doblado y conformado de tubos	120
I.5.12. 1.	Propiedades medioambientales	122
II.	Implementación del laboratorio	123
II. 1.	Asignaturas y profesionales beneficiarios	126
II.1.1.	Problemática actual	126
II.1.2.	Problema educativo	127
II.1.3.	Contribución del proyecto (Beneficios y alcances)	128
II.1.4.	Hipótesis o Lineamientos	129
II.2.	Elementos necesarios para la implementación de un laboratorio	131
II.2.1.	Distribución	131
II.2.1.1.	Intereses de la distribución de planta	132
II.2.1.2.	Tipos de distribución de planta	138
II.2.1.3.	Tipos clásicos de distribución	139
II.2.2.	Altura requerida de los techos.	145
II.2.3.	Señalización	146
II.2.4.	Iluminación	153
II.2.4.1.	Lámparas y luminarias	155
II.2.4.2.	Método de los lúmenes	157
II.2.4.3.	Mantenimiento luminarias	166
II.2.5.	Ventilación y calefacción	168
II.2.6.	Eliminación de desperdicios	170
II.2.7.	Aislamiento	174
II.2.8.	Control del medio ambiente	174
II.2.9.	Requerimientos especiales de los procesos	175
II.2.10.	Acomodo de oficinas	176
II.2.11.	Control de la limpieza	176
II.2.12.	Equipamiento de la planta	177

II.2.12.1.	Costo equipo	180
II.2.12.2.	Concepto de costo	183
II.2.12.3.	Tipos de costos	185
II.2.12.4.	Contribución marginal y punto de equilibrio	190
II.2.12.5.	Pérdida de valor del equipo	196
II.2.12.6.	Métodos de cálculo (depreciación)	198
II.3. Centro Tecnológica Aragón (CTA)		204
II.3.1.	Laboratorio Comportamiento de Materiales (CM)	206
II.3.2.	Equipo propuesto para el laboratorio de tribología	208
II.3.2.1.	Depreciación del equipo propuesto	225
II.3.3.	Cálculo de iluminación	227
II.3.4.	Distribución de equipo	233
II.3.5.	Organización del mantenimiento del equipo	237
Conclusiones		241
Bibliografía		243

## Introducción

---

La fricción y el desgaste son características de los sistemas, siendo fenómenos trascendentes, debido a la interacción que existe entre los elementos mecánicos, porque al interactuar reducen la eficacia de las máquinas, provocando cambios dimensionales o daños superficiales que, a su vez, causan problemas secundarios tales como vibración o mal funcionamiento, lo que repercute en mayores consumos de energía e incrementos en el costo de producción.

Cabe destacar que una forma de reducir las pérdidas económicas debido al desgaste puede incluir propiedades de diseño (transmisión de carga, tipo de movimiento, forma de las partes estructurales, grado de lubricación, temperatura y medio ambiente), condiciones de operación, (área de contacto, presión de contacto, condiciones de superficie de las partes estructurales, lubricación, temperatura y medio ambiente), propiedades del material (composición, microestructura, acabado superficial, recubrimiento y tratamientos térmicos) parámetros microestructurales tan importantes como son las inclusiones, las segundas fases, los límites de grano, la estructura de la matriz y la anisotropía.

Por ello, se propone la planeación estratégica de un laboratorio de tribología para el análisis de estos fenómenos, ya que los laboratorios juegan un papel muy importante para la educación de un alumno. Sin embargo, para llevar a cabo este objetivo central deben darse las condiciones adecuadas tanto de infraestructura, materiales y laborales, así como la capacitación del personal docente, sobre todo, una nueva actitud que permita ubicar al laboratorio como un instrumento primordial para la enseñanza y no secundario como se ha venido considerando hasta hoy.

Asimismo en este documento se plantea de manera muy general; y se muestran los elementos necesarios para la implementación de un laboratorio de Tribología, proponiendo equipo, instalaciones y sugerencias para el uso óptimo de este.

Esta nueva actitud implica, también, la búsqueda de nuevos métodos de trabajo que permitan adquirir o reafirmar conocimientos del alumno, que a su vez descubre lo que es relevante para una investigación en particular, y que depende de la experiencia previa que él tenga. Sabemos que si el alumno no tiene el concepto de lo que espera ver, fracasa en la interpretación de un experimento.

Se pretende que el trabajo práctico en el laboratorio proporcione al alumno la experimentación y el descubrimiento personal, evita el concepto de "resultado correcto" que se tiene cuando el alumno aprende sólo los datos de un libro, en el que cree ciegamente y no tiene oportunidad de aprender directamente de los experimentos.

Así, este conocimiento se consigue con una mezcla de demostración y discusión, pero hay además, otras razones importantes que justifican el trabajo empírico, como lo son el progreso de habilidades prácticas, el desarrollo de capacidades para resolver problemas y el proceso de sensibilidad para apreciar el trabajo de los académicos.

## I. Tribología

---

La tribología es una ciencia, rama de la mecánica clásica, que estudia la relación entre fenómenos de fricción, desgaste y lubricación y de cómo estos interactúan en beneficio o en contra del correcto funcionamiento de los equipos y componentes de maquinarias.

Sin duda alguna, en la interacción entre dos superficies aparecen diversos fenómenos cuyo conocimiento es de vital importancia. Estos tres fenómenos fundamentales que aparecen son:

**Fricción:** efecto que proviene de la existencia de fuerzas tangenciales que aparecen entre dos superficies solidas en contacto permanecen unidas por la existencia de esfuerzos normales a las mismas.

**Desgaste:** consiste en la desaparición de material de la superficie de un cuerpo como consecuencia de la interacción con otro cuerpo.

**Lubricación:** como un medio para reducir el desgaste.

Cabe destacar que estos tres fenómenos están siendo ampliamente estudiados por las comunidades científicas mundiales, ya que con base en estudios recientes, las pérdidas económicas que sufre un país industrializado por problemas tribológicos y a la corrosión de los materiales, alcanzan el 4.5% del producto Nacional Bruto, [1].

Asimismo en el campo energético, se estima que en EE.UU. un 11% de la energía total consumida en cuatro grandes sectores: transportes, turbomáquinas, generadores de potencia y proceso industriales, pueden ser ahorrados introduciendo avances tribológicos.

Es importante mencionar que el estudio tribológico de materiales, no solo contribuye a reducir las grandes pérdidas económicas que se presentan en los sectores automotriz, aeroespacial y en general en los constructores de maquinaria, sino que también permitirá salvaguardar el medio ambiente, ya que al utilizar materiales más confiables y duraderos se reducirá el consumo de materias primas y la utilización de lubricantes altamente contaminantes, que se descargan al medio ambiente ocasionando un daño ecológico irreversible.

Para la mejor comprensión de la tribología, a continuación se describirán los fenómenos de la fricción, desgaste y lubricación.

### **I.1. Fricción**

La fricción genera una resistencia al movimiento y aumenta el área real de contacto. El desgaste se define como la pérdida progresiva del material de la superficie de contacto que resulta del movimiento relativo de dos superficies, esto es, la pérdida progresiva de material de la superficie de un campo sólido debido a la acción mecánica.

Las leyes clásicas de la fricción fueron formuladas por Amontons y Coulomb en 1781, [2]; en ellas se establece que el coeficiente de fricción entre superficies planas, limpias y secas es independiente de la carga aplicada, la velocidad y el área de contacto. Sin embargo, a menudo en el proceso del trabajo de los metales, el área de contacto entre la herramienta y la pieza de trabajo está sujeta a elevadas presiones y temperaturas. Bajo estas condiciones las leyes clásicas de la fricción no son aplicables.

Se han desarrollado varias teorías para explicar el fenómeno de la fricción, con el fin de minimizarla, ya que aproximadamente consume un 30% a un 50% del gasto

energético mundial. La disminución de estas pérdidas significa el ahorro considerable en costos.

La fricción es una fuerza resistente que actúa sobre un cuerpo, que impide o retarda el deslizamiento del cuerpo respecto a otro cuerpo o superficie con que este en contacto. Esta fuerza siempre actúa tangencialmente a la superficie en los puntos de contacto con otros cuerpos, y tiene un sentido tal que se opone al movimiento posible, existente del cuerpo respecto a estos puntos.

En general pueden ocurrir dos tipos de fricción:

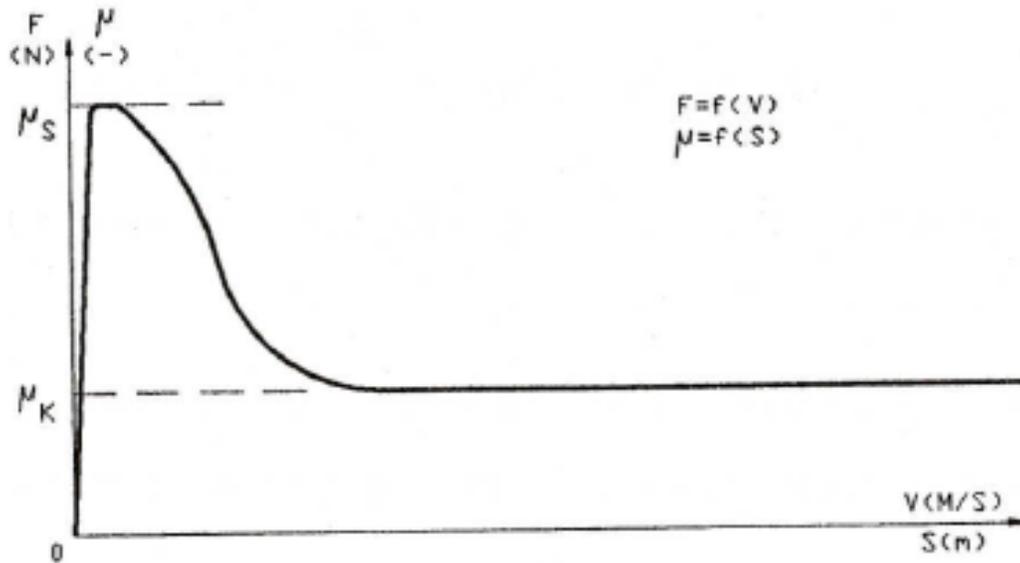
- ✓ La fricción estática
- ✓ La fricción cinética

La fricción estática ocurre entre las superficies en contacto de cuerpos rígidos cuando su resistencia impide el movimiento del uno respecto al otro; si los dos cuerpos se mueven relativamente, la resistencia de fricción se llama fricción cinética o de deslizamiento.

Cabe mencionar que las pérdidas económicas debido al desgaste se pueden reducir optimizando el movimiento de los elementos mecánicos que están en contacto, moderando el esfuerzo aplicado, haciendo una adecuada selección de materiales, un buen manejo de la lubricación en función de la carga, temperatura y medio ambiente.

En algunos elementos de máquinas, pequeñas cantidades de desgaste son perjudiciales, ya que dicho desgaste se produce por partículas desprendidas de los materiales en contacto, lo que a su vez contribuye al mal funcionamiento de los componentes individuales.

El propio Coulomb [1], demostró que la fricción estática es mayor a la cinética y que prácticamente la fricción cinética es independiente de la velocidad, figura 1.



**Figura 1.** Dependencia de la fuerza de fricción  $F$  respecto de la velocidad de desplazamiento  $v$ , [1].

Con objeto de comparar las propiedades de fricción de partes de distintos materiales, en diferentes condiciones de sus superficies de contacto y con el objeto de calcular la fuerza máxima de fricción correspondiente a una presión normal cualquiera, se utiliza una cierta constante experimental a la que se da el nombre de coeficiente de rozamiento o de fricción.

El coeficiente de fricción estática de dos superficies cualesquiera se define como la razón de fricción límite a la presión normal correspondiente. Así,  $\mu_s$  es el coeficiente de fricción estática que se expresa de la siguiente manera, ecuación 1.

$$\mu_s = \frac{F_s}{N} \text{ de la que se deduce } F = \mu_s N \quad \dots(1)$$

Donde:

$F_s$  = Fuerza de fricción estática

$N$  = Carga normal

$\mu_s$  = Coeficiente de fricción estática

Así la fuerza máxima de fricción que dos superficies cualesquiera puede desarrollar es igual  $\mu_s N$ .

Los experimentos con bloques deslizantes indican que la magnitud de la fuerza de fricción resultante  $F_k$  es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza normal resultante, ecuación 2, esto se expresa matemáticamente como:

$$F_k = \mu_k N \quad \dots(2)$$

Donde:

$F_k$  = Fuerza de fricción cinética.

$N$  = Carga normal.

$\mu_k$  = Coeficiente de fricción cinética.

En la tabla 1, se muestran valores de  $\mu_s$  y  $\mu_k$  se aprecia que  $\mu_s$  es mayor. Habrá que notar que  $\mu_s$  y  $\mu_k$  carecen de dimensiones y que dependen solamente de las características de las superficies en contacto.

PAREJA DE MATERIALES UNIDOS	FRICCIÓN CINÉTICA	FRICCIÓN ESTÁTICA
	$\mu_k$	$\mu_s$
Acero-fundición	0.18	0.30
Acero-acero	0.10	0.17
Acero-latón	0.15	0.19
Fundición-fundición	0.16	0.18
Acero-hierro fundido	0.15	0.32
Acero-cobre	0.10	0.22
Acero-grafito	0.08	0.12
Cobre-grafito	0.10	0.14
Acero-poliestireno	0.11	0.20
Acero-poliamida	0.05	0.10
Acero-teflón	0.04	0.09
Acero-nylon	0.08	0.12
Acero-vidrio	0.08	0.19
Acero-ágata	0.19	0.38
Acero-rubí	0.11	0.13
Acero-fibra	0.12	0.14

**Tabla 1.** Valores de los coeficientes de fricción estáticos ( $\mu_s$ ) y cinéticos ( $\mu_k$ ), [1].

### I.1.1. Las hipótesis de la fricción seca

Todavía no existe una teoría completa y total de la fricción seca que pueda explicar todos los fenómenos que aparecen durante este proceso.

Existen tres grupos de estas teorías, pero ninguno considera la dependencia del coeficiente de fricción  $\mu$  en cualquiera de las condiciones de contacto; cada una explica parcialmente los procesos de fricción y son útiles en algunos cálculos con ciertas condiciones de contacto:

- I. Hipótesis mecánicas
- II. Hipótesis moleculares
- III. Hipótesis mecánicas- moleculares

Dentro del primer grupo se encuentran las siguientes:

1. Hipótesis de Amontons:  $F = \mu N$
2. Hipótesis de Coulomb:  $F = A + \mu N$
3. Hipótesis de Bowden:  $\lambda_c / P$

Donde:

$F$  = Fuerza de fricción.

$N$  = Carga normal.

$\mu$  = Coeficiente de fricción.

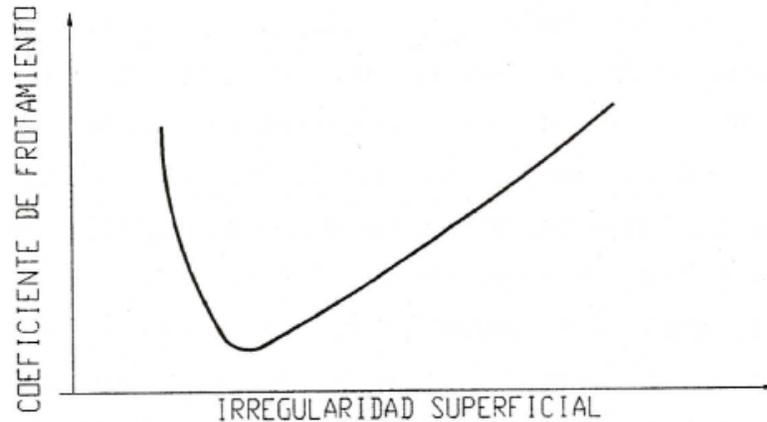
$A$  = Área de contacto entre ambas superficies.

$\lambda_c$  = Resistencia al corte de acoplamientos metálicos de rugosidades de ambas superficies.

$P$  = Presión o resistencia del metal de menor fuerza

La hipótesis de Coulomb se basa en que el frotamiento es debido a una interpenetración de las asperezas de las superficies de contacto, por lo tanto, cuanto más irregular es la superficie, mayor es el frotamiento y viceversa. Esta explicación se emplea para superficies relativamente irregulares, cuando existen dos superficies rectificadas ya que se presenta la adhesión, la que es aplicable por las teorías moleculares.

En consecuencia, la adhesión molecular contribuye a crear el frotamiento entre dos superficies deslizantes. En el caso de que la separación entre las superficies es muy pequeña, las fuerzas moleculares dan lugar a una fuerte adhesión que se opone al deslizamiento. En el caso extremo de superficies muy limpias producen soldadura por fricción. En la figura 2, se presenta una grafica que relaciona el acabado superficial con el frotamiento.



**Figura 2.** Relación cualitativa entre la irregularidad superficial y el coeficiente de frotamiento, [2].

A pesar de que la hipótesis de Amontons se aplica hasta ahora en los cálculos de ingeniería, las hipótesis moleculares se prefieren en elementos rectificadas. Las hipótesis moleculares son:

1. Hipótesis de Tomlinson:  $\mu = (k \cdot E) / (n \cdot p \cdot x)$
2. Hipótesis de Diariagin:  $F = \mu (N + N_0)$

Donde:

$k = N_0$ . de parejas moleculares en contacto durante el desplazamiento.

$E$  = Energía de rompimiento de las parejas moleculares.

$n$  = Número total de parejas moleculares en contacto.

$P$  = Fuerza de repulsión entre moléculas, en cada pareja molecular.

$x$  = Cambio de desplazamiento.

$N_0$  = Carga normal equivalente a las fuerzas de atracción molecular.

$N$  = Carga Normal.

$\mu$  = Coeficiente de fricción.

La expresión más sencilla es la de Diariagin [2], se expresa en la ecuación 3 pero el problema es determinar la fuerza equivalente  $N_o$  que puede ser del orden de  $N$  en cargas normales pequeñas, entonces:

$$N_o = P_o * A_r \quad \dots(3)$$

Donde:

$P_o$ =Fuerza de atracción molecular, en  $[N/mm^2]$

$A_r$ =Área real de contacto, en  $[mm^2]$

La primera hipótesis molecular se explica por la teoría de la atracción molecular de Tomlinson o de frotamiento cohesivo. Aquí Tomlinson supuso que el frotamiento seco es el resultado del contacto molecular entre las superficies en contacto y relacionó el coeficiente de frotamiento seco con las propiedades elásticas de los materiales.

Esta relación se basó partiendo del análisis de Hertz, que supone un modelo con moléculas esféricas, tomando en cuenta el área de contacto de los cuerpos elásticos en función de la carga.

La teoría determina que entre las moléculas actúan fuerzas de atracción y repulsión. Esta teoría reconoce que el campo de atracción molecular se extiende probablemente a lo largo de una distancia equivalente a varios diámetros, a partir del centro de la molécula y, que también existe una fuerza de repulsión que actúa en forma más restringida.

A esto se debe que dos cuerpos choquen, vibren y se deslicen produciendo una pérdida de energía que se transmite como calor.

Esta teoría defiende que el coeficiente de fricción  $f$  debería relacionarse con las constantes de los materiales.

$$\text{Por lo tanto: } f = 1.07 \cdot 10^{-4} (\Theta_1 \cdot \Theta_{11})^{2/3}$$

Donde:  $\Theta = (3E \cdot 4G) / [G (3E \cdot G)]$

E= Modulo de Young.

G= Modulo de cizallamiento.

Basándose sobre las hipótesis mecánicas y moleculares Kragelski formuló su propia hipótesis de fricción llamada Hipótesis molecular- mecánica, ecuaciones 4 y 5, teniendo en cuenta que  $\alpha = F/N$ .

$$\mu = \alpha(Ar/N) + \beta \quad \dots(4)$$

$$F = \alpha Ar + \beta N \quad \dots(5)$$

Donde  $\alpha$  y  $\beta$  son coeficientes que dependen de las propiedades moleculares y mecánicas de los materiales en contacto,  $\alpha [N/mm^2] + \beta$ .

Por medio de un análisis matemático muy aproximado, se puede relacionar el factor de fricción y el factor de desgaste de los distintos metales, en el caso, de desgaste por deslizamiento.

Este se basa en la teoría de la delaminación del desgaste; se determina empíricamente el campo de deformación plástica cerca de la superficie, al comienzo de la delaminación de la capa de desgaste, tomando en cuenta el efecto del ablandamiento cíclico, que a continuación se describe.

### I.1.2. Factor de desgaste

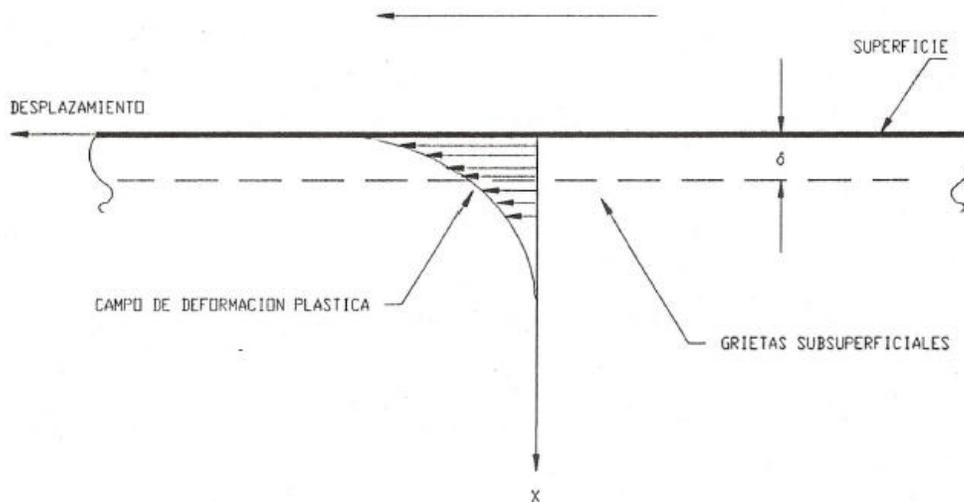
Según las condiciones de carga, la deformación plástica varía de un metal a otro. Medidas experimentales hechas por Augustsson [4], usando la técnica de Dautzenberg y Zaat, en el análisis de casos no lubricados, en donde la primera etapa de desgaste consiste en una deformación plástica de asperezas y posteriormente el traslado de las asperezas deformadas por un proceso de fatiga, muestran que el gradiente de deformación plástica en un acero, es una combinación de una función empírica lineal y otra exponencial.

La deformación plástica permanente  $\epsilon^P$  (campo de deformación), en un acero endurecido AISI 1020 bajo un proceso de desgaste por delaminación (ecuaciones 6 y 7) fue el siguiente:

$$\epsilon^P = \epsilon_0 - \alpha x = 16.5 - 2.2x \quad \text{Para } 0 \leq x \leq x_c \quad \dots(6)$$

$$\epsilon^P = \epsilon_1 x^\beta = 44x^{-1.26} \quad \text{Para } x \geq x_c \quad \dots(7)$$

Donde  $x$  es la perpendicular a la superficie figura 3.



**Figura 3.** Representación esquemática de la sección transversal de una superficie desgastada y con plástica, [4].

La profundidad a la cual ambas funciones tienen que ser evaluadas y se muestra en la ecuación 8, cabe mencionar que da la misma pendiente:

$$X_c = [(\beta \epsilon^1) / \alpha]^{1/(1+\beta)} = [(1.26 / * 44) / 2.2]^{1/2.26} = 4.17 \text{ (mm)} \quad \dots(8)$$

Cuando en el proceso de desgaste se utilizan cargas el metal sufre ablandamientos y endurecimientos. Si cada ciclo es la aplicación de la carga correspondiente, la deformación plástica permanente  $\epsilon^P$  (campo de deformación) ecuación 9.

$$\epsilon^P = \sum_{i=1}^{N_f} \Delta \epsilon_i^P \quad \dots(9)$$

Donde:

$\Delta \epsilon^P$  = Deformación plástica generada durante cada ciclo.

$N_f$  = Número total de ciclos.

Para relacionar el trabajo plástico con la deformación permanente  $\epsilon^P$  y la carga, se debe analizar el trabajo que se realiza para cada ciclo, sumándole el total de la carga aplicada, ecuación 10.

$$W^P = b l \sum_{i=1}^{N_f} \int_0^{\infty} \int_0^{\epsilon_i} \sigma d(\epsilon_i) dx \quad \dots(10)$$

Donde:  $b$  = Ángulo promedio de la capa de desgaste.

$l$  = Longitud promedio de la capa de desgaste.

$\sigma$  = Esfuerzo equivalente en tensión y compresión.

$\epsilon_i$  = Deformación total equivalente que sufre el material.

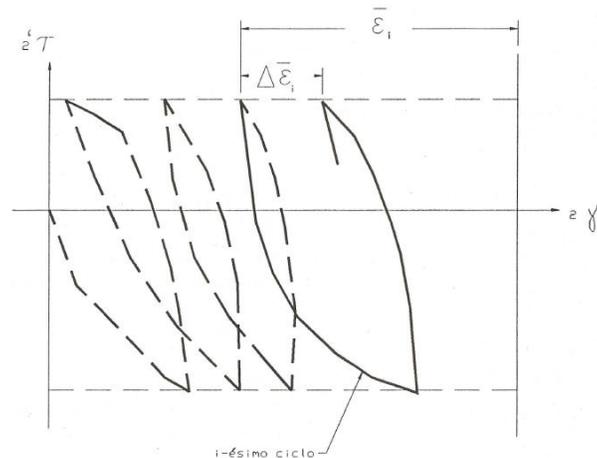
$N_f$  = Número total de ciclos.

Los valores  $\sigma$  y  $\epsilon_1$  son funciones de la profundidad  $x$ .

Así, la deformación total equivalente  $\epsilon_1$  no es lo mismo que la deformación permanente generada  $\Delta\epsilon_1^P$  por ciclo. Sin embargo, no se dispone de una solución para  $\epsilon_1$  y  $\Delta\epsilon_1^P$ .

Un problema similar fue investigado por Merwin y Johnson [4], para un contacto con rodadura considerando sólo el efecto del esfuerzo normal. Ellos analizaron el material por debajo de la capa superficial, observando la deformación plástica y la acumulación de energía cuando se excede el valor crítico de la carga normal.

En el trabajo en frío, los materiales sufren habitualmente un ciclo de ablandamiento y endurecimiento. Así, para cada ciclo de carga hay una deformación permanente residual  $\Delta\epsilon_1^P$  mucho más pequeña que la amplitud máxima de deformación  $\epsilon_1$  de cada ciclo, como se ilustra en la figura 4. Con cada ablandamiento cíclico,  $\Delta\epsilon_1^P$  aumenta con la repetición de la carga, y disminuye con cada ciclo de endurecimiento del material.



**Figura 4.** Trayectoria de la carga cíclica de un metal en un diagrama esfuerzo deformación; el ciclo 1-ésimo se ve por la línea continua, [4].

Conforme nos alejamos de la superficie las condiciones del esfuerzo de tensión y compresión van cambiando; una carga concentrada cerca de la superficie experimenta un esfuerzo de tensión-compresión, mientras que debajo de la superficie solo se experimenta una carga de compresión debido al esfuerzo residual.

Una posible trayectoria está dada en la figura 4, la cual está dibujada en términos de la resultante del esfuerzo cortante máximo  $\tau$  y el esfuerzo cortante  $\gamma$ . Se puede apreciar que  $\sigma$  y  $\epsilon$  siempre permanecen positivos por definición y que el valor absoluto de  $\tau$  y  $\gamma$  son aproximadamente igual  $\sigma/2$  y  $\epsilon/2$  respectivamente.

Como una primera aproximación al problema (ecuación 11) se puede suponer que:

$$\sigma = \sigma_0 = \text{constante} \quad \dots(11)$$

Sustituyendo (11) en la ecuación (10) tenemos:

$$W^P = (bl) \sum_{i=1}^{N_f} \int_0^{\infty} \int_0^{\epsilon_1} \sigma_0 d(\epsilon_1) dx$$

$$W^P = (bl) \sum_{i=1}^{N_f} \int_0^{\infty} \sigma_0 \epsilon_1 dx \quad \dots(12)$$

Definiendo la deformación total equivalente  $\epsilon_1$  y la deformación neta por ciclo  $\Delta \epsilon_1^P$  en función del radio  $m_1$ , ecuación 13.

$$m_1 = \epsilon_1 / \Delta \epsilon_1^P \quad \dots(13)$$

Y en la primera aproximación podemos hacer  $m_1$  igual a una constante, independiente de  $x$ . Sustituyendo (13) en (12), ecuación 14.

$$W_p = m\sigma_0(bl) \sum_{i=1}^{N_f} \int_0^{\infty} \Delta\varepsilon_1^P dx \quad \dots(14)$$

Utilizando la ecuación (11) en la ecuación (14) obtenemos la ecuación 15:

$$W_p = m\sigma_0(bl) \int_0^{\infty} \varepsilon^P dx \quad \dots(15)$$

Después del desgaste superficial el espesor  $\delta$  sufre un desgaste por delaminación, entonces el trabajo adicional  $\Delta W^P$  (ecuación 16) necesario para la delaminación de la siguiente capa es:

$$\begin{aligned} \Delta W^P &= m\sigma_0(bl) \int_0^{\infty} \varepsilon^P dx - \int_d^{\infty} \varepsilon^P dx \\ &= m\sigma_0(bl) \int_0^{\delta} \varepsilon^P dx \end{aligned} \quad \dots(16)$$

Si  $\delta < X_c$  se obtiene la ecuación 17:

$$\begin{aligned} \Delta W^P &= m\sigma_0(bl) \int_0^h (\varepsilon_0 - \alpha x) dx \\ &= m\sigma_0(bl) \left[ \varepsilon_0 \delta - (\alpha d^2/2) \right] \end{aligned} \quad \dots(17)$$

Si  $\delta > X_c$  se obtiene la ecuación 18:

$$\Delta W^P = m\sigma_0(b) \int_0^{x_c} (\epsilon_0 - \alpha x) dx + \int_{x_c}^b \epsilon_1 x dx^\beta$$

$$= m\sigma_0(b) \left[ \epsilon_0 x_0 - \frac{\alpha x_c^2}{2} + \frac{\epsilon_1}{1-\beta} \delta^{1-\beta} - x_c^{1-\beta} \right] \quad \dots(18)$$

Cuando el trabajo de fricción  $W^c$  se realiza por un agente externo (por ejemplo una guía o una corredera) se provoca un cambio en la capa desgastada, modificando sus dimensiones ( $\delta b$ ), ecuación 19, así:

$$W^c = 1/n \int_0^{S_0} F ds = (\mu L S_0)/n \quad \dots(19)$$

Donde:

$n$ =Capas de desgaste.

$S_0$ =Distancia que tiene que deslizar un material para que cree  $n$  capas de desgaste.

$\mu$ =Coeficiente de fricción.

$L$ =Carga normal.

Debido a la delaminación se crea una nueva superficie y para ello se utiliza alguno de los trabajos producidos durante la delaminación de la capa superficial. Esta energía superficial es de un orden de magnitud de una o dos veces que el trabajo consumido en la deformación plástica.

Sustituyendo la ecuación (19) en la ecuación (18) o (17) obtenemos la ecuación 20:

$$\mu LS_0 = nm\sigma_0 (bl)\delta \epsilon_0^{-\alpha\delta/2}$$

Si  $\delta < X_c$  ... (20)

$$\mu LS_0 = nm\sigma_0 (bl) \epsilon_0 X_c - \frac{\alpha X_c^2}{2} + \frac{\epsilon_1}{1-\beta} \left( \delta^{1-\beta} - X_c^{1-\beta} \right) \dots(21)$$

Las ecuaciones (20) y (21) se pueden como la ecuación 22 y 23 respectivamente:

$$\mu = m\sigma_0 \epsilon_0^{-\alpha\delta/2} (nbl\delta)/(LS_0)$$

Si  $\delta < X_c$  ... (22)

$$\mu = m\sigma_0 \epsilon_0 \frac{X_c}{\delta} - \frac{\alpha X_c^2}{2\delta} + \frac{\epsilon_1 \delta^{-\beta}}{1-\beta} (1-(X_c/\delta)^{1-\beta}) \frac{nbl\delta}{LS_0}$$

Si  $\delta > X_c$  ... (23)

Donde  $(nbl \delta)=V$  es el volumen del material desgastado.

Usando la definición del factor de desgaste K, que es válido durante el estado estable de los procesos de desgaste.

$$K = (V/LS_0) = \text{factor de desgaste} \dots(24)$$

Las ecuaciones (22) y (23) se obtienen las ecuaciones 25 y 26 respectivamente:

$$\mu/K = m\sigma_0 \epsilon_0 - \frac{\alpha\delta}{2} \quad \text{si } \delta < X_c \quad \dots(25)$$

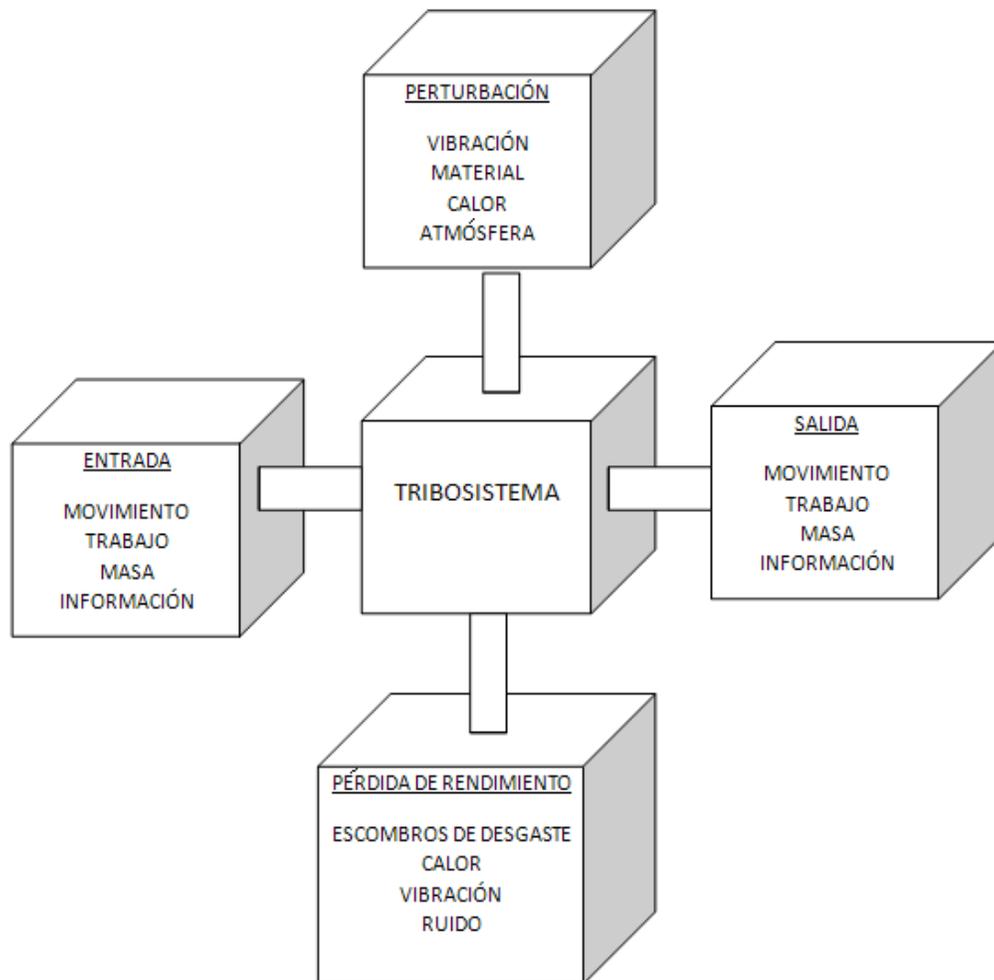
$$\mu/K = m\sigma_0 \epsilon_0 \frac{X_c}{\delta} - \frac{\alpha X_c^2}{2\delta} + \frac{\epsilon_1 \delta^{-\beta}}{1-\beta} \quad 1-(X_c/\delta)^{1-\beta}$$

$$\text{si } \delta > X_c \quad \dots(26)$$

Se puede ver que ( $\mu/K$ ) están en función de las propiedades del material.

## I.2. Procesos de desgaste

Para poder analizar los procesos de desgaste tenemos que identificar en el sistema tribológico o tribosistema los parámetros de interés. En los sistemas existe un mecanismo diferente de desgaste que describe la intensidad, tipo de movimiento y la interacción del material entre los componentes del sistema. Un análisis de dichos componentes permitirá comprender la relación entre transformación y/o transmisión de entradas en salidas, como una técnica funcional de un tribosistema, figura 5.

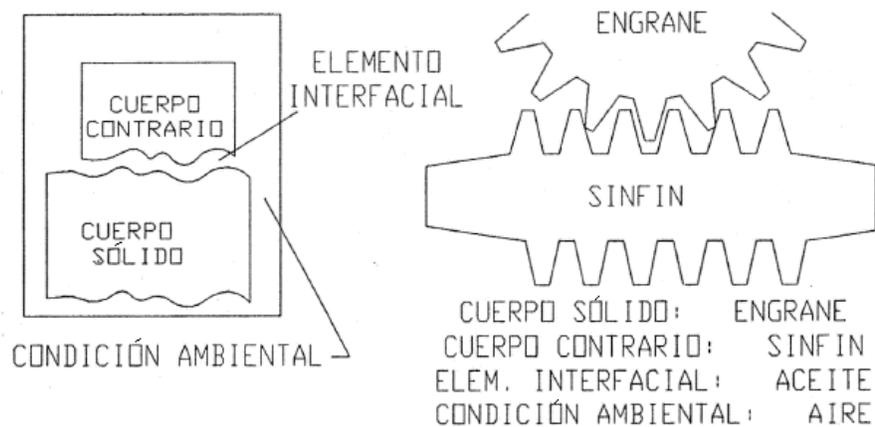


**Figura 5.** Descripción funcional de un sistema tribológico, [1].

El uso de entradas y salidas se puede clasificar en:

- Movimiento
- Trabajo (Mecánico, Hidráulico, Neumático, Químico, etc.)
- Materiales
- Información

Para analizar sistemas a partir de un conjunto de elementos mecánicos, se debe englobar por una envolvente a los elementos que están en contacto tribológico y describirlos en función de su estructura. En la figura 6 se observa la simplificación general de un tribosistema.



**Figura 6.** Representación esquemática de los elementos de un tribosistema, [1].

Usualmente el sistema contiene cuatro elementos:

1. Cuerpo sólido.
2. Cuerpo contrario.
3. Elemento interfacial.
4. Medio Ambiente

El cuerpo contrario puede ser un sólido, un líquido, un gas o una combinación de estos.

### I.2.1. Mecanismos de desgaste

A continuación se muestran diferentes clasificaciones de los procesos de desgaste que incluyen el estado físico del cuerpo contrario, la formación de viruta o las partículas de desgaste, ángulo de acción, relación del elemento interfacial, cinemática del sistema, la pérdida del material y/o el daño superficial, tabla 2.

AUTORES	TIPOS DE DESGASTE
Burwell y Strang	Abrasión Adhesión Cavitación Corrosión por contacto eléctrico, mecánico y térmico. Erosión Fatiga de la superficie
Jahanmir	Abrasión Adhesión Corrosión por contacto eléctrico, mecánico y térmico Delaminación Difusión Erosión Fatiga de la superficie
Godfrey	Abrasión Adhesión Corrosión por contacto eléctrico, mecánico y térmico Delaminación Descarga eléctrica Difusión Electrocorrosión Erosión Fatiga de la superficie Pulido
Rice	Abrasión Adhesión Corrosión Fatiga
Din 50320	Abrasión Adhesión Fatiga de la superficie Reacción triboquímica
Roman	a) Casiestático Abrasión Adhesión Oxidación Térmico b) Dinámico Corrosión por contacto eléctrico, mecánico y térmico Descamación Fatiga del material Picado

**Tabla 2.** Clasificación de los procesos de desgaste por mecanismos de desgaste, [2].

Para su mejor interpretación, se discuten los mecanismos que operan cada caso.

### I.2.1.1. Desgaste por abrasión

En el desgaste por abrasión el material se destruye cuando existe una gran diferencia en la dureza superficial de los dos elementos en contacto, o cuando se tiene la presencia de un medio abrasivo: (arena, polvo, restos metálicos, productos del desgaste, etc.).

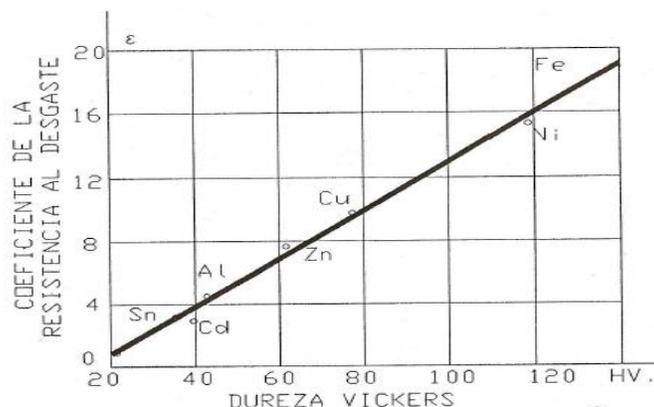
El desgaste por abrasión es causado por la presencia de protuberancias y partículas duras, en una o en ambas superficies que están en movimiento relativo. Por ejemplo, las partículas duras pueden ser sílica, alúmina, o fragmentos de desgaste endurecidos por el mismo trabajo, mientras que las protuberancias pueden ser las asperezas en el maquinado normal.

En este caso, el resultado de la dureza por el número relativo del desgaste para metales es siempre constante, figura 7:

$$D_{rm} * h = \text{constante}$$

Donde:  $D_{rm}$  = Desgaste relativo del metal

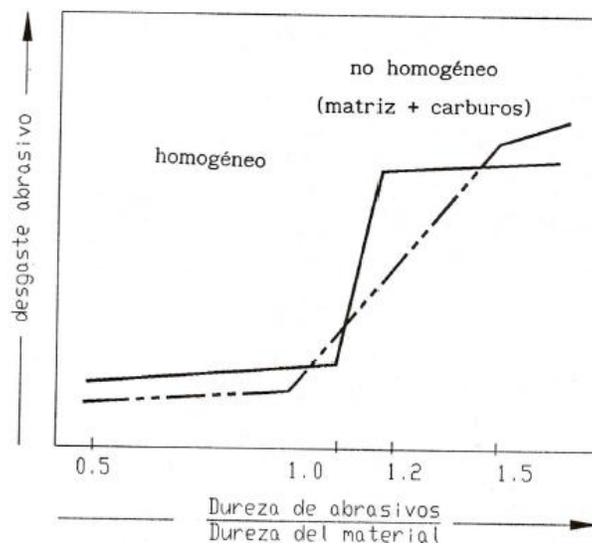
$H$  = Dureza del mismo metal



**Figura 7.** Dependencia de la dureza y la resistencia al desgaste abrasivo de metales, [2].

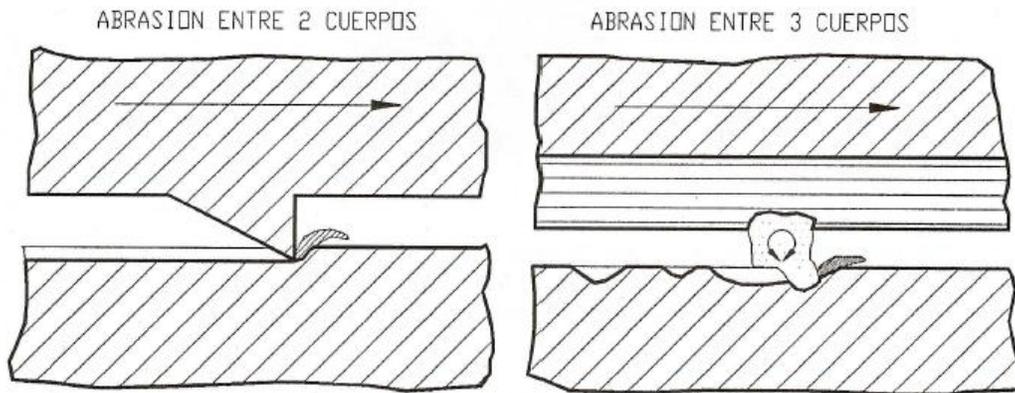
De acuerdo con Wahl, Wellinger y Vetz y Föhl [3], el desgaste abrasivo puede ser alto o bajo nivel, dependiendo de la relación de la dureza del abrasivo y de la dureza que se estas desgastando.

La transición para materiales homogéneos se incrementa cuando la dureza de los abrasivos, es igual a la dureza del material que está siendo desgastado, para materiales no homogéneos de la transición comienza y termina cuando la dureza de la fase, exceden respectivamente la dureza del abrasivo, figura 8.



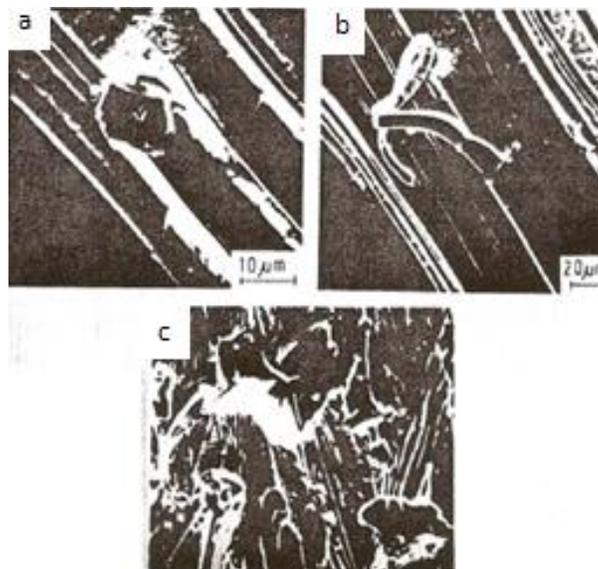
**Figura 8.** Desgaste abrasivo en función de la relación de la dureza de partículas abrasivas y la dureza del material desgastado, [3].

El desgaste abrasivo se puede clasificar por la interacción de dos o tres cuerpos, figura 9. En la abrasión entre dos cuerpos, las partículas abrasivas se mueven libremente sobre el material, teniendo una mayor área de contacto, como arena que cae por una rampa. En la abrasión de tres cuerpos, las partículas abrasivas actúan, como elementos interfaciales entre los cuerpos sólidos en contacto, sin causar un desgaste severo, debido a la variación del ángulo de ataque de las partículas.

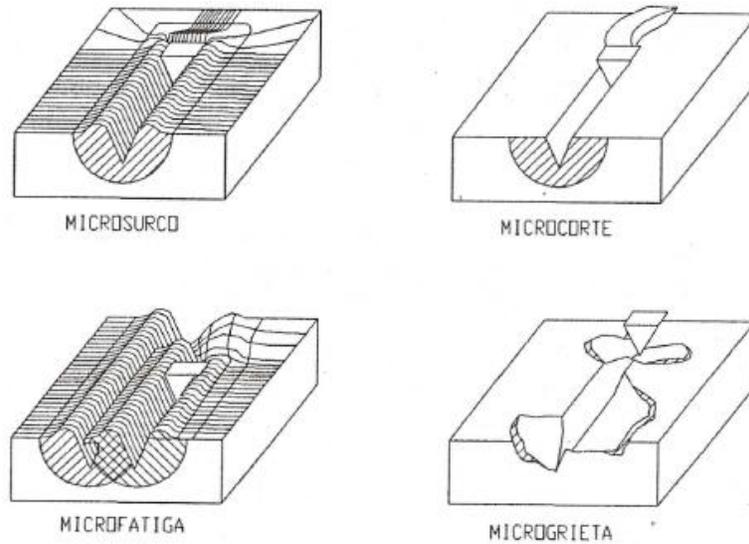


**Figura 9.** Desgaste abrasivo entre dos y tres cuerpos, [3].

En la figura 10, se observan claramente los microsurdos, microcortes y microgrietas, de una superficie de acero desgastada por minerales abrasivos duros.



**Figura 10.** Fotografías de la interacción entre un material abrasivo y la superficie de un acero (a) microsurdos, (b) microcortes y (c) microgrietas, [3].

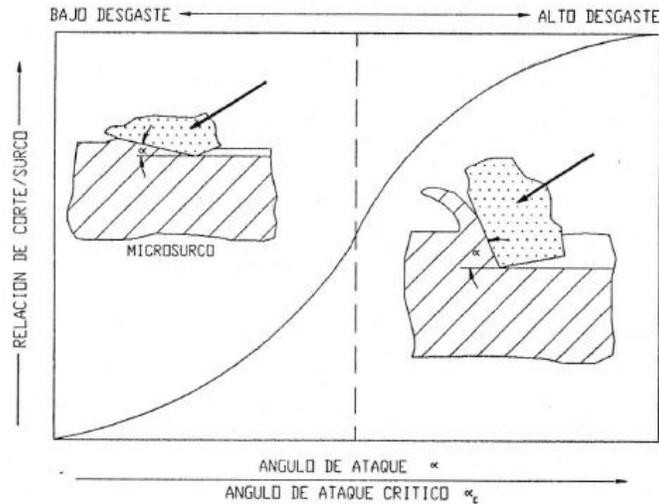


**Figura 11.** Interacción física entre superficies de materiales y partículas abrasivas, [3].

Los microsurcos se crean debido al paso simple de una partícula abrasiva; los microcortes resultan de la pérdida del material, equivalente al volumen del surco o corte producido; las microgrietas ocurren cuando se concentran esfuerzos muy altos de materiales frágiles. En este caso, las grandes cantidades de escombros producidos por el desgaste son independientes de la superficie debido a la formación y propagación de grietas, figura 11.

Los microsurcos y los microcortes predominan en materiales dúctiles, y el que aparezca unas u otras, depende del ángulo de ataque de las partículas de desgaste. Cuanto mayor sea el ángulo de ataque, será más factible que aparezca un microcorte. El ángulo de ataque  $\alpha$  tiene un valor crítico  $\alpha_c$ , que depende del material y de las condiciones de la prueba. Teóricamente  $\alpha_c$  es el valor al cual se produce la transición de un microsurco a un microcorte, figura 12.

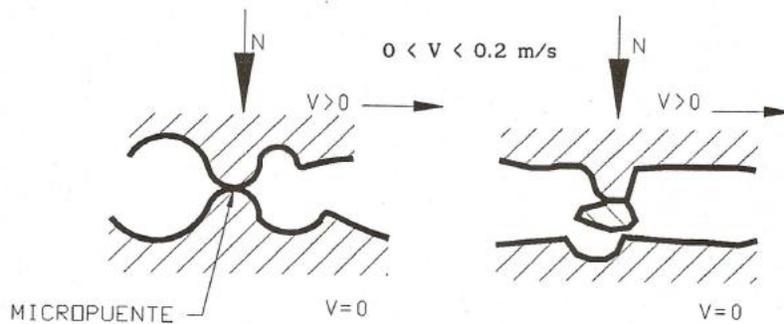
Las muescas o rayas de los materiales frágiles, producidos por las partículas abrasivas, pueden ser causa de la formación y la propagación de grietas.



**Figura 12.** Relación de microcorte/microsurco en función de los ángulos de ataque  $\alpha/\alpha_c$ , [3].

### 1.2.1.2. Desgaste por adhesión

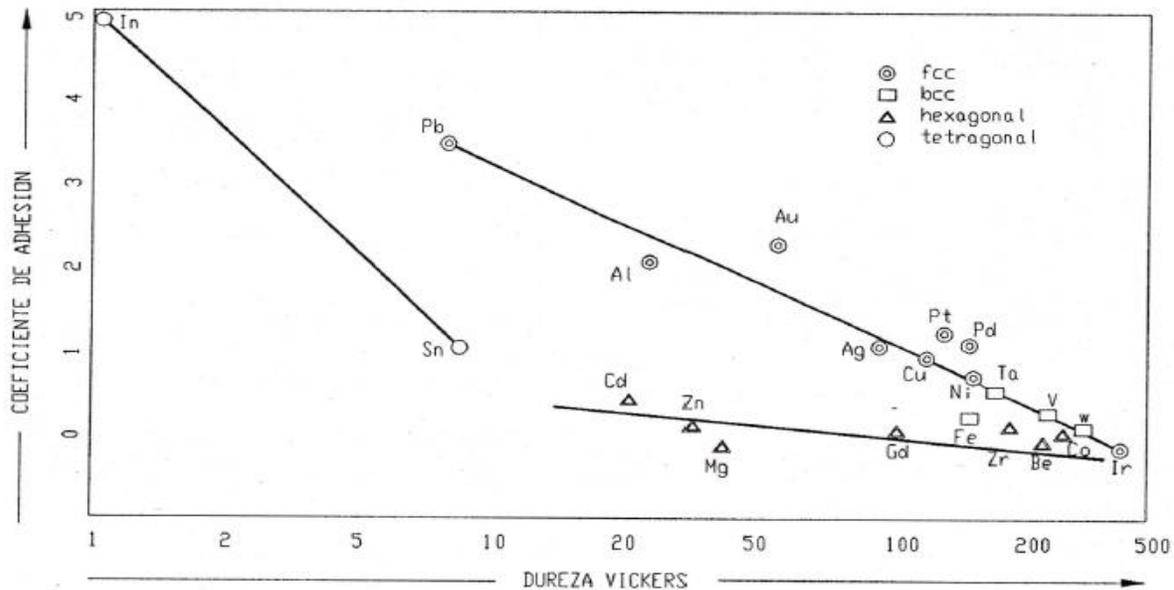
La adhesión se presenta cuando existe un deslizamiento relativo entre dos superficies que se encuentran en contacto directo, provocando la formación de uniones y posteriormente la ruptura de las mismas. Aparece a pequeñas velocidades relativas hasta un máximo de 0.2 m/s y por la deformación en las áreas reales de contacto, con la subsecuente formación de micropuentes y la destrucción del material, figura 13.



**Figura 13.** Formación del micropuente y destrucción del material durante el desgaste por adhesión, [3].

La formación de las uniones por adhesión depende de las propiedades físicas y químicas del material, valores de las cargas, rugosidad y el contacto entre los materiales. Frecuentemente la unión es no metálica entre pares de metales, ya que la superficie está cubierta por capas adsorbidas, o capas de óxido. La adhesión de las superficies es causada inicialmente por un enlace débil de Van der Waals.

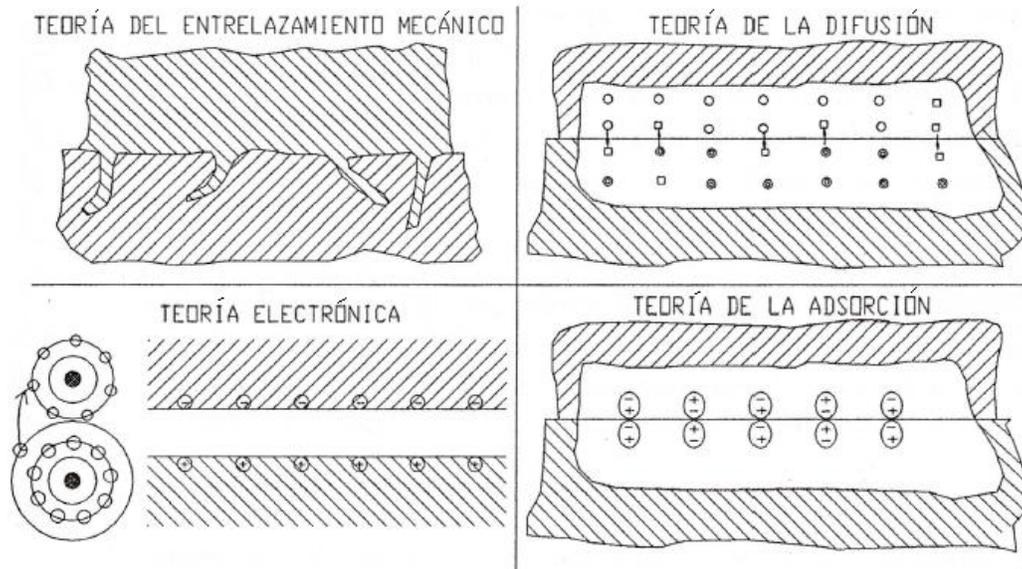
La capa adsorbida y la capa de óxido en el contacto superficial puede ser fracturada directamente debido a la deformación elástica y plástica de las asperezas, la adhesión en este caso es causada por un enlace metálico o covalente. Como la fuerza de adhesión depende del área real de contacto, la resistencia de los materiales a la deformación plástica y su estructura cristalina juegan un papel importante, Sikorski [3], observo un incremento de la adhesión en diversos metales, relacionando la estructura cristalina con la dureza en cada uno de ellos, figura 14.



**Figura 14.** Relación del coeficiente de adhesión y la dureza de los materiales, [3].

Los modelos presentados por Derjaguin, Smilga, Czichos, Ferrante y Smith describen la influencia de la estructura electrónica de los átomos en la adhesión que experimentan las superficies metálicas en contacto con deslizamiento, basándose en un modelo atómico, en el cual los átomos ceden o aceptan electrones de su última capa, formando así un vínculo de adhesión, [3].

A continuación se muestran los distintos mecanismos de adhesión que dependen de las características superficiales de los cuerpos en contacto; limpieza, topografía, carga, temperatura, condiciones ambientales, microestructura, etc., figura 15.



**Figura 15.** Mecanismos de adhesión, [3]

### I.2.1.3. Desgaste por contacto eléctrico, mecánico y térmico

Este tipo de desgaste es un conjunto de fenómenos mecánicos, térmicos y eléctricos que se presentan en las zonas de contacto de los elementos.

El desgaste por contacto es una forma especial del desgaste triboquímico; es causado, porque las superficies en contacto sufren pequeños movimientos tangenciales oscilatorios relativos a cada pieza del tribosistema.

En componentes cargados cíclicamente puede volverse muy peligrosa, ya que se inician grietas por fatiga en la superficie del material y las uniones apropiadas de estos materiales pueden hacerse holgadas o muy ajustadas, por el escape o el atrapamiento de las partículas a escombros de desgaste.

#### **I.2.1.4. Desgaste por delaminación**

El desgaste por delaminación se describe por una serie de eventos secuenciales, los cuales conducen a la formación de partículas de desgaste.

1. Cuando dos superficies en deslizamiento están en contacto, la carga normal y tangencial es transmitida a través de los puntos de contacto por adhesión y por la acción de las rugosidades.

Las asperezas de la superficie más blanda son fácilmente deformadas y algunas son fracturadas por la acción repetitiva de la carga. Una superficie relativamente lisa se genera cuando sus asperezas son deformadas y removidas. Una vez que la superficie no contiene tantas rugosidades, el contacto no se da entre aspereza, sino entre asperezas y planos y cada punto a lo largo de la superficie más blanda, experimenta una carga cíclica desarrollada por las aspereza de la superficie más dura.

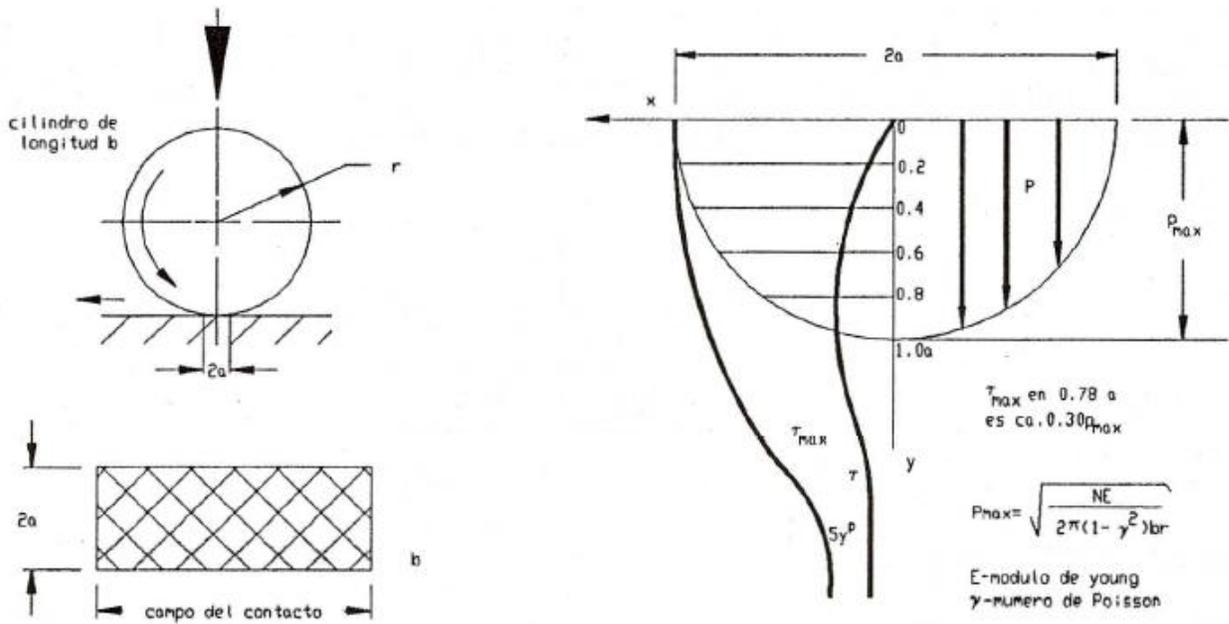
2. La tracción superficial que ejercen las asperezas más duras en la superficie más blanda, induce a una deformación cortante plásticas que se acumula con la repetición de la carga.

3. Como la deformación en la zona subsuperficial continua, las grietas se nuclean por debajo de la superficie. Esta nucleación no es muy recomendable porque se realiza cerca de la superficie, provocando un esfuerzo de compresión muy alto justo por debajo de las regiones de contacto.
4. Una vez que se presentan la nucleación de las grietas, otro ciclo de carga y deformación causan que estas se extiendan, se propaguen, y se unan con otras. Las grietas tienden a propagarse paralelamente a la superficie, a una profundidad que depende de las propiedades del material y el coeficiente de fricción.
5. Cuando estas grietas cortan y/o fracturan la superficie, aparecen capas de desgaste de una longitud y espesor cualquiera. El espesor de estas capas está controlado por la localización y crecimiento de las grietas subsuperficiales.

#### **I.2.1.5. Desgaste por descamación**

El desgaste por descamación es característico de la fricción por rodadura. Durante la carga cíclica aparecen en la superficie esfuerzos y deformaciones internas, formando microgrietas y luego macrogrietas en la capa exterior del metal, que se desprenden en forma de pequeñas escamas.

El esfuerzo cortante máximo  $\tau_{max}$  que influye sobre la formación de escamas, aparece a una profundidad de  $0.78a$  y no sobre la superficie de contacto, figura 16.

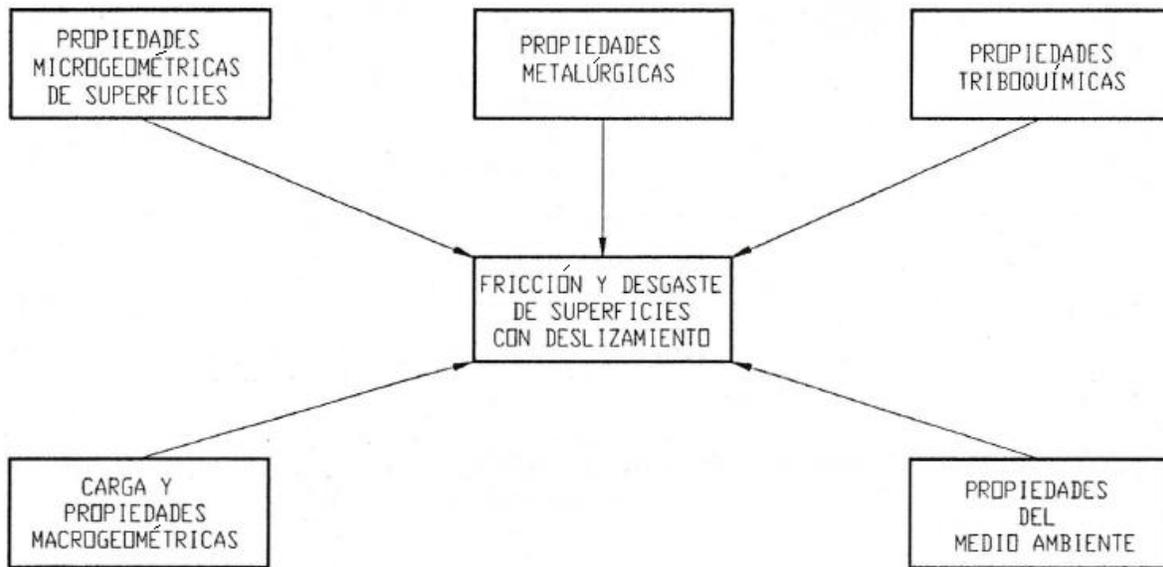


**Figura 16.** Distribución de esfuerzos en el contacto puntual o lineal de dos elementos metálicos:  $\tau_{max} = 0.3 P_{max}$  = esfuerzo cortante máximo;  $N$  = carga normal;  $2a$  = ancho del campo de contacto;  $b$  = longitud del mismo campo, [2],

### 1.2.1.6. Desgaste por deslizamiento

El desgaste por deslizamiento se caracteriza por el movimiento relativo entre dos superficies en contacto bajo la aplicación de una carga. El daño superficial que se presenta en el deslizamiento es debido a las rugosidades que puedan tener las superficies, a la penetración de asperezas y/o partículas que forman el par tribológico. La superficie puede ser metálica o no metálica, lubricada o no lubricada.

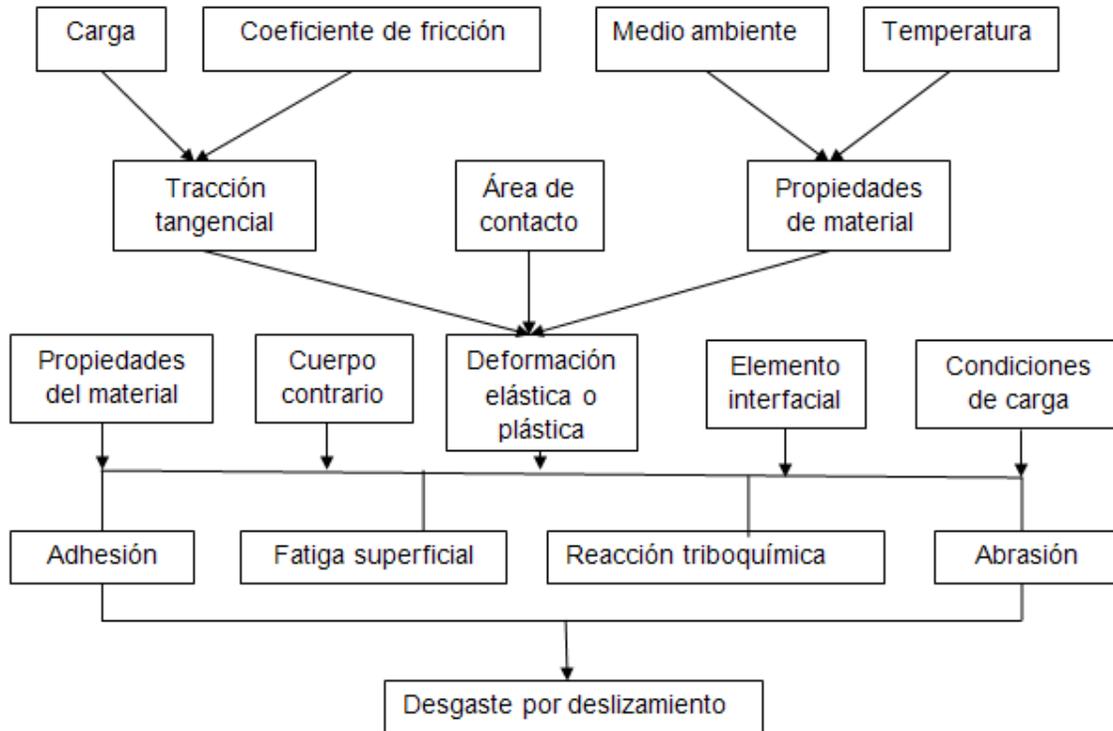
En un tribosistema actúan diferentes parámetros que afectan directamente la fricción y el desgaste de los materiales. En la figura 17, se aprecian dichos parámetros.



**Figura 17.** Propiedades que afectan la fricción y el desgaste de materiales unidos en contacto con deslizamiento, [1].

En el contacto por deslizamiento el desgaste puede ocurrir debido a la adhesión, fatiga de la superficie, reacción triboquímica y abrasión.

Diferentes factores interactúan para que se presente un mecanismo de desgaste determinado. Estos se presentan en la figura 18.

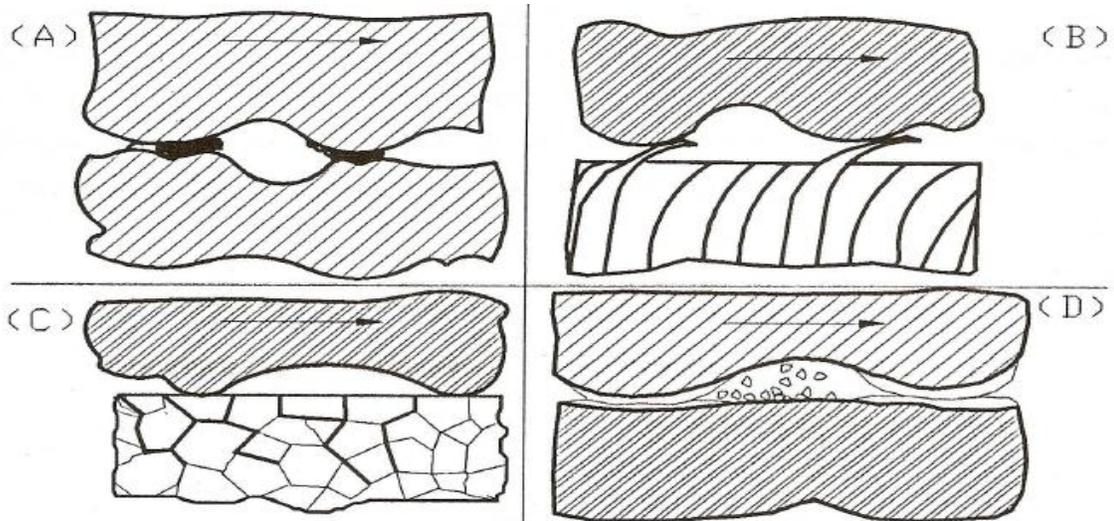


**Figura 18.** Factores que influyen en los mecanismos de desgaste durante el contacto con deslizamiento, [1].

El tipo de contacto que se presenta en los diferentes elementos tribológicos y la deformación elástica a plástica de los mismos, está en función de la tracción tangencial de la superficie, del área de contacto y de las propiedades del material.

El fenómeno de la adhesión nos permite comprender cuál es la fuerza o la carga tangencial que se transfiere (fuerza de fricción, entre superficies muy lisas. Las fuerzas de la superficie que se involucran en el fenómeno de adhesión pueden ser efectivas solamente en distancias muy pequeñas, en el orden de 3 nm., de tal manera que el crecimiento del área real de contacto incremente la fuerza de adhesión.

Los procesos físicos que ocurren durante el desgaste por deslizamiento se muestran en la figura 19.



**Figura 19.** Mecanismos de desgaste durante el contacto con deslizamiento: (A) Uniones de adhesión, material de transferencia y surcos, (B) Fatiga superficial debido a la repetición de la deformación plástica en metales dúctiles, (C) Agrietamiento por fatiga superficial en materiales frágiles y (D) Reacción triboquímica y agrietamiento de las capas de reacción, [3].

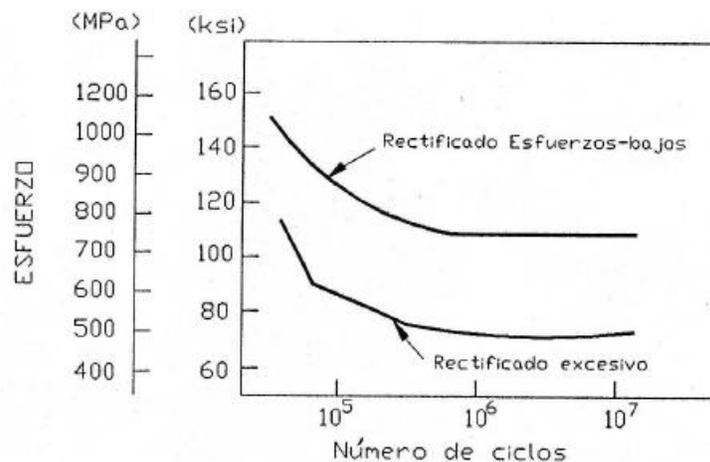
Como resultado del movimiento relativo, el material es separado de la superficie y transferido, quedando en la superficie surcos o asperezas suaves, figura 19A. La misma "capa" de partículas de desgaste, se forma por fatiga de la superficie del material más blando por efecto de la deformación plástica cíclica que ejerce el cuerpo contrario más duro, figura 19B.

La tracción de la superficie en contacto por deslizamiento, puede producir rompimiento del material frágil, tal como ocurre en los cerámicos, figura 19C. El rompimiento de la capa superficial por reacción triboquímica, provoca partículas

sueltas de desgaste, que actúan en forma cortante si son más duras que el material de base.

### I.2.1.7. Desgaste por fatiga superficial

Este tipo de desgaste aparece en todos los elementos de máquinas donde hay carga cíclica, independientemente del tipo de fricción. Este determina la fatiga del material en todo su volumen, debido a la formación de microgrietas y a la eliminación de la pieza en uso. La forma más simple de representación del problema se aprecia en la figura 20.

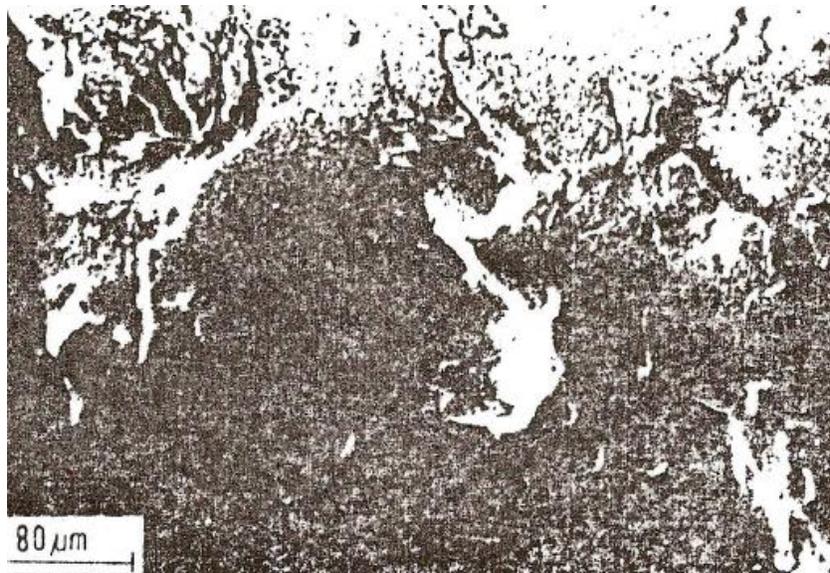


**Figura 20.** Relación del número de ciclos de trabajo y el esfuerzo máximo, [3].

En realidad la fatiga no solo produce grietas, sino también la formación de escamas en la superficie del material. El contacto por rodadura, deslizamiento de sólidos o impacto de sólidos y/o líquidos, puede dar como resultado un esfuerzo superficial cíclico. La fatiga puede localizarse a escala macroscópica, debido a la repetición del contacto de asperezas en la superficie de sólidos con movimiento relativo.

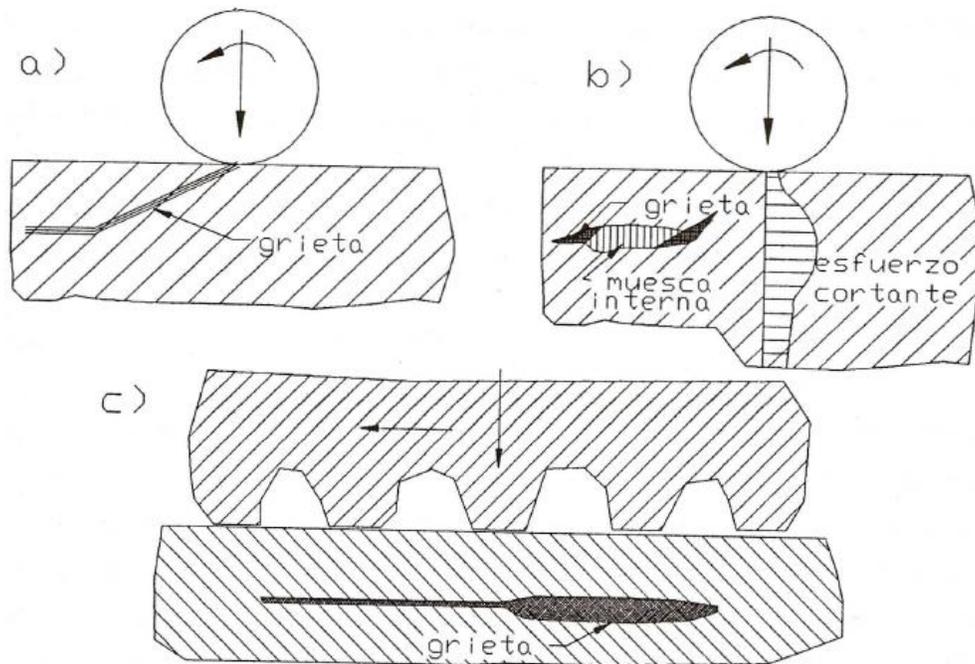
La fatiga superficial generalmente se presenta en ruedas de ferrocarril, rodamientos o baleros, rodillos de laminadora, flechas, etcétera, y la falla procede de la secuencia de la deformación elástica y plástica, acompañadas de una dureza o ablandamiento por trabajo, o que provoca el inicio de grietas y la propagación de las mismas por debajo de la superficie.

Con la formación y propagación de grietas también se forman picaduras en la superficies del material, figura 21.



**Figura 21.** Picaduras en la superficie de un acero carburizado con dureza de 60 HRC, [3].

Existen dos modelos para representar la fatiga en contacto con rodadura, y fueron propuestos para describir la formación de picaduras en una superficie afectada. Las grietas en la superficie sólida pueden deberse a la presencia de inclusiones superficiales, a los procesos de producción, a muescas debido al pulido de las partículas de desgaste o por el esfuerzo de tensión y compresión en el área de contacto. Originalmente las grietas se propagan en la superficie en dirección inclinada como se ve en la figura 22.



**Figura 22.** Formación y propagación de grietas en la fatiga de un material, [3].

El esfuerzo cortante alcanza su valor máximo por debajo de la superficie, lo que provoca la formación de grietas subsuperficiales. Las grietas superficiales se forman por la interacción mecánica o química, o la interacción de la superficie sólida en contacto con el medio ambiente, o el elemento interfacial.

Otro modelo supone la formación de grietas subsuperficiales, debido a que el esfuerzo cortante máximo se incrementó por las muescas internas, por ejemplo, las inclusiones de carburos concentran los esfuerzos por debajo de la superficie, con la formación de grietas subsuperficiales. Especialmente cuando existe un contacto con una sobrecarga, las grietas se forman en zonas de deformación plástica por debajo de la superficie. La propagación de grietas en la superficie sólida provoca la formación de escamas o picaduras.

La fatiga superficial es importante si la relacionamos con los mecanismos de adhesión y de abrasión. De acuerdo con el modelo propuesto por Suh y

colaboradores [3], la propagación de grietas subsuperficiales es paralela a la superficie figura 19c. Las partículas de desgaste, se generan cuando las grietas subsuperficiales se propagan a través de la superficie.

Generalmente esa se desintegra por delaminación, la que se debe a la acción simultánea de la adhesión y/o abrasión y la fatiga superficial. La carga cíclica sobre la superficie con mayor concentración de esfuerzos, se produce por la fricción y de la carga normal en el área de contacto. Las fuerzas de fricción se originan por la adhesión y/o abrasión entre las asperezas y la superficie afectada.

Algunas veces, el desgaste por erosión debido al impacto de partículas sólidas o líquidas, o el desgaste por impacto son tratados como mecanismos de desgaste independientes.

Esto es arbitrario, ya que el movimiento de partículas puede explicarse de manera simultánea a través del desgaste por adhesión, erosión y fatiga superficial. La diferencia principal entre el desgaste por erosión y el desgaste por abrasión, es el ángulo de ataque de las partículas.

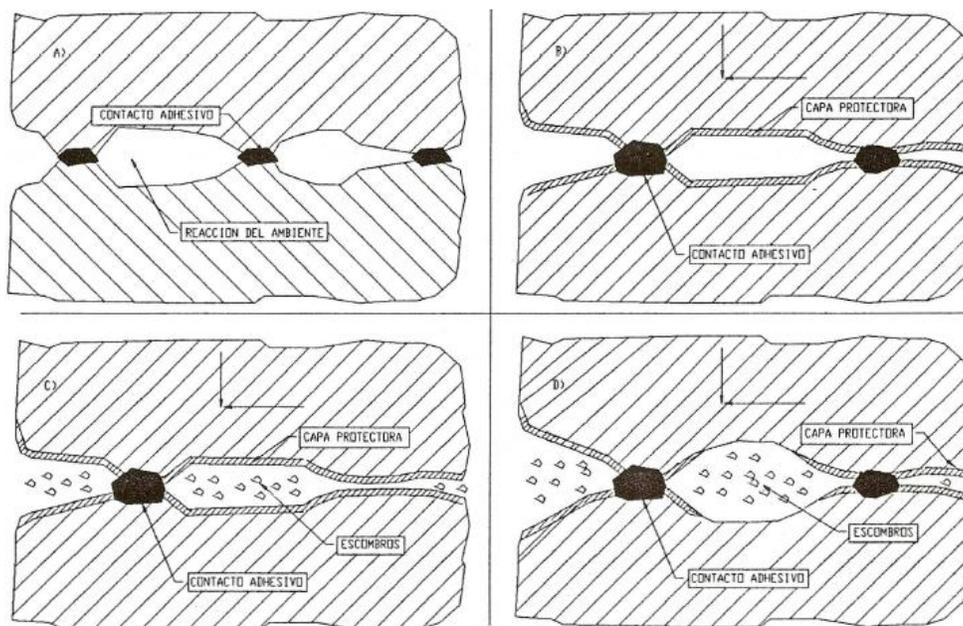
En el primero el ángulo de ataque es pequeño, mientras que en el segundo es proporcional a la energía cinética que se transmite a la superficie. Esto afecta principalmente la deformación elástica y plástica de los sólidos en contacto por deslizamiento.

### I.2.1.8. Desgaste por oxidación o desgaste triboquímico

Aparece en fricción por deslizamiento y rodadura, cuando la intensidad de formación de capas de óxido, es mayor que la intensidad de destrucción del material por abrasión.

Este es un proceso con adsorción de oxígeno, el que se difunde a las regiones deformadas plástica y elásticamente, formando soluciones y uniones químicas del metal con oxígeno, facilitando la separación de los óxidos más frágiles del material. En materiales ferrosos se forman el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , (trióxido de hierro),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (tetraóxido de hierro) y  $\text{FeO}$  (monóxido de hierro).

La corrosión ambiental que puede ser líquida o gaseosa, ataca a todas las superficies que están en peligro de sufrir desgaste por reacción triboquímica. Por ejemplo; uniones remachadas, sellos, muelles, cadenas, etc. De acuerdo a la figura 23, los mecanismos de desgaste triboquímico se dividen en cuatro categorías:



**Figura 23.** Mecanismos involucrados en el desgaste triboquímico, [4].

- (A) Contacto metálico entre las asperezas superficiales (adhesión). Los pequeños escombros del desgaste metálico producido pueden oxidarse, causando posteriormente desgaste por reacción triboquímica.
- (B) La reacción química de los metales con el medio ambiente, produce una capa superficial, que reduce el contacto metálico.
- (C) El rompimiento de la capa superficial, debido a la alta presión local o microfátiga, produce escombros de desgaste no metálicos.
- (D) Los escombros de desgaste metálico o no metálico, pueden actuar como abrasivos dejando ásperas las superficies de contacto.

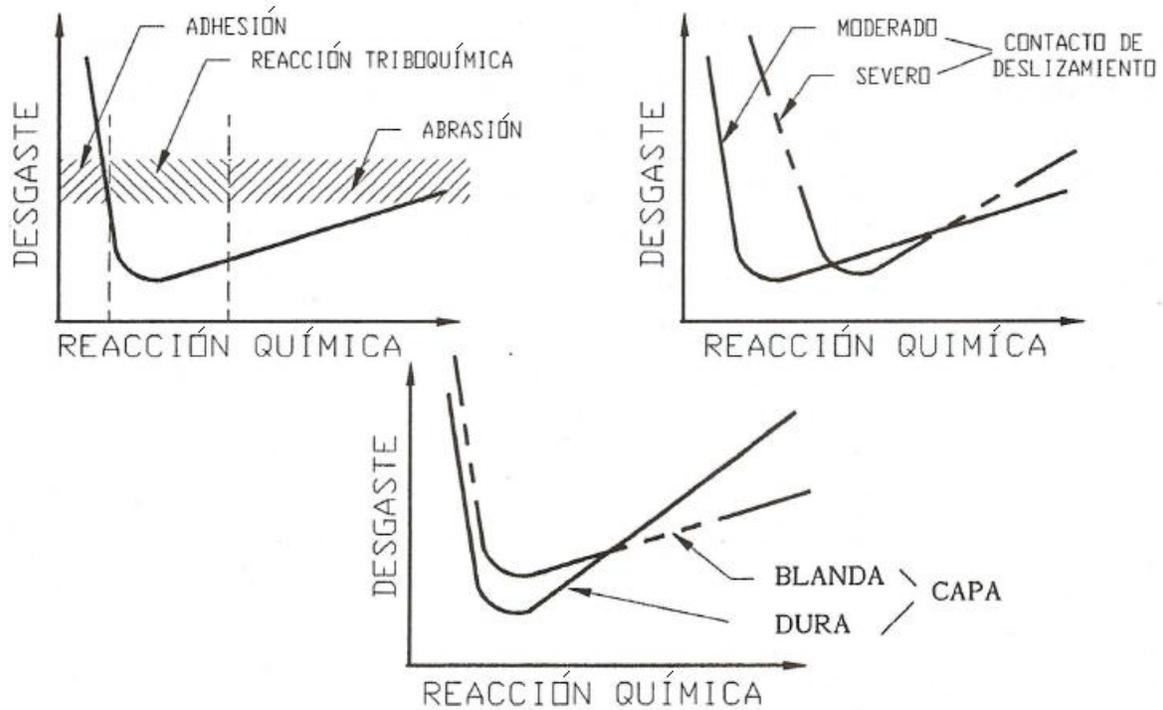
El daño de la superficie friccionada y la pérdida de masa de la misma, son causados por la presencia de estos diferentes procesos. Esto indica, que el desgaste triboquímico está influenciado por la cinética de la formación de las capas superficiales y las propiedades que determinan su resistencia a ser removidas, tales como: la ductilidad, la resistencia y la adhesión con la subcapa.

La resistencia que tiene la capa triboquímica a la fractura, se incrementa por la resistencia del material de la subcapa. El desgaste poco severo es favorecido si la dureza de la capa producida y de la subcapa son iguales.

Un lubricante o simplemente el oxígeno atmosférico favorecen en gran parte, el ataque químico y por consiguiente la formación de los productos de la reacción triboquímica.

El lubricante puede anular el desgaste por adhesión pero incrementa el desgaste triboquímico. En la figura 24, se muestra la relación entre el desgaste y la reacción química que determina la cantidad y la velocidad de formación de los productos

constituyentes de la capa superficial protectora, en sistemas lubricados o simplemente en contacto con oxígeno atmosférico.



**Figura 24.** Desgaste en función de la reacción química, [4].

### 1.2.1.9. Desgaste por picado

El desgaste por picado aparece en fricción por rodadura. Es un proceso con lubricación que permite el desarrollo y propagación de grietas, siendo característico en rodamientos y engranes donde la fricción por rodadura se lleva a cabo con deslizamiento. En él se pueden distinguir tres etapas:

1. Fatiga superficial del material e inicio de microgrietas.
2. Desarrollo y propagación de grietas como resultado de la acción del aceite o grasa.

3. La extracción de algunas partículas metálicas que perdieron su cohesión al utilizar un lubricante.

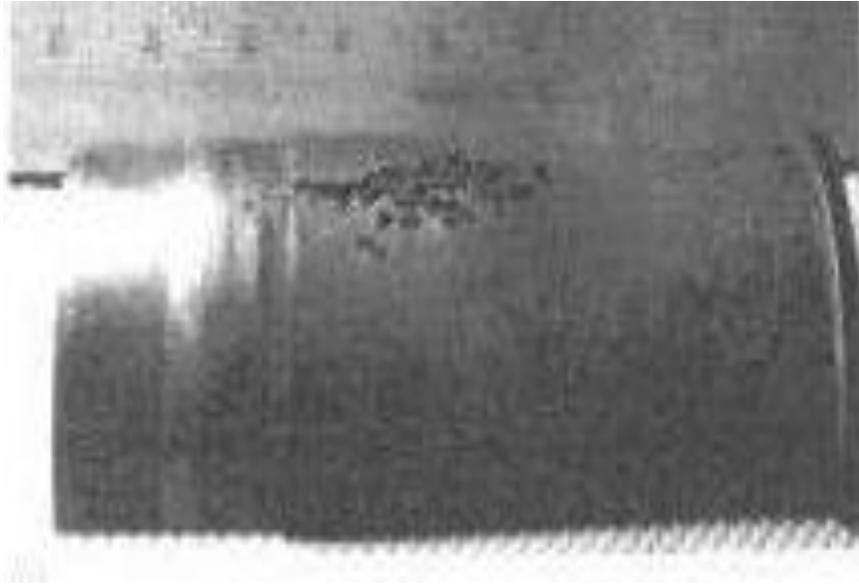
#### **I.2.1.10. Desgaste térmico**

Este tipo de desgaste aparece en fricción por deslizamiento debido al incremento de la temperatura, ya que comúnmente, el aumento de la temperatura disminuye la tensión de fluencia de uno de los dos materiales que se encuentran en movimiento relativo, lo que permite la formación de uniones térmicas y de adhesión, con el posterior desplazamiento del metal sobre la superficie.

#### **I.2.1.11. Desgaste por cavitación**

La fatiga por picaduras por cavitación puede ser un serio problema en hélices marinas de todos los tamaños, impulsores de bombas, bombas y equipos hidráulicos, turbinas, convertidores de torques y otras partes que están en contacto o vibran con varios líquidos.

Es importante mencionar que las picaduras pueden variar en tamaño desde muy pequeñas en tamaño a muy grandes en algunos casos, figura 25. Las picaduras pueden penetrar completamente el espesor del metal, el cual puede ser de varias pulgadas de grosor; obviamente, esto puede resultar en daños catastróficos a la estructura, en adición a la destrucción de la eficiencia funcional de las partes involucradas.



**Figura 25.** Fatiga por picadura por cavitación, [27].

### **I.3. Pruebas de fricción y desgaste**

Las pruebas de fricción y desgaste bajo condiciones experimentales, permiten optimizar la selección de materiales antifricción e impulsar el desarrollo de nuevos materiales con aplicaciones específicas.

Durante las tres últimas décadas se ha desarrollado un gran número de pruebas para evaluar la fricción y el desgaste de diversos materiales por medio de sus características geométricas, físicas y mecánicas, mostrando una conexión entre las características experimentales de los sólidos, el medio de lubricación, el coeficiente de fricción, y la resistencia al desgaste cuando dos cuerpos interactúan.

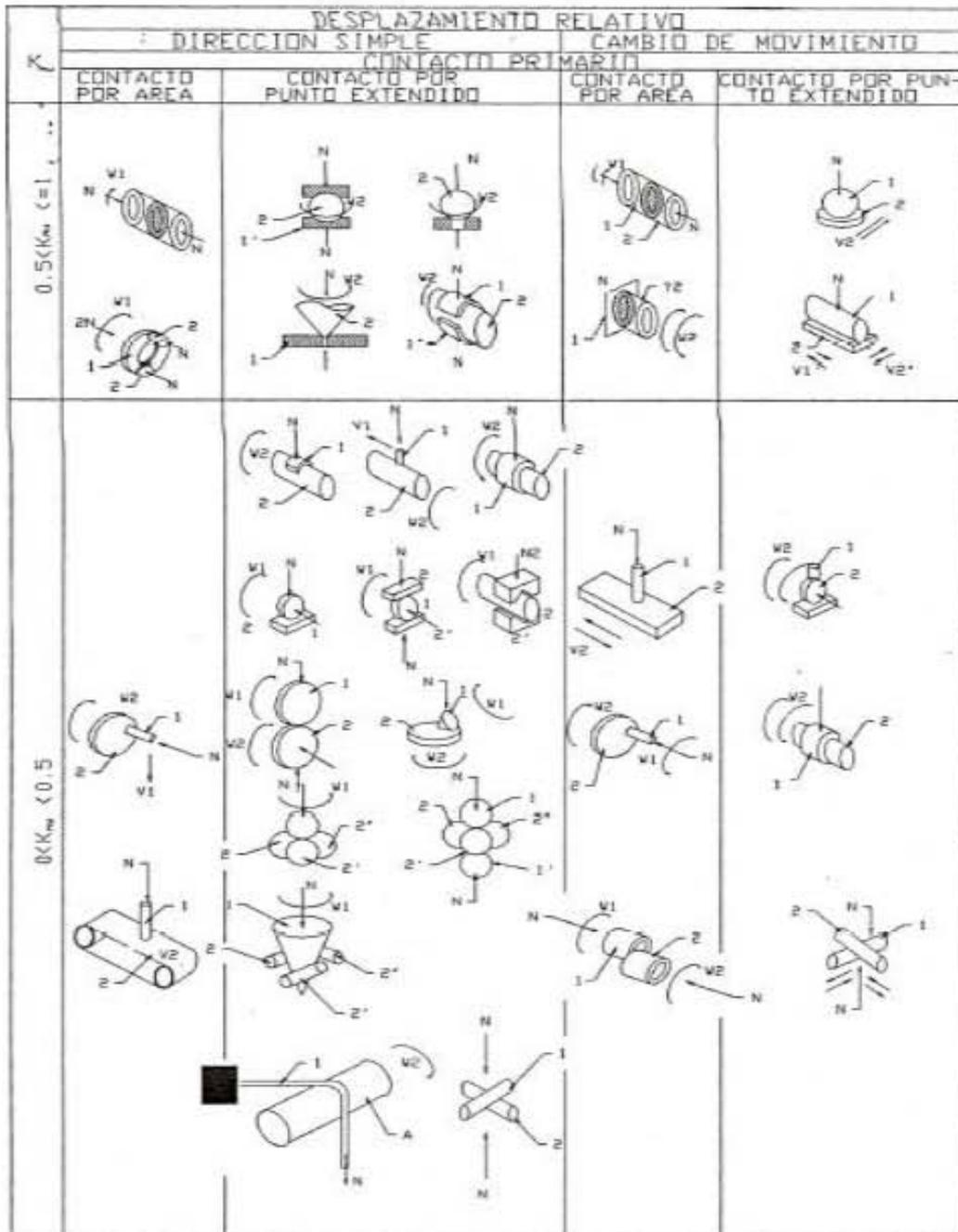
#### **I.3.1. Pruebas geométricas típicas**

Las pruebas geométricas de pares que implican deslizamiento, pueden ser clasificadas dentro de dos clases: la clase I, donde el movimiento relativo de los miembros es unidireccional, y la clase II, cuando los miembros tienen un movimiento alternativo, [1].

Cada clase puede ser dividida en dos grupos: el primer grupo corresponde a las máquinas de acabado por fricción y el segundo grupo a las máquinas de fricción por contacto a lo largo de una generatriz. Cada uno de estos grupos, puede ser dividido en dos subgrupos de acuerdo con el coeficiente de traslapo mutuo  $K_{\mu}$ : (a)  $K_{\mu} \rightarrow 1$ ; (b)  $K_{\mu} \rightarrow 0$ , figura 30.

El coeficiente de traslapo, es la relación de las áreas de fricción a lo largo de dos cuerpos rugosos.

Las pruebas utilizadas en la interfase geométrica para recubrimientos y tratamientos superficiales se muestran en la figura 26, y a su vez se comparan con la tabla 3.



**Figura 26.** Clasificación de los arreglos para pruebas de fricción en materiales, [1].

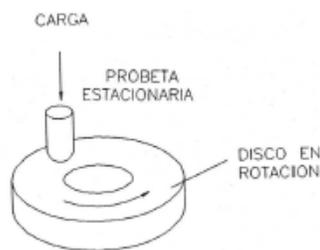
GEOMETRIA	TIPO DE CONTACTO	TIPO DE CARGA	TIPO DE MOVIMIENTO
Probeta sobre disco.	Punto/Conformado	Estática, dinámica.	Deslizamiento unidireccional oscilante.
Probeta sobre placa.	Punto/Conformado	Estática, dinámica.	Deslizamiento alternativo.
Probeta sobre un cilindro. (carga en las caras)	Punto/Conformado	Estática, dinámica.	Deslizamiento unidireccional oscilante.
Cilindros.	Conformado	Estática, dinámica.	Deslizamiento unidireccional oscilante.
Probeta dentro de un dado.	Conformado	Estática, dinámica.	Deslizamiento unidireccional oscilante.
Placa sobre un cilindro. (carga en el borde)	Línea	Estática, dinámica.	Deslizamiento unidireccional oscilante.
Cilindros cruzados.	Elíptica	Estática, dinámica.	Deslizamiento unidireccional oscilante.
Cuatro esferas	Punto	Estática, dinámica.	Deslizamiento unidireccional.

**Tabla 3.** Pruebas de fricción y desgaste, [1].

A continuación se hace una descripción de las pruebas geométricas típicas, tomando en cuenta factores tan importantes como las cargas aplicadas, sean estáticas o dinámicas, el tipo de movimiento y el tipo de contacto.

### I.3.1.1. Espiga sobre un disco (carga superficial)

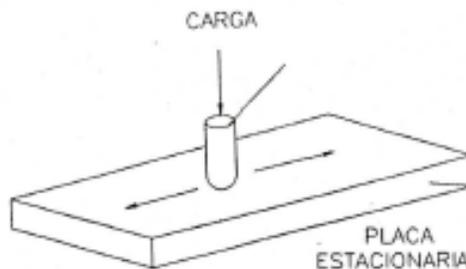
En esta prueba la espiga, que es estacionaria, se coloca sobre un disco que tiene un movimiento de rotación u oscilación. La espiga puede ser una esfera sin rotación, una placa terminada en forma cilíndrica a un paralelepípedo rectangular con un extremo semiesférico. Este aparato de prueba es probablemente el más utilizado para aplicaciones tribológicas, figura 27.



**Figura 27.** Espiga sobre un disco, [1].

### I.3.1.2. Espiga sobre una placa

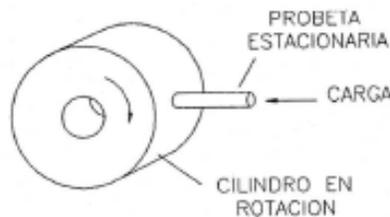
En este dispositivo de prueba, la placa es estacionaria y la espiga tiene un movimiento alternativo, esta puede ser una esfera, una espiga puntiaguda en forma esférica a una placa finalizada en forma cilíndrica. Usando oscilaciones de amplitud baja y frecuencia alta, se pueden efectuar experimentos de desgaste por contacto eléctrico, mecánico y térmico, figura 28.



**Figura 28.** Espiga sobre una placa, [1].

### I.3.1.3. Espiga sobre un cilindro (cargado por la orilla)

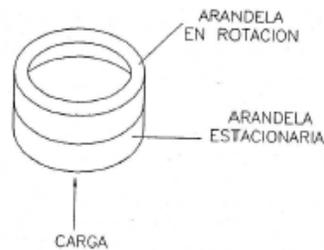
El dispositivo de espiga sobre una placa es similar al aparato de espiga sobre el disco, excepto que la carga de la espiga es perpendicular al eje de rotación u oscilación. La espiga puede ser plana o afilada esféricamente, figura 29.



**Figura 29.** Espiga sobre un cilindro, [1].

#### I.3.1.4. Pieza de sujeción-empuje (carga superficial)

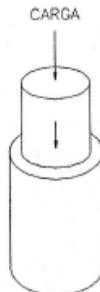
La pieza de sujeción-empuje es la configuración más común para pruebas de materiales sometidos a esfuerzos bajos, en ella la placa superficial de la pieza de sujeción (disco o cilindro), rota u oscila sobre una superficie plana en una pieza de sujeción estacionaria. Las probetas son cargadas superficialmente debido a que la carga es paralela al eje de rotación, figura 30.



**Figura 30.** Pieza de sujeción-empuje, [1].

#### I.3.1.5. Probetas dentro de dados (cargados en el borde)

En este dispositivo se utiliza una fuerza axial para presionar una probeta dentro de un dado. La fuerza normal (axial) actúa en dirección radial y tiende a expandir el dado; la fuerza radial puede ser calculada a partir de las propiedades del material, de la interfase y del cambio en el diámetro exterior del dado. El coeficiente de fricción se obtiene dividiendo la fuerza axial entre la fuerza radial, figura 31.

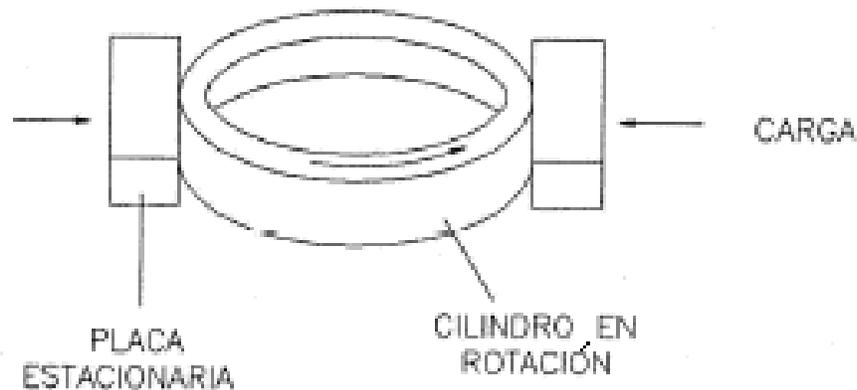


**Figura 31.** Probetas dentro de dados, [1].

### I.3.1.6. Placas rectangulares sobre un cilindro en rotación (carga en el borde)

En este dispositivo dos placas rectangulares estacionarias reciben la carga en forma perpendicular al eje de rotación u oscilación de un disco, en algunos casos solamente una placa es presionada contra el cilindro.

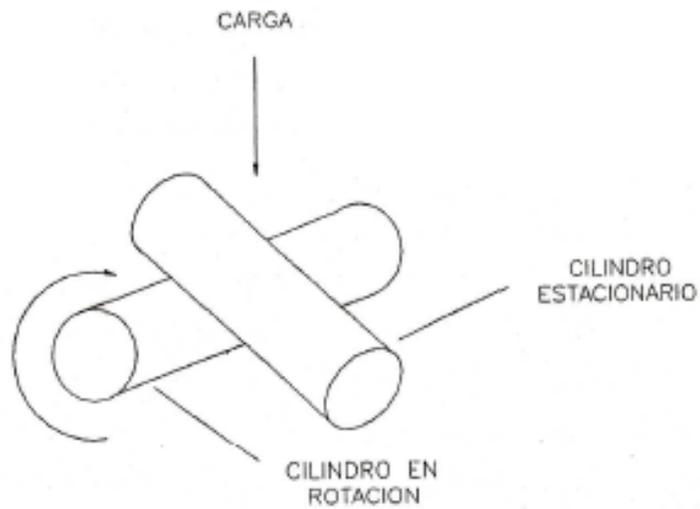
En otro dispositivo conocido como Falex una probeta en rotación es aprisionada entre dos bloques en forma de V (en lugar de placas), obteniéndose así cuatro líneas de contacto con la probeta, figura 32.



**Figura 32.** Placas rectangulares sobre un cilindro en rotación, [1].

### I.3.1.7. Cilindros cruzados

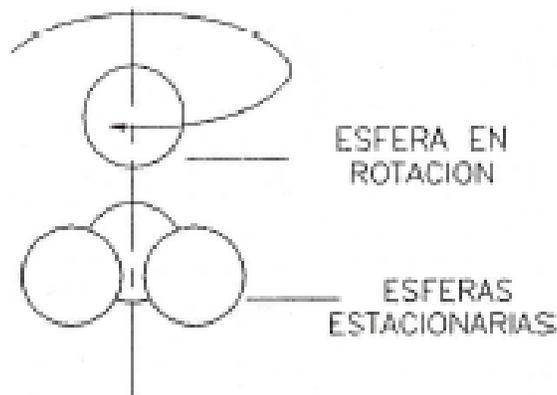
El aparato de prueba de cilindros cruzados consta de un metal (enfriado por agua) o un cilindro sólido como el miembro de desgaste estacionario y un cilindro sólido en rotación u oscilante que opera a 90° del miembro estacionario, figura 33.



**Figura 33.** Cilindro cruzados, [1].

### I.3.1.8. Aparato de prueba de cuatro esferas

Este dispositivo consta de cuatro esferas en la configuración de un tetraedro equilátero figura 34. La esfera superior tiene un movimiento de rotación, sin perder el contacto con las tres esferas inferiores.



**Figura 34.** Aparato de prueba de cuatro esferas, [1].

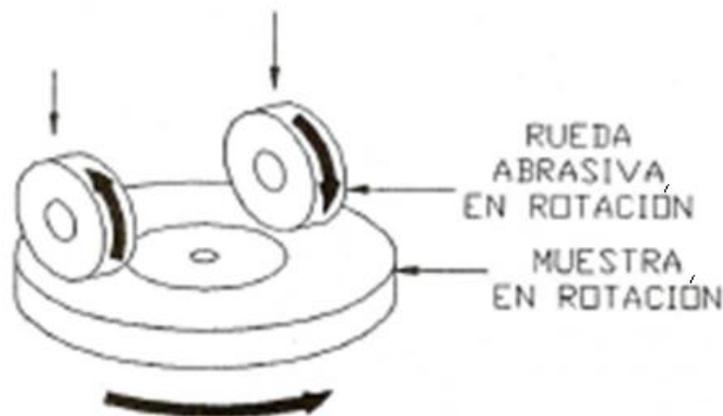
### I.3.2. Pruebas por abrasión

Las pruebas por abrasión incluyen dos o tres cuerpos, siempre y cuando uno de ellos este en contacto con un medio abrasivo. Dichas pruebas son llevadas a cabo usando cualquiera de las pruebas geométricas convencionales ya expuestas con la variante de hacerse en presencia de partículas abrasivas.

#### I.3.2.1. Prueba de abrasión Taber

La prueba de abrasión Taber es ampliamente usada para determinar la resistencia a la abrasión de distintos materiales y recubrimientos. Las probetas de prueba de 100 mm de diámetro, son colocadas sobre el portaprobetas en rotación y sometidas a la acción friccionante de un par de ruedas abrasivas que tienen un peso determinado (250, 500, 1000 gr), figura 35.

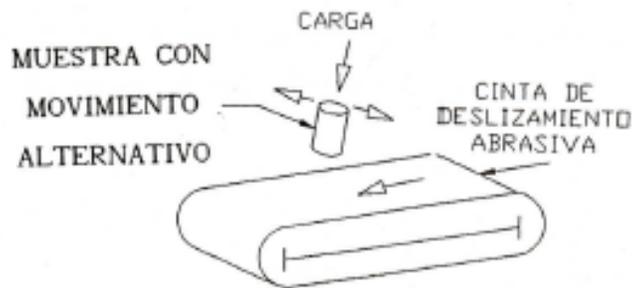
Los resultados obtenidos de dicha prueba son evaluados por tres métodos diferentes: punta final o colapso general del material, comparación por pérdida de peso entre materiales de la misma gravedad específica y medición de la profundidad de desgaste.



**Figura 35.** Prueba de abrasión Taber, [3].

### I.3.2.2. Prueba abrasiva por banda

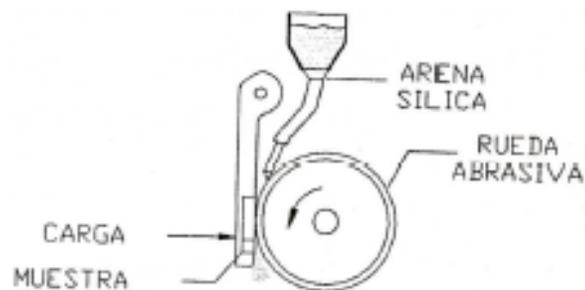
En este dispositivo una probeta cilíndrica es desgastada por deslizamiento contra una cinta abrasiva, figura 36. La cinta desliza horizontalmente, mientras la probeta lo hace transversalmente a la cinta. La probeta también puede tener un movimiento de rotación durante la prueba.



**Figura 36.** Prueba abrasiva por banda, [3].

### I.3.2.3. Prueba de abrasión en seco

El aparato de prueba de abrasión en seco (arena seca ASTM G65) o por rueda abrasiva se muestra en la figura 37, en ella la probeta es presionada contra una rueda abrasiva en rotación, mientras que el abrasivo es alimentado por gravedad entre el bloque simple y la rueda.

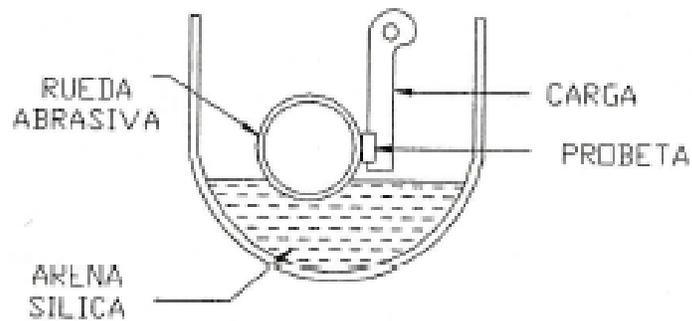


**Figura 37.** Prueba de abrasión en seco, [3].

#### I.3.2.4. Prueba por abrasión por arena húmeda

El aparato de abrasión por arena húmeda, también conocida como prueba SAE rueda-abrasiva vs arena-húmeda, es mostrada en la figura 38. Este aparato consta de un anillo rugosa de neopreno sobre un acero que rota a través de arena sílica.

La rueda tiene canaletos sobre cada lado para agitar la solución conforme esta se desplaza. La arena es transportada por la rugosidad de la rueda a la interfase entre esta y la probeta de prueba. La solución consiste de 940 g de agua y 1500 gr. de AFS 50 a 70 mallas de la prueba de arena. El desgaste se evalúa a partir de la pérdida de peso.

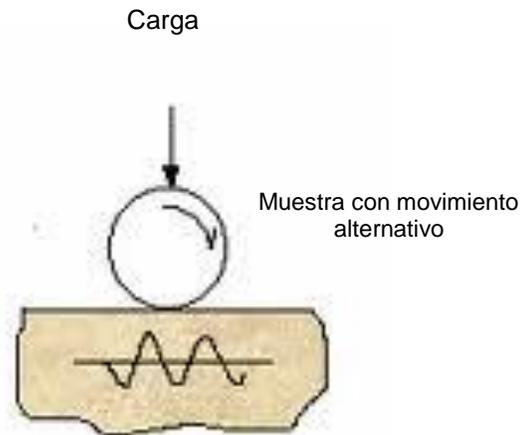


PRUEBA DE ABRASIÓN POR  
ARENA HUMEDA (PRUEBA SAE  
RUEDA ABRASIVA ARENA-HUMEDA)

**Figura 38.** Prueba de abrasión por arena húmeda, [3].

#### I.3.3. Pruebas por fatiga

Las pruebas por fatiga se efectúan en materiales y lubricantes aplicados en cojinetes y engranes, específicamente cuando estos trabajan bajo condiciones de contacto por deslizamiento, este tipo de desgaste se puede apreciar en la figura 39.

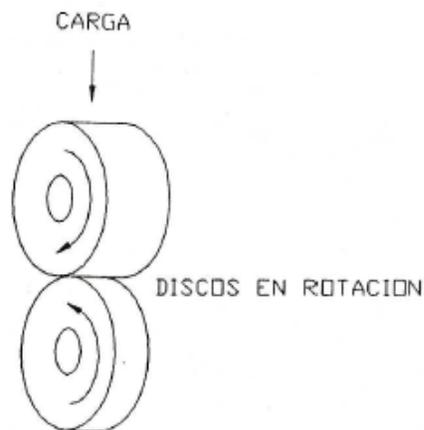


**Figura 39.** Prueba por fatiga, [3].

### I.3.3.1. Prueba de disco sobre disco

La prueba de disco sobre disco utiliza dos discos o una esfera sobre un disco en rotación, uno contra otro, sobre sus superficies exteriores (carga en el borde).

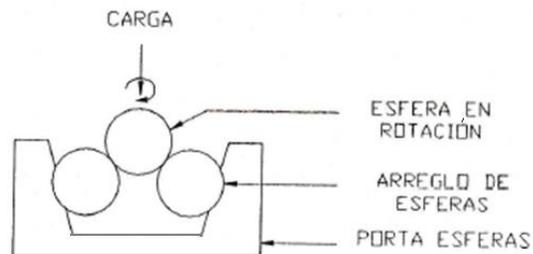
El disco puede ser una cima o plano. Usualmente, la rotación simple se efectúa a distintas velocidades para producir diferentes deslizamientos relativos de la interfase, figura 40.



**Figura 40.** Prueba de disco sobre disco, [3].

### I.3.3.2. Rotación en cuatro esferas

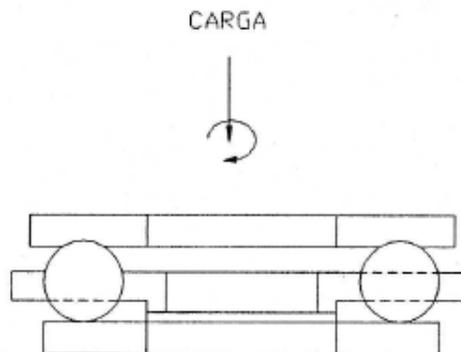
Este dispositivo consta de cuatro esferas en la configuración de un tetraedro equilátero. La esfera superior que tiene un movimiento rotacional soporta la carga y la transmite a las otras tres esferas de soporte posicionadas a  $120^\circ$ , figura 41.



**Figura 41.** Rotación en cuatro esferas, [3].

### I.3.3.3. Elemento de rolado sobre la placa

Este dispositivo está compuesto por tres esferas con igual espaciamiento entre una placa estacionaria de arrastre y un arrastrador con surcos en rotación. El arrastrador en rotación produce un movimiento de deslizamiento que sirve para transmitir la carga a las esferas y a la placa de arrastre, figura 42.



**Figura 42.** Elemento de rolado sobre placa, [3].

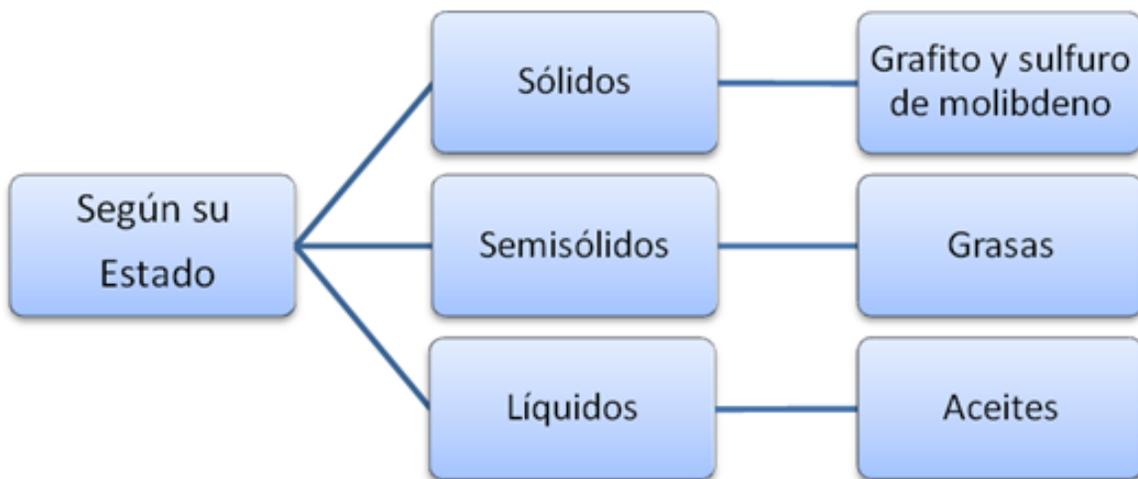
Para que las pruebas de fricción y desgaste sean representativas, se deben simular exactamente las condiciones de operación a la cual estarán sujetos el par de materiales. Esto requiere una relación idónea entre las funciones del sistema a simular y el sistema de prueba.

Para lograrlo se deben tomar en cuenta diversos factores como son: los materiales asociados, su preparación, el tipo de lubricación, la selección de la prueba geométrica adecuada, los tipos de contacto, como son el contacto puntual (bola sobre un disco), contacto lineal (cilindro sobre un disco), contacto debido al conformado (placa sobre placa), los tipos de movimiento, la reducción del tiempo en la vida útil del material, estandarización, y la medición de fricción y desgaste.

#### I.4. Lubricación y película lubricante

Un lubricante es una sustancia que, colocada entre dos piezas móviles, no se degrada, y forma así mismo una película que impide su contacto, permitiendo su movimiento incluso a elevadas temperaturas y presiones.

Una segunda definición es que el lubricante es una sustancia sólida, semisólida o líquida de origen animal, vegetal, mineral o sintético que pueda utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento [21], figura 43.



**Figura 43.** Clasificación de lubricantes según su estado, [19].

Las funciones básicas de un lubricante son: reducción de la fricción, disipación del calor y dispersión de los contaminantes.

El diseño de un lubricante para realizar estas funciones es una tarea compleja, que involucra un cuidadoso balance de propiedades, tanto del aceite de base como de los aditivos.

### **I.4.1. 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.

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 esquís porque la fricción entre éstos y la nieve es baja. Ambos casos ilustran la fricción entre dos superficies ordinarias.

#### **I.4.1.1. 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.

#### **I.4.1.2. 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.

## **I.4.2. 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.4.2.1. 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 para conseguir 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.

#### **I.4.2.3. 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) Ditiolfosfatos de zinc
- b) Fenoles
- c) Aminas

#### **I.4.2.4. Anticorrosivos**

Se aplica a los productos que protegen los metales no ferrosos susceptibles a los ataques de contaminantes ácidos presentes en el lubricante.

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

#### **I.4.2.5. Antiherrumbe**

Se usan para designar a los productos que protegen las superficies ferrosas contra la formación de óxido, muy utilizado para los sistemas de lubricación recirculante, debido a que los lubricantes utilizados en estos sistemas deben soportar la presencia del agua o disuelta en el mismo. Desplazan la humedad formando una capa protectora entre la superficie y la humedad.

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

#### **I.4.2.6. Dispersantes**

Estos aditivos 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-sicínidas de alto peso molecular
- c) Esteres poliésteres de alto peso molecular
- d) Sales amínicas de alto peso molecular

#### **I.4.2.7. Antiespumantes**

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.4.3. 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.

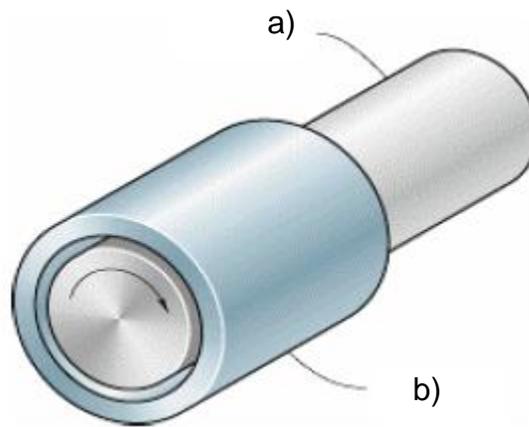
##### **I.4.3.1. Película fluida**

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  $2\pi$  por el radio por la longitud.

El área de la superficie que soporta una carga permanente generalmente constante mientras la carga se incrementa, figura 44.

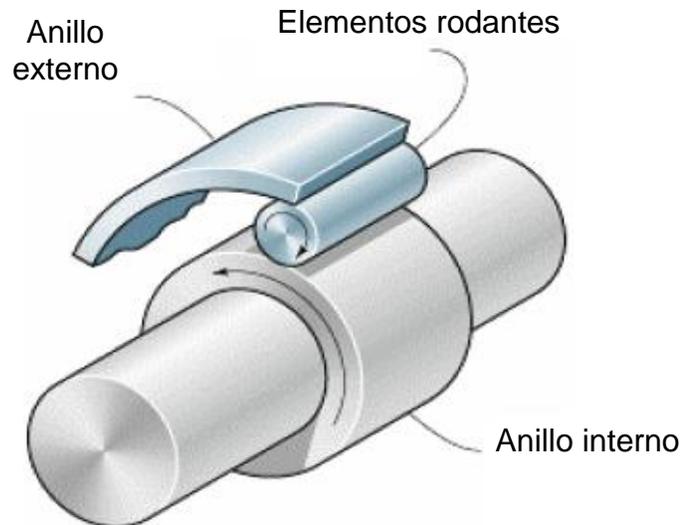


**Figura 44.** a) Chumacera y b) Manguito [19].

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 45. 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 45.** Representación de superficies no concordantes, [19].

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 (EHL): Las películas EHL 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.4.3.2. 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.4.3.3. 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, etcétera. 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.4.3.4. Tensión superficial, hidrostática e hidrodinámica**

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 emulsiones 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 SI, es el N/m, aunque suele usarse la dina/cm o erg/cm<sup>2</sup>.

#### **I.4.3.5. 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.

Con ello se consigue:

- un alto grado de estabilidad y amortiguación
- una vida del rodamiento ilimitada
- eliminación del desgaste de la superficie de deslizamiento
- un alto grado de estabilidad térmica
- un alto grado de seguridad en los impactos
- una precisión de posicionamiento absoluta
- un grado muy elevado de 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

Para:

- 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.4.3.6. 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, [21].

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 46.

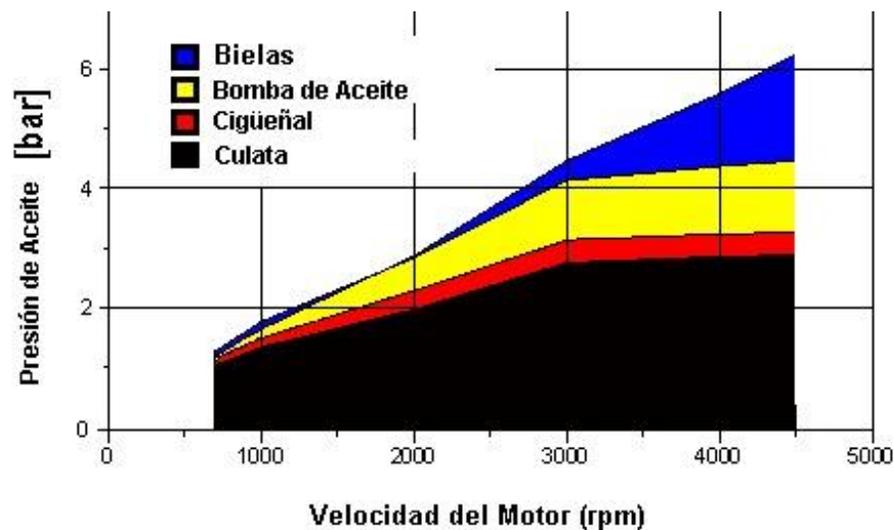


Figura 46. Lubricación de un motor, [20].

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 cP en puntos calientes del motor bajo altas presiones. Para medir esto se utiliza la prueba HT/HS (Alta Temperatura/Alta Cizallamiento) que mide la viscosidad mínima a 150°C a 90 ciclos de estrés para simular las condiciones de los cojinetes del motor.

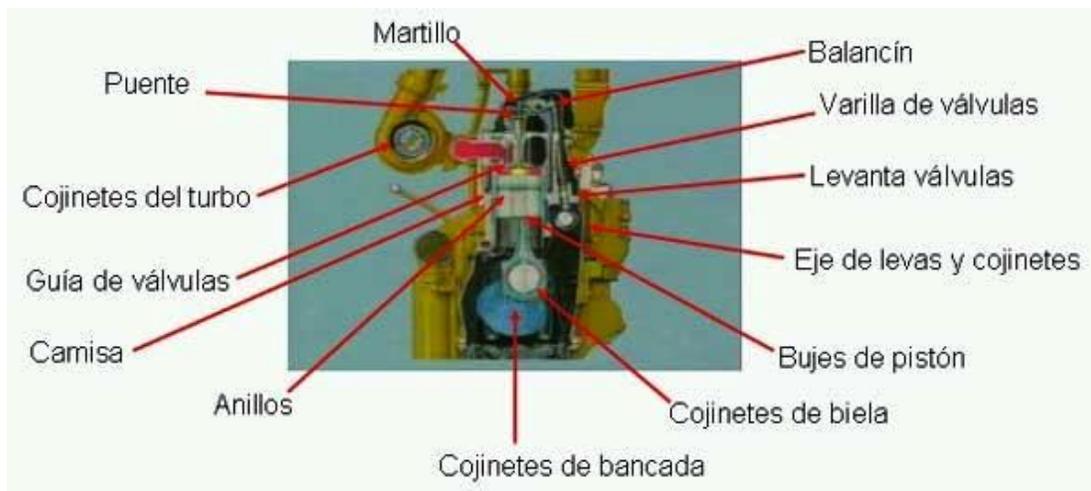
Esta viscosidad determina la protección del aceite en lubricación hidrodinámica. Las normas del SAE J300 dictan que los aceites SAE 40 y SAE 15W-40 mantengan la siguiente viscosidad en ciertas condiciones como se muestra en la tabla 4.

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 4.** Viscosidad mínima para los aceites SAE 40 y SAE 15W-40, (20).

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 47.



**Figura 47.** Puntos de lubricación en un motor, [21].

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.4.4. Propiedades y estudio de lubricantes**

Los lubricantes se distinguen entre sí, según sus propiedades o según su comportamiento en las máquinas. Debemos de conocer las propiedades de los aceites lubricantes, para poder determinar cual utilizaremos según la misión que deba desempeñar. Un buen lubricante, a lo largo del tiempo de su utilización, no debe formar excesivos depósitos de carbón ni tener tendencia a la formación de lodos ni ácidos; tampoco debe congelarse a bajas temperaturas.

Las propiedades más importantes que deben tener los lubricantes son:

- a) **Color:** Cuando observamos un aceite lubricante a través de un recipiente transparente el color nos puede dar idea del grado de pureza o de refinó.
  
- b) **Densidad:** La densidad de un aceite lubricante se mide por comparación entre los pesos de un volumen determinado de ese aceite y el peso de igual volumen de agua destilada, cuya densidad se acordó que sería igual a 1 (uno), a igual temperatura.
  
- c) **Viscosidad:** Es la resistencia que un fluido opone a cualquier movimiento interno de sus moléculas, dependiendo por tanto, del mayor o menos grado de cohesión existente entre estas.
  
- d) **Índice de viscosidad:** Se entiende como índice de viscosidad, el valor que indica la variación de viscosidad del aceite con la temperatura. Siempre que se calienta un aceite, éste se vuelve más fluido, su viscosidad disminuye; por el contrario, cuando el aceite se somete a temperaturas cada vez más bajas, éste se vuelve más espeso o sea su viscosidad aumenta.
  
- e) **Untuosidad:** La untuosidad es la propiedad que representa mayor o menor adherencia de los aceites a las superficies metálicas a lubricar y se manifiesta cuando el espesor de la película de aceite se reduce al mínimo, sin llegar a la lubricación límite.
  
- f) **Punto de inflamación:** El punto de inflamación de un aceite lo determina la temperatura mínima a la cual los vapores desprendidos se inflaman en presencia de una llama.
  
- g) **Punto de combustión:** Si prolongamos el ensayo de calentamiento del punto de inflamación, notaremos que el aceite se incendia de un modo más

o menos permanente, ardiendo durante unos segundos, entonces es cuando se ha conseguido el punto de combustión.

- h) **Punto de congelación:** Es la temperatura a partir de la cual el aceite pierde sus características de fluido para comportarse como una sustancia sólida.
  
- i) **Acidez:** Los diferentes productos obtenidos del petróleo pueden presentar una reacción ácida o alcalina. En un aceite lubricante, una reacción ácida excesiva puede ser motivo de un refinado en malas condiciones. A esta acidez se le llama acidez mineral.

En cuanto al análisis del aceite la información que proporciona es con respecto a las condiciones de operación del equipo, sus niveles de contaminación, degradación y finalmente su desgaste y vida útil.

En muchos de los casos los resultados del análisis, son recibidos semanas o meses después de la toma de la muestra y la información se vuelve irrelevante, ya que para ese momento, las condiciones del equipo ya son diferentes, en muchos casos el aceite ya fue cambiado y en otros el equipo ya falló y fue reparado.

A continuación se mencionan las “Mejores Prácticas” para toma de muestra:

- Mediante un dispositivo fijo
  
- Lubricante en movimiento
  
- A temperatura y condiciones normales de operación
  
- En zonas de flujo turbulento (no lineal)
  
- Antes de los filtros

- Después de los componentes de la maquinaria
- Con dispositivos e implementos de muestreo limpios
- En un envase o recipiente limpio
- Con la misma frecuencia
- Registrando las horas de operación de la maquinaria y las horas del aceite

Se requiere que el proceso de muestreo sea “consistente”, para que la información resultante pueda ser convertida en datos de tendencia y reconocer y analizar su comportamiento en el tiempo.

En los últimos años, la cantidad de instrumentos de análisis de aceites en sitio ha crecido en número y se ha reducido en tamaño y sofisticación, permitiendo que esta técnica pueda realmente proporcionar al profesional del mantenimiento la información necesaria para controlar las causas que ocasionan la falla de sus equipos y además poder monitorear el progreso de fallas no tribológicas.

Algunas de las fallas que el análisis de aceite puede ayudar a detectar:

- |                                     |                                  |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| • Partículas abrasivas en el aceite | • Fatiga                         |
| • Aceite contaminado con Agua       | • Sobrecarga                     |
| • Combustibles                      | • Agotamiento de aditivos        |
| • Productos químicos                | • Aceite aplicado erróneamente   |
| • Operación en alta temperatura     | • Inicio de falla en cojinetes   |
| • Desalineamiento                   | • Inicio de falla en rodamientos |
| • Desbalanceo                       | • Inicio de fallas progresivas   |
| • Cavitación                        |                                  |

La Tabla 5 nos muestra algunas pruebas del análisis de aceite y su enfoque:

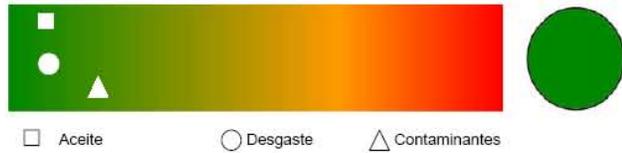
<b>Análisis de Aceite</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Resultado esperado</b>
Viscosidad	Salud del lubricante	Estable
Número de Neutralización (AN y BN)	Degradación del lubricante	Tendencia decreciente lenta
Punto de inflamación	Contaminación	Estable
Análisis de elementos por emisión atómica	Degradación de aditivos Contaminación Metales de Desgaste	Decremento suave Negativo Negativo – Tendencia suave
FTIR – Análisis infrarrojo	Degradación de aditivos Contaminación	Decremento suave Negativo
Conteo de partículas	Contaminación y/o desgaste	Estable en la meta establecida
Análisis de humedad	Contaminación	Negativo
Densidad ferrosa o partículas ferrosas	Desgaste	Decremento o Estable
Ferrografía analítica	Localización del tipo de desgaste presente	Identificación del tipo de desgaste, procedencia y causa
Resistencia a la oxidación RPVOT	Salud del lubricante	Estable
Pruebas de membrana y gota	Salud del lubricante Contaminación Desgaste	Conservación de aditivos Negativo Negativo - Estable

**Tabla 5.** Pruebas del análisis de aceite, [20]

En la figura 48 se puede apreciar los resultados arrojados después de un estudio del aceite y la frecuencia con la que se realiza este estudio.

ROEIRASA  
 PARQUE TEC Y LOG DE VIGO  
 PARCELA II, SUBPARCELA 10.05  
 36312 VIGO  
 PONTEVEDRA

INDICADOR DE ESTADO



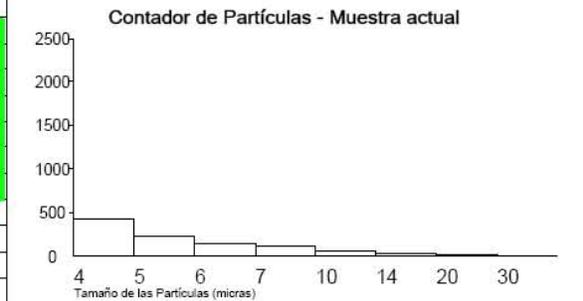
Diagnóstico

NIVELES DE DESGASTE SATISFATORIOS. NO SE DETECTA CONTAMINACIÓN SIGNIFICATIVA. AVISAR REALIZAR EL SEGUIMIENTO DE MUESTRAS EN LOS PERIODOS RECOMENDADOS.

Numero de Muestra		1	2	3	4	Datos del Equipo
Formulario N°		E039321	M048741	M048745	M141522	Situación:
Fecha de Muestra		14-Jan-05	14-May-06	31-May-07	03-Mar-08	Nombre del fabricante: MTU
Fecha de Recepción :		21-Jan-05	07-Jun-06	11-Jul-07	19-Mar-08	Modelo: 505.90
Fecha de Informe		16-Feb-05	08-Jun-06	12-Jul-07	20-Mar-08	No. referencia de la compañía: TAPON DE LLENADO
Tiempo del sistema hr		18000	2540	8091	30200	Descripción del sistema: HIDRAULICO
Tiempo del aceite hr		18000	2540	8091	30200	Nombre del aceite: MOBIL DTE 25
						Referencia:
						Número
						Capacidad del cárter:

Resultados Análisis de Aceite

Análisis	Unidad				
Apariencia		10	10	10	10
Viscosidad a40°C	mm²/s	48.5	47.7	44.9	45.6
Agua	S/N	N	N	N	N
Ultracentrifugado			1	1	1
Particle Quantifier			10	10	10
Nº de Neutralización	g(KOH)/kg	0.9	1.0	1.0	1.0
Agua	%	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10



Datos de Análisis Espectrográfico

Sodio	mg/kg	3	3	5	3
Silicio	mg/kg	<1	1	<1	<1
Vanadio	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Potasio	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Litio	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Aluminio	mg/kg	<1	<1	<1	1
Cromo	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Cobre	mg/kg	1	1	2	6
Hierro	mg/kg	<1	1	2	1
Plomo	mg/kg	<1	4	3	3
Estaño	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Molibdeno	mg/kg	3	1	<1	<1
Níquel	mg/kg	<1	1	1	<1
Titanio	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Manganeso	mg/kg	<1	<1	<1	<1

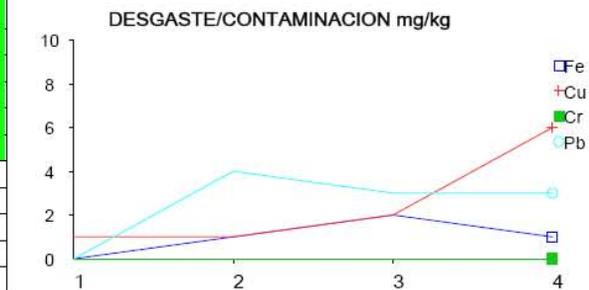
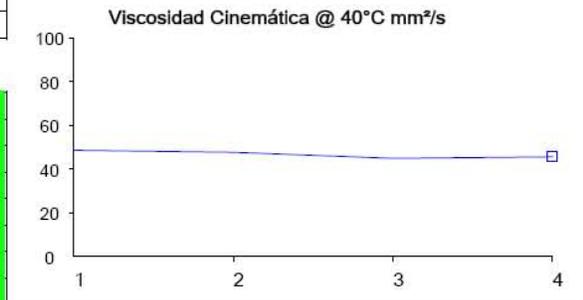


Figura 48. Ejemplo de estudio de lubricación, [28].

#### I.4.4.1. Sistemas de clasificación de la viscosidad (clasificación ISO para aceites industriales)

La ISO (Organización de Normalización Internacional), debido a la existencia de varios sistemas de clasificación, género 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 6.

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
100	100	90.0/110
220	220	198/242
320	320	288/352
460	460	414/506
680	680	612/748
1000	1000	900/1100
1500	1500	1300/1650

**Tabla 6.** Clasificación ISO para aceites industriales parcial, [21].

#### I.4.4.2. 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 7.

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
8 A	900 - 1100	1000	8A EP	4171 - 5098

**Tabla 7.** Clasificación AGMA para aceites para engranajes, [21].

#### I.4.4.3. 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 cárter 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 (Ver Tabla 8), 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.

<b>GRADO</b>	<b>Viscosidad</b>	<b>Viscosidad</b>	<b>Viscosidad</b>	<b>viscosidad</b>	<b>viscosidad</b>
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 8.** Grados SAE de viscosidad para aceites de motor, [22].

**I.4.4.4. Clasificación SAE para lubricantes de transmisiones manuales y diferenciales.**

Este sistema establece: grados de invierno 75, 80, y 85 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, las combinaciones de los grados de invierno y verano para dar origen a los aceites multiclíma, siendo en estos casos los más recomendados por los fabricantes el SAE 80w90 y 80w140 .Grados semisintéticos se encuentran como SAE 75w90 y 80w140, tabla 9.

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

**NR = no requerido**

**Tabla 9.** Grados SAE para transmisiones manuales y diferenciales automotrices, (22).

**I.4.4.5. Clasificación API**

El Instituto Americano del Petróleo (API), es un grupo que elaboró, en conjunto con la ASTM - American Society for Testing and Materials (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales), estas especificaciones definen los niveles de desempeño que deben cumplir los aceites lubricantes. 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 ingles)

son para motores tipo diesel, mientras que los rangos que comienzan con la letra s (spark (chispa) - por su siglas en ingles) son para motores tipo gasolina. La segunda letra indica la fecha o época de los rangos, según tabla 10.

ACEITES MOTORES GASOLINA		ACEITES MOTORES DIESEL	
SA	ANTES 1950	CA	ANTES 1950
SB	1950-1960	CB	1950-1960
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	1995-2000
SJ	1997-2000	CH-4	2001
SL	2001	"4" = 4 Tiempos	

**Tabla 10.** Rangos de servicio API para aceites de motores de gasolina y Diesel, (22).

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 otorgó 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.4.4.6. Sistemas de lubricación**

Se denominan sistemas de lubricación a los distintos métodos de distribuir el aceite por las piezas del motor. Se distinguen los siguientes:

##### **a) Salpicadura:**

Resulta poco eficiente y casi no se usa en la actualidad (en solitario). Consiste en una bomba que lleva el lubricante del cárter a pequeños "depósitos" o hendiduras, y mantiene cierto nivel, unas cuchillas dispuestas en los codos del cigüeñal "salpican" de aceite las partes a engrasar. De este sistema de engrase se van a aprovechar los demás sistemas en cuanto al engrase de las paredes del cilindro y pistón.

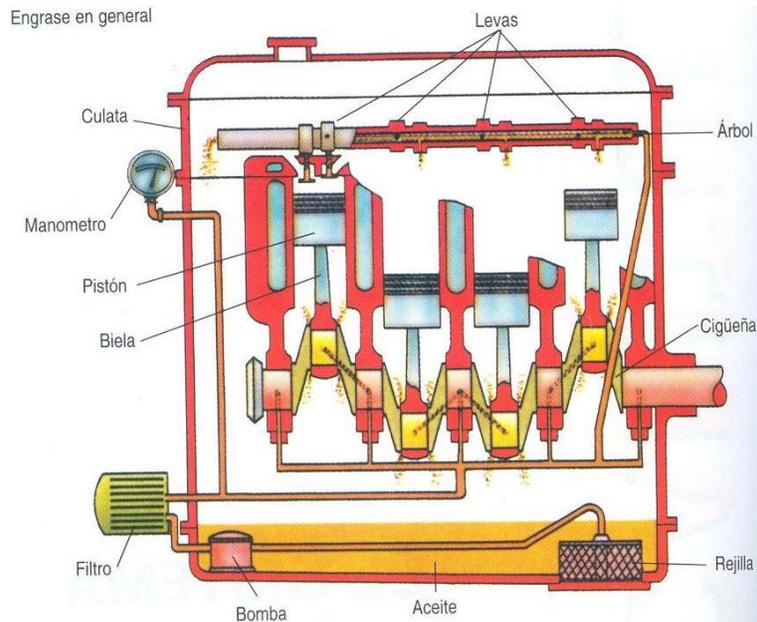
##### **b) Sistema mixto**

En el sistema mixto se emplea el de salpicadura y además la bomba envía el aceite a presión a las bancadas del cigüeñal.

##### **c) Sistema a presión**

Es el sistema de lubricación más usado. El aceite llega impulsado por la bomba a todos los elementos, por medio de unos conductos, excepto al pie de biela, que asegura su engrase por medio de un segmento, que tiene como misión raspar las paredes para que el aceite no pase a la parte superior del pistón y se quemé con

las explosiones, de esta forma se consigue un engrase más directo como se muestra en la figura 49:



**Figura 49.** Ejemplificación del sistema de lubricación a presión, [28].

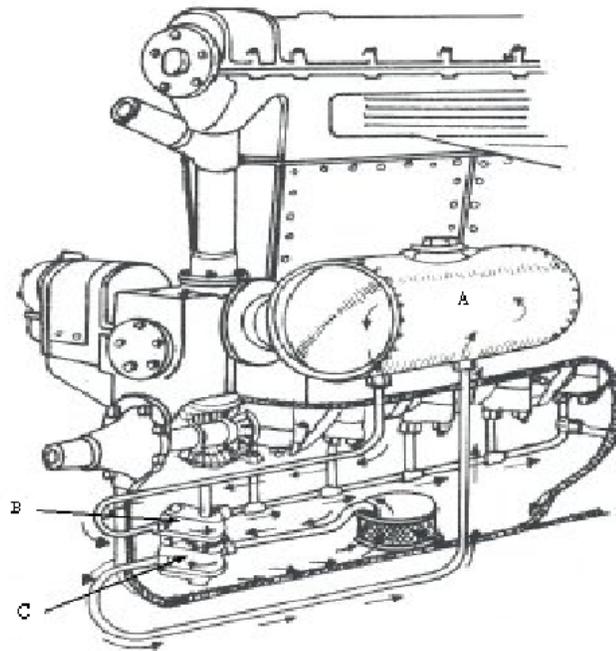
#### **d) Sistema a presión total**

Es el sistema más perfeccionado, en él, el aceite llega a presión a todos los puntos de fricción (bancada, pie de biela, árbol de levas, eje de balancines) y de más trabajo del motor, por unos orificios que conectan con la bomba de aceite.

#### **e) Sistema de cárter seco**

Este sistema se emplea principalmente en motores de competición y aviación, son motores que cambian frecuentemente de posición y por este motivo el aceite no se encuentra siempre en un mismo sitio.

Consta de un depósito auxiliar como se muestra en la figura 50, **(A)**, donde se encuentra el aceite que envía una bomba **(B)**. Del depósito sale por acción de la bomba **(C)**, que lo envía a presión total a todos los órganos de los que rebose y la bomba B vuelve a llevar a depósito **(A)**.



**Figura 50.** Ejemplificación del sistema de lubricación de cárter seco, [28].

#### **1.4.5. Mantenimiento predictivo, proactivo, correctivo y preventivo**

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", "Proactivo", "Correctivo" y "Preventivo".

El mantenimiento predictivo es un programa de mantenimiento de los equipos a través del análisis de vibraciones, para ello es necesario un seguimiento constante y riguroso de nivel de vibraciones de una máquina. El intervalo entre las

mediciones depende de cada equipo y puede variar desde dos meses a una medición continua, según el grado de importancia del proceso. Los puntos elegidos para tomar las vibraciones son aquellos donde puede ser posible encontrar un problema que afecte al buen funcionamiento de la maquina, serán lugares en los que les alojen rodamientos, ventiladores, en granes o uniones entre ejes.

En los puntos a medirse tomarán valores de velocidad, aceleración o desplazamiento en función de la situación del punto y de las características de la máquina. En cuanto al equipo a utilizar podría ser un recolector de datos junto con un programa informático que almacene los valores recogidos en las revisiones sobre los elementos de la fábrica. El mantenimiento proactivo enfatiza la rutina de la detección de parámetros de forma tal de permitir la corrección de las condiciones de causas de fallas, tratando así de evitar que la misma ocurra.

De esta manera el mantenimiento proactivo actúa muchas veces corrigiendo el protocolo de mantenimiento preventivo de los equipos monitoreados que surge de los fabricantes o de técnicos de mantenimiento, sustituyéndolo por el que se origina de un seguimiento minucioso de los parámetros relevados con las técnicas antes citadas.

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.

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.

#### **I.4.6. 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 que interactúan 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**

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

##### **b) Mantenimiento preventivo**

- Paradas programadas según recomendación del fabricante o proveedor del aceite.

##### **c) Mantenimiento predictivo**

- Análisis de vibraciones

##### **d) Mantenimiento proactivo**

(Control y eliminación de causas de fallas)

- 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)

#### **I.4.7. Almacén y manejo de lubricantes**

Los fabricantes de lubricantes, así como sus almacenistas y distribuidores, se cuidan de 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, etc.
- 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. Triboecología**

En el caso de la prevención de la contaminación de los aceites lubricantes y/o aceites hidráulicos, está demostrado que el costo de un mantenimiento adecuado que evite la llegada de las partículas contaminantes al aceite es un 10% aproximadamente de lo que después costaría eliminarlas, sin contar los daños causados en el equipo o máquina el funcionamiento con un aceite lubricante. Por ello, es importante exponer los daños ambientales y el marco normativo existente para el estudio y manejo de dichos aceites.

### **I.5.1. Legislación ambiental**

Se denomina contaminación ambiental a la presencia de cualquier agente físico, químico o biológico en el ambiente o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos.

La contaminación ambiental se conoce como la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público, figura 51.



**Figura 51.** Agua contaminada, [25].

Con los problemas que existen actualmente, problemas de tipo político, económico, social y hasta deportivos, se deja de lado uno con el que se tiene contacto más cercano, el problema de la contaminación, un problema que el hombre crea e incrementa de forma gradual todos los días.

En la actualidad, el resultado del desarrollo y progreso tecnológico ha originado diversas formas de contaminación, las cuales alteran el equilibrio físico y mental del ser humano. Debido a esto, la actual contaminación se convierte en un problema más crítico que en épocas pasadas.

Existen una serie de industrias que necesitan una gran cantidad de agua para funcionar como las frigoríficas y las lácteas, entre otras. Como resultado de la manufacturación muchas aguas llevan consigo desechos de la propia fábrica, que deberían previamente ser tratados y depurados, de acuerdo a las normativas ambientales. No todas, lamentablemente, cumplen con estos requisitos, constituyendo una de las causas más graves de contaminación y deterioro de los cauces de agua y el medio.

Actualmente no existe información completa sobre los contaminantes que se vierten en los cursos de agua, el aire, o los suelos. Esto refleja un problema de contaminación secreta, a veces de dimensiones desconocidas.

La única información existente se refiere a unos pocos contaminantes y está en manos de organismos oficiales, que muchas veces no la quieren dar a conocer porque existen muchos funcionarios que suponen que la contaminación y el deterioro del hábitat son el precio inevitable del progreso. Por otro lado existen miles de personas que conviven con industrias que perjudican su salud, (figura 52), directa o indirectamente y no gozan de su derecho a conocer los tóxicos a los que están expuestos, para poder tomar medidas preventivas o hacer valer su derecho a un medio ambiente sano.



**Figura 52.** Contaminación de la Industria, [26].

Es común implementar sistemas de tratamiento, que a menudo crean nuevos problemas ambientales, aplicados al final de los procesos industriales una vez generados los residuos. Los gobiernos deberían desarrollar políticas que favorezcan los productos de vida útil prolongada, las fuentes de energía limpia y renovable, el uso de materiales no tóxicos y reciclables y las tecnologías de producción más limpias.

Los distintos gobiernos municipales, provinciales y nacionales, para poder combatir este tipo de problemas, podrían implementar este tipo de medidas:

- 1) Dictar leyes de prevención de la contaminación, que obliguen a las industrias a implementar un plan de reducción de la generación de residuos y de utilización de materias primas tóxicas.
- 2) Garantizar y estimular el acceso público a la información.
- 3) Implementar políticas para extender la responsabilidad del fabricante de un producto.

- 4) Prohibir o eliminar progresivamente los productos tóxicos. Estas medidas son básicas para evitar la contaminación.
- 5) Crear centros de producción más limpia que proporcionen apoyo técnico y proveer fondos para la investigación en tecnologías más limpias.
- 6) Influir en el mercado, favoreciendo el consumo de productos limpios y comprando productos más limpios para uso en las dependencias de gobierno.
- 7) Establecer líneas de créditos blandos que faciliten la reconversión de las industrias.

El actual modelo industrial no es ecológicamente sostenible en el tiempo y no ha podido satisfacer las necesidades básicas para toda la humanidad. Son muestras de ello la depredación de recursos naturales no renovables para satisfacer el sobre consumo de productos descartables e innecesarios; la producción de bienes generando volúmenes exorbitantes de residuos tóxicos y la consiguiente contaminación de los ríos, el aire y el suelo; la irreversible extinción de especies; el aumento de la incidencia de enfermedades por causas ambientales y la desaparición de suelos fértiles y productivos dando lugar a enormes desiertos y mayor pobreza.

El modelo industrial tal como lo conocemos ha servido para satisfacer algunas necesidades humanas pero también ha dejado una enorme deuda con las generaciones futuras y no ha mostrado ser capaz de satisfacer las necesidades de todos.

### **I.5.2. Contaminación industrial, comercial y de residuos por contaminación de aceites.**

El negocio de los aceites en el mundo es grande, rentable y complejo. En los Estados Unidos se consumen unos 7,6 millones de Tm/año de lubricantes, en Japón 2,2 millones, en la Unión Europea 4,7 millones y en España unas 500.000 Tm. La demanda mundial de aceites lubricantes llega aproximadamente a 40 millones de toneladas año.

Los aceites residuales generados representan más del 60% de los aceites lubricantes consumidos. Esto hace que los aceites usados sean uno de los residuos contaminantes más abundantes que se generan actualmente, pudiendo alcanzarse la cifra de 24 millones de Tm/año.

Los lubricantes se contaminan durante su utilización con productos orgánicos de oxidación y otras materias tales como carbón, producto del desgaste de los metales y otros sólidos, lo que reduce su calidad.

Cuando la cantidad de estos contaminantes es excesiva el lubricante ya no cumple lo que de él se demandaba y debe ser reemplazado por otro nuevo. Estos son los llamados Aceites Usados, de Desecho o Residuales y deben ser recogidos y reciclados para evitar la contaminación del medio ambiente y para preservar los recursos naturales.

Los aceites usados se están eliminando por procedimientos tales como el vertido en terrenos y cauces de agua o la combustión indiscriminada que no aprovechan su auténtico valor potencial, produciendo, por el contrario, peligrosas contaminaciones.

El término reciclado se aplica a los procesos capaces de devolver a un residuo ciertas características que permitan una nueva utilización del mismo. Este es el

camino que debe utilizarse siempre que sea posible para la eliminación de los Aceites Usados o Residuales.

Un aceite usado, por su naturaleza y composición, se presta a ser utilizado como medio portador de cualquier producto orgánico tóxico o peligroso que de forma fraudulenta haya sido mezclado con el aceite para eliminarlo a un coste bajo. Esta es una práctica que se da con excesiva frecuencia, ocasionando contaminaciones en los aceites usados a todas luces imprevisibles.

### **1.5.3. Composición y clasificación de los aceites usados**

Los aceites usados son una mezcla muy compleja de los productos más diversos. Un lubricante está compuesto por una mezcla de una base mineral o sintética con aditivos (1 -20%). Durante su uso se contamina con: distintas sustancias, tales como:

- Agua
- Partículas metálicas, ocasionadas por el desgaste de las piezas en movimiento y fricción
- Compuestos organometálicos conteniendo plomo procedente de las gasolinas
- Ácidos orgánicos o inorgánicos originados por oxidación o del azufre de los combustibles
- Compuestos de azufre
- Restos de aditivos: fenoles, compuestos de cinc, cloro y fósforo
- Compuestos clorados: Disolventes, PCBs y PCTs

Pero, además, pueden estar contaminados por otras sustancias cuya presencia es imprevisible, tales como:

- Pesticidas
- Residuos tóxicos de cualquier tipo

Los PCBs y PCTs provienen de fluidos dieléctricos y fluidos térmicos de seguridad que han venido siendo utilizados en la industria durante muchos años.

Los hidrocarburos polinucleares aromáticos (PNA, también llamados HAPS), parecen tener su origen en la oxidación de las gasolinas, Son unos compuestos muy peligrosos puesto que entre ellos se puede encontrar el cancerígeno Benzo(a) pireno ( $C_{20}H_{12}$ ) Y alguno de sus derivados alquílicos.

En la práctica, el aceite usado es un líquido más o menos viscoso de color negro que puede servir de vehículo o medio idóneo para enmascarar, disueltos en él, muchos residuos tóxicos y peligrosos.

La experiencia contrastada por la Comisión Europea de Regeneración permite afirmar que los productores de aceites usados, unas veces por ignorancia, otras por negligencia y muchas para desembarazarse de otros residuos, utilizan los aceites usados como medio de evacuación de aquellos y con ello ahorran cantidades importantes de dinero que les costaría eliminarlos legalmente.

#### **I.5.4. Contaminación del aire**

La eliminación del aceite usado por combustión solo o mezclado con fuel-oíl, también origina graves problemas de contaminación, a menos que se adopten severas medidas para depurar los gases resultantes.

Los compuestos de cloro, fósforo, azufre, presentes en el aceite usado dan gases de combustión tóxicos que deben ser depurados por vía húmeda, otro gran problema asociado al anterior lo crea el plomo que emitido al aire en partículas de tamaño submicrónico perjudica la salud de los seres humanos, sobre todo de los niños.

El plomo es el más volátil de los componentes metálicos que forman las cenizas de los aceites usados, la cantidad de plomo presente en el aceite usado oscila del 1 al 1,5 por 100- en, peso y proviene de las gasolinas y de los aditivos.

Estudios realizados en los Países Bajos han estimado que si llegaran a quemarse las 70.000 toneladas año de aceite usado que pueden recogerse, se recargaría la atmósfera con 350 toneladas adicionales de plomo, lo que representaría una tercera parte más de lo que actualmente emiten los escapes de los vehículos.

Por tanto, las instalaciones donde haya de quemarse aceite usado deberán estar dotadas de un eficaz, pero muy costoso sistema depurador de gases. De lo contrario, antes de su combustión deberá someterse al aceite usado a un tratamiento químico de refinado para eliminar previamente sus contaminantes, pero entonces el aceite que se obtiene es preferible, desde el punto de vista económico, utilizarlo para ser regenerado.

#### **I.5.5. Contaminación del agua**

Los aceites no se disuelven en el agua, no son biodegradables, forman películas impermeables que impiden el paso del oxígeno y matan la vida tanto en el agua como en tierra, esparcen productos tóxicos que pueden ser ingeridos por los seres humanos de forma directa o indirecta.

Los hidrocarburos saturados que contienen no son biodegradables (en el mar el tiempo de eliminación de un hidrocarburo puede ser de 10 a 15 años). Uno de los puntos ambientales donde puede producirse una contaminación muy importante es en el agua.

El lubricante que se pierde de los mecanismos, se elimina a través de desagües y que alcanza las capas freáticas. El vertido de aceites usados en los cursos de aguas deteriora notablemente la calidad de las mismas, al ocasionar una capa superficial que impide la oxigenación de las aguas y produce la muerte de los organismos que las pueblan.

El aceite usado altera el sabor del agua potable, y por ello debe evitarse la presencia del mismo en las aguas de superficie y en las subterráneas. Se ha establecido un límite de 0,44 mg/l para alterar considerablemente el sabor del agua potable, los aceites usados vertidos en el agua originan una fina película que produce separación entre las fases aire- agua. Con ello se impide que el oxígeno contenido en el aire se disuelva en el agua, perturbando seriamente el desarrollo de la vida acuática.

A estas dificultades debemos añadir los riesgos que implican las sustancias tóxicas contenidas en los aceites usados, vertidos en el agua que pueden ser ingeridas por el hombre o los animales.

Dichas sustancias tóxicas provienen de los aditivos añadidos al aceite y engloban diversos grupos de compuestos tales como: fenoles, aminas aromáticas, terpenos fosfatados y detergentes, que durante el uso del aceite a temperaturas elevadas forman peróxidos intermedios que son muy tóxicos.

### **I.5.6. Contaminación del suelo**

Los aceites usados vertidos en suelos producen la destrucción del humus y contaminación de aguas superficiales y subterráneas. La eliminación por Vertido de los aceites usados origina graves problemas de contaminación de tierras, ríos y mares. En efecto, los hidrocarburos saturados que contiene el aceite usado no son degradables biológicamente, recubren las tierras de una película impermeable que destruye el humus vegetal y, por tanto, la fertilidad del suelo

#### **I.5.6.1. Peligros que encierra el aceite usado**

Para determinar la peligrosidad de un lubricante, hay que tener en cuenta varios aspectos:

- Biodegradabilidad
- Bioacumulación
- Toxicidad
- Eco toxicidad
- Emisión de gases
- Degradación química
- Tiempo requerido para ser eliminado del agua

Los aceites vírgenes contienen o pueden contener cantidades pequeñas controladas de PHA's ( compuestos aromáticos policíclicos ) que durante el funcionamiento del lubricante, mediante la descomposición de los distintos componentes así como reacciones catalizadas por metales , incrementan su presencia en el aceite usado. Muchos de estos PHA's tienen un efecto marcadamente cancerígeno y plenamente demostrado, y de una forma u otra son arrojados a la atmósfera que respiramos.

Se han efectuado estudio para conocer la capacidad mutagénica del aceite de motor usado. Se ha detectado que el 70 % de estos efectos son causados por PHA's con más de tres anillos, esta fracción representa sólo el 1 % del volumen de un aceite usado. De esta fracción mutagénica el 18 % del efecto lo produce el benzo-a-pireno según IARC (International Agency on Research for Cancer).Se

considera que el benzo-e-pireno , benzo-a-pireno , benzo-a-antraceno y el criseno tienen un elevado potencial carcinogénico . En los crudos de aceite mineral se han encontrado cantidades de benzo-a-pireno que oscilan entre 400 y 1.600 mg. / kg.

Los aceites tienen tendencia en acumularse en el entorno todo aquel aceite que se pierde por las calles, montes, cuando llueve se arrastra a ríos, lagos, acumulándose en sus sedimentos.

También se produce una acumulación importante en la atmósfera que se respira, por ejemplo: un motor de dos tiempos (motos, fuerabordas, moto sierras) expulsan aproximadamente con los gases, el 25 % del aceite lubricante que utilizan.

El 40 - 70 % de los PHA's que se emiten en los gases, proceden del aceite de motor, otro 30 - 60 % se origina en el proceso de combustión del combustible, la utilización de esteres sintéticos ayuda a reducir considerablemente estas emisiones.

La tendencia lógicamente por los estudios que se realizan se encamina a la utilización de lubricantes sintéticos y aceites vegetales, que debido a su superior rendimiento frente a los minerales, precisan menor aditivación, pero lógicamente son más caros.

A continuación se nombran algunos de los efectos de los componentes del aceite usado:

- **Gases** que contienen aldehídos, cetonas, compuestos aromáticos, CO<sub>2</sub> son irritantes y actúan sobre el tejido respiratorio superior, ahogos, asma, bronquitis, efectos mutantes., Cáncer.

- **Elementos** como Cloro NO<sub>2</sub>, SH<sub>2</sub>, Sb (antimonio) Cr (cromo) Ni (níquel) Cd (cadmio) Mn (manganeso) Cu (cobre) actúan sobre el tejido respiratorio superior y tejido pulmonar.
- **Otros elementos** como: CO, disolventes halogenados (tri, per.) SH<sub>2</sub> que producen:
  - a) Efectos asfixiantes, impiden el transporte de oxígeno y por tanto la respiración de la célula.
  - b) Los disolventes halogenados tienen efectos anestésicos y narcóticos se acumulan en el hígado con posibles efectos cancerígenos.
- **Metales** como Pb (plomo), Cd (cadmio), Mn (manganeso), tienen efectos tóxicos sobre el riñón, el cadmio además efectos cancerígenos sobre la próstata y el cromo sobre el pulmón.
- **Compuestos aromáticos** como tolueno, benceno, pueden llegar a provocar leucemias, otros hidrocarburos más ligeros se acumulan en la sangre y podrían llegar a producir parálisis.

### **I.5.7. Lubricantes ecológicos**

Los lubricantes son materiales líquidos, sólidos o semisólidos utilizados para disminuir el rozamiento entre superficies en movimiento. Entre los productos utilizados están los aceites y las grasas. Los lubricantes son mezclas de aceites bases y aditivos que son compuestos químicos que mejoran el desempeño de los aceites bases puros.

Los aceites bases utilizados son de origen mineral, aceites vegetales y productos sintéticos. La lubricación puede tener un impacto negativo sobre el ambiente

dependiendo de su manejo, de las bases lubricantes y aditivos que se estén utilizando y de la manera como se dispongan los desechos.

La conciencia ambientalista que se ha despertado en los países del mundo entero, principalmente a partir de los años 80, propende por la conservación de la tierra, el agua y el aire y cuida de que aquellos compuestos ó sustancias que son dañinos no sean utilizados y sean reemplazados por productos alternativos.

Los lubricantes minerales ó derivados del petróleo que se utilizan en volúmenes que ascienden a millones de litros de aceite diarios, muchas empresas industriales lo hacen, arrojados a la tierra, a los ríos ó se quemaban como productos de combustión mezclados con un combustible.

Como resultado de los últimos estudios sobre la contaminación de la atmósfera de la tierra que está ocasionando estragos en la capa de ozono atmosférico y causando el calentamiento de la tierra, se ha empezado a tomar conciencia acerca del uso adecuado de los lubricantes y de la disposición adecuada de sus desechos por parte de la industria mundial y de los fabricantes de lubricantes, surgiendo como consecuencia los "Lubricantes con Conciencia Ambiental" ó EAL (Environmental Awareness Lubricants) los cuales permiten la conservación de los recursos no renovables como el petróleo, reducción de las fuentes de contaminación, reciclaje y biodegradabilidad en el ambiente con un impacto mínimo sobre el mismo.

Se pueden considerar lubricantes EAL aquellos que retrasan el impacto negativo ó que no tienen ninguna incidencia sobre el ambiente. En la actualidad se tienen dos grupos bien definidos de lubricantes EAL, a saber: ecológicos y biodegradables, basados en bases vegetales y sintéticas.

Estos se clasifican en:

- 1) **Lubricantes de base vegetal:** fueron los más utilizados en la antigüedad y hace algún tiempo han vuelto a popularizarse debido a su biodegradabilidad y a que son productos fabricados con materias primas renovables.

Esto no solo evita el uso de materiales procedentes de fuentes fósiles sino que ayuda a la fijación del carbono procedente del CO<sub>2</sub>, disminuyendo el efecto invernadero.

- 2) **Lubricantes Sintéticos:** Existen una serie de productos sintéticos que se utilizan como bases lubricantes. Los de mayor volumen son los hidrocarburos sintéticos y en menor medida los esteres, di esteres y poli glicoles.

La principal ventaja de los aceites sintéticos sobre los otros es que tienen mayor resistencia en el trabajo y que pueden funcionar en condiciones más críticas que los basados en aceites minerales. Esto hace que estos productos tengan una mayor vida útil. La principal ventaja de los lubricantes sintéticos sobre los otros es que reducen el consumo de energía en los equipos en que se utilizan.

Se considera que un lubricante es ecológico cuando el efecto negativo que éste pueda tener sobre el ambiente es factible minimizarlo al máximo, como por ejemplo, utilizándolo hasta que su vida útil se agote.

En este grupo se incluyen todos los lubricantes, aún los derivados del petróleo, cuyo impacto negativo sobre el ambiente, principalmente sobre el agua es bastante crítico, debido a que su proceso de biodegradabilidad es lento.

Cuando un aceite mineral se cambia antes de tiempo se generan costos adicionales de mano de obra, agotamiento de los recursos no renovables como el petróleo, mayor consumo de energía al tener que explorar y explotar nuevos campos petrolíferos y producir cada día mayores volúmenes de bases lubricantes.

Si se quiere lograr que los aceites minerales sean ecológicos, es necesario entonces, llevar a cabo el cambio del aceite en las máquinas por condición y no por frecuencias constantes, para ello es necesario efectuarle al aceite, dentro de ciertos intervalos de tiempo preestablecidos, análisis de laboratorio físico-químicos para determinar el momento preciso en que se debe cambiar y luego cuando finalmente se desecha proceder a hacer una correcta disposición de él.

El aceite mineral una vez que ha cumplido su ciclo de vida, se debe recoger y almacenar en recipientes limpios y en buen estado. Estos tipos de aceites pueden recuperar la base lubricante por alguno de los diferentes procesos que existen (gravedad, centrifugación, filtros coalescentes, termovacío, tratamiento con arcilla ó destilación). Mezclarlo con combustibles (previa filtración) para quemarlo en calderas, hornos, etc, por su valor energético.

#### **I.5.7.1. Lubricantes biodegradables**

Todos los aceites son en menor ó mayor grado biodegradables, ocupando un lugar de privilegio los aceites vegetales y sintéticos. Los compuestos de menor peso molecular tienden a biodegradarse más rápidamente.

La biodegradabilidad de un aceite se define como la habilidad que tiene un aceite para ser descompuesto en dióxido de carbono y agua por la acción de microorganismos en un período de tiempo determinado, que hacen que finalmente se vuelva poco nocivo para el entorno que lo rodea. Los aceites minerales pueden ser eventualmente descompuestos por microorganismos, pero se requiere un prolongado período de tiempo, por lo que no se definen como biodegradables.

En los Estados Unidos, la ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) está trabajando activamente en la definición y coordinación de guías y procedimientos de prueba para determinar la biodegradabilidad de los lubricantes. En la tabla 11 se especifican las clasificaciones típicas WHC para diferentes tipos de lubricantes.

<b>TIPO DE LUBRICANTE</b>	<b>TOXICIDAD SEGÚN WHC</b>
Aceites Vegetales	0
Aceites Sintéticos de Diésteres y Poliésteres	0
Aceites Sintéticos de Polialfaolefinas	0-1
Aceites Sintéticos de Polialkileneglicoles	1-2
Aceites Minerales	0

**Tabla 11.** Clasificación de la toxicidad según WHC para diferentes tipos de lubricantes, [23].

### **I.5.8. Grasas lubricantes ecológicas**

Las grasas ecológicas son ‘oleogeles’ formados a partir de derivados de la celulosa de las plantas y aceite de ricino (un arbusto de la familia de las euforbiáceas) como base de lubricación.

Estas nuevas formulaciones son una alternativa a las grasas lubricantes tradicionales, que cuando se vierten al medio ambiente producen una contaminación difícil de combatir.

#### **1.5.8.1. Alternativa a los espesantes metálicos contaminantes**

Los lubricantes que se emplean en la industria están constituidos a partir de componentes no biodegradables, como aceites sintéticos o derivados del petróleo, y espesantes fabricados con jabones metálicos o derivados de la poliurea (una familia de polímeros sintéticos). Hoy por hoy son los que mayor rendimiento proporcionan, pero también los que plantean más problemas desde un punto de vista medioambiental.

Cada año millones de toneladas de aceites hidráulicos, industriales y procedentes de maquinarias se vierten en ríos, mares y campos. Los aceites basados en minerales llegan a contaminar las aguas subterráneas durante más de cien años, y pueden inhibir el crecimiento de los árboles y ser tóxicos para la vida acuática.

Hasta ahora, se habían encontrado soluciones parciales a este problema, como sustituir el aceite mineral de los lubricantes por otro vegetal, pero no se habían descubierto alternativas a los espesantes metálicos, también de alto poder contaminante.

La nueva grasa ecológica aporta una solución, aunque los científicos reconocen que hay que seguir investigando para perfeccionar su comportamiento como lubricante y su efecto anti desgaste.

Cuando se utiliza esta sustancia en rodamientos, uno de los factores limitantes es que no se desprenda fácilmente de la pieza. De esta forma se minimiza la frecuencia de lubricación y, por tanto, se mantiene durante más tiempo las condiciones óptimas de funcionamiento de las máquinas.

Los investigadores continuarán estudiando ese aspecto para buscar el equilibrio entre el uso de componentes biodegradables para fabricar la grasa y la optimización de su capacidad como lubricante. En cualquier caso, los científicos ya han confirmado que los 'oleogeles' basados en derivados de la celulosa, además de ecológicos, presentan la ventaja de que son más fácilmente

procesables y requieren una tecnología de fabricación más sencilla que la utilizada en las grasas convencionales.

#### **I.5.8.2. Aceite de cadenilla BIOLUBE**

El aceite de cadenilla BIOLUBE, es un aceite formulado a partir de aceite vegetal y aditivos que junto con otorgarle durabilidad al equipo presenta características de Biodegradabilidad que contribuyen positivamente al ambiente, versus lubricantes de origen mineral, sus beneficios se muestran a continuación.

Beneficios de BIOLUBE:

- Durabilidad similar a aceite de origen mineral
- Adhesividad similar a aceite de origen mineral
- Consumo similar a aceite de origen mineral
- Biodegradabilidad 4 veces superior a aceite de origen mineral

#### **I.5.9. Pruebas de Laboratorio encargadas del estudio de lubricantes ecológicos**

Como ya se menciona existen diversas ventajas de los lubricantes ecológicos, se han realizado pruebas de estos aceites para saber todas sus propiedades y ventajas, para ejemplificar estas pruebas de laboratorio que se efectúan a nivel mundial sobre lubricantes, se muestran a continuación diversos estudios.

### **I.5.10. Lubricantes ecológicos para operaciones de corte y conformado**

Para su utilización en diferentes procesos de corte y conformado en la formulación de estos lubricantes se han utilizado compuestos biodegradables y no tóxicos. El eco toxicidad de la formulación final de los lubricantes se ha medido mediante el test de "Daphnia Magna". Como primera selección se realizan algunos ensayos estándar de fricción y desgaste. Para simular el proceso de estampación y evaluar así la eficiencia de los fluidos de conformado, se realizan "Ensayos de Estampación con Rotación" en una máquina Falex Tapping Torque.

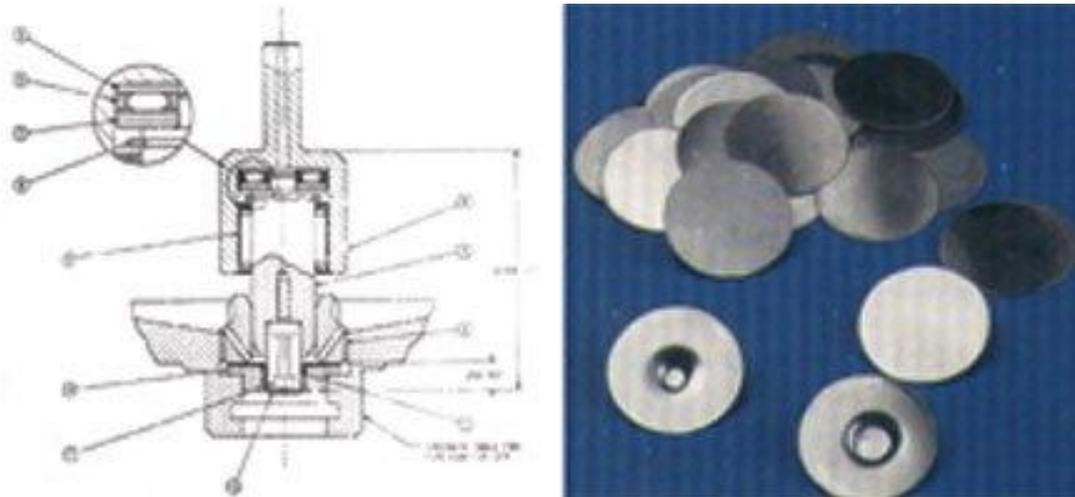
En la validación final de los lubricantes se llevan a cabo mediante ensayos de campo. Los productos fluorados mostraron unas buenas propiedades para aplicaciones de taladrado y conformado severo, pero con costos prohibitivos.

Para el doblado de tubo, se obtiene un lubricante ecológico con buenas características cuya formulación está basada en jabones derivados de ácidos orgánicos y esterés. Con esto se prueba el buen comportamiento de un lubricante diluido en agua para aplicaciones de estampación profunda. Este lubricante estaba formulado con esterés naturales, aditivos sulfurados y jabones de potasio.

El lubricante juega un papel clave en el de corte y conformado de materiales metálicos. Actualmente se utilizan para los procesos de mayor severidad aceites minerales con cloro-parafinas. Mientras que el comportamiento del lubricante es bueno, desde un punto de vista medioambiental, tiene algunos inconvenientes, como son: toxicidad, contaminación e irritación de la piel.

Se han utilizado también ensayos orientados a las aplicaciones: ensayos de Anillo sobre Disco (contacto de superficie), de Cilindro sobre Disco (contacto de línea) y de Estampación con Rotación (Figura 53).

Este último ensayo permite medir el par generado durante la operación de estampación y por tanto evaluar la eficiencia relativa del fluido lubricante que se está utilizando.

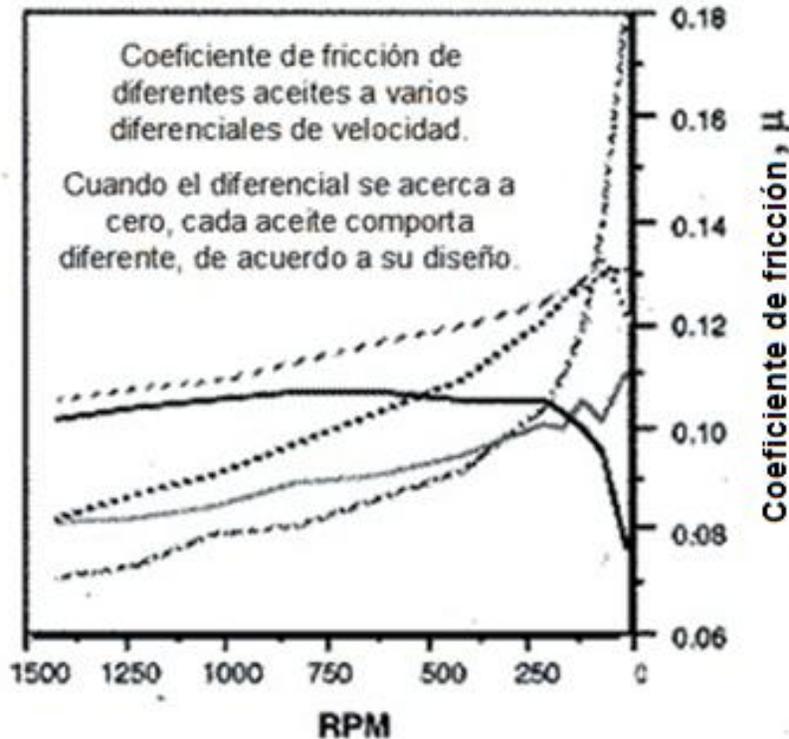


**Figura 53.** Máquina para ensayos de estampación con rotación y probetas, [28].

### **I.5.11. Ensayos tribológicos**

En cuanto a los ensayos tribológicos se han realizado ensayos básicos de laboratorio para tener una idea más cercana sobre el comportamiento frente al desgaste de los nuevos lubricantes. Los ensayos de bola sobre disco con una bola de cerámica y un disco de acero miden la resistencia del lubricante al desgaste abrasivo.

En la figura 54 se puede observar el coeficiente de fricción de varios lubricantes. Los compuestos clorados (tóxicos) muestran un coeficiente de fricción entorno a 0,1-0,2.



**Figura 54.** Coeficiente de fricción de varios lubricantes, [24].

Se sabe que la adición de Molibdeno orgánico o de MoS<sub>2</sub> no modifica las propiedades de toxicidad, pero con otros lubricantes sólidos se ha observado un incremento de la toxicidad en los ensayos de Daphnia Magna. Utilizando urea como espesante o si no utilizamos espesante, se obtiene una toxicidad ligeramente inferior que con los hidrocarburos cerosos. Las diferencias sin embargo no son muy grandes.

#### **I.5.12. Corte, doblado y conformado de tubos**

En la fabricación de tubos están implicados muchos procesos para transformar una chapa de metal en el producto final (ver figura 55). Por esta razón es de vital importancia que lubricantes que se utilicen sean fáciles de eliminar tras cada operación y que generen el mínimo residuo posible.

Se han formulado ocho lubricantes para el doblado de tubos y tres para aplicaciones de corte. Algunos están formulados con aceite mineral sumamente

refinado, ésteres, surfactantes y aditivos sulfurados y se han formulado de tal manera que sean fácilmente lavables.

Para el doblado y conformado los aceites se han obtenido a base de jabones de ácidos orgánicos y ésteres. Un lubricante de corte de conformado están formulados con aceite de colza y aditivos de azufre y fósforo. Otros aceites de corte han sido formulados con jabones de ácidos orgánicos y ésteres y o basándose en aceite de colza y aditivos de azufre y de fósforo.



**Figura 55.** Ejemplos de tubos doblados, [28].

### I.5.12. 1. Propiedades medioambientales

El lubricante ecológico de doblado es prácticamente no tóxico según el ensayo de Daphnia Magna, los aceites utilizados anteriormente; “Referencia de Formación 1 y 2”, son tóxicos (1,74 y 32,24 mg/l respectivamente en el ensayo de Daphnia Magna). Los nuevos lubricantes para estas aplicaciones; “Nueva Formación 1 y 2” son prácticamente no tóxicos (110,34 y 114 mg/l respectivamente).

Se han logrado productos ecológicos menos dañinos para el medio ambiente y para el ser humano, tabla 12 se muestra un ejemplo de resultados arrojados por el ensayo a diversos productos para operaciones de estampación; se selecciono el lubricante EC50 ya que tiene el valor más bajo (menos tóxico).

<b>Producto</b>	<b>EC50(mg/l) Daphnia</b>
Referencia MP	6.11
Embutido Profundo 2	86.37
Embutido Profundo 3	16.3
BIO Embutido Profundo 3	71.78
Referencia LP	50.25
Embutido Profundo I	40.49
BIO Embutido Profundo I	75.69
Cloro HP	5.46
Embutido Profundo 4	87.89
Embutido Profundo 5	10.3
Embutido Profundo 6	17.8
Embutido Profundo 7	27.2
BIO DD 2 16-18%	86.37
BIO DD 2 MOD 16-18%	42.7

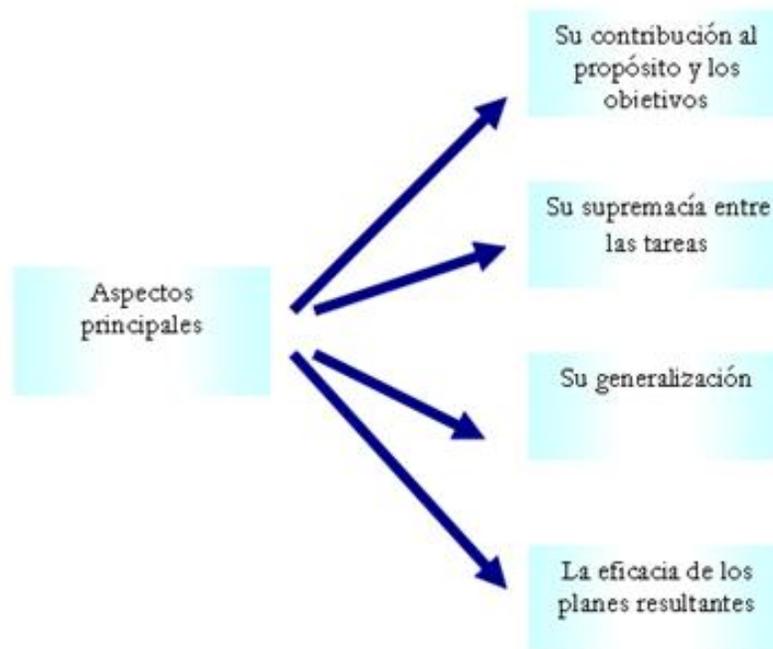
**Tabla 12.** Ensayos de Daphnia magna, [28].

## II. Implementación del laboratorio

---

El eje de este proyecto, es el análisis de la relación de fenómenos de desgaste, fricción y lubricación, mediante el diseño de materiales (apuntes, publicaciones, conferencias, seminarios) y el diseño y fabricación de equipo didáctico, para elevar el nivel de enseñanza en la carrera de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Industrial, Ingeniería Eléctrica, lo que con llevara al desarrollo e innovación tecnológica que el país requiere.

La planeación consiste en fijar el curso concreto de acción que ha de seguirse, estableciendo los principios que habrán de orientarlo, la secuencia de operaciones para realizarlo, y la determinación de tiempos y números necesarios para su realización, [32].



**Figura 56.** Aspectos principales de la planeación, [31].

Es posible resaltar la naturaleza esencial de la planeación al examinar sus cuatro aspectos principales, figura 56.

La planeación y el control son inseparables, son los gemelos idénticos de la administración. Cualquier intento de controlar sin planes carece de sentido, ya que no hay forma de que las personas sepan si van en la dirección correcta (resultado de la tarea de control), a no ser que primero sepan a dónde quieren ir (parte de la tarea de planificación). Así, los planes proporcionan los estándares de control.

Razones por las cuales es importante la planeación:

- Propicia el desarrollo de la empresa al establecer métodos de utilización racional de los recursos.
- Reduce los niveles de incertidumbre que se pueden presentar en el futuro, más no los elimina.
- Prepara a la empresa para hacer frente a las contingencias que se presenten, con las mayores garantías de éxito.
- Mantiene una mentalidad futurista teniendo más visión del porvenir y un afán de lograr y mejorar las cosas.
- Condiciona a la empresa al ambiente que lo rodea.
- Establece un sistema racional para la toma de decisiones, evitando las corazonadas o empirismo.
- Reduce al mínimo los riesgos y aprovecha al máximo las oportunidades.
- Las decisiones se basan en hechos y no en emociones.
- Promueve la eficiencia al eliminar la improvisación.
- Proporciona los elementos para llevar a cabo el control.

- Al establecer un esquema o modelo de trabajo (plan), suministra las bases a través de las cuales operará la empresa.
- Disminuye al mínimo los problemas potenciales y proporciona al administrador magníficos rendimientos de su tiempo y esfuerzo.
- Permite al ejecutivo evaluar alternativas antes de tomar una decisión

## **II. 1. Asignaturas y profesionales beneficiarios**

Cabe destacar que el proyecto beneficiara el desarrollo de competencia de los alumnos en el campo de la tribología, ya que esta temática impacta directamente en las asignaturas de Tecnología de Materiales I, Tecnología de Materiales II, Diseño de Máquinas, Conformado de Materiales, Procesos de Corte de Materiales, Diseño de Elementos de Máquinas, Tribología, ciencia y tecnología de materiales, esta ultima una de las asignaturas propuestas en el nuevo plan de estudios de las carreras mecánica e industrial, que ya fue aprobado.

Asimismo, con la elaboración de material didáctico el personal docente que imparte dichas asignaturas contara con referencias de investigación actualizadas para facilitar el proceso enseñanza-aprendizaje.

Con lo cual se dará respuesta a la currícula de ingeniería y al perfil de egreso que se planteó en el diseño de los nuevos. Planes de Estudio de las Ingenierías en la Facultad de Estudios Superiores Aragón, aprobados en el año 2007.

### **II.1.1. Problemática actual**

La tribología es un campo de investigación y aplicación, relativamente nuevo, poco conocida por los no especialistas, que implica una interdisciplinariedad estrecha entre físicos, químicos, hidrodinámicos y sobre todos ingenieros, teniendo un desarrollo considerable en el transcurso de las últimas décadas.

Desarrollo que se ha visto impulsado por la complejidad y la creciente sofisticación de la ingeniería de los sistemas utilizados en múltiples sectores (transporte, espacio, tecnologías medicas) obligando así a los involucrados a centrar sus investigaciones en mejorar el comportamiento tribológico de los materiales, ya que son especialmente importantes en términos de seguridad, fiabilidad, consecuentes y sobre todo ahorra de energía.

Por otro lado, los avances de la tribología se deben igualmente a la emergencia de herramientas tecnológicas cada vez más especializados en su análisis y a la manipulación de la materia.

Estas se refieren en concreto al campo de la deposición de las películas finas y de la formulación de los lubricantes: microscopía electrónica, óptica de efecto túnel, rayos x, espectrografía y plasmas de alta energía entre otros.

Así, en la actualidad se estudia y analiza tanto la resistencia que se presentan los diferentes tipos de materiales con base en la fricción y el desgaste resultante por su interacción, así como la optimización de los rendimientos de la transmisión de potencia por los sistemas mecánicos y la lubricación compleja e indispensable que necesitan, constituyendo así a la tribología como una disciplina científica y tecnológica especializada.

### **II.1.2. Problema educativo**

Es importante mencionar que en los planes de Estudio de las carreras de ingeniería mecánica, eléctrica e industrial, de la FES Aragón que se tenían desde su inicio, no contemplaban una asignatura específica denominada tribología, ni mucho menos se tenían líneas de investigación en dicho campo.

Debido a ello los alumnos egresados no desarrollaron sus competencias en aspectos tan relevantes como es el estudio de materiales tribológicos, teniendo un desconocimiento de cómo reducir las cuantiosas pérdidas económicas por el inadecuado manejo de materiales en el diseño de sistemas mecánicos.

Afortunadamente con la actualización de los planes de estudio de las ingenierías, que ya contemplan a la tribología como una asignatura de especialización, se podría abordar dicha temática y con ello implementar todo el material que se elaborara en este proyecto.

### **II.1.3. Contribución del proyecto (beneficios y alcances)**

Es importante mencionar que los beneficios y alcances de este proyecto son el vincular a profesores y estudiantes en proyectos de investigación en el campo de la tribología, integrando así las diferentes áreas que conforman la facultad.

Teniendo con ello un impacto estratégico en el proceso de enseñanza y aprendizaje, ya que al programar espacios para realizar actividades conjuntas de profesores y estudiantes, se promoverá la investigación tribológica, la difusión de resultados, en una nueva visión en el modelo educativo actual, la investigación articulada directamente con la enseñanza.

#### **Objetivos:**

##### **General:**

- a) Impulsar la formación de recursos en las carreras de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Industrial e Ingeniería Electrónica, mediante el estudio de aspectos relacionados con la tribología y de esta forma proponer, a partir del entendimiento teórico del fenómeno y de la investigación descriptiva y experimental, la intervención de los problemas generados en las industrias ocasionados por dicho fenómeno.

##### **Particulares:**

- a) Comprender a través del estudio, aspectos teóricos relacionados con la tribología.
- b) Elaborar material de apoyo docente.
- c) Participar en los labores docentes de la FES Aragón y coadyuvar en la formación de profesores.

- d) Fundamentar la docencia y extensión de los procesos de investigación aplicada.
- e) Fomentar la capacidad creativa e investigadora de los estudiantes.
- f) Desarrollar las competencias de los alumnos en el campo de la tribología.
- g) Impulsar el estudio de nuevas líneas de enseñanza y aprendizaje que permitan ampliación de cobertura.
- h) Trabajar conjuntamente con grupos de investigación en el país y el exterior.
- i) Diseño de equipo didáctico (simulador).
- j) Actualización bibliográfica.

#### **II.1.4. Hipótesis o Lineamientos**

Debido a que en la actualidad no se cuenta con un campo de investigación en la carrera de ingeniería sobre la temática tribología, se plantea que los lineamientos básicos sean los siguientes:

- Colaborar con las plantilla de profesores de la FES Aragón para difundir los aspectos teóricos relacionados con la tribología.
- Difusión de la temática de tribología dentro de la FES Aragón a alumnos y profesores, mediante apuntes, libros, artículos e investigaciones.
- Desarrollar las competencias de los alumnos en el campo de la tribología, mediante el desarrollo de proyectos de investigación básica y aplicada,

conjuntamente con grupos de investigación reconocidos en el país y el exterior.

- Obtención de equipo adicional que facilite el proceso enseñanza-aprendizaje de los fenómenos involucrados, fricción, desgaste y lubricación.
- Asistir a congresos, talleres y cursos relacionados con el campo tribológico para la actualización permanente.
- Generar tesis referente al acampo de estudio

## **II.2.Elementos necesarios para la implementación de un laboratorio**

Todo laboratorio debe tener ciertas características en cuanto su ubicación, la forma de las instalaciones, iluminación, medidas de seguridad, etcétera, para que cumpla con los objetivos previamente establecidos y se labore en el, de manera armoniosa y segura. A continuación se mencionaran las características que deberá tener el laboratorio de tribología.

### **II.2.1. Distribución**

Aunque el diseño final del laboratorio sea obra de arquitectos e ingenieros, el personal de análisis debe participar en algunas de las decisiones que afectarán en definitiva a su entorno de trabajo y a las condiciones en que éste se desarrolla. En este capítulo se exponen varios aspectos que deberán tener en cuenta para el diseño de este laboratorio.

La distribución de planta es aquella donde esta ordenado todos las áreas especificas de un planta ya sea industrial o de otro giro por lo que es importante reconocer que la distribución de planta orienta al ahorro de recursos, esfuerzos y otras demandas ya que esta tiene distribuido todas sus áreas.

Se entiende por distribución:

- “La ordenación física de los elementos industriales. Esta ordenación, ya practicada o en proyecto, incluye, tanto los espacios necesarios para el movimiento de materiales, almacenamiento, trabajadores indirectos y todas las otras actividades o servicios, así como el equipo de trabajo y el personal de taller “, [33].
- “Proceso para determinar la mejor ordenación de los factores disponibles”, [37]

Objetivos:

- a) Reducción del riesgo para la salud y aumento de la seguridad de los trabajadores.
- b) Elevación de la moral y satisfacción del obrero.
- c) Incremento de la producción y disminución en los retrasos de la producción.
- d) Ahorro de área ocupada.
- e) Reducción del material en proceso.
- f) Acortamiento del tiempo de fabricación.
- g) Disminución de la congestión o confusión.
- h) Mayor facilidad de ajuste a los cambios de condiciones.

#### **II.2.1.1. Intereses de la distribución de planta**

Los laboratorios son lugares en los que se manipulan productos químicos o agentes biológicos peligrosos, lo que sumado a las operaciones específicas que se realizan, hace que normalmente presenten un determinado nivel de riesgo, tanto para la salud como para el medio ambiente, por ello se debe tomar en cuenta los intereses que trae distribuirlos correctamente:

- Interés Económico: con el que persigue aumentar la producción, reducir los costos, satisfacer al cliente mejorando el servicio y mejorar el funcionamiento de las empresas.
- Interés Social: Con el que persigue darle seguridad al trabajador y satisfacer al cliente.

Una buena distribución en planta debe cumplir con seis principios los que se listan a continuación:

- Principio de la Integración de conjunto. La mejor distribución es la que integra las actividades auxiliares, así como cualquier otro factor, de modo que resulte el compromiso mejor entre todas las partes.
- Principio de la mínima distancia recorrida a igual de condiciones. Es siempre mejor la distribución que permite que la distancia a recorrer por el material entre operaciones sea más corta.
- Principio de la circulación o flujo de materiales. En igualdad de condiciones, es mejor aquella distribución o proceso que este en el mismo orden a secuencia en que se transforma, tratan o montan los materiales.
- Principio de espacio cúbico. La economía se obtiene utilizando de un modo efectivo todo el espacio disponible, tanto vertical como horizontal.
- Principio de la satisfacción y de la seguridad: A igual de condiciones, será siempre más efectiva la distribución que haga el trabajo más satisfactorio y seguro para los productores.
- Principio de la flexibilidad: Al igual de condiciones, siempre será más efectiva la distribución que pueda ser ajustada o reordenada con menos costo o inconvenientes.

Por estos motivos, aspectos como su ubicación, su distribución o su diseño, son fundamentales en el riesgo que presentan en un laboratorio. Se deben indicar aquellos aspectos constructivos y de distribución que deben tenerse en cuenta para lograr un adecuado nivel de protección en el laboratorio, considerando las necesidades y actividad del mismo.

En consecuencia, cuando se proyecta un laboratorio nuevo o bien se reforma uno ya existente deben conjugarse su ubicación, situación y espacio disponible con los aspectos relativos a la protección de la salud y el medio ambiente, así como con la actividad y funcionalidad del laboratorio.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que los problemas derivados de una construcción y ubicación inadecuadas difícilmente son superables posteriormente. Muchos edificios en los que se decide ubicar un laboratorio no son aptos para ello, debiéndose descartar, ya a nivel de proyecto, su instalación en los mismos.

Como ya se mencionó anteriormente por la disponibilidad de espacio y complementación del equipo existente se ha tomado la decisión de implementar el laboratorio tribológico dentro del laboratorio de comportamiento de materiales dentro del Centro Tecnológico Aragón.

A lo comentado en el apartado anterior deben añadirse las exigencias o requisitos fijados por las reglamentaciones existentes dentro de la UNAM que, tanto de manera directa como indirecta, condicionan aspectos concretos relacionados con la seguridad y la salud en los laboratorios, como se menciona a continuación:

Reglamento de:

- General del servicio público de gases combustibles.
- Aparatos a presión.
- Aparatos de elevación y manutención.
- Seguridad en máquinas.
- Instalaciones térmicas en los edificios.
- Electrotécnico de baja tensión.
- Almacenamiento de productos químicos
- Norma básica de la edificación.
- Instalaciones de protección contra incendios.
- Protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.
- Seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Seguridad para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

La adecuada ubicación y una correcta distribución son factores que contribuyen de manera decisiva en el grado de protección, tanto para la salud como para el medio ambiente, de un laboratorio.

Con esto se busca la reducción del riesgo para la salud y aumento de la seguridad de los trabajadores. Un laboratorio es siempre un lugar con un riesgo más elevado que el de las áreas adyacentes. Una manera de reducir el riesgo es mediante una ubicación, diseño y distribución adecuada, las necesidades de información más frecuentes se mencionan a continuación:

- Número de laboratorios o de unidades de laboratorio necesarias

- Actividad del laboratorio y de cada una de las unidades
- Cantidad y peligrosidad de los productos utilizados
- Número de personas que trabajan o pueden estar presentes en el laboratorio
- Necesidades específicas en materia de ventilación, iluminación, electricidad, gases, etcétera.
- Locales complementarios

Es importante considerar las condiciones físicas del edificio donde se ubicara el laboratorio, por ello se debe analizar la estructura de este ya que según la ubicación del laboratorio dentro de este tendrá ciertas ventajas, así como inconvenientes, los cuales se muestran en la tabla 13.

<b>Nº de Plantas del Edificio</b>	<b>Situación del laboratorio</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
Más de tres plantas	Planta baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Fácil aprovisionamiento.</li> <li>-Fácil evacuación del personal.</li> <li>-Fácil evacuación de residuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Difícil evacuación de las plantas superiores.</li> <li>-Largos y costosos sistemas de extracción.</li> <li>-Fácil propagación del humo y del fuego a las plantas superiores.</li> </ul>
	Planta alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Fácil y económico sistema de extracción.</li> <li>-Lenta propagación del fuego en el edificio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Difícil evacuación del personal.</li> <li>-Difícil aprovisionamiento.</li> <li>-Peligro de escapes incontrolados a plantas inferiores.</li> <li>-Difícil evacuación de residuos.</li> <li>-Problemas en transporte, almacenamiento y utilización de gases a presión.</li> </ul>
Una sola planta		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Fácil evacuación.</li> <li>-Mínimas vibraciones.</li> <li>-Facilidad de disponer de un almacén separado.</li> <li>-Mayor capacidad de adaptación al entorno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ocupan mucho espacio.</li> <li>-Redes de distribución y servicios muy costosas.</li> <li>-Desplazamientos horizontales largos.</li> </ul>

**Tabla 13.** Situación del laboratorio en el edificio, [29].

### **II.2.1.2. Tipos de distribución de planta**

Fundamentalmente existen siete sistemas de distribución en planta:

#### **a. Movimiento de material:**

Probablemente el elemento fundamental de proceso. El material se mueve de un lugar de trabajo a otro, de una operación a la siguiente. Ejemplo: Planta de embotellado, refinería de petróleo, fábrica de automóviles, etc.

#### **b. Movimiento del hombre:**

Los operarios se mueven de un lugar de trabajo al siguiente, llevando a cabo las operaciones necesarias sobre cada pieza de material. Esto raramente ocurre sin que los hombres lleven consigo maquinaria (al menos sus herramientas). Ejemplo: Estibado de material en almacén, mezcla de material en hornos de tratamientos o en cubas.

#### **c. Movimiento de maquinaria:**

El trabajador mueve diversas herramientas o máquinas dentro de un área de trabajo para actuar sobre una pieza grande. Ejemplo: Máquina de soldar portátil. Forja portátil, etc.

#### **d. Movimiento de material y de hombres:**

El hombre se mueve con el material llevando a cabo una cierta operación en cada máquina o lugar de trabajo. Ejemplo: Instalación de piezas especiales en una cadena de producción.

#### **e. Movimiento de material y de maquinaria:**

Los materiales y la maquinaria o herramientas van hacia los hombres que llevan a cabo la operación. Raramente práctico, excepto en lugares de trabajo individuales. Ejemplo: Herramientas y equipo moviéndose a través de una serie de operaciones de mecanización.

#### **f. Movimiento de hombres y de maquinaria:**

Los trabajadores se mueven con la herramienta y el equipo generalmente alrededor de una gran pieza fija. Ejemplo: Pavimentación de una autopista.

#### **g. Movimiento de materiales, hombres y maquinaria:**

Generalmente es demasiado caro e innecesario el mover los tres elementos. Ejemplo: Ciertos tipos de trabajo de montaje, en los que las herramientas y materiales son de pequeño tamaño.

### **II.2.1.3. Tipos clásicos de distribución**

#### **a) Distribución por posición fija:**

Se trata de una distribución en la que el material o el componente permanecen en lugar fijo. Todas las herramientas, maquinaria, hombres y otras piezas del material concurren a ella. Ejemplo: construcción de un puente, un edificio, un barco de alto tonelaje.

### **Ventajas:**

- Se reduce la manipulación de la unidad principal de montaje y se incrementa la manipulación o transporte de las piezas al punto de montaje.
- La responsabilidad de la calidad se fija sobre una persona, debido a que los operarios son altamente especializados.
- Alta flexibilidad para adaptarse a variantes de un producto e incluso a una diversidad de productos.

### **Desventajas:**

- Ocupación de un gran espacio.
- Mantenimiento de las piezas hasta el emplazamiento principal de montaje.
- Complejo para utilizar con equipos difíciles de mover.

### **b) Distribución por proceso o por fusión:**

En ella todas las operaciones del mismo proceso están agrupadas. Ejemplo: hospitales: pediatría, maternidad, cuidados intensivos.

### **Ventajas:**

- Flexibilidad en el proceso vía versatilidad de equipos y personal calificado.

- Mayor fiabilidad en el sentido de que las averías de una máquina no tienen por qué detener todo el proceso.
- La diversidad de tareas asignadas a los trabajadores reduce la insatisfacción y desmotivación.

### **Desventajas:**

- Los pedidos se mueven más lentamente a través del sistema, debido a la dificultad de programación, reajuste de los equipos, manejo de materiales.
- Los inventarios del proceso de fabricación son mayores debido al desequilibrio de los procesos de producción (el trabajo suele quedar en espera entre las distintas tareas del proceso).
- Baja productividad dado que cada trabajo o pedido puede ser diferente, requiriendo distinta organización y aprendizaje por parte de los operarios.

### **c) Distribución en línea o por producto:**

En esta, producto o tipo de producto se realiza en un área, pero al contrario de la distribución fija. El material está en movimiento, [37]. Ejemplo: Manufactura de pequeños aparatos eléctricos: tostadoras, planchas, batidoras; Aparatos mayores: lavadoras, refrigeradoras, cocinas; Equipo electrónico: computadoras, equipos de discos compactos; y Automóviles.

### **Ventajas:**

- El trabajo se mueve siguiendo rutas mecánicas directas, lo que hace que sean menores los retrasos en la fabricación.

- Menos manipulación de materiales debido a que el recorrido a la labor es más corto sobre una serie de máquinas sucesivas, contiguas ó puestos de trabajo adyacentes.
- Estrecha coordinación de la fabricación debido al orden definido de las operaciones sobre máquinas contiguas. Menos probabilidades de que se pierdan materiales o que se produzcan retrasos de fabricación.
- Tiempo total de producción menor. Se evitan las demoras entre máquinas.
- Menores cantidades de trabajo en curso, poca acumulación de materiales en las diferentes operaciones y en el tránsito entre éstas.
- Menor superficie de suelo ocupado por unidad de producto debido a la concentración de la fabricación.
- Cantidad limitada de inspección, quizá solamente una antes de que el producto entre en la línea, otra después que salga de ella y poca inspección entre ambos puntos.
- Control de producción muy simplificado. El control visual reemplaza a gran parte del trabajo de papeleo. Menos impresos y registros utilizados. La labor se comprueba a la entrada a la línea de producción y a su salida. Pocas órdenes de trabajo, pocos boletos de inspección, pocas órdenes de movimiento, etc. menos contabilidad y costos administrativos más bajos.
- Se obtiene una mejor utilización de la mano de obra debido a: que existe mayor especialización del trabajo.

## **Desventajas:**

- Elevada inversión en máquinas debido a sus duplicidades en diversas líneas de producción.
- Menos flexibilidad en la ejecución del trabajo porque las tareas no pueden asignarse a otras máquinas similares, como en la disposición por proceso.
- Menos pericia en los operarios. Cada uno aprende un trabajo en una máquina determinada o en un puesto que a menudo consiste en máquinas automáticas que el operario sólo tiene que alimentar.
- La inspección no es muy eficiente. Los inspectores regulan el trabajo en una serie de máquinas diferentes y no son expertos en la labor de ninguna clase de ellas; que implica conocer su preparación, las velocidades, las alimentaciones, los límites posibles de su trabajo, etcétera.

Sin embargo, puesto que las máquinas son preparadas para trabajar con operarios expertos en ésta labor, la inspección, aunque abarca una serie de máquinas diferentes puede esperarse razonablemente que sea tan eficiente como si abarcara solo una clase.

- Los costos de fabricación pueden mostrar tendencia a ser más altos, aunque los de mano de obra por unidad, quizás sean más bajos debido a los gastos generales elevados en la línea de producción. .
- Peligro que se pare toda la línea de producción si una máquina sufre una avería. A menos de que haya varias máquinas de una misma clase: son necesarias reservas de máquina de reemplazo o que se hagan reparaciones urgentes inmediatas para que el trabajo no se interrumpa.

### **Cuando se recomienda:**

- Cuando se fabrique una pequeña variedad de piezas o productos.
- Cuando difícilmente se varía el diseño del producto.
- Cuando la demanda es constante y se tienen altos volúmenes.
- Cuando es fácil balancear las operaciones.

### **d) Distribución por grupo o por células de fabricación.**

La distribución por células de fabricación consiste en la agrupación de las distintas máquinas dentro de diferentes centros de trabajo, denominadas celdas o células, donde se realizan operaciones sobre múltiples productos con formas y procesos similares.

**Ventajas:** mejora de las relaciones de trabajo, disminución de los tiempos de fabricación y preparación, simplificación de la planificación, se facilita la supervisión y el control visual.

**Desventajas:** incremento de los costos por la reorganización, reducción de la flexibilidad, incremento de los tiempos inactivos de las máquinas.

Las ventajas de tener una buena distribución en general son:

- Disminución de las distancias a recorrer por los materiales, herramientas y trabajadores.

- Circulación adecuada para el personal, equipos móviles, materiales y productos en elaboración, etcétera.
- Utilización efectiva del espacio disponible según la necesidad.
- Seguridad del personal y disminución de accidentes.
- Localización de sitios para inspección, que permitan mejorar la calidad del producto.
- Disminución del tiempo de fabricación.
- Mejoramiento de las condiciones de trabajo e incremento de la productividad y disminución de los costos.

### **II.2.2. Altura requerida de los techos.**

Muchas técnicas modernas de producción recomiendan tener equipo suspendido y almacenamiento a una altura superior a la de la cabeza – en efecto se puede considerar a menudo que una planta está formada por dos capas, una del piso de arriba y otra del techo hacia abajo.

Además con frecuencia puede ganarse espacio temporal para almacenamiento y oficinas, si bien el efecto claustrofóbico de un techo bajo es bastante conocido. Como la altura adecuada no puede remediarse fácilmente después de terminar el inmueble y en vista de que el incremento de costos por aumento de altura es relativamente pequeño, parece irrazonable limitar muy severamente la distancia

entre piso y techo. No se considera excesiva una altura libre mínima de 18 a 20 pies, (5.48 m a 6.01m aproximadamente), [33].

El libre movimiento del personal hacia dentro y fuera de la unidad es tan importante como el libre movimiento en todo el edificio. Por tanto, se necesita saber la frecuencia prevista y el peso de todos los bienes que circularán y su entorno. Aquí es importante tratar de pronosticar por tanto tiempo como sea posible, ya que abrir nuevas puertas hacía una carretera vecina resultaría imposible o muy costoso.

### **II.2.3. Señalización**

Para la secretaría del Trabajo y Previsión Social, todo centro de trabajo dentro del territorio debe cumplir requerimientos en a los colores, señales de seguridad e higiene y la identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías. Estos requerimientos están contenidos en la norma oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008.

Es necesario que se establezca las medidas necesarias para asegurar que las señales y medidas de seguridad e higiene se sujeten a las disposiciones de la norma anteriormente citada. Para tal efecto se debe capacitar a los trabajadores para que puedan interpretar las señales y estas deben estar ubicadas en un lugar donde puedan ser observadas por los mismos, evitando ser destruidas. También es importante que se apliquen estas señalizaciones, [30].

El uso de señales de seguridad e higiene es obligatorio para cualquier empresa, sin embargo, se debe evitar su uso indiscriminado, es decir, las señales no deben estar tan juntas para que puedan ser percibidas de la mejor manera. Las señales

de seguridad e higiene deben cumplir ciertos puntos que se mencionan a continuación:

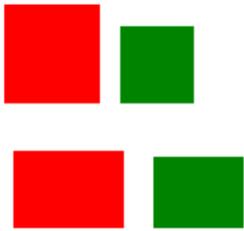
- Atraer la atención de los trabajadores a los que está destinado el mensaje específico.
- Ser claras y facilitar su interpretación.
- Informar sobre la acción a seguir en cada caso y ser factible de cumplirse en la práctica.

COLOR DE SEGURIDAD	SIGNIFICADO	INDICACIONES Y PRECISIONES
<b>ROJO</b>	PARO	Alto y dispositivos de desconexión para emergencias.
	PROHIBICIÓN	Señalamientos para prohibir acciones específicas.
	MATERIAL, EQUIPO Y SISTEMAS PARA COMBATE DE INCENDIOS	Identificación y localización.
<b>AMARILLO</b>	ADVERTENCIA DE PELIGRO	Atención, precaución, verificación. Identificación de fluidos peligrosos.
	DELIMITACIÓN DE ÁREAS	Límites de áreas restringidas o de usos específicos.
	ADVERTENCIA DE PELIGRO POR RADIACIONES IONIZANTES	Señalamiento para indicar la presencia de material radiactivo.
<b>VERDE</b>	CONDICIÓN SEGURA	Identificación de tuberías que conducen fluidos de bajo riesgo. Señalamientos para indicar salidas de emergencia, rutas de evacuación, zonas de seguridad y primeros auxilios, lugares de reunión, regaderas de emergencia, lavajos, entre otros.
<b>AZUL</b>	OBLIGACIÓN	Señalamientos para realizar acciones específicas.

**Tabla 14.** Colores de seguridad, su significado e indicaciones y precisiones, [30].

En la norma NOM-114-STPS-1994, se establecen los colores de seguridad y contrastes, así como su significado, por ejemplo se incluye la tabla 14, en donde se pueden apreciar algunos colores con su significado. En la tabla 15 se incluye las formas geométricas que deben tener las señales y su significado o forma de

uso, estas son indispensables para evitar accidentes dentro del laboratorio, así como una lesión a largo plazo.

SIGNIFICADO	FORMA GEOMÉTRICA	DESCRIPCIÓN DE FORMA GEOMÉTRICA	UTILIZACIÓN
PROHIBICIÓN		CIRCULO CON BANDA CIRCULAR Y BANDA DIAMETRAL OBLICUA A 45° CON LA HORIZONTAL, DISPUESTA DE LA PARTE SUPERIOR IZQUIERDA A LA INFERIOR DERECHA.	PROHIBICIÓN DE UNA ACCIÓN SUSCEPTIBLE DE PROVOCAR UN RIESGO
OBLIGACIÓN		CIRCULO	DESCRIPCIÓN DE UNA ACCIÓN OBLIGATORIA
PRECAUCIÓN		TRIÁNGULO EQUILÁTERO. LA BASE DEBERÁ SER PARALELA A LA HORIZONTAL	ADVIERTE DE UN PELIGRO
INFORMACIÓN		CUADRADO O RECTÁNGULO. LA BASE MEDIRÁ ENTRE UNA A UNA Y MEDIA VECES LA ALTURA Y DEBERÁ SER PARALELA A LA HORIZONTAL	PROPORCIONA INFORMACIÓN PARA CASOS DE EMERGENCIA

**Tabla 15.** Formas geométricas para señales de seguridad e higiene y su significado, [30].

INDICACIÓN	CONTENIDO DE IMAGEN DEL SÍMBOLO	EJEMPLO
INDICACIÓN GENERAL DE OBLIGACIÓN	SIGNO DE ADMIRACIÓN	
USO OBLIGATORIO DE CASCO	CONTORNO DE CABEZA HUMANA, PORTANDO CASCO	
USO OBLIGATORIO DE PROTECCIÓN AUDITIVA	CONTORNO DE CABEZA HUMANA PORTANDO PROTECCIÓN AUDITIVA.	
USO OBLIGATORIO DE PROTECCIÓN OCULAR	CONTORNO DE CABEZA HUMANA PORTANDO ANTEOJOS	
USO OBLIGATORIO DE CALZADO DE SEGURIDAD	UN ZAPATO DE SEGURIDAD	
USO OBLIGATORIO DE GUANTES DE SEGURIDAD	UN PAR DE GUANTES	

**Tabla 16.** Señales de obligación, [30].

En la tabla 17 se pueden apreciar las señales de prohibición establecidas por la norma, así como en la tabla 18 se pueden ver ejemplos de las señales empleadas en caso de incendio, también en la tabla 19 se puede observar las señales de precaución.

INDICACIÓN	CONTENIDO DE IMAGEN DEL SÍMBOLO	EJEMPLO
PROHIBIDO FUMAR	CIGARRILLO ENCENDIDO	
PROHIBIDO GENERAR LLAMA ABIERTA E INTRODUCIR OBJETOS INCANDESCENTES	CERILLO ENCENDIDO	
PROHIBIDO EL PASO	SILUETA HUMANA CAMINANDO	

**Tabla 17.** Señales de prohibición, [30].

INDICACIÓN	CONTENIDO DE IMAGEN DEL SÍMBOLO	EJEMPLO
UBICACIÓN DE UN EXTINTOR.	SILUETA DE UN EXTINTOR CON FLECHA DIRECCIONAL.	
UBICACIÓN DE UN HIDRANTE.	SILUETA DE UN HIDRANTE CON FLECHA DIRECCIONAL.	

**Tabla 18.** Señales para equipo a utilizar en caso de incendio, [30].

INDICACIÓN	CONTENIDO DE IMAGEN DEL SÍMBOLO	EJEMPLO
INDICACIÓN GENERAL DE PRECAUCIÓN	SIGNO DE ADMIRACIÓN	
PRECAUCIÓN, SUSTANCIA TOXICA	CRÁNEO HUMANO DE FRENTE CON DOS HUESOS LARGOS CRUZADOS POR DETRÁS	
PRECAUCIÓN, SUSTANCIAS CORROSIVAS	UNA MANO INCOMPLETA SOBRE LA QUE UNA PROBETA DERRAMA UN LIQUIDO. EN ESTE SÍMBOLO PUEDE AGREGARSE UNA BARRA INCOMPLETA SOBRE LA QUE OTRA PROBETA DERRAMA UN LIQUIDO	
PRECAUCIÓN, MATERIALES INFLAMABLES Y COMBUSTIBLES	IMAGEN DE FLAMA	
PRECAUCIÓN, MATERIALES OXIDANTES Y COMBURENTES	CORONA CIRCULAR CON UNA FLAMA	
PRECAUCIÓN, MATERIALES CON RIESGO DE EXPLOSIÓN	UNA BOMBA EXPLOTANDO	
ADVERTENCIA DE RIESGO ELÉCTRICO	FLECHA QUEBRADA EN POSICIÓN VERTICAL HACIA ABAJO	
RIESGO POR RADIACIÓN LASER	LÍNEA CONVERGIENDO HACIA UNA IMAGEN DE RESPLANDOR	
ADVERTENCIA DE RIESGO BIOLÓGICO	CIRCUNFERENCIA Y TRES MEDIAS LUNAS	

Tabla 19. Señales de precaución, [30]

Finalmente, en la tabla 20 se pueden ver las señales que sirven para ubicar las salidas de emergencia, las instalaciones de primeros auxilios, etcétera.

Se debe asegurar que toda el área de trabajo cuente con la señalización correspondiente, ubicando de manera estratégica, los letreros pertinentes en cada área, de acuerdo a las recomendaciones contenidas en este documento y a la norma oficial mexicana aplicable.

INDICACIÓN	CONTENIDO DE IMAGEN DEL SÍMBOLO	EJEMPLO
UBICACIÓN DE UNA SALIDA DE EMERGENCIA	SILUETA HUMANA AVANZANDO HACIA UNA SALIDA DE EMERGENCIA INDICANDO CON FLECHA DIRECCIONAL EL SENTIDO REQUERIDO	
UBICACIÓN DE UNA REGADERA DE EMERGENCIA	SILUETA HUMANA BAJO UNA REGADERA Y FLECHA DIRECCIONAL	
UBICACIÓN DE ESTACIONES Y BOTIQUÍN DE PRIMEROS AUXILIOS	CRUZ GRIEGA Y FLECHA DIRECCIONAL	
UBICACIÓN DE UN LAVAOJOS	CONTORNO DE CABEZA HUMANA INCLINADA SOBRE UN CHORRO DE AGUA DE UN LAVAOJOS, Y FLECHA DIRECCIONAL	

**Tabla 20.** Señales que indican ubicación de salidas de emergencia y de instalaciones de primeros auxilios, [30].

## **II.2.4. Iluminación**

La NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008 establece las condiciones de iluminación en los centros de trabajo. El objetivo de esta norma es establecer los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores.

Para determinar las áreas y tareas visuales de los puestos de trabajo debe recabarse y registrarse la información del reconocimiento de las condiciones de iluminación de las áreas de trabajo, así como de las áreas donde exista una iluminación deficiente o se presente deslumbramiento y, posteriormente, conforme se modifiquen las características de las luminarias o las condiciones de iluminación del área de trabajo, con los datos siguientes:

- a) Distribución de las áreas de trabajo, del sistema de iluminación (número, potencia y distribución de luminarias), de la maquinaria y del equipo de trabajo;
- b) Descripción del área iluminada: colores y tipo de superficies del local o edificio;
- c) Descripción de las tareas visuales y de las áreas de trabajo, de acuerdo con la Tabla 13.
- d) Descripción de los puestos de trabajo que requieren iluminación localizada.

Los niveles mínimos de iluminación que deben incidir en el plano de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo, son los establecidos en la tabla 21.

<b>Tarea Visual del Puesto de Trabajo</b>	<b>Área de Trabajo Niveles Mínimos de</b>	<b>Iluminación (luxes)</b>
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y Estacionamientos	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: <ul style="list-style-type: none"> <li>• De bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados;</li> <li>• Exactas y muy prolongadas, y</li> <li>• Muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño.</li> </ul>	2000

**Tabla 21.** Niveles de iluminación, [34].

La iluminación está dada en luxes, el lux (símbolo lx) es la unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación. Equivale a un lumen /m<sup>2</sup>, [34]. Debe haber un reconocimiento para identificar aquellas áreas del centro de trabajo y las tareas visuales asociadas a los puestos de trabajo, asimismo, identificar aquéllas donde exista una iluminación deficiente o exceso de iluminación que provoque deslumbramiento.

Para lo anterior, se debe realizar un recorrido por todas las áreas del centro de trabajo donde los trabajadores realizan sus tareas visuales, y considerar, en su caso, los reportes de los trabajadores, así como recabar la información técnica.

#### **II.2.4.1. Lámparas y luminarias**

Las lámparas empleadas en iluminación de interiores abarcan casi todos los tipos existentes en el mercado (incandescentes, halógenas, fluorescentes, etcétera), como se puede ver en la tabla 22.

La elección de las luminarias está condicionada por la lámpara utilizada y el entorno de trabajo de esta. Hay muchos tipos de luminarias y sería difícil hacer una clasificación exhaustiva. La forma y tipo de las luminarias oscilará entre las más funcionales donde lo más importante es dirigir el haz de luz de forma eficiente como pasa en el alumbrado industrial a las más formales donde lo que prima es la función decorativa como ocurre en el alumbrado doméstico.

Las luminarias para lámparas incandescentes tienen su ámbito de aplicación básico en la iluminación doméstica. Por lo tanto, predomina la estética sobre la eficiencia luminosa. Sólo en aplicaciones comerciales o en luminarias para

iluminación suplementaria se buscará un compromiso entre ambas funciones, ya que algunas lámparas pueden producir deslumbramientos.

Las lámparas escogidas, por lo tanto, serán aquellas cuyas características (fotométricas, cromáticas, consumo energético, economía de instalación y mantenimiento, etcétera) mejor se adapte a las necesidades y características de cada instalación (nivel de iluminación, dimensiones del local, ámbito de uso, potencia de la instalación, etcétera), [35].

<b>Ámbito de uso</b>	<b>Tipos de lámparas más utilizados</b>
Doméstico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incandescente</li> <li>• Fluorescente</li> <li>• Halógenas de baja potencia</li> <li>• Fluorescentes compactas</li> </ul>
Oficinas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alumbrado general: fluorescentes</li> <li>• Alumbrado localizado: incandescentes y halógenas de baja tensión</li> </ul>
Comercial (Depende de las dimensiones y características del comercio)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incandescentes</li> <li>• Halógenas</li> <li>• Fluorescentes</li> <li>• Grandes superficies con techos altos: mercurio a alta presión y halogenuros metálicos</li> </ul>
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos los tipos</li> <li>• Luminarias situadas a baja altura (<math>\leq 6</math> m): fluorescentes</li> <li>• Luminarias situadas a gran altura (<math>&gt;6</math> m): lámparas de descarga a alta presión montadas en proyectores</li> <li>• Alumbrado localizado: incandescentes</li> </ul>
Deportivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luminarias situadas a baja altura: fluorescentes</li> <li>• Luminarias situadas a gran altura: lámparas de vapor de mercurio a alta presión, halogenuros metálicos y vapor de sodio a alta presión</li> </ul>

**Tabla 22.** Tipos de lámparas más utilizados, [35].

En segundo lugar tenemos las luminarias para lámparas fluorescentes. Se utilizan mucho en oficinas, comercios, centros educativos, almacenes, industrias con techos bajos, etcétera, por su economía y eficiencia luminosa. Así pues, nos encontramos con una gran variedad de modelos que van de los más simples a los más sofisticados con sistemas de orientación de la luz y apantallamiento (modelos con rejillas cuadradas o transversales y modelos con difusores).

Por último tenemos las luminarias para lámparas de descarga a alta presión. Estas se utilizan principalmente para colgar a gran altura (industrias y grandes naves con techos altos) o en iluminación de pabellones deportivos, aunque también hay modelos para pequeñas alturas. En el primer caso se utilizan las luminarias intensivas y los proyectores y en el segundo las extensivas.

#### II.2.4.2. Método de los lúmenes

La finalidad de este método es calcular el valor medio en servicio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Es muy práctico y fácil de usar, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores cuando la precisión necesaria no es muy alta como ocurre en la mayoría de los casos.

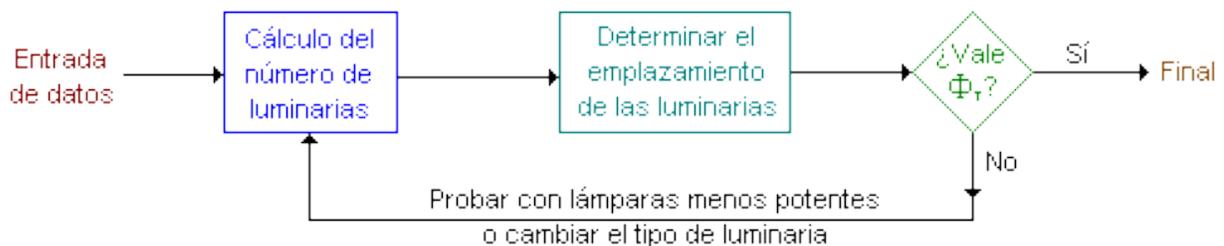
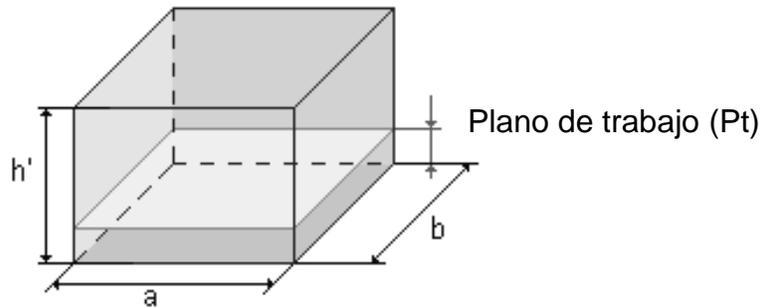


Figura 57. Método lúmenes, [35].

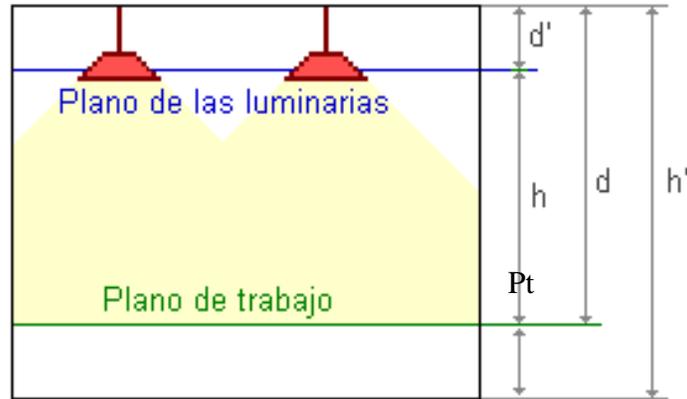
**Datos a recopilar:**

- a) Dimensiones del local y la altura del plano de trabajo (la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo), normalmente de 0.85 m, figura 58.



**Figura 58.** Representación del local, [35].

- b) Determinar el nivel de iluminancia media ( $E_m$ ). Este valor depende del tipo de actividad a realizar en el local y podemos encontrarlos tabulados en las normas y recomendaciones que aparecen más adelante.
- c) Escoger el tipo de lámpara (incandescente, fluorescente...) más adecuada de acuerdo con el tipo de actividad a realizar.
- d) Escoger el sistema de alumbrado que mejor se adapte a nuestras necesidades y las luminarias correspondientes.
- e) Determinar la altura de suspensión de las luminarias según el sistema de iluminación escogido, figura 59.



**Figura 59.** Representación de planos en el local de trabajo, [35].

Donde:

$h$  = altura entre el plano de trabajo y las luminarias

$h'$  = altura del local

$d$  = altura del plano de trabajo al techo

$d'$  = altura entre el techo y las luminarias

- f) Para determinar la altura de las luminarias una vez determinado el tipo de local o se procede al calcular la altura de las luminarias, con las ecuaciones que se explican a continuación:

En los locales de altura normal como viviendas, escuelas, etcétera., se recomienda que la altura de las luminarias sea la mayor posible.

En las ecuaciones 27 y 28 permiten calcular la mínima y óptima altura de las luminarias dentro del local o habitación que tengan iluminación directa, semidirecta y difusa.

Mínimo:

$$h = \frac{2}{3} \cdot (h' - P_t) \quad \dots(27)$$

Óptimo:

$$h = \frac{4}{5} \cdot (h' - P_t) \quad \dots(28)$$

Estas ecuaciones se obtuvieron tomando en cuenta las siguientes recomendaciones en cuanto a la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo:

- Altura mínima:  $h = 2/3 h'$
- Altura aconsejable:  $h = 3/4 h'$
- Altura optima:  $h = 4/5 h'$

Mientras que las ecuaciones 29 y 30 permiten obtener en locales con iluminación indirecta la altura entre el techo y las luminarias y la altura entre el plano de trabajo y las luminarias.

$$d' \approx \frac{1}{4} \cdot (h' - P_t) \quad \dots(29)$$

$$h \approx \frac{3}{4} \cdot (h' - P_t) \quad \dots(30)$$

- g) Posteriormente se debe calcular el índice del local (k), donde k es un número comprendido entre 1 y 10. A pesar de que se pueden obtener valores mayores de 10 con la fórmula, no se consideran pues la diferencia entre usar diez o un número mayor en los cálculos es despreciable.

Para calcular (k) con un sistema de iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa se calcula con la ecuación 31 respectivamente:

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} \quad \dots(31)$$

Mientras que para calcular iluminación indirecta se obtiene mediante la ecuación 31:

$$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + P_t) \cdot (a + b)} \quad \dots(32)$$

- h) Determinar los coeficientes de reflexión de techo, paredes y suelo. Estos valores se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado. Si no disponemos de ellos, podemos tomarlos de la tabla 23.

SUPERFICIE	COLOR	FACTOR DE REFLEXIÓN (ρ)
Techo	Blanco	0,7
	Claro	0,5
	Medio	0,3
Paredes	Claro	0,5
	Medio	0,3
	Oscuro	0,1
Piso	Oscuro	0,3
	Claro	0,1

**Tabla 23.** Coeficientes de reflexión, [36].

- i) Determinar el factor de utilización (η, CU) a partir del índice del local y los factores de reflexión. Estos valores se encuentran tabulados y los suministran los fabricantes. En las tablas encontramos para cada tipo de

luminaria los factores de iluminación en función de los coeficientes de reflexión y el índice del local, tabla 24 Por ejemplo se utilizaran los valores 05 para el techo, 0.3 para las paredes y 0.1 para el suelo:

Índice del local k	Factor de utilización ( $\gamma$ )								
	Factor de reflexión del techo								
	0.7			0.5			0.3		
	Factor de reflexión de las paredes								
	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
4	.56	.52	.48	.56	.52	.48	.56	.52	.48
5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67

**Tabla 24.** Ejemplo de tabla del factor de utilización, [36].

En este caso el factor de utilización es de 0.52. Si no se pueden obtener los factores por lectura directa será necesario interpolar.

- j) Determinar el factor de mantenimiento ( $f_m$ ) o conservación de la instalación. Este coeficiente dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local. Para una limpieza periódica anual podemos tomar los siguientes valores, tabla 25.

Ambiente	Factor de mantenimiento ( $f_m$ )
Limpio	0.8
Sucio	0.6

**Tabla 25.** Ejemplo de tabla del factor de utilización, [35].

## Cálculos:

- Cálculo del flujo luminoso total necesario. Para ello aplicaremos la fórmula 32:

$$\Phi_{\tau} = \frac{E \cdot S}{\eta \cdot f_m} \quad \dots(33)$$

Donde:

$\Phi_{\tau}$ = es el flujo luminoso total

E= es la iluminancia media deseada

S= es la superficie del plano de trabajo

$\eta$ = es el factor de utilización

$f_m$ = es el factor de mantenimiento

- Para el cálculo del número de luminarias se utilizara la fórmula 34:

$$N = \frac{\Phi_{\tau}}{\eta \cdot \Phi_L} \quad \text{Redondeado por exceso} \quad \dots (34)$$

Donde:

N= es el número de luminarias

$\Phi_{\tau}$  = es el flujo luminoso total

$\Phi_L$  = es el flujo luminoso de una lámpara

n = es el número de lámparas por luminaria

Una vez hemos calculado el número mínimo de lámparas y luminarias procederemos a distribuir las sobre la planta del local. En los locales de planta rectangular las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las fórmulas, 34 y 35 respectivamente:

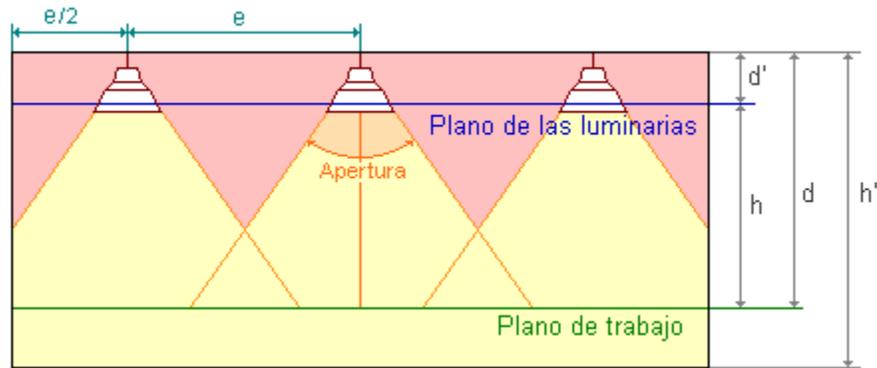
$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{Total}}}{\text{largo}} \times \text{ancho}} \quad \dots(35)$$

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} \times \left( \frac{\text{largo}}{\text{ancho}} \right) \quad \dots(36)$$

Donde:

N = es el número de luminarias

La distancia máxima de separación entre las luminarias dependerá del ángulo de apertura del haz de luz y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo, como se muestra en la figura 60:



**Figura 60.** Representación apertura del haz de luz y de la altura de las luminarias, [35].

Como puede verse fácilmente, mientras más abierto sea el haz y mayor la altura de la luminaria habrá más superficie iluminada, aunque será menor el nivel de iluminancia que llegará al plano de trabajo tal. De la misma manera, vemos que las luminarias próximas a la pared necesitan estar más cerca para iluminarla (normalmente la mitad de la distancia). Las conclusiones sobre la separación entre las luminarias las podemos resumir en la tabla 26:

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
Intensiva	> 10 m	$E \leq 1.2 h$
Extensiva	6 - 10 m	$E \leq 1.5 h$
Semiextensiva	4 - 6 m	
Extensiva	$\leq 4 m$	$E \leq 1.6 h$
Distancia pared-luminaria: $e/2$		

**Tabla 26.** Distancia recomendable entre luminarias, [36].

Si después de calcular la posición de las luminarias nos encontramos que la distancia de separación es mayor que la distancia máxima admitida quiere decir que la distribución luminosa obtenida no es del todo uniforme. Esto puede deberse a que la potencia de las lámparas escogida sea excesiva. En estos casos conviene rehacer los cálculos probando a usar lámparas menos potentes, más luminarias o emplear luminarias con menos lámparas.

### II.2.4.3. Mantenimiento Luminarias

El factor de depreciación ( $\delta$ ) del servicio de la luminaria, mide la relación entre el flujo luminoso emitido por la luminaria al final del periodo considerado para iniciar el proceso de mantenimiento. Con el tiempo los equipos de iluminación acumulan polvo, las lámparas emiten menor cantidad de luz y el rendimiento visual en consecuencia es más bajo. Algunos de estos factores pueden ser eliminados por medio del mantenimiento realizado a los equipos de iluminación. En la práctica para normalizar los efectos de estos factores, admitiendo una buena mantención periódica, podemos adoptar los siguientes valores del factor de depreciación, como se aprecia en la tabla 27:

Ambiente	Periodo de Mantenimiento		
	2500 hrs	5000 hrs	7500 hrs
Limpio	0.95	0.91	0.88
Normal	0.91	0.85	0.80
Sucio	0.80	0.68	0.57

**Tabla 27.** Periodo de mantenimiento de las luminarias, [36].

En el mantenimiento de las luminarias se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- a) La limpieza de las luminarias;
- b) La ventilación de las luminarias;
- c) El reemplazo de las luminarias cuando dejen de funcionar, o después de transcurrido el número predeterminado de horas de funcionamiento establecido por el fabricante;
- d) Los elementos que eviten el deslumbramiento directo y por reflexión.
- e) Los elementos de pre encendido o de calentamiento.

Por último, nos queda comprobar la validez de los resultados mirando si la iluminancia media obtenida en la instalación diseñada es igual o superior a la recomendada en las tablas, apoyándonos con la ecuación 37:

$$E_m = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot \eta \cdot f_m}{S} \geq E_{\text{tablas}} \quad \dots(37)$$

Si en el resultado de la evaluación de los niveles de iluminación se detectaron áreas o puestos de trabajo que deslumbren al trabajador, se deben aplicar medidas de control para evitar que el deslumbramiento lo afecte.

Se deben aplicar medidas de control para evitar que el deslumbramiento lo afecte, considerando los siguientes aspectos:

- a) Evitar el deslumbramiento directo o por reflexión al trabajador
- b) Seleccionar un fondo visual adecuado a las actividades de los trabajadores
- c) Evitar bloquear la iluminación durante la realización de la actividad, y
- d) Evitar las zonas donde existan cambios bruscos de iluminación.

### **II.2.5. Ventilación y calefacción**

La ventilación y calefacción particularmente en los edificios pequeños y estrechos, se tratan con frecuencia en forma puramente casual. Se supone que las ventanas deben ser adecuadas para proporcionar aire fresco, pero las corrientes de aire son muy comunes. El problema en conjunto requiere ser considerado al iniciarse el diseño: los costos de la calefacción representan a menudo una parte sustancial del costo total de operación, por lo que debe hacerse el máximo esfuerzo por conservar y distribuir en forma útil tanto el calor como el aire fresco.

Al aislamiento, las pantallas para corrientes de aire, las capas de aire tibio y los conductos de calefacción se instalan mejor durante la construcción y no posteriormente cuando su instalación puede resultar costosa, dar mal aspecto y causar molestias

Dependiendo al uso que se vaya a dar a la planta, puede ser necesario incorporar equipo de filtración, humidificación o secado de aire al sistema de ventilación. Este punto necesita una consideración cuidadosa, ya que las adiciones posteriores de esta naturaleza, después de que se ha construido la unidad, pueden ser insatisfactorias y antieconómicas.

La ubicación de los procesos nocivos debe terminarse al principio, con objeto de que las chimeneas queden bastante lejos de cualquier punto de admisión de aire fresco, así como cualquier lugar donde pudieran resultar perjudiciales las emisiones mismas.

La NORMA Oficial Mexicana NOM-001-STPS-2008, edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo específico que cuando se utilicen sistemas de ventilación artificial, éstos deben cumplir con lo siguiente:

- El aire que se extrae no debe contaminar otras áreas en donde se encuentren laborando otros trabajadores.
- El sistema debe iniciar su operación antes de que ingresen los trabajadores al área correspondiente para permitir la purga de los contaminantes.
- Contar con un programa anual de mantenimiento preventivo o correctivo, a fin de que el sistema esté en condiciones de uso. El contenido del programa y los resultados de su ejecución deben conservarse por un año y estar registrados en bitácoras o cualquier otro medio, incluyendo los magnéticos.

Si las temperaturas en el local de trabajo son inferiores a 10 °C o superiores a 27°C, existe un riesgo importante para la salud de las trabajadoras y trabajadores, así como del alumnado, por ello si la empresa o administración debe ser responsable de las medidas preventivas necesarias.

Cada trabajador o trabajadora, individualmente, tiene derecho a interrumpir su actividad y abandonar el lugar de trabajo, en caso necesario, cuando considere que dicha actividad entraña un riesgo grave e inminente para su vida o su salud. Ni los representantes del personal ni los trabajadores/as individualmente pueden ser sancionados por adoptar estas medidas, salvo que actúen de mala fe o cometido negligencia grave.

Una estimación esencial que se requiere antes de iniciar el diseño es el tipo y la cantidad de potencia y demás suministros que se usaran, el gas, el agua, la electricidad y el aire comprimido necesitan estar disponibles en la medida necesaria y deben tomarse providencias para instalar terminales de computadora teléfonos, sistemas de sonorización, sistemas de alarma contra robo y sistemas de alarma contra incendio. Los sistemas de prevención y control de incendios invariablemente deben “interconstruirse” y no instalarse con posteridad.

#### **II.2.6. Eliminación de desperdicios**

El sistema Kaizen de mejora continua tiene como uno de sus pilares fundamentales la lucha continua en la eliminación de desperdicios y despilfarros (mudas en japonés). Una lucha implacable y sin respiro en la necesidad de eliminar los factores generadores de improductividades, altos costos, largos ciclos, costosas y largas esperas, desaprovechamiento de recursos, pérdida de clientes, y defectos de calidad, todo lo cual origina la pérdida de participación en el

mercado, con caída en la rentabilidad y en los niveles de satisfacción de los consumidores, [37].

Entre las más usuales identificadas en las diversas empresas tenemos:

a) **Desperdicio de energía:** La mala o lisa y llanamente ausencia de planificación en el uso y control de la energía lleva a un sobreconsumo de electricidad, gas u otros tipos de combustibles. Las pérdidas, la no utilización de los medios más económicos, el no uso de los sistemas más eficientes tanto para la generación como para el consumo de energía lleva a altos costos que degradan la capacidad generativa de recursos por parte de la organización.

b) **Gastos excesivos debidos a improductividades por falta de Control de Gestión:** El error más común en las organizaciones es proceder tan sólo a autorizar y luego contabilizar los diversos gastos, y como mucho se procede luego a un análisis mediante el Costeo Basado en Actividades. Se carece de un control estadístico de la frecuencia de los distintos tipos de reparaciones por unidades, de los rendimientos por unidades productivas.

De tal forma podrá detectarse tanto el mal uso de los recursos, como los errores en el mantenimiento, defectos en las reparaciones, desgaste de la unidad productiva y costos mínimos de operatividad.

c) **Mala gestión de tesorería, y de créditos y cobranzas:** No gestionar debidamente los recursos monetarios, ya sea por su aplicación a actividades de menor rendimiento, por no evaluar debidamente los costos de oportunidad y de capital, y no efectuar un análisis de costo – beneficio, genera importantes pérdidas. Por ello el correcto manejo del flujo de efectivo es esencial para reducir al mínimo los costos financieros.

Otro tanto, y dentro de la misma estructura de análisis corresponde apuntar para la gestión de los créditos y cobranzas. Productos bien diseñados, alto nivel de eficiencia productiva y buena gestión logística, pero carente de un buen manejo de los recursos financieros, mala administración de los créditos y deficiente gestión en las cobranzas lleva a las empresas a importantes desequilibrios que las acercan a su cierre o pronta quiebra. No basta contar con buenos índices de rentabilidad, es también menester apuntalar la solvencia financiera de la misma.

d) **Pérdidas ocasionadas por falta o ineficacias de los controles interno:**

Gran cantidad de recursos son desperdiciados periódicamente en las empresas tanto por la poca aptitud preventiva, como por la ausencia de controles confiables. Así pues se detectan tanto falta de cumplimiento a normativas de diferentes naturalezas, como principios básicos en materia de seguridad.

En este último caso, el accionar fraudulento de personal, directivos, clientes o terceros a la organización pueden ocasionar pérdidas tan significativas que pongan en riesgo la continuidad de la empresa. Vaya sólo a título de ejemplos, lo ocurrido a la Banca Baring o la introducción de cianuro en los frascos de Tilenol en el caso de Johnson & Johnson, [40].

e) **Talento:** Contratar personas para tareas que pueden mecanizarse o asignarse a personas menos capacitadas.

f) **Diseño. Elaborar productos con más funciones de las necesarias:** Genera un sobre costo y por lo tanto un mayor precio al que los consumidores están dispuestos a pagar en función al valor que ellos perciben del producto o servicio en función a sus necesidades y capacidad de compra.

- g) **Gastos:** Sobre inversión para la producción requerida.
- h) **No investigar y analizar debidamente los deseos, necesidades y gustos de los consumidores, como así también su capacidad adquisitiva:** Es uno, sino el fundamental de los principios rectores a tener en cuenta. Creer que por fabricar una mejor ratonera los clientes vendrán en gran cantidad a comprarlos es un grave error.

Es fundamental estudiar tanto las necesidades de los clientes y consumidores, como cual es la capacidad adquisitiva de estos. No sirve de nada generar buenos productos si éstos no son del gusto de los consumidores, o bien que siendo del gusto de ellos, los mismos carecen de la capacidad para adquirirlos. Este punto sin lugar a dudas está relacionado directamente con el principal despilfarro estratégico que consiste en la falta de planificación.

- i) **Supervisar o controlar todos los procesos:** En el caso de que algo vaya mal es un derroche de tiempo y de esfuerzos. Cualquier proceso o máquina de ciclo automático debe ser suficientemente fiable para el operario no tenga que controlarlos mientras dure dicho ciclo.

Algo similar cabe observar por ejemplo en las actividades administrativas, donde el personal debe controlar las impresoras mientras imprimen el trabajo para evitar que se atasquen hojas. Ese tiempo dedicado a controlar la impresora en lugar de continuar con otras labores es un tiempo perdido o sea un recurso despilarrado. Hacer más fiable los procesos de impresión incrementará ostensiblemente la productividad en las labores de oficina.

- j) **El desequilibrio en la carga de trabajo:** Es una incapacidad propia de las empresas convencionales, en las cuales siempre hay personas o

departamentos que tienen más trabajo que otros originando el empleo de más personas y tiempos de los necesarios.

La aplicación de los principios de producción sincronizada tienden a superar dichos desperdicios, logrando una utilización más provechosa de los recursos.

### **II.2.7. Aislamiento**

En caso de que algún proceso requiera aislamiento, ya sea, por ruidoso, peligroso, desagradable, nocivo o secreto. Esto es particularmente veraz cuando se utiliza equipo ruidoso; en un edificio de varios pisos, los pisos y techos actuaran como tableros sonoros y la estructura misma del edificio puede transmitir el ruido de las máquinas de todo el lugar, la reducción del nivel de ruido es a la vez difícil y costosa.

### **II.2.8. Control del medio ambiente**

Un control adecuado de la temperatura, la humedad y el polvo es importante para el bienestar del personal, el funcionamiento de los instrumentos y la seguridad en el trabajo (por ejemplo, con disolventes inflamables). Los instrumentos ópticos suelen requerir unas condiciones de temperatura estables para funcionar debidamente.

Es posible que el equipo electrónico precise unos niveles determinados de temperatura y humedad ambiental. Los ordenadores han de protegerse de campos magnéticos intensos provenientes de otros aparatos; los empleados o visitantes con marcapasos deberán evitar tales campos. Puede que sea necesario un sistema de agua fría de la red de abastecimiento o de refrigeración localizada para que ciertos aparatos funcionen debidamente.

Los materiales de ensayo, reactivos y patrones habrán de almacenarse en condiciones reguladas. Algunas sustancias deben protegerse de la luz del sol o de las lámparas fluorescentes que las afectan. Las balanzas e instrumentos ópticos delicados necesitan protección contra las vibraciones (por ejemplo de los mezcladores, tambores y centrifugas) o incluso un soporte estabilizador. Todas estas necesidades han de identificarse y documentarse de manera que en el sistema de garantía de la calidad puedan incluirse procedimientos adecuados para regularlas y tomar las medidas oportunas.

Serán necesarios registros en los que conste que:

- a) Las muestras se reciben, almacenan, manejan y analizan en condiciones ambientales que no afectan negativamente a los análisis;
- b) Los controles de la temperatura, la humedad y la luz en las zonas sensibles son adecuados para proteger las muestras, sus extractos, el personal y el equipo;
- c) Se lleva un registro de los resultados del muestreo ambiental en los locales del laboratorio, en el que se anota también la velocidad de las corrientes de aire que pasan a través de las aberturas de las campanas de humos.

### **II.2.9. Requerimientos especiales de los procesos**

Si es posible desde el principio se debe informar al arquitecto sobre cualquier requerimiento especial de los procesos, algunos procesos típicos de tales requerimientos son:

- a) Necesidad de un control de temperatura particularmente preciso como en los departamentos de calibración o medición.
- b) Necesidad de pisos estables como en los laboratorios donde la transmisión de vibraciones puede alterar las lecturas de los o instrumentos donde la transmisión de vibraciones puede alterar las lecturas de los instrumentos y ocasionar una pérdida considerable de tiempo y esfuerzo.
- c) Necesidad de medidas especiales de seguridad, en procesos ruidosos, peligrosos o secretos.
- d) Necesidad de iluminación especial.
- e) Necesidad de algún servicio especial.

#### **II.2.10. Acomodo de oficinas**

Con frecuencia el acomodo de oficinas puede ser diferente del acomodo de producción: los techos pueden ser más bajos, los claros menores, la carga sobre los pisos más ligera... y a veces vale la pena especificarlo separadamente, en vista de sus costos de construcción son menores. Contra los beneficios económicos debe compararse la pérdida de flexibilidad, que posiblemente en una distribución más rígida posteriormente.

#### **II.2.11. Control de la limpieza**

En lo que concierne a cualquier otro aspecto de las actividades del laboratorio, la responsabilidad de las operaciones de limpieza deberá definirse claramente. Tanto el personal de la limpieza como el del laboratorio deberán tener instrucciones precisas sobre sus obligaciones respectivas en relación con:

- a) La limpieza de los suelos, superficies verticales (por ejemplo, armarios, paredes, ventanas y puertas), superficies horizontales (por ejemplo superficies de trabajo, estanterías), equipo, interior de refrigeradores, congeladores, campanas de humos, almacenes de temperatura regulada;
- b) Control del contenido de refrigeradores, congeladores, campanas de humos, almacenes de temperatura regulada;
- c) Comprobación del funcionamiento del equipo de acondicionamiento de aire y extracción de polvo y de las campanas de humos;

### **II.2.12. Equipamiento de la planta**

La compra de cualquier pieza de equipo invariablemente debe justificarse sobre las bases económicas, y su costo recuperarse en el precio de venta de las mercancías fabricadas o de los servicios ofrecidos, pueden tomarse criterios, por ejemplo el prestigio, pero en general tendrán una importancia marginal y serán significativos principales al decidir entre diversas piezas de equipo, todas de costo similar, [40].

Cuando se decide considerar la compra o fabricación de una pieza de equipo, debe efectuarse un estudio del caso, este se realiza convenientemente de dos etapas: primeramente en un examen técnico o de utilización reducirá la variedad de equipos elegibles o proporciones manejables y en segundo lugar un análisis económico o de costos determinara en caso necesario, cuál de las diversas alternativas técnicas igualmente aceptables es la más económica.

Tiene que hacerse un pronóstico de uso potencial. Si este pronóstico es sólido esto es si tiene probabilidades de cumplirse, se tendrá enseguida predisposición a esto es, si tiene probabilidades de cumplirse, se tendrá enseguida predisposición a

la compra. Si el pronóstico es débil y tiene pocas posibilidades de cumplirse, entonces una decisión más prudente (libre de riesgo) sería subcontratar el trabajo.

La información que sigue se refiere a las especificaciones técnicas de una pieza de equipo:

- a) **Capacidad:** La capacidad de una maquina es suficiente para el pronóstico contemplado durante el futuro previsible, y en este contexto debe consultarse el pronóstico a largo plazo, particularmente cuando el costo es oneroso, si bien sería imprudente comprar una maquina que pronto quede sobrecargada, casi con certeza es innecesariamente costoso comprar una de mayor capacidad de la que se llegue a requerir, a menos que haya otros factores determinantes.
- b) **Confiabilidad:** La paralización de la planta puede ser costosa y además alteraría las fechas de entrega, por lo cual es muy importante la confiabilidad del equipo. El contacto con otros usuarios es muy útil en un caso así.
- c) **Servicio de posventa:** Debe comprobarse la disponibilidad de un buen servicio posventa.
- d) **Factibilidad de mantenimiento:** Los costos de mantenimiento necesitan ser siempre más bajos como sea posible, y una máquina difícil de reparar no solo tendrá un elevado costo de mantenimiento, sino inducirá a realizar el mantenimiento en forma inapropiada.
- e) **Preparación:** El tiempo complementario (preparación, desmontaje, limpieza) es costoso y reduce el tiempo de operación de la planta, de manera que debe considerarse la facilidad con que se prepara el equipo.

- f) **Compatibilidad:** Siempre que sea posible un nuevo equipo debe ser de un tipo similar o idéntico al ya existente. La simplificación resultante en aprovisionamiento de refacciones, mantenimiento, capacitación de operarios, ajuste, preparación y carga de la máquina es enorme.
  
- g) **Seguridad:** El equipo necesita ser seguro y aunque ahora es muy raro encontrar equipo inseguro en el mercado, el estudio de este aspecto vale la pena efectuarlo. Los accidentes son costosos porque hacen bajar la producción, deterioran la moral y provocan malas relaciones laborales. La obligación de prevenirlos recae totalmente en la empresa, tanto por ley como por humanidad.
  
- h) **Facilidad de instalación:** Este punto se pasa por alto fácilmente, para después descubrir que las puertas de acceso son demasiado bajas, o que la máquina nueva excede la carga permisible sobre el piso durante la instalación.
  
- i) **Entrega:** La situación de la entrega necesita ser analizada para comprobar que las fechas prometidas de entrega coincidan con las necesidades de la organización. Vale la pena hacer una investigación acerca de la confiabilidad del proveedor a este paso.
  
- j) **Estado de desarrollo:** El equipo de diseño reciente a veces se comercializada antes de finalizar o estabilizar completamente el diseño. Las garantías de cumplimiento son sumamente convenientes aunque debe reconocerse que ninguna garantía compensa la pérdida de prestigio que trae consigo faltar a las promesas de entrega.

- k) **Disponibilidad de equipo auxiliar:** Gran parte de la nueva y compleja maquinaria actual solo puede aprovecharse plenamente si se emplea a una amplia gama de equipo auxiliar, y la disponibilidad de este equipo puede dictar a menudo la selección de la maquinaria.

Esto sucede particularmente con las computadoras y las máquinas controladas por computadora, las cuales tienen un valor mínimo sin su software correspondiente.

- l) **Efecto en la organización existente:** Algunas máquinas nuevas al instalarse, imponen cambios en la organización existente, mediante un examen de los catálogos de los fabricantes, visitas a salas de exhibición y otras plantas, y pláticas con colegas puede prepararse una nueva lista de equipos utilizando consideraciones similares anteriores.

#### **II.2.12.1. Costo equipo**

El análisis económico estudia la estructura y evolución de los resultados de la empresa (ingresos y gastos) y de la rentabilidad de los capitales utilizados. Este análisis se realiza a través de la cuenta de Pérdidas y Ganancias, la cual para que sea significativa debe cumplir dos requisitos, [40]:

- La cuenta de resultados también denominado de Pérdidas y Ganancias- puede variar sensiblemente según los criterios de valoración que se hayan adoptado, por lo que debe ser depurada de tal forma que refleje un resultado homogéneo con otros períodos de tiempo y otras empresas. Lo más lógico para evitar este problema es haber observado durante el ejercicio los principios de contabilidad generalmente aceptados.

Las cuestiones que comprende el análisis económico son:

- La productividad de la empresa, que viene determinada por el grado de eficiencia, tanto cualitativa como cuantitativa, del equipo productivo en la obtención de un determinado volumen y calidad del producto.
- La rentabilidad externa, la cual trata de medir el mayor o menor rendimiento de los capitales invertidos en la empresa.
- El examen de la cuenta de resultados, analizando sus distintos componentes tanto en la vertiente de ingresos y gastos.

Para evitar que la eficacia de estas decisiones no dependa únicamente de la buena suerte, sino más bien, sea el resultado de un análisis de las posibles consecuencias, cada decisión debe ser respaldada por tres importantes aspectos:

- a) Conocer cuáles son las consecuencias técnicas de la decisión.
- b) Evaluar las incidencias en los costos de la empresa.
- c) Calcular el impacto en el mercado que atiende la empresa.

El cálculo de costo es muy importante para la toma de decisiones y se puede decir que no basta con tener conocimientos técnicos adecuados, sino que es necesario considerar la incidencia de cualquier decisión en este sentido y las posibles o eventuales consecuencias que pueda generar.

El cálculo de costos se integra al sistema de informaciones indispensables para la gestión de una empresa. El análisis de los costos empresariales es sumamente importante, principalmente desde el punto de vista práctico, puesto que su

desconocimiento puede acarrear riesgos para la empresa, e incluso, como ha sucedido en muchos casos, llevarla a su desaparición.

Conocer no sólo que pasó, sino también dónde, cuándo, en qué medida (cuánto), cómo y porqué pasó, permite corregir los desvíos del pasado y preparar una mejor administración del futuro.

Esencialmente se utiliza para realizar las siguientes tareas:

- a) Sirve de base para calcular el precio adecuado de los productos y servicios.
- b) Conocer qué bienes o servicios producen utilidades o pérdidas, y en que magnitud.
- c) Se utiliza para controlar los costos reales en comparación con los costos predeterminados: (comparación entre el costo presupuestado con el costo realmente generado, post-cálculo).
- d) Permite comparar los costos entre:
  - Diferentes departamentos de la empresa
  - Diferentes empresas
  - Diferentes períodos
- e) Localiza puntos débiles de una empresa.
- f) Determina la parte de la empresa en la que más urgentemente se debe realizar medidas de racionalización.
- g) Controla el impacto de las medidas de racionalización realizadas.

- h) Diseñar nuevos productos y servicios que satisfagan las expectativas de los clientes y, al mismo tiempo, puedan ser producidos y entregados con un beneficio.
- i) Guiar las decisiones de inversión.
- j) Elegir entre proveedores alternativos.
- k) Negociar con los clientes el precio, las características del producto, la calidad, las condiciones de entrega y el servicio a satisfacer.
- l) Estructurar unos procesos eficientes y eficaces de distribución y servicios para los segmentos objetivos de mercado y de clientes.
- m) Utilizar como instrumento de planificación y control.

### **II.2.12.2. Concepto de costo**

Costo es el sacrificio, o esfuerzo económico que se debe realizar para lograr un objetivo, [38].

Los objetivos son aquellos de tipo operativos, como por ejemplo: pagar los sueldos al personal de producción, comprar materiales, fabricar un producto, venderlo, prestar un servicio, obtener fondos para financiamiento, administrar la empresa, etcétera.

Si no se logra el objetivo deseado, decimos que tenemos una pérdida. También es necesario precisar algunos conceptos que se utilizan para definir y caracterizar aspectos relacionados con el tema que estamos analizando. Por ejemplo: desembolso, amortizaciones e inversión.

El costo es fundamentalmente un concepto económico, que influye en el resultado de la empresa. El desembolso es un concepto de tipo financiero, que forma parte del manejo de dinero. Su incidencia está relacionada con los movimientos (ingresos y egresos) de caja o tesorería.

Uno puede comprar un insumo mediante un pago en dinero (erogación), pero hasta que ese insumo no sea incorporado al producto que se elabora y luego se vende, no constituye un costo. Es un desembolso. Hay bienes que se compran y que se utilizan en el sistema productivo, pero que no se incorporan al producto como insumo, sino que se utilizan durante un tiempo para ayudar en su elaboración. Por ejemplo: maquinarias, equipos, instalaciones, bienes de uso, etcétera.

A estos bienes se les practica lo que se denomina amortización o depreciación, por un importe que está relacionado con su vida útil, el desgaste, la obsolescencia técnica, etcétera.; y se carga dicho importe en forma proporcional al producto. Esto constituye un costo, aunque el desembolso se hizo en el pasado.

La compra de una máquina o de una herramienta de trabajo generalmente demanda un fuerte desembolso inicial que, si fuera tenido en cuenta en ese momento para calcular los costos produciría una fuerte distorsión en los mismos.

El método de la amortización evita ese problema, porque distribuye el gasto inicial a lo largo de todo el período de vida útil del equipo.

**Por ejemplo:**

El valor de compra de una máquina: \$ 30,000.00 y tiene una vida útil estimada: 5 años. Si queremos averiguar cuál es la amortización mensual para el cálculo de costos, tenemos:

Amortización anual ( $30,000.00 \div 5$  años), igual a: \$ 6,000.00 por año

Amortización mensual ( $6,000.00 \div 12$  meses), igual a: \$ 500.00 por mes

En la práctica la amortización es el dinero que debemos ir reservando para la renovación de la máquina cuando se agote su vida útil. La inversión es el costo que se encuentra a la espera de la actividad empresarial que permitirá con el transcurso del tiempo, conseguir el objetivo deseado.

**II.2.12.3. Tipos de costos**

Es necesario clasificar los costos de acuerdo a categorías o grupos, de manera tal que posean ciertas características comunes para poder realizar los cálculos, el análisis y presentar la información que puede ser utilizada para la toma de decisiones, [38].

**Clasificación según la función que cumplen**

- a. **Costo de producción:** Son los que permiten obtener determinados bienes a partir de otros, mediante el empleo de un proceso de transformación. Por ejemplo:

- Costo de la materia prima y materiales que intervienen en el proceso productivo
- Sueldos y cargas sociales del personal de producción.
- Depreciaciones del equipo productivo.
- Costo de los Servicios Públicos que intervienen en el proceso productivo.
- Costo de envases y embalajes
- Costos de almacenamiento, depósito y expedición.

b. **Costo de comercialización:** Es el costo que posibilita el proceso de venta de los bienes o servicios a los clientes. Por ejemplo

- Sueldos y cargas sociales del personal del área comercial.
- Comisiones sobre ventas.
- Fletes, hasta el lugar de destino de la mercadería.
- Seguros por el transporte de mercadería.
- Promoción y Publicidad.
- Servicios técnicos y garantías de post-ventas.

c. **Costo de Administración:** Son aquellos costos necesarios para la gestión del negocio. Por ejemplo:

- Sueldos y cargas sociales del personal del área administrativa y general de la empresa
- Honorarios pagados por servicios profesionales
- Servicios Públicos correspondientes al área administrativa.
- Alquiler de oficina.
- Papelería e insumos propios de la administración

d. **Costo de financiación:** Es el correspondiente a la obtención de fondos aplicados al negocio. Por ejemplo:

- Intereses pagados por préstamos
- Comisiones e Impuestos derivados de las transacciones financieras.

También se puede clasificar según su grado de variabilidad como se muestra a continuación:

Esta clasificación es importante para la realización de estudios de planificación y control de operaciones. Está vinculado con las variaciones o no de los costos, según los niveles de actividad.

e. **Costos Fijos:** Son aquellos costos cuyo importe permanece constante, independiente del nivel de actividad de la empresa.

Se pueden identificar y llamar como costos de "mantener la empresa abierta", de manera tal que se realice o no la producción, se venda o no la mercadería o servicio, dichos costos igual deben ser solventados por la empresa. Por ejemplo:

- Alquileres
- Amortizaciones o depreciaciones
- Seguros
- Impuestos fijos

- Servicios Públicos (Luz, TE., Gas, etcétera.)
- Sueldo y cargas sociales de encargados, supervisores, gerentes, etcétera.

**Costos Variables:** Son aquellos costos que varían en forma proporcional, de acuerdo al nivel de producción o actividad de la empresa. Son los costos por "producir" o "vender". Por ejemplo:

- Mano de obra directa (a destajo, por producción o por tanto)
- Materias primas directas
- Materiales e insumos directos
- Impuestos específicos
- Envases, embalajes y etiquetas
- Comisiones sobre ventas.

### **Clasificación según su asignación**

- g. **Costos directos:** Son aquellos costos que se asigna directamente a una unidad de producción. Por lo general se asimilan a los costos variables.
- h. **Costos indirectos:** Son aquellos que no se pueden asignar directamente a un producto o servicio, sino que se distribuyen entre las diversas unidades productivas mediante algún criterio de reparto. En la mayoría de los casos los costos indirectos son costos fijos.

## Clasificación según su comportamiento

- i. **Costo variable unitario:** Es el costo que se asigna directamente a cada unidad de producto. Comprende la unidad de cada materia prima o materiales utilizados para fabricar una unidad de producto terminado, así como la unidad de mano de obra directa, la unidad de envases y embalajes, la unidad de comisión por ventas, etcétera.
  
- j. **Costo variable total:** Es el costo que resulta de multiplicar el costo variable unitario por la cantidad de productos fabricados o servicios vendidos en un período determinado; sea éste mensual, anual o cualquier otra periodicidad. La fórmula del costo variable total es la siguiente, ecuación 38:

$$\text{Costo Variable Total} = \text{Costo Variable Unitario} \times \text{Cantidad} \quad \dots \text{(38)}$$

Para el análisis de los costos variables, se parte de los valores unitarios para llegar a los valores totales. En los costos fijos el proceso es inverso, se parte de los costos fijos totales para llegar a los costos fijos unitarios.

- k. **Costo fijo total:** Es la suma de todos los costos fijos de la empresa
  
- l. **Costo fijo unitario:** Es el costo fijo total dividido por la cantidad de productos fabricados o servicios brindados, para calcularlo se usa la ecuación 39 respectivamente:

$$\text{Costo fijo Unitario} = \text{Costo Fijo Total} / \text{Cantidad} \quad \dots \text{(39)}$$

m. **Costo total:** Es la suma del costo variable más el costo fijo. Se puede expresar en valores unitarios (ecuación 40) o en valores totales (ecuación 41):

$$\text{Costo total unitario} = \text{costo variable unitario} + \text{costo fijo unitario} \quad \dots \text{ (40)}$$

$$\text{Costo total} = \text{costo variable total} + \text{costo fijo total} \quad \dots \text{ (41)}$$

#### II.2.12.4. Contribución marginal y punto de equilibrio

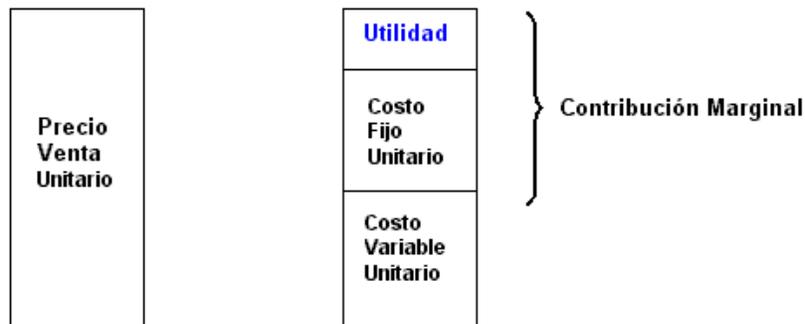
Para una mejor comprensión de la importancia de los costos, a continuación se analizar la contribución marginal y el punto de equilibrio, la importancia de estos términos, así de cómo ponerlos en práctica.

##### ✓ Contribución Marginal

Se llama "contribución marginal" o "margen de contribución" a la diferencia entre el Precio de Venta y el Costo Variable Unitario, calculándose con la ecuación 42:

$$\text{Contribución marginal} = \text{precio de venta} - \text{costo variable unitario} \quad \dots \text{ (42)}$$

Se le llama "margen de contribución" porque muestra como "contribuyen" los precios de los productos o servicios a cubrir los costos fijos y a generar utilidad, que es la finalidad que persigue toda empresa, los componentes de la contribución marginal se puede apreciar en la figura 61.



**Figura 61.** Elementos de la contribución marginal, [38].

Se pueden dar las siguientes alternativas:

- a) Si la contribución marginal es "positiva", contribuye a absorber el costo fijo y a dejar un "margen" para la utilidad o ganancia.
- b) Cuando la contribución marginal es igual al costo fijo, y no deja margen para la ganancia, se dice que la empresa está en su "punto de equilibrio". no gana, ni pierde.
- c) Cuando la contribución marginal no alcanza para cubrir los costos fijos, la empresa puede seguir trabajando en el corto plazo, aunque la actividad de resultado negativo. Porque esa contribución marginal sirve para absorber parte de los costos fijos.
- d) La situación más crítica se da cuando el "precio de venta" no cubre los "costos variables", o sea que la "contribución marginal" es "negativa". En este caso extremo, es cuando se debe tomar la decisión de no continuar con la elaboración de un producto o servicio.

El concepto de "contribución marginal" es muy importante en las decisiones de mantener, retirar o incorporar nuevos productos de la empresa, por la incidencia que pueden tener los mismos en la absorción de los "costos fijos" y la capacidad de "generar utilidades".

También es importante relacionar la "contribución marginal" de cada artículo con las cantidades vendidas. Porque una empresa puede tener productos de alta rotación con baja contribución marginal pero la ganancia total que generan, supera ampliamente la de otros artículos que tienen mayor "contribución marginal" pero menor venta y "menor ganancia total".

### ✓ **Punto de Equilibrio**

Se dice que una empresa está en su punto de equilibrio cuando no genera ni ganancias, ni pérdidas. Es decir cuando el beneficio es igual a cero.

Para un determinado costo fijo de la empresa, y conocida la contribución marginal de cada producto, se puede calcular las cantidades de productos o servicios y el monto total de ventas necesario para no ganar ni perder; es decir para estar en equilibrio, para su mejor interpretación se puede observar sus elementos en la figura 62.

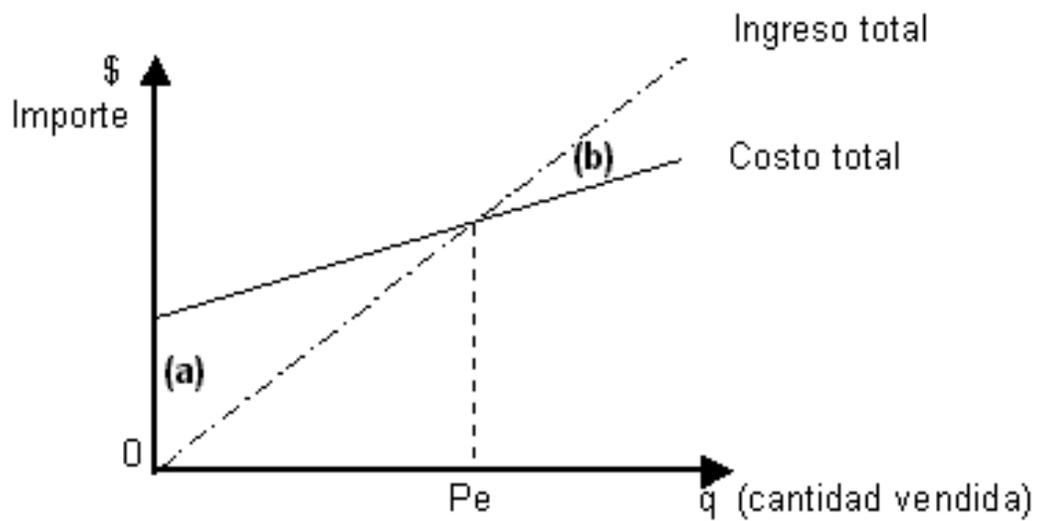
Las ecuaciones para el cálculo, son las 43 y 44 respectivamente:

$$\text{Punto de Equilibrio} = \frac{\text{Costo Fijo Total}}{\text{Margen de Contribución}} = \text{Cantidades} \quad \dots (43)$$

$$\text{Punto de Equilibrio en \$} = \text{Cantidades} \times \text{Precio de Venta}$$

... (44)

En el caso (a) el punto de equilibrio está expresado en cantidades de producto. Y en el caso (b) en montos de venta.



**Figura 62.** Gráfico del punto de equilibrio, [38].

Donde:

Pe: Punto de equilibrio

(a): Área de pérdida

(b): Área de ganancia

Se debe considerar el precio de venta que es el valor de los productos o servicios que se venden a los clientes. La determinación de este valor, es una de las decisiones estratégicas más importantes ya que, el precio, es uno de los elementos que los consumidores tienen en cuenta a la hora de comprar lo que necesitan.

El cliente estará dispuesto a pagar por los bienes y servicios, lo que considera un precio "justo", es decir, aquel que sea equivalente al nivel de satisfacción de sus necesidades o deseos con la compra de dichos bienes o servicios. Por otro lado, la empresa espera, a través del precio, cubrir los costos y obtener ganancias.

En la determinación del precio, es necesario tomar en cuenta los objetivos de la empresa y la expectativa del cliente.

El precio de venta es igual al costo total del producto más la ganancia, como se observa en la ecuación 45:

$$\text{Precio de Venta} = \text{Costo Total unitario} + \text{Utilidad} \quad \dots \text{ (45)}$$

Para una mejor interpretación de la información anterior se puede apreciar la figura 63, donde se observa la estructura de costos.



**Figura 63.** Estructura de costos, [38].

### **II.2.12.5. Pérdida de valor del equipo**

Dentro del ámbito de la contaduría, el término depreciación es una reducción anual del valor de una propiedad, planta o equipo. La depreciación puede venir motivada por tres motivos; El uso, el paso del tiempo y la obsolescencia, [38].

Se utiliza para dar a entender que las inversiones permanentes de la planta han disminuido en potencial de servicio. Para los contables o contadores, la depreciación es una manera de asignar el costo de las inversiones a los diferentes ejercicios en los que se produce su uso o disfrute en la actividad empresarial.

Los activos se deprecian basándose en criterios económicos, considerando el plazo de tiempo en que se hace uso en la actividad productiva, y su utilización efectiva en dicha actividad. Una deducción anual de una porción del valor de la propiedad y/o equipamiento.

La depreciación es el mecanismo mediante el cual se reconoce el desgaste que sufre un bien por el uso que se haga de él. Cuando un activo es utilizado para generar ingresos, este sufre un desgaste normal durante su vida útil que el final lo lleva a ser inutilizable.

El ingreso generado por el activo usado, se le debe incorporar el gasto, correspondiente desgaste que ese activo ha sufrido para poder generar el ingreso, puesto que como según señala un elemental principio económico, no puede haber ingreso sin haber incurrido en un gasto, y el desgaste de un activo por su uso, es uno de los gastos que al final permiten generar un determinado ingreso.

Al utilizar un activo, este con el tiempo se hace necesario reemplazarlo, y reemplazarlo genera una derogación, la que no puede ser cargada a los ingresos

del periodo en que se reemplace el activo, puesto que ese activo generó ingresos y significó un gasto en más de un periodo, por lo que mediante la depreciación se distribuye en varios periodos el gasto inherente al uso del activo, de esta forma solo se imputan a los ingresos los gastos en que efectivamente se incurrieron para generarlo en sus respectivos periodos.

Otra connotación que tiene la depreciación, vista desde el punto de vista financiero y económico, consiste en que, al reconocer el desgaste del activo por su uso, se va creando una especie de provisión o de reserva que al final permite ser reemplazado sin afectar la liquidez y el capital de trabajo de la empresa.

La depreciación, como ya se mencionó, reconoce el desgaste de los activos por su esfuerzo en la generación del ingreso, de modo, que su reconocimiento es proporcional al tiempo en que el activo puede generar ingresos.

Esto es lo que se llama vida útil de un bien o un activo. Durante cuánto tiempo, un activo se mantiene en condiciones de ser utilizado y de generar ingresos. La vida útil es diferente en cada activo, depende de la naturaleza del mismo. Pero por simplicidad y estandarización, se ha establecido la vida útil a los diferentes activos clasificándolos de la siguiente manera:

- Inmuebles (incluidos los oleoductos) 20 años
- Barcos, trenes, aviones, maquinaria, equipo y bienes muebles 10 años
- Vehículos automotores y computadores 5 años

### II.2.12.6. Métodos de cálculo depreciación

A continuación vamos a explicar algunos de los métodos de depreciación más utilizados:

#### a) Método de depreciación de la línea recta.

En este método, la depreciación es considerada como función del tiempo y no de la utilización de los activos. Resulta un método simple que viene siendo muy utilizado y que se basa en considerar la obsolescencia progresiva como la causa primera de una vida de servicio limitada, y considerar por tanto la disminución de tal utilidad de forma constante en el tiempo. El cargo por depreciación será igual al costo menos el valor de desecho, ecuación 46:

$$\frac{\text{Costo} - \text{valor de desecho}}{\text{Tiempo de utilización del equipo}} = \text{Monto de la depreciación para cada año de vida del activo o gasto de depreciación anual} \quad \dots (46)$$

**Ejemplo:** Para calcular el costo de depreciación de una cosechadora de 22,000.00 pesos que aproximadamente se utilizará durante 5 años, y cuyo valor de desecho es de 2,000.00 pesos, usando este método de línea recta obtenemos:

$$\frac{\$22,000.00 - \$2,000.00}{5 \text{ años}} = \text{Gasto de depreciación anual de } \$4,000.00$$

Este método distribuye el gasto de una manera equitativa de modo que el importe de la depreciación resulta el mismo para cada periodo fiscal.

**b) Método de depreciación de actividad o de unidades producidas.**

Este método, al contrario que el de la línea recta, considera la depreciación en función de la utilización o de la actividad, y no del tiempo. Por lo tanto, la vida útil del activo se basará en la función del rendimiento y del número de unidades que produce, de horas que trabaja, o del rendimiento considerando estas dos opciones juntas, como se observa en la ecuación 47:

$$\begin{array}{rcl} \text{Costo – valor de} & & \text{Costo de} \\ \text{desecho} & = & \text{depreciación} \\ & & \text{de una} \\ & & \text{unidad o} \\ & & \text{kilogramo} \end{array} \times \begin{array}{r} \text{Número} \\ \text{de unidades. horas} \\ \text{o kilogramos} \\ \text{cosechados} \\ \text{durante el periodo} \end{array} \quad \dots \text{ (47)}$$

**Ejemplo:** La cosechadora del ejemplo anterior recoge 100.000 kilogramos de trigo. El costo por cada kilogramo de trigo corresponde a:

$$\frac{22,000.00 - 2,000.00}{100,000.00 \text{ Kg}} = \text{Gasto de depreciación anual de } \$0.20$$

Ahora para conocer el gasto cada año multiplicaremos el número de kilogramos cosechados cada año por ese gasto unitario obtenido anteriormente, que en este caso, al tratarse de 5 años de vida útil, quedará como se observa en la tabla 28:

<b>Año</b>	<b>Costo por kilogramo</b>	<b>Kilogramos</b>	<b>Depreciación anual</b>
1	\$0.2	30,000	\$6,000
2	\$0.2	30,000	\$6,000
3	\$0.2	15,000	\$3,000
4	\$0.2	15,000	\$3,000
5	\$0.2	10,000	\$2,000
	Total:	100, 000	\$20,000

**Tabla 28.** Ejemplificación del método de depreciación de actividad o de unidades producidas, [38].

Los métodos de depreciación de unidades producidas distribuyen el gasto por depreciación de manera equitativa, siendo el mismo para cada unidad producida durante todo el periodo fiscal.

**c) Método de depreciación de la suma de dígitos anuales.**

Para este método de depreciación llamado "suma de dígitos" cada año se rebaja el costo de desecho por lo que el resultado no será equitativo a lo largo del tiempo o de las unidades producidas, sino que irá disminuyendo progresivamente.

La suma de dígitos anuales no es otra cosa que sumar el número de años de la siguiente forma: Para una estimación de 5 años:

$$1 \text{ años} + 2 \text{ años} + 3 \text{ años} + 4 \text{ años} + 5 \text{ años} = 15 \text{ años}$$

**Ejemplo:** Vamos a ver para que sirve este resultado en el ejemplo anterior de la cosechadora cuyo valor  $(22,000.00 - 2,000.00) = \$20,000.00$  que se perderán en 5 años: Para el primer año el factor es  $(5/15)$  porque quedan 5 años por delante, para su mejor interpretación se ejemplifica este ejercicio en la tabla 29:

Suma a depreciar	x	Años de vida pendientes Suma de los años	=	Depreciación del año 1
\$ 20,000.00	x	5/15	=	\$ 6666,66.00

**Tabla 29.** Ejemplificación del método de depreciación de la suma de dígitos anuales, [38].

Mediante este método de depreciación de la suma de los dígitos de los años, se obtiene como resultado un mayor importe los primeros años con respecto a los últimos y considera por lo tanto que los activos sufren mayor depreciación en los primeros años de su vida útil. Para ver el resto de años, lo veremos mejor en la siguiente tabla:

Año	Fracción	Suma a depreciar	Depreciación anual
1	5/15	\$20,000.00	\$6,666.66
2	4/15	\$20,000.00	\$5,333.33
3	3/15	\$20,000.00	\$4,000.00
4	2/15	\$20,000.00	\$2,666.66
5	1/15	\$20,000.00	\$1,333.33
	15/15		\$20,000.00

**Tabla 30.** Tabla complemento del ejemplo anterior, [38].

#### d) Método de balance de carácter decreciente

También se le denomina de doble cuota porque el valor decreciente coincide con el doble del valor obtenido mediante el método de la línea recta. En este caso, se ignora el valor de desecho y se busca un porcentaje para aplicarlo cada año.

**Ejemplo:** Para el caso de la cosechadora de 5 años de actividad, el porcentaje se calcula así, suponiendo que la tasa anual es de 20%.

A continuación, en la tabla 31, se observo como quedan los resultados finales de depreciación para cada uno de los 5 años, junto con la depreciación acumulada:

Año	Tasa	Valor	Depreciación
1	20%	\$22,000.00	4,400.00
2	20%	\$17,600.00	3,520.00
3	20%	\$14,080.00	2,816.00
4	20%	\$11,264.00	2,252.80
5	20%	\$9,011.20	1,802.24
		Total:	14,791.04

**Tabla 31.** Resultados finales de la depreciación para cada año, [38].

Por lo tanto el valor de rescate es el siguiente:

$$22,000.00 - 14,791.04 = 7,208.96$$

Este valor se entiende como la cantidad, expresada en términos monetarios, que se puede obtener por concepto de venta, al final de la vida útil física de un bien o de un componente del mismo que se haya retirado de servicio o uso, para utilizarse en otra parte.

Para la implantación del laboratorio de tribología se tomará en cuenta la infraestructura existente en el Centro Tecnológico Aragón dentro del Laboratorio Comportamiento de Materiales, y se acoplarán los equipos de tal manera que se optimice los procesos a realizar. Se aplicará la información anterior (normas, reglas, procesos, etcétera) para implementar con éxito este laboratorio.

### **II.3. Centro Tecnológica Aragón (CTA)**

El Centro Tecnológico Aragón cumple con actividades académicas y de investigación dentro de la Facultad, impulsando la vinculación con el sector productivo y colocándose en un espacio de desarrollo tecnológico con un fuerte compromiso social, [31].

Dicho centro cuenta con una planta académica de nueve profesores de carrera de tiempo completo y siete técnicos académicos, quienes desarrollan proyectos de investigación en áreas de Medición, Instrumentación y Control, Mecánica, Urbanismo, Computo, Seguridad Informática, Ambiental, Ahorro de Energía y Comportamiento de Materiales.



**Figura 64.** Centro Tecnológico Aragón, [31].

Busca impulsar el desarrollo de la ciencia y la investigación a través de la vinculación con la industria y empresas del sector público o privado desarrollando proyecto de investigación.

**Propósitos generales del CTA:**

- a) Propiciar la concertación de proyectos conjuntos de investigación que permitan la innovación y mejora continua tecnológica, para el fortalecimiento de los procesos productivos industriales en los sectores metal- mecánica y otros afines.
  
- b) Constituirse en el foro de integración del proceso enseñanza- aprendizaje del área científico- técnico de la carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrico, para contribuir estratégicamente en el enlace del desarrollo tecnológico, la academia, y la formación profesional de los egresados.

De los proyectos realizados, sobresalen los siguientes: Soporte de diseño de equipo electrónico para áreas del CTA; Alimentación de energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas; Apuntes de dinámica de sistemas físicos, Proyecto PAPIME, Apoyo al aprendizaje de circuitos eléctricos, Acreditación del Plan de Estudios de Ingeniería en computación en camino a la mejora continua, Estudio de calibración de equipos para certificación de laboratorio de análisis de agua potable y aguas residuales, Metodologías de ahorro de energía, Diagnostico integral para el ahorro de electricidad, Aplicación de cuestionarios ISO 17799 y propuesta de implantación de políticas de seguridad en el CTA, Diseño de sistemas mecánicos inteligentes (silla de ruedas para basquetbol), Fabricación de la urna electrónica para IEDF, Diseño del sistema de seguridad para el tren ligero de la ciudad de México, por citar algunos.

### **II.3.1. Laboratorio Comportamiento de Materiales (CM)**

El laboratorio de Comportamiento de Materiales es un área constitutiva del Centro Tecnológico Aragón, que se ha establecido como el foro de integración del proceso enseñanza – aprendizaje, dentro de las actividades científico - técnicas de la Facultad de Estudios Profesionales Aragón, contribuyendo de una forma estratégica en la vinculación del desarrollo tecnológico dentro de la industria, la academia y la formación profesional de nuestros egresados, con la creación de programas que permitan su participación activa, en proyectos de investigación aplicados a la industria nacional.

Los objetivos de este laboratorio son:

- a) Propiciar la concertación de proyectos conjuntos de investigación que permitan la innovación, desarrollo y mejora continua tecnológica, para el fortalecimiento de los procesos productivos industriales en los sectores metal-mecánica y otros afines.
  
- b) Promoviendo con esto el intercambio de experiencias de conocimientos entre los especialistas tanto del sector productivo como de la academia para lograr la suma de esfuerzos y voluntades mediante una alianza estratégica.

#### **Áreas de investigación:**

1. Mejora tecnológica continua de los procesos productivos Metal Mecánicos
2. Selección de materiales para usos mecánicos
3. Simulación matemática de procesos industriales (modelado computacional)

4. Análisis de fallas en materiales
5. Elaboración de planos y manuales de sistemas mecánicos
6. Desarrollo de software para procesos industriales
7. Diseño de sistemas mecánicos inteligentes para personas con capacidades diferentes
8. FES PUMAGUA
9. Estudio tribológico de materiales

## II.3.2. Equipo propuesto para el laboratorio de tribología.

### 1) Equipo de corte

Marca: STRUERS

Modelo: Labotom-3, figura 65.

Labotom-3 es simple de operar y prácticamente no se necesita capacitación especializada, figura 65.

- Labotom-3 dispone de un potente 3,0 kW / 3,2 kW de corte de motor y de una capacidad de corte de hasta 90 mm (3,5 pulgadas) de diámetro
- Mesa de corte con la superficie superior de acero inoxidable y ranuras integradas T-de corte ajustable para adaptarse a manejar la altura del operador y la unidad de mesa manguera de descarga para la limpieza de la cámara de corte



a)



b)

**Figura 65.** Labotom-3, (a) vista frontal, (b) interior del equipo de corte, [45].

### Fácil y cómoda operación

### Capacidad de corte

La capacidad proyectada de corte para una nueva rueda de corte es de hasta 90 mm de diámetro. Como las piezas de trabajo se puede colocar en varias posiciones en la mesa de corte, la mejor utilización de la rueda de corte se puede lograr, lo que resulta en la capacidad de corte óptimo. Toda la gama de Struers de 250 mm se puede utilizar, por lo que prácticamente todo tipo de

Labotom-3 es un modelo compacto de mesa para el corte en mojado abrasivos. Al abrir la envoltura de protección general, hay un acceso libre para sujetar la pieza de trabajo y el intercambio de la rueda de corte.

materiales se puede cortar.

El motor de un amplio poder y el eficiente sistema de refrigeración permiten un corte rápido y perfecto, un corte limpio.

### **Flexibles de sujeción de la pieza de trabajo**

La mesa de corte integrada cuenta con tres de 10 mm TSLOTS, facilitando el uso de herramientas de sujeción universal.

### **Las características de seguridad**

El motor de corte no se iniciará con la envoltura de protección abierta. Cualquier intento de abrir la guardia durante el corte resulta en un interruptor de seguridad para el motor de corte.

Un fusible térmico para el motor de corte en caso de sobrecarga. La máquina de corte se puede conectar a un sistema de extracción de humos para la evacuación de los humos nocivos producidos durante el corte.

La posición de la corte de mango se puede ajustar para adaptarse a la altura del operador y la mesa de laboratorio. El diseño simple de Labotom-3 hace que sea una máquina fiable, con bajo mantenimiento.

El cierre de la guardia de protección se activa una acción de freno hidráulico.

El agua de refrigeración se aplica directamente sobre los 250 mm (10 ") de diámetro. La rueda de corte que resulta en una buena refrigeración de la zona de corte.

El resorte de corte de equilibrado representa un avance relajado en el inicio del corte y un retorno de corte relajado cuando es acabado.

Después del corte, la cámara de corte puede limpiarse con la incorporada en la manguera de descarga.

La superficie lisa de la base y un gran desagüe (50 mm de diámetro.) Hacen que sea fácil para deshacerse de las virutas producidas durante el corte.

## 2) Equipo de desbaste y pulido

Marca: STRUERS

Modelo: LABOPOL-1, figura 66.

### Características:

- Velocidad de rotación entre 50 y 500 r.p.m.
- Disco de pulido con plato magnético
- Adaptador ACUSTOP para desbaste y pulido con precisión de 20  $\mu\text{m}$
- Adaptador para muestras de 3 mm.
  
- Dosificación automática tanto de suspensión de diamante y lubricante mediante la incorporación de 4 bombas peristálticas.
- Puede realizar el método de preparación completo sin cambiar ninguna botella. Esto permite automatizar la preparación y no estar pendiente del sistema de pulido.
  
- No utiliza dosificaciones de spray.



**Figura 66.** Vista lateral de la Labopol-1, [45].

### Aplicaciones:

Desbaste y pulido de muestras para obtener una superficie plana y especular para su observación por microscopía.

La adecuada dosificación de los abrasivos y lubricante racionaliza su consumo.

La dosificación uniforme reduce los tiempos de preparación y la reproducibilidad de los resultados.

### 3) Sistema de ensayo de sobremesa universal y doble columna

Marca: INSTRON

Modelo: serie 3360, figura 67.

#### Descripción general:

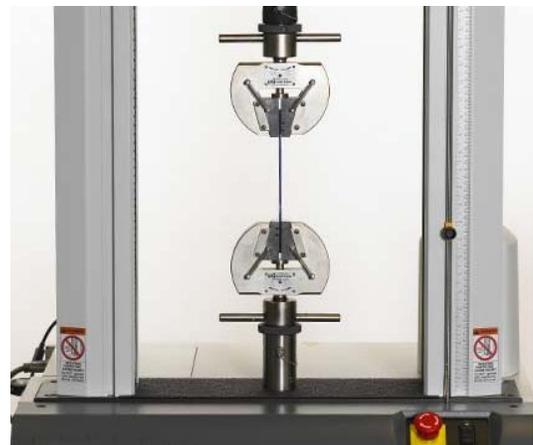
Los sistemas de ensayo de sobremesa y doble columna de la serie 3360 son ideales para aplicaciones de tracción y/o compresión con ensayos inferiores a 50 kN (11.250 lbf), figura 67 y 68. Los sistemas de ensayo de doble columna de la serie 3360 proporcionan sencillez, rendimiento y un precio asequible para el control de calidad y el ensayo de productos. Los modelos están disponibles con capacidades de fuerza de carga de 5, 10, 30 y 50 kN, figura 69.

#### Características:

- Capacidad de 50 kN (11.250 lbf)
- Velocidad máxima de 500 mm/min (20 pulg./min)
- Espacio de ensayo vertical de 1193 mm (47 pulgadas)
- Intervalo de fuerza 100:1 (es decir,



**Figura 67.** Vista frontal del Sistema de ensayo de sobremesa universal y doble columna, [44].



**Figura 68.** Sistema de ensayo de sobremesa universal

uso de la célula de carga al 1,0% de la capacidad sin pérdida de exactitud) realizando prueba de torsión, [44].

- Exactitud de la carga de un 0,5% de la carga indicada
- Frecuencia de adquisición de datos de 100 Hz
- Control completo mediante software (capacidad cíclica opcional)
- Controles del panel táctil
- Reconocimiento automático del transductor
- Miles de mordazas y útiles de ensayos opcionales.
- Computadora de control con software WinWDW corriendo bajo ambiente Windows XP, con procesador Intel Core Duo y monitor de pantalla plana, figura 70.
- Cámaras de temperatura opcionales.
- Gama de tres colores: rojo, azul o gris.



**Figura 69.** Vista lateral con sistema de protección, [44].



**Figura 70.** Manejo de la interfaz para el análisis de los ensayos, [44].

#### 4) Torno de banco

Marca: OTMT

Modelo: "C6", figura 71.

- Para torneados de precisión en acero, fundición, aleaciones, cobre, etcétera.
- Ideal para talleres pequeños, profesionales o como soporte en talleres de mantenimiento.



**Figura 71.**

Banco de mesa, vista frontal, [41].

#### Ventajas :

- Motor reversible de  $\frac{3}{4}$  HP (550 Watts)
- Sistema completo de cambio de engranes y Torre de 4 posiciones

#### Incluye

- Chuck de 3 mordazas de 5"
- Engranajes métricos, llaves y aceite.

#### Especificaciones:

- Volteo sobre la banda: 250mm
- Distancia entre puntos: 550 mm
- Agujero de Husillo: 20 mm
- Conicidad de Husillo: CM 3
- Conicidad del Contrapunto: CM 2
- Rango de velocidades de Husillo (6): 125-2000 RPM

### **Rango de cuerdas:**

- Cuerdas Fraccionales: 12-52 ( con paso de 8 cuerdas)
- Cuerdas Métricas: 0.4-2.0(Con paso de 10 cuerdas)
- Carrera Transversal: 75mm
- Carrera longitudinal: 110mm
- Poder del motor:  $\frac{3}{4}$  HP, 100V
- Peso: 180 Kg
- Dimensiones (cm): 122Lx66Ax61 Alto

## 5) MICROMETRO DIGITAL

Marca: MITUTOYO

Modelo: 293-333 figura 72.



**Figura 72.** Vista frontal del micrómetro digital MITUTOYO, [41].

### Características Técnicas:

- Nivel de protección IP-65 de resistencia al polvo y al agua.
- Pantalla LCD extra grande con resolución de 0.001mm.
- Superficies de medición de carburo.
- Pila: SR44 (938882) x 1pieza con duración aproximada de 1.2 años.
- Provisto con barra para ajuste a cero excepto en el modelo de 25mm (1pulg).
- Error instrumental:  $\pm 0.00005$  pulg/  $\pm 0.001$  mm

## 6) CÁMARA DE INFRARROJOS

Marca: TROTEC

Modelo: C080LV, figura 73.

Esta cámara de infrarrojos en la gama de modelos LV no deja nada que desear y amplía los beneficios de los modelos V y proporciona un alto rendimiento 384 x 288 con sensor de infrarrojos de medición de temperatura 110.592 puntos.

Además, el IC080LV se distingue con una resolución geométrica extremadamente alto. Una cámara integrada de imagen real, una lámpara de foto y una opción de visualización que permite DuoVision la acumulación de los infrarrojos y la imagen real en tiempo real todo incluido de serie con la cámara infrarroja.

Además, tiene conectibilidad Bluetooth para grabaciones de voz inalámbricas a través de auriculares.

La ranura para tarjetas de memoria integrado ofrece una gestión de memoria rápida y cómoda y la tarjeta mini-SD que se incluye en el volumen de suministro cómodamente puede almacenar miles de imágenes.

El completo paquete de software permite al usuario realizar análisis de fondo y de recopilar los



**Figura 73.** Cámara infrarrojos, [42].

### **Volumen de suministro:**

- Tiene lente estándar, pantalla LCD y láser
- Tarjetas de memoria intercambiables mini-SD, Cable de vídeo
- Paquete de programas
- Imagen de alta frecuencia de repetición 50/60 Hz
- Cámara digital para imágenes reales

informes de evaluación informativa.

**La mayoría de los beneficios importantes en la práctica:**

- Muy alta resolución geométrica de 1,1 mrad
- Alto rendimiento del sensor de imagen con 384 x 288 puntos de medición
- Es de gran precisión las mediciones de temperatura de -20 ° C a +600 ° C.
- Totalmente cámara infrarroja radiométrica de producción original de la UE
- DuoVision función para la imagen dentro de imagen de presentación, alta sensibilidad térmica de 0,08 ° C

## 7) Viscosímetro

Marca: NIRUN  
Modelo: SNB-2, figura 74.



**Figura 74.** Viscosímetro NIRUN, [43].

### Sus principales cualidades son:

- Rango de medición: 10--6.000.000 cP
- Rango de velocidades: 0,1 a 99.9 rpm
- Lectura de viscosidad: viscosidad dinámica  
( cP o mPa-s )
- Número de rotores: 4
- Provisto de sonda de medición de temperatura  
para el rango de 0.0 C-100.0 C
- Sensibilidad de la lectura: 0,1C

- Exactitud en la medición: 1,0% de la escala completa
- Reproducibilidad de la lectura: 0,5 %
- Resolución:
  - a) En viscosidad menores que 10.000 cP: 0.1
  - b) En viscosidad es igual o mayor que 10.000 cP: 1
  - c) Alimentación: 220 Volts
  - d) Provisto de un microprocesador de 16 bytes.
  - e) Teclado sensible para la introducción de los parámetros de medición
- Display digital en el que puede leerse en forma directa:
  - a. Viscosidad
  - b. Velocidad del rotor
  - c. Temperatura
  - d. Torsión centesimal
  - e. Número del rotor y la máxima viscosidad que puede ser medida con el uso.
- Accesorios disponibles:
  - ULA Sistema para la medición de bajas viscosidades
  - SNB- Software para recolección de datos
  - Adaptador para muestras pequeñas,
  - Impresora de datos Puede imprimirse: temperatura,
  - Velocidad de rotación y tiempo entre lecturas.

## 8) Calibrador Digital

Marca: MITUTOYO  
Modelo: IP66, figura 75.



**Figura 75.** Calibrador digital, [41].

Este dispositivo usado a medida la distancia entre dos lados simétricamente de oposición. Un calibrador puede ser tan simple como a compás con los puntos del interior o del exterior-revestimiento. Las extremidades del calibrador se ajustan al ajuste a través de los puntos que se medirán, el calibrador entonces se quitan y la distancia es leída midiendo entre las extremidades con una herramienta que mide.

### **Características y Beneficios:**

- Resistentes a Solubles Agua, Aceite y Refrigerantes
- Resolución: .0005 / 0.01 mm
- Pilas para 3 años.
- Apagado automático.
- Conversión: Pulgadas / mm
- Rango 0-12 , salida  $\pm 0.0015$ " (0.03mm)

## 9) Probador Pin-on-disc

Marca: KOEHLER

Modelo: K93500, figura 76.

### Características y Beneficios:

- Cumple con la norma ASTM G99 prueba estándar
- Realiza la fricción y el desgaste de pruebas sobre una amplia variedad de materiales tales como metales, polímeros, materiales compuestos, cerámica, lubricantes, fluidos de corte, lodos abrasivos, recubrimientos, y sometidos a tratamiento térmico de muestras
- Control electrónico de prueba de velocidad y temperatura
- Windows 95/98/NT TriboDATA Adquisición de Datos y la tarjeta incluida para grabar y usar el gráfico, la fuerza de fricción y la temperatura de interfase en tiempo real
- Configuraciones de encargo disponibles



**Figura 76.** Vista Frontal probador Pin- on- disc, [46].

El pin-on-disc Tester se utiliza para probar la fricción y el desgaste características de los lodos secos o lubricados contacto deslizante de una amplia variedad de materiales, incluyendo metales, polímeros, materiales compuestos, cerámica, lubricantes, fluidos de corte, abrasivos, recubrimientos, y al calor muestras tratadas.

El examen se realiza girando el disco de prueba contra-cara contra un alfiler prueba de la muestra fija. Desgaste, la fuerza de fricción, y la temperatura interfaz es monitoreada.

La carga normal, la velocidad de rotación, y el desgaste de diámetro pista puede ser ajustado de acuerdo con la norma ASTM G99 prueba.

### **Especificaciones:**

- Potencia: 500 VA
- Deslizante Velocidad: 0,26 m / seg a 10 m / seg
- La rotación del disco Velocidad: 100 - 2000 rpm
- Carga normal: 200 N máximo
- Fuerza de fricción: 0-200 N
- Medición Use Alcance: hasta 4 mm
- Tamaño de pines: 3 mm a 12 mm de diagonal / diámetro
- Tamaño del disco: 160 mm de diámetro x 8 mm de espesor
- El diámetro medio de pista desgaste: 10mm a 140mm
- Pin en el disco Tester con Sala de Control Ambiental
- Temperatura máxima 60 ° C
- Pin en el disco Tester con recirculación de lubricante del sistema
- Velocidad de descarga 0 a 1 L / min

- Rango de viscosidad: SAE 90 máximo
- Capacidad: 3L de lubricante

### **Accesorios incluidos**

- Controlador Electrónico y conexión de los cables.
- Fusibles (2), de repuesto.
- Adquisición de la tarjeta de datos.
- Software de Adquisición de Datos TriboDATA.
- Juego de pesas y juego de Herramientas de Mano y conjunto de Pins.
- Manual de Operación y Mantenimiento.
- Calibración y Ensayos.

Una vez elegido los equipos ideales y necesarios para la implementación del laboratorio se entrevistó a los proveedores adecuados y se nos proporcionó el costo incluido el IVA y los gastos de envío, para realizar el costo total del proyecto, con esta información de determinará más adelante cual será la depreciación del equipo, estos costos se encuentran en la tabla 32.

<b>Fuente</b>	<b>Equipo</b>	<b>Precio USD</b>	<b>Precio MN</b>
[41]	TORNO DE BANCO "C6"	\$1,712.70	22,047.59
[41]	CALIBRADOR DIGITAL RESISTENTE A SOLUBLES IP66	\$182.61	2,350.74
[41]	MICROMETRO DIGITAL MITUTOYO	\$393.53	5,065.91
[42]	C080LV CÁMARA DE INFRARROJOS	\$7,711.80	99,274.00
[43]	VISCOSIMETRO MODELO SNB-2	\$355.00	4,569.92
[44]	MAQUINA UNIVERSAL DE PRUEBAS MODELO DE MESA	\$38,860.00	500,244.78
[45]	LATTE LABOTOM-3	\$16,807.50	216,362.95
[45]	LABOPOL-1	\$5,500.00	70,801.50
[46]	MAQUINA UNIVERSAL PARA ENSAYOS DE FRICCIÓN	\$45,000.00	579,285.00
	<b>Total:</b>	<b>\$116,523.14</b>	<b>1500002.38</b>

**Tabla 32.** Propuesta de equipo para el laboratorio tribológico

### II.3.2.1. Depreciación del equipo propuesto.

Para conocer la depreciación del equipo propuesto se realizará por el Método de depreciación de la suma de dígitos anuales, donde cada año se rebaja el costo de desecho, por lo que el resultado no será equitativo a lo largo del tiempo o de las unidades producidas, sino que irá disminuyendo progresivamente como se ha mencionado anteriormente. Este cálculo se expresa en la tabla 33:

<b>Año</b>	<b>Fracción</b>	<b>Tasa %</b>	<b>Suma a depreciar</b>	<b>Depreciación</b>
1	10/55	1.8181	1500002.38	\$272727.703
2	9/55	16.363	1500002.38	\$245454.935
3	8/55	14.545	1500002.38	\$218182.164
4	7/55	12.727	1500002.38	\$190909.394
5	6/55	10.909	1500002.38	\$163636.623
6	5/55	9.0909	1500002.38	\$136363.853
7	4/55	7.2727	1500002.38	\$109091.082
8	3/55	5.4545	1500002.38	\$81818.3116
9	2/55	3.6363	1500002.38	\$54545.5411
10	1/55	1.8181	1500002.38	\$27272.7705
	55/55		<b>Total:</b>	<b>\$1254547.44</b>

**Tabla 33.** Depreciación del equipo sugerido para el laboratorio tribológico calculado por el método de depreciación de la suma de dígitos anuales, [38].

Al sumar las depreciaciones de cada uno de los años de vida del equipo se obtiene el valor de desecho que es de \$ 1, 254,547.44 pesos.

Ahora bien para calcular el valor de rescate del equipo propuesto se realizará el cálculo por medio del Método de balance de carácter decreciente, ya que en este caso, se ignora el valor de desecho y se busca un porcentaje para aplicarlo cada año, este cálculo se aprecia en la tabla 34:

<b>Año</b>	<b>Tasa %</b>	<b>Precio MN</b>	<b>Depreciación</b>
1	20	\$1,500,002.38	\$300,000.4760
2	20	\$1,200,001.90	\$240,000.3808
3	20	\$960,001.5232	\$192,000.3046
4	20	\$768,001.2186	\$153,600.2437
5	20	\$614,400.9750	\$122,880.1950
6	20	\$491,520.7800	\$98,304.1560
7	20	\$393,216.6240	\$78,643.3248
8	20	\$314,573.3000	\$62,914.660
9	20	\$251,658.6400	\$50,331.7280
10	20	\$201,326.9110	\$40,265.3822
		<b>Total:</b>	<b>1,338,940.851</b>

**Tabla 34.** Depreciación del equipo sugerido calculado por el método balance de carácter decreciente, [38].

Para obtener el valor de rescate restamos el valor total de equipo y el total de la depreciación calculada:

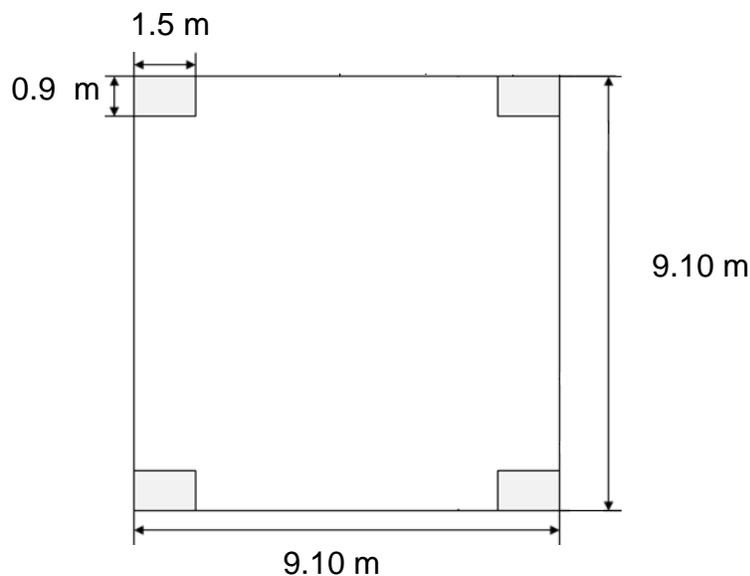
$$(1,500,002.38) - (1,338,940.85) = 161,061.53$$

Por lo tanto el valor de rescate es de: \$161,061.53

### II.3.3. Cálculo de iluminación

Para calcular la iluminación óptima para realizar las actividades propias del laboratorio de Tribología conjuntamente con el de comportamiento de materiales, considerando la arquitectura actual del edificio. Así se tomaron medidas del laboratorio y se encontraron las siguientes características:

El laboratorio mide 9.10 m de largo y de ancho, con una altura de 2.40m, como se muestra en la figura 77, el techo es color gris medio, al igual que sus paredes y el piso es de color blanco, con cuatro columnas de carga, con base en las dimensiones establecidas se propone la luminaria TBS 912-CI cuyo código comercial es (TLDRS 32W-S83-25), se considerara un periodo de mantenimiento de 7 meses.



**Figura 77.** Dimensiones del Laboratorio de Comportamiento de Materiales, [35].

a) Cálculo de flujo luminoso

Iluminación requerida

$E = 500$  Luxes (tomado de la tabla 21)

Superficie:

Para calcular el área del laboratorio se utilizó la ecuación 48:

$$S = (a) (b) \quad \dots (48)$$

Donde:

a = ancho                      b = largo

Por lo tanto:

$$S = (9.10 \text{ m}) (9.10 \text{ m}) = 82.81 \text{ m}^2$$

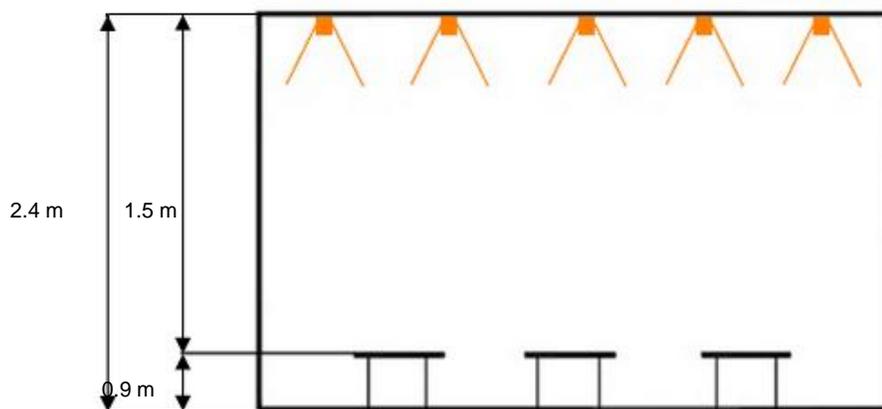
Factor de depreciación:

$\delta =$  De la tabla 26 obtenemos para un ambiente limpio con periodo de mantenimiento e 7 meses es igual a 5000 horas.

Ósea       $\delta = 0.85$

Para el cálculo del factor de utilización, se determino el índice de local K, según la fórmula 31:

$$K = \frac{(7.30\text{m})(6.10\text{m})}{1.5\text{m} (7.3\text{m} + 6.10\text{m})} = 2.215$$



**Figura 78.** Dimensiones de la altura entre el plano de trabajo y las luminarias, [35].

Una vez calculado K, el dato de se deberá interpolar ya que K está entre K=2.0 y K=2.5, y con ayuda de la tabla 23 se obtienen los factores de reflexión  $\rho$  (3 3 1) con apoyo de los datos mencionados anteriormente. Con estos datos y apoyo de la tabla siguiente, se obtiene este valor:

Factor de Área K	80		70				50		30		0
	50	50	50	50	50	30	30	10	30	10	0
	30	10	30	20	10	10	10	10	10	10	0
0.6	.33	.33	.36	.34	.26	.28	.29	.27	.25	.26	.25
0.8	.42	.41	.44	.44	.35	.36	.39	.34	.32	.33	.33
1.00	.47	.45	.48	.47	.46	.41	.41	.38	.36	.38	.37
1.25	.53	.50	.53	.51	.49	.46	.46	.43	.38	.43	.44
1.50	.59	.53	.57	.54	.52	.49	.49	.47	.40	.46	.45
2.00	.64	.57	.62	.59	.56	.55	.53	.52	.45	.51	.51
2.50	.67	.59	.65	.62	.60	.57	.56	.54	.47	.54	.52
3.00	.69	.60	.67	.64	.60	.59	.58	.56	.51	.56	.54
4.00	.72	.62	.70	.65	.62	.60	.59	.58	.53	.57	.56
5.00	.74	.64	.72	.68	.62	.61	.60	.59	.55	.58	.57

**Tabla 35.** Tabla del factor de utilización de Philips, (TLDRS 32W-S83-25), [34].

$$\frac{2.5 - 2}{0.47 - 0.45} = \frac{2.215 - 2}{\eta - 0.45}$$

Por lo tanto  $\eta = 0.4586$

Luego se calcula  $\Phi$  con la formula 33 este será:

$$\Phi = \frac{(500 \text{ luxes}) (77.41 \text{ m}^2)}{(0.4586) (0.85)} = 992,91.962 \text{ Lúmenes}$$

b) Cálculo de luminarias

Este cálculo se realiza con la ayuda de la ecuación 34 y  $\Phi_l$  (flujo luminoso de una lámpara), éste se obtiene de la tabla 36 que es proporcionada por el proveedor:

Denominación Comercial	Color	Potencia (W)	Base	Temperatura de color (K)	Flujo luminoso (lm)	Eficiencia luminosa (lm/W)	Índice de reproducción de color (IRC)
<b>Fluorescentes TLDRS Serie 80</b>							
TLDRS 16W-S83-25	83	16	G13	3.000	1.200	75	85
TLDRS 16W-S84-25	84	16	G13	4.000	1.200	75	85
TLDRS 16W-S85-25	85	16	G13	5.000	1.150	71	85
TLDRS 32W-S83-25	83	32	G13	3.000	2.700	84	85
TLDRS 32W-S84-25	84	32	G13	4.000	2.700	84	85
TLDRS 32W-S85-25	85	32	G13	5.000	2.600	81	85
TLD 18W/830	83	18	G13	3.000	1.350	75	85
TLD 36W/830	83	36	G13	3.000	3.350	93	85
TLD 18W/840	84	18	G13	4.000	1.350	75	85
TLD 36W/840	84	36	G13	4.000	3.350	93	85
TLD 58W/840	84	58	G13	4.000	5.200	89	85
TLD 18W/850	85	18	G13	5.000	1.350	75	85
TLD 36W/850	85	36	G13	5.000	3.350	93	85
TLD 58W/850	85	58	G13	5.000	5.200	89	85

**Tabla 36.** Tabla de características técnicas de Philips, (TLDRS 32W-S83-25), [34].

$$N = \frac{992,91.962 \text{ Lúmenes}}{(2) (2700)} = 18.38 \text{ Luminarias}$$

El número de luminarias es redondeado para mantener la simetría de la superficie a iluminar este será de 20 luminarias.

c) Distribución de luminarias

Se obtiene con ayuda de las ecuaciones 35 y 36 respectivamente:

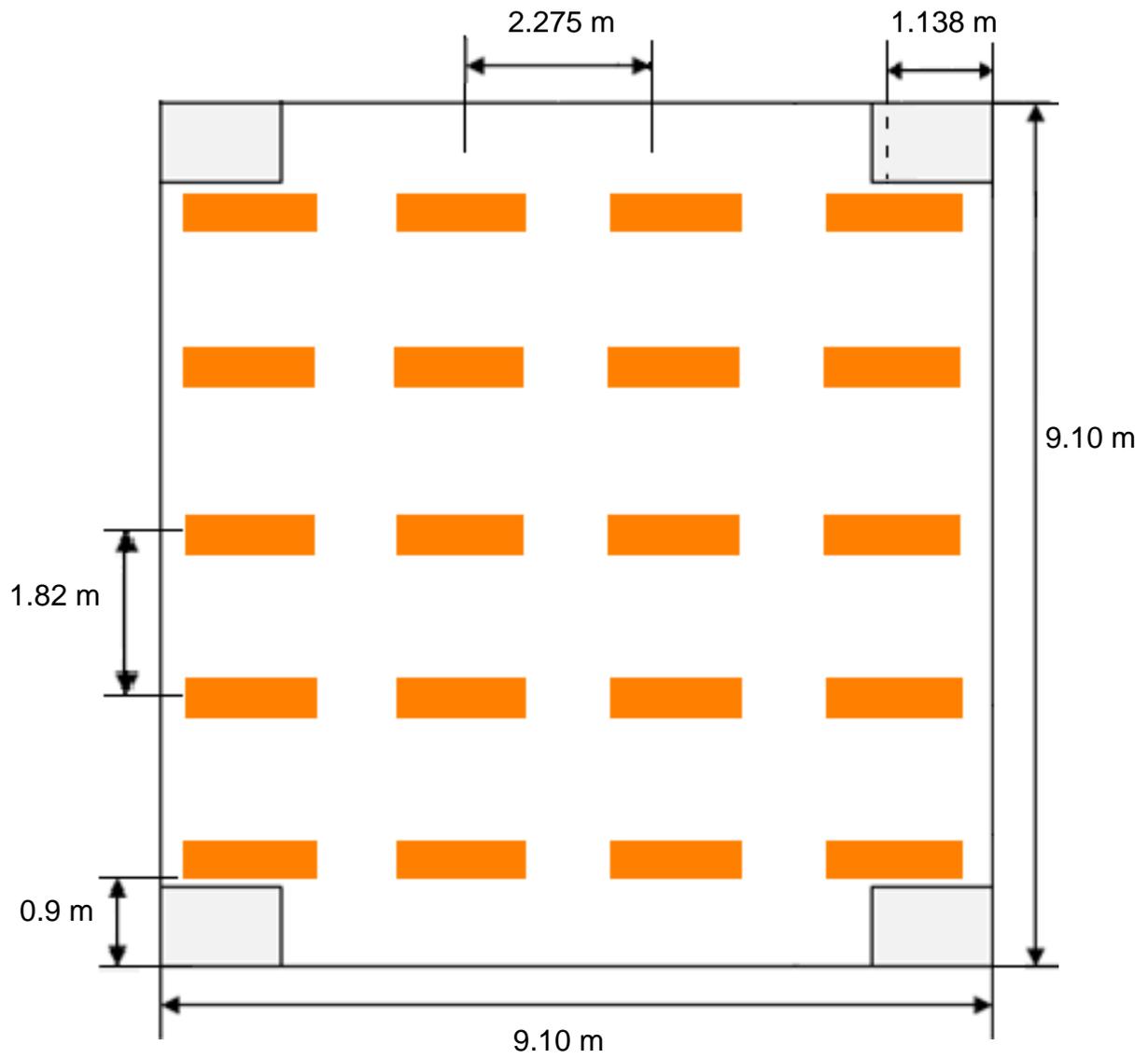
$$N \text{ ancho} = \sqrt{(20/9.1) (9.1)} = 4.47 \approx 4$$

$$N \text{ largo} = \sqrt{(4.47) (9.10/9.10)} = 4.47 \approx 5$$

- $dx = (9.10/4) = 2.275 \text{ m}$
- $dx^* = (2.275/2) = 1.138 \text{ m}$
- $dy = (9.10/5) = 1.82 \text{ m}$
- $dy^* = (1.82/2) = 0.91 \text{ m}$

Debido a la estructura del lugar se movió las luminarias del eje “y” de tal forma que en lugar que hubiese 0.91 m de la pared al centro de la luminaria, se colocaron 0.91 m de la pared al final de ésta, ya que era imposible ubicarlas de esta manera por los muros que se encuentran en los extremos del laboratorio.

Una vez que se comprobó los resultados, se realizó el diagrama siguiente que describe la iluminación ideal para el laboratorio, figura 79:



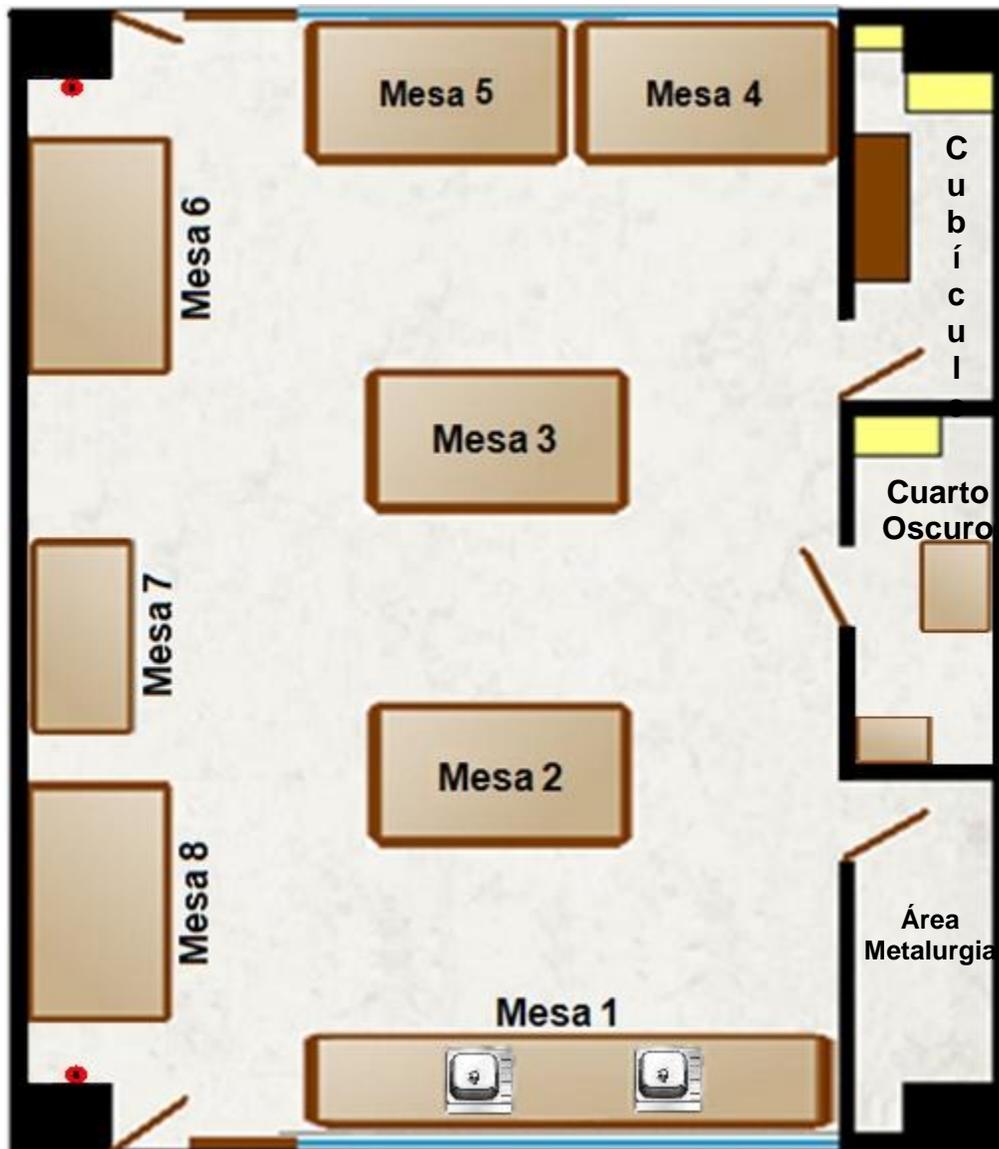
**Figura 79.** Iluminación Ideal para el laboratorio, [35].

#### **II.3.4. Distribución de equipo**

Actualmente el laboratorio de comportamiento de materiales cuenta con instalaciones que son utilizadas por personal capacitado en el manejo de este tipo de maquinaria; se puede observar cómo es que se encuentra distribuido los espacios de análisis dentro del laboratorio, el cual fue desarrollado en concordancia con las actividades que se realizan y que desempeñan un alto grado de importancia por los resultados que proporcionan.

Se ha analizado los distintos tipos de distribución y se basara en la distribución en línea en esta, producto o tipo de producto, aquí el material está en movimiento, el trabajo se mueve siguiendo rutas mecánicas directas, lo que hace que sean menores los retrasos en la fabricación, ya que es la más adecuada para el tipo de actividades que se realizan dentro del laboratorio.

Una vez mencionados los equipos y establecida la necesidad de obtener cada uno de ellos, se deberá distribuir de acuerdo con la necesidad de uso, así se optimizaran todos los recursos que se pondrían a su disposición, por ello se tiene que distribuir con base a la figura 80.



**Figura 80.** Vista superior del laboratorio.

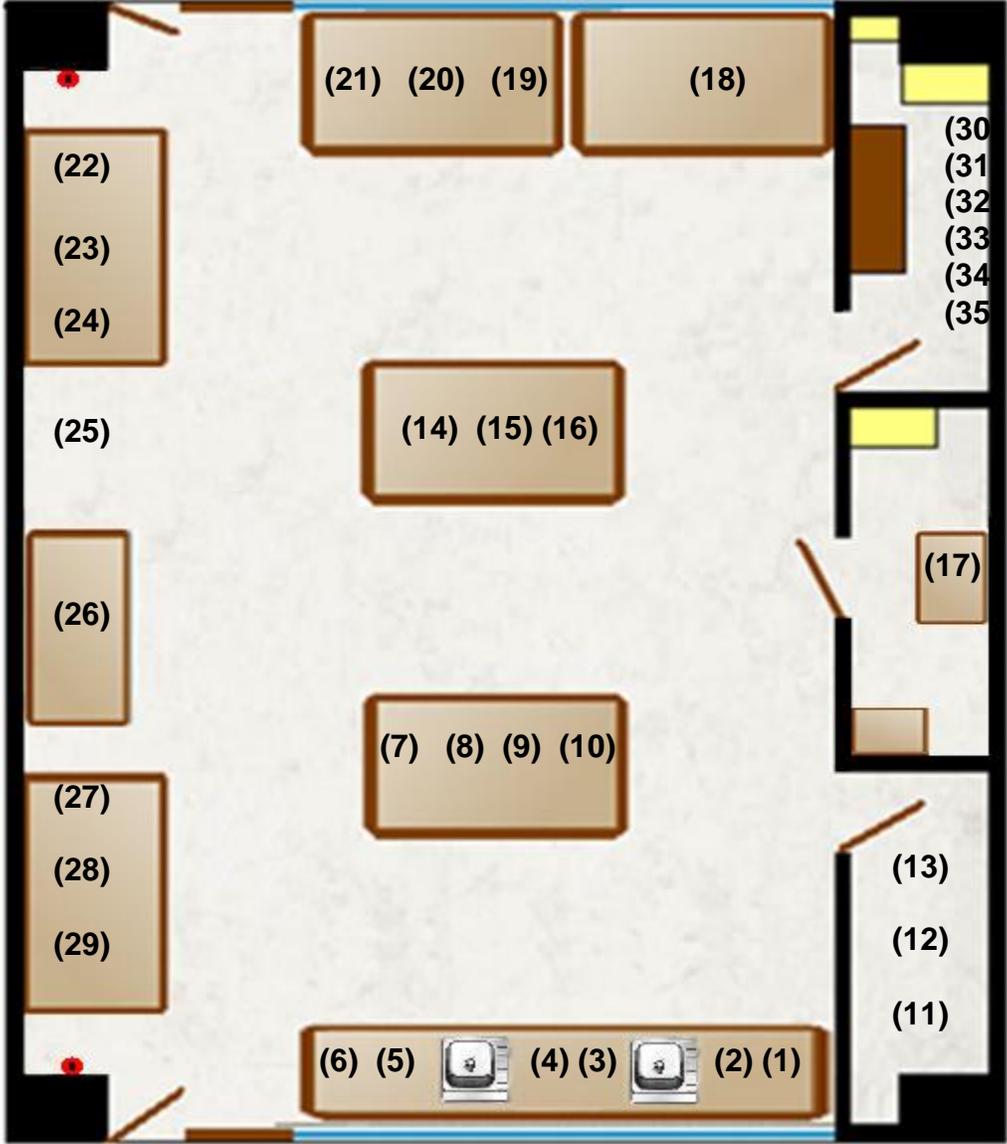
En la tabla 37 se muestran los equipos con que cuenta el laboratorio de comportamiento de materiales, así como los equipos propuestos para distribuirlos de la mejor manera que optimice las prácticas a realizar.



N.º	EQUIPO	MARCA	MODELO	UBICACIÓN
1	Equipo de corte	STRUERS	LATTE LABOTOM-3	Mesa 1
2	Torno de banco	OTMT	"C6"	Mesa 1
3	Equipo eléctrico de pulido	BUEHLER	ELECTROMET III	Mesa 1
4	Limpiador ultrasónico	BUEHLER	75-1970-115	Mesa 1
5	Equipo de montaje	MINIMET POLISHER	S/M	Mesa 1
6	Equipo de desbaste y pulido	STRUERS	LABOPOL-1	Mesa 1
7	Equipo determinador de carbono	VICTRT-DIITROIT	S/M	Mesa 2
8	Equipo determinador de azufre	S/M	S/M	Mesa 2
9	Equipo INFRA INVERTER 120	S/M	S/M	Mesa 2
10	Purificador	S/M	S/M	Mesa 2
11	Regulador de oxígeno	ALEAR	S/M	Área Metal.
12	Regulador de nitrógeno	ALEAR	S/M	Área Metal.
13	Horno de vacío c/atmósfera controlada	CENTORR	S/M	Área Metal.
14	Balanza analítica	SAUTER	D-7470	Mesa 3
15	Microscopio óptico	VERSAMET	UNION 6201	Mesa 3
16	Viscosímetro	NIRUN	SNB-2	Mesa 3
17	Amplificadora	BESELER	S/M	Cuarto Oscuro
18	Máquina universal de pruebas	INSTRON	Serie 3360	Mesa 4
19	Equipo Rockwell	ALBERT GNEHM	GNEHM 100	Mesa 5
20	Equipo Vickers	BUSHLER-LTD	S/M	Mesa 5
21	Equipo Brinell			Mesa 5
22	Horno eléctrico	DICTRT DIITROIT	S/M	Mesa 6
23	Horno eléctrico (mufla)	BARSNSTEAD	FB1415M	Mesa 6
24	Equipo Thermolyne (mufla)	THERMOLYNE	10500	Mesa 6
25	Equipo Jominy	S/M	S/M	Pasillo
26	Máquina de torsión	TINUS OLSEN	S/M	Mesa 7
27	Máquina de impacto	S/M	S/M	Mesa 8
28	Máquina de PRUEBAS-FATIGA MET.	HI-TECH	S/M	Mesa 8
29	Máquina universal de pruebas de fricción	KOEHLER	K93500	Mesa 8
30	Equipo de laboratorio	KIMBLE LABSET	KIMAK	Locker
31	Equipo de corrientes DE EDDY	S/M	S/M	Locker
32	Equipo	HOCKING	QUICK.CHECK	Locker
33	Calibrador digital resistente a solubles	MITUTOYO	IP66	Locker
34	Micrómetro digital	MITUTOYO	293-333	Locker
35	Cámara de infrarrojos	TROTEC	C080LV	Locker

**Tabla 37.** Equipos del laboratorio de comportamiento de materiales y Tribología (planta baja).

A continuación se muestra la propuesta (figura 81) de la distribución del laboratorio se ha definido con base a las dimensiones proporcionadas por los catálogos; también para la ejecución de prácticas tanto del laboratorio de comportamiento de materiales como de Tribología.



**Figura 81.** Distribución ideal para el laboratorio en su conjunto tribología y comportamiento de materiales.

### **II.3.5. Organización del mantenimiento del equipo**

Para el caso de los equipos propuestos y en existencia dentro del laboratorio, se ha especificado un mantenimiento preventivo semestral por personal especializado para corregir cualquier mal funcionamiento y evitar un el daño permanente del equipo.

Para haber tomado la decisión de realizar un mantenimiento preventivo semestral nos basamos en la frecuencia de actividad de los equipos, si es cierto estos se encuentran por el momento casi parados que realizan trabajos eventualmente, pero una vez que se complete la infraestructura del laboratorio y se comience a brindar servicios, la frecuencia de activación de los equipos será mayor y por ende se deberá replantear el tiempo al que se le hará el mantenimiento preventivo.

Básicamente, si no existiese ningún problema de funcionamiento en los equipos existentes y propuestos, lo correcto y según la norma ISO/IEC 17025, sería enviar el equipo a calibrarse a un laboratorio de calibración autorizado una vez al año, el mismo que debe emitir un certificado debidamente avalado por alguna acreditación o certificación, para respaldar que los datos obtenidos de las mediciones hechas con los instrumentos son correctas y están libres de cualquier error.

Entre los instrumentos que se deben calibrar una vez al año y mantener siempre su certificado de calibración al día tenemos:

- Balanza Analítica.
- Torno de banco "C6"
- Calibrador digital IP66
- Micrómetro digital

- Viscosímetro SNB-2
- Maquina universal de pruebas
- Maquina universal para ensayos de fricción

Cabe recalcar que no siempre se deberá esperar un año para realizar este proceso de calibración, ya que debido a factores de manejo incorrecto por parte del operador, pequeños golpes no ocasionales y otras incidencias de sus uso, los instrumentos se pueden descalibrar, por lo que se aconseja el uso de patrones de calibración o referencia que nos permitan tener una idea de la incertidumbre que presenta un equipo antes de realizar un análisis.

Es aconsejable comprobar de esta manera la precisión del equipo, por lo menos después de cada cierto número de mediciones o hacerlo mensualmente para comprobar que no haya ningún defecto en su funcionamiento. Existen otros instrumentos presentes en el laboratorio que tal vez no necesiten ser calibrados, pero si necesitan un mantenimiento preventivo, que les permita funcionar correctamente, el mismo que debería realizarse de igual manera una vez al año y estos son:

- Limpiador ultrasónico
- Equipo de montaje
- Equipo de desbaste y pulido
- Equipo determinador de carbono
- Equipo determinador de azufre
- Equipo INFRA INVERTER 120

- Purificador
- Horno de vacío c/atmósfera controlada
- Microscopio óptico
- Ampliadora
- Equipo Rockwell
- Equipo Vickers
- Equipo Brinell
- Horno eléctrico
- Horno eléctrico (mufla)
- Equipo Thermolyne (mufla)
- Equipo Jominy
- Máquina de torsión
- Máquina de impacto

El patrón de calibración o referencia, no es más que un peso o una sustancia con un valor determinado y certificado, la misma que al ser usada en el instrumento este deberán presentar el mismo valor que muestra dicho patrón o estar dentro de su rango de incertidumbre.

## Conclusiones

---

1. Con base en la metodología de la investigación se realizó la planeación estratégica del laboratorio de tribología para el Centro Tecnológico Aragón, en el área de Comportamiento de Materiales.
2. La propuesta establecida cumple en gran parte con los objetivos planteados, ya que se establecieron de manera concreta: los requerimientos básicos de infraestructura, equipamiento del laboratorio, las especificaciones generales de seguridad y mantenimiento y el análisis de costo de inversión, lo que permitirá el desarrollo del mismo.
3. Es importante mencionar que la mayoría de los equipos propuestos son de proveedores nacionales, lo que facilitará su implementación; teniendo como ventaja, que el análisis económico es real, ya que se cuenta con todos los costos de inversión que se tienen que efectuar.
4. Debido al costo tan elevado del equipo Probador pin-on-disc, se planteará como una línea de investigación, el diseño y fabricación de prototipos (modelos didácticos), que faciliten el proceso enseñanza -aprendizaje de los fenómenos involucrados, fricción, desgaste y lubricación.
5. La planeación estratégica del laboratorio de tribología y su desarrollo, permitirán la formación profesional de los egresados de las ingenierías de la FES Aragón, en áreas de interés prioritario para el sector productivo nacional.

6. La puesta en marcha del laboratorio, permitirá ofrecer asesorías al sector productivo nacional, mediante técnicas de calidad en el análisis de los materiales, y de sus propiedades; para la implementación de nuevas técnicas, procedimientos y el desarrollo de nuevos productos.
  
7. Es importante mencionar que la investigación en el campo de la tribología, no sólo contribuirá a reducir las grandes pérdidas económicas que se presentan en los sectores automotriz, aeroespacial y en general en los constructores de maquinaria, sino que también permitirá salvaguardar el medio ambiente, ya que al utilizar materiales más confiables y duraderos se reducirá el consumo de materias primas y la utilización de lubricantes altamente contaminantes, que se descargan libremente al medio ambiente ocasionando un daño ecológico irreversible.
  
8. El proyecto permite demostrar que las universidades en su misión de formar recursos humanos, capaces de afrontar y resolver las necesidades y problemáticas de índole nacional e internacional, pueden incidir con éxito en aspectos tan importantes como es el estudio tribológico de materiales y procesos; inmersos en un contexto de mayor conciencia de la investigación en el país, implementando acciones y ubicando los requerimientos esenciales que se pueden cubrir para su inserción en el campo laboral.

## Bibliografía

---

- [1] E. Raibinowics, "Wear Coefficients", in Wear Control Handbook (M. B. Peterson and W.O. Winer, eds.), PP.475-506, ASME, New York, U.S.A., 1984
  
- [2] K. H. Zum Gahr, "Friction and Wear of Materials", Ed. Elseiver, Amsterdam, Holanda, 1987
  
- [3] Metals Handbook Mechanical, Testing. Ninth edition, volume 8. American Society for Metals, 1974
  
- [4] F.P, Bowden and D., Tabor. "Friction and Lubrication", Ed. Methuen, Londres, Inglaterra, 1967.
  
- [5] BHARAT, Bhusan, B.K. Gupta, "Handbook of tribology", Ed. McGraw-Hill, New York, U.S.A., 1991.
  
- [6] KALPAKJIAN, Serope, "Manufacturing Enginnering and Technology", Ed.Addison – Wesley Publishing Company. Illinois, U.S.A, 1990
  
- [7] J.J. Caubet, "Teoría y práctica industrial del rozamiento". Ed.Urmo. Bilbao, España, 1971.
  
- [8] E.G.Dieter, "Mechanical Metallurgy", Mc Garw Hill. New York, U.S.A., 1987.

- [9] J.F. Archard, "Wear Theory and Mechanisms", in Wear Control Handbook (M.B) Peterson and W.O Winer, eds.), pp. 35-80, ASME, New York, U.S.A., 1980.
- [10] W. M. Glaeser, "Wear- Resistant Materials", in Wear Control Handbook (M.B) Peterson and W.O Winer, eds.), pp. 313-326, ASME, New York, U.S.A., 1980.
- [11] A. J. KINLOCH, "The Science of Adhesion", J. Mater. Sci., Vol. 15, pp. 2141-2166, 1980.
- [12] D. KUMANN-WILSDORF, "Dislocation Concepts in Friction and Wear", in Fundamentals of friction and Wear of Materials (D. A. Rigney. Ed.), American Society for metals, Metals Park, Ohio, U.S.A., pp. 119-186, 1981.
- [13] A. GRINBERG y E. Pink, "El envejecimiento dinámico de la aleación Al<sub>5</sub>Mg", Simposio Latinoamericano sobre aluminio en Latinoamericano. Oaxtepec. México. Memorias, pp. 56-282. Marzo 1983.
- [14] D.M.K DE GRINBERG, "Selección de materiales para usos mecanicos. III. Piezas que deben trabajar en condiciones abrasivas", VI Encuentro de Investigación Metalúrgica, Saltillo Coahuila, México. Memorias, p.p 368-386. Noviembre 1984.

- [15] C. Ver, R. Colás y A. Grinberg, "Estudio de la localización de la Deformación Plástica en la aleación de aluminio 6261", VIII Encuentro de Investigación de Metalúrgica, Saltillo Coahuila, México. Memorias, vol. III, p. 187. Septiembre 1986.
- [16] R. Colas y A. Grinberg, "Aspectos fractográficos e inestabilidad plástica en una aleación de aluminio termotratable", Decimotercer Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, Guadalajara Jalisco, México. Memorias, p. 323-327. Septiembre 1987.
- [17] R. Colas y A. Grinberg, "Reduced Gage Compression Test for evaluation of strain localization", International Conference on Computer-Assisted Materials Design and Process Simulation, Tokyo Japón, 1993.
- [18] R. Colas y A. Grinberg, "Plastic instability in a heat-treatable aluminum alloy", Materials Science and Engineering, p. 201-208, A161, 1993.
- [19] NIETO, Quijorna Antonio Javier, "Elementos de Maquinas", Ed. Universidad de Castilla- La Mancha, p.234 España, 2007.
- [20] MARTINEZ, Perez Francisco, "La tribología: ciencia y técnica para el mantenimiento" México, p. 37-45, Limusa, 1996
- [21] MARTÍNEZ, Escanaverino José, "Teoría y práctica del rozamiento", Ed. Pueblo y Educación, La Habana, p.201-234 1986.

- [22] KHONSARI, Michael M., "Applied tribology: bearing design and lubrication", New York: J. Wiley, 2001
- [23] HARNOY, Avraham. "Bearing design in machinery: engineering tribology and lubrication" Avraham Harnoy Heading: 9923 missing 3
- [24] SCHERGE, Matthias, 1962-. Título Biological micro- and nanotribology : nature's solutions / Matthias Scherge, Stanislav N. Gorb Datos de publicac. Berlin: Springer, 2001.
- [32] GEORGE C. Morrisey., "Planeación Táctica", Ed. Prentice Hall, p.p 67-69
- [33] CEJA Guillermo, "Planeación y Organización de Empresas". Ed. McGrawHill Octava edición, p.p 69-98
- [37] POLO Pujadas Magda "Creación y gestión de proyectos", Ed. Universidad de Cantabria, Octava edición, p.p 32-68
- [40] BACKER, Morton y JACOBSON, Lyle, Contabilidad de costos, un enfoque administrativo y de gerencia, McGraw Hill.
- [41] CATALOGO TRAVERS Tool, 26 de Julio a 31 de Agosto de 2010, 2010, p. 43, 46 y 171.
- [44] CATALOGO INSTRON- METALINSPEC 2010, Maquinas Universales de ensayos mecánicos.

- [45] CATALOGO STRUERS, METALINSPEC 2010, Equipo de corte, desbaste y pulido.
- [46] CATALOGO GHENMERAL KOEHLER 2010, Maquina Universal para Ensayos de Fricción.

### **Cibergrafía**

- [25] <http://eliud44.iespana.es/contaminaciondelagua.html>
- [26] [http://www.avizora.com/atajo/colaboradores/textos\\_contra\\_la\\_contaminacion\\_industrial.htm](http://www.avizora.com/atajo/colaboradores/textos_contra_la_contaminacion_industrial.htm)
- [27] <http://www.fim.utp.ac.pa/bibliotecas/cursos/analisis-de-fallas-mecanicas/capitulo11>
- [28] <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/8510-Lubricantes-ecologicos-para-operaciones-de-corte-y-conformado.html>
- [29] <http://deptquimica.uab.cat/catala/documents/>
- [30] [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/captitulo4](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/captitulo4)
- [31] <http://informatica.aragon.unam.mx/tecnologico/>

- [34] <http://www.stps.gob.mx/DGSST/normatividad/noms/Nom-025.pdf>
- [35] <http://edison.upc.edu/curs/llum/interior/iluint2.html#calculo>
- [36] <http://www.scribd.com/doc/3892091/A51-METODO-DE-LOS-LUMENES-cap>
- [38] <http://www.infomipyme.com/Docs/GT/Offline/Empresarios/costos.htm>
- [39] <http://www.depreciacion.net/metodos.html>
- [42] <http://www.trotec24.com/en-us/temperature/infrared-cameras/ic080lv-infrared-camera.html>
- [43] <http://neuquencapital.cittysar.com/viscosimetro-modelo-snb-2-viscosimetro-iid-53701522>
- [47] [http://www.luz.philips.com/latam/archives/es\\_guia\\_de\\_productos\\_lamp.html](http://www.luz.philips.com/latam/archives/es_guia_de_productos_lamp.html)