



Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica



Dirección General de Educación Superior Tecnológica



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

INGENIERÍA MECÁNICA

Realización de la residencia

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Informe técnico de residencia profesional

“MANUFACTURA Y PUESTA EN MARCHA DE UN TRIBÓMETRO PARA CATÉTERES INTRA VENOSOS”

Presentada por

ABRAHAM ISAAC ESCOBAR GÓMEZ

Asesor interno

M.I. APOLINAR PÉREZ LÓPEZ

Asesor externo

DR. JOSE MARÍA RODRÍGUEZ LELIS

CONTENIDO

Nomenclatura	i
Listado de figuras	iii
Listado de tablas	iii
Resumen	iv
Introducción	v
Objetivo	vi
CAPITULO 1.- ESTADO DEL ARTE	1
1.1. Péndulo de Fricción TRRL	2
1.2. Péndulo de Charpy	3
1.3. Referencias	4
CAPITULO 2.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1. Modelo tribológico	5
2.2. Enfoque energético del proceso tribológico	6
2.3. Geometría de contacto	7
2.4. Desgaste	8
2.4.1. Tipos de desgaste en materiales	8
2.4.1.1. Desgaste por adherencia	8
2.4.1.2. Desgaste por abrasión	9
2.4.1.3. Desgaste por ludimiento o frotación	10
2.4.1.4. Desgaste por fatiga	10
2.4.1.5. Desgaste por erosión	10
2.4.1.6. Desgaste por corrosión	11
2.5. Módulo de elasticidad	12
2.6. Energía de superficie	12
2.7. Rugosidad superficial	13
2.8. Superficie de contacto real	13
2.9. Adhesión	13
2.10. Tipos de enlaces	14
2.10.1. Enlace de Van der Waals	14
2.10.2. Enlace puente de hidrógeno	15
2.10.3. Enlace iónico	15
2.10.4. Enlace covalente	15
2.10.5. Enlace metálico	16
2.11. Fuerza de adhesión	16
2.12. Modelos de contacto adhesivo	16
2.12.1. Modelo de Hertz	16
2.12.2. Modelo de JKR (adhesión de esferas)	17
2.13. Fricción y coeficiente de fricción	18
2.14. Definición de tribómetro	20
2.15. Importancia de un tribómetro	20
2.16. Tipos de tribómetros	21
2.16.1. Cuatro bolas	21
2.16.2. Pin en disco	21
2.16.3. Bouncing ball	21
2.17. Generalidades de los catéteres intravenosos	22

2.17.1. Clasificación y designación	22
2.17.2. Especificaciones	22
2.17.2.1. Materiales	23
2.17.2.2. Físicas	23
2.17.3. Características técnicas específicas de un catéter intravenoso periférico de poliuretano radiopaco	24
2.17.4. Referencias	26
CAPITULO 3.- PROCEDIMIENTOS Y VALIDACIÓN DE LA APLICACIÓN EXPERIMENTAL DEL TRIBÓMETRO PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN DE LOS CATÉTERES INTRAVENOSOS MEDIANTE PRUEBAS DE IMPACTO - DESLIZAMIENTO	28
3.1. Introducción	28
3.1.1. Diseño de los experimentos	28
3.1.2. Modelación del experimento	29
3.1.3. Principio del método Charpy	30
3.1.4. Repetibilidad y reproducibilidad	30
3.2. Procedimiento para la determinación del coeficiente de fricción mediante prueba de impacto	31
3.2.1. Alcance del procedimiento	31
3.2.2. Documentos de referencia	32
3.3. Resumen del procedimiento de ensayo	32
3.4. Importancia y uso del procedimiento	33
3.5. Dispositivo de ensayo. Descripción general	34
3.6. Parámetros del ensayo	34
3.7. Materiales y equipos complementarios para la realización del ensayo	35
3.8. Procedimiento de calibración de los sensores de fuerza	35
3.9. Procedimiento para la realización del ensayo	36
3.10. Validación de la aplicación experimental del tribómetro para la determinación del coeficiente de fricción mediante pruebas de impacto – deslizamiento	37
3.10.1. Introducción	37
3.10.1.1. Precisión de los resultados de los ensayos de laboratorio	37
3.10.2. Métodos	37
3.10.2.1. Análisis de los resultados experimentales de ensayos de laboratorio	37
3.10.2.2. Determinación del error permisible de la muestra absoluto	39
3.10.2.3. Determinación del error relativo	39
3.10.2.4. Grado de precisión de la prueba experimental	39
3.10.2.5. Referencias	40
CAPITULO 4.- RESULTADOS	41
4.1. Discusión de resultados	43
CAPITULO 5.- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	44
5.1. Conclusiones	44
5.2. Trabajos futuros	45
ANEXOS	46

NOMENCLATURA

E_1, E_2 – Módulo de elasticidad

ν_1, ν_2 – Coeficiente de Poisson

$\gamma_a, \gamma_b, \gamma_{ab}$ – Energía libre de superficie

a, R_1, R_2 – Radio de esfera

W_{ab}, W_{adh} – Trabajo de adhesión

F_{adh} – Fuerza de adhesión

R, R_p – Radio reducido

F_L, F_1 – Carga

δ – Radio de indentación

μ – Coeficiente de fricción

μ_s – Coeficiente de fricción estático

μ_k – Coeficiente de fricción cinético

F, W – Fuerza normal

s – Fuerza tangencial

f – Fuerza de fricción

τ – Esfuerzo cortante

H_m – Dureza del material

θ – Ángulo de contacto

r_{ab} – Radio de adhesión

y' – Media aritmética de los resultados

y_i – Mediciones

n – Número de experimentos

$\sum_{i=1}^n (y - y')^2$ – Suma de cuadrados de las desviaciones



k – Diferencia entre el valor más alto y el más bajo de las medias en las corridas

d_2 – Factor de desviación

V – Coeficiente de variación

m – Tamaño de la muestra

e – Error permisible o muestreo

e'_y – Error absoluto de las mediciones

e_{ry} – Error relativo de las mediciones

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Péndulo de fricción británico (ASTM E 274).	3
Fig. 2 Péndulo de Charpy.	3
Fig 3. Representación de un Tribosistema.	6
Fig 4. Contacto entre dos superficies sólidas modelado a través de esferas [Kuhn, 2009].	7
Fig 5. Desgaste adhesivo entre dos piezas en movimiento.	9
Fig 6. Desgaste abrasivo debido a la presencia de partículas duras.	9
Fig 7. Desgaste por fatiga superficial.	10
Fig. 8 Desgaste erosivo debido a la acción de un fluido con partículas abrasivas en suspensión.	11
Fig. 9 Partes principales de un catéter intravenoso.	23
Fig. 10 Adquisidor de datos HYTEK.	35
Fig. 11 Graficación de las mediciones de fuerza en función del voltaje	50

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1. Dimensiones nominales del catéter y sus calibres. Datos en milímetros (mm). Información obtenida de “Equipos Médicos Vizcarra S.A. de C.V.”.	24
Tabla N° 2. Factor de desviación para la desviación estándar estimada en el rango del tamaño básico de la muestra.	38
Tabla N° 3.- Calibración de las mediciones de masa en términos del voltaje y su conversión a fuerza dada en Newton	42
Tabla N° 4.- Tabla de resultado de las pruebas experimentales realizadas.	42

RESUMEN

La sensación de dolor durante la penetración de catéteres intravenosos está ligada con la adherencia de éste con la piel humana, por lo que se requieren coeficientes menores a 0.25. la evaluación del efecto de penetración en la piel de forma industrial, no evalúa en realidad el coeficiente de fricción, por lo que se requiere de una referencia estandarizada de las fuerzas que interactúan durante la penetración. La construcción del dispositivo que proporcione estos resultados es el objetivo del presente proyecto.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la fricción es un tema que ha cobrado una relevancia muy significativa debido a que la mayoría de las actividades desde encender un cerillo hasta el diseño de aviones, toman como un dato importante el efecto de la fricción y sus repercusiones en los procesos.

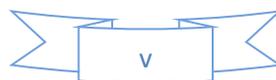
A lo largo del tiempo la ciencia ha estudiado la interacción entre superficies, la mayoría de estudios realizados han llegado a concluir que el rozamiento depende de muchos factores, los cuales involucran entre otras, condiciones ambientales, estado superficial, humedad relativa, magnitud de la fuerza normal, dirección de movimiento, etc.

La tribología es la ciencia y tecnología que estudia la lubricación, la fricción y el desgaste de partes móviles o estacionarias.

La tribología toma en cuenta aspectos como: el diseño, los materiales de las superficies en contacto, el sistema de aplicación del lubricante, el medio circundante y las condiciones de operación.

Una información confiable acerca de la fricción depende de la precisión de las mediciones experimentales, y por lo tanto de la configuración de la prueba utilizada. El diseño, calificación y cuantificación de la configuración utilizada son importantes en la interpretación de los resultados de la medición, que se utilizan para obtener las características de fricción. Por su relevancia en las máquinas, la fricción se ha medido en numerosa cantidad de veces, durante muchos siglos, y todavía no se divulgan todos sus secretos. La edición de 1989 del Oxford English Dictionary define un tribómetro como un instrumento para la estimación de la fricción por deslizamiento. Por lo tanto, la definición de un tribómetro es aplicable a una amplia gama de configuraciones de medición.

Actualmente no existen dispositivos que estimen los coeficientes de fricción en catéteres intravenosos, es por ello que con el presente trabajo lo que se pretende es que en base a un diseño previo de un tribómetro tipo péndulo de impacto - deslizamiento se puedan realizar pruebas experimentales para determinar este factor; además de corroborar los datos obtenidos por la experimentación con evaluaciones teóricas del mismo incluyendo además la determinación aproximada de las fuerzas (Normal y Tangencial) que están presentes en la inserción de estos dispositivos dentro de las vías venosas y para su demostración se ha diseñado y construido un prototipo de un tribómetro.



OBJETIVO

Con base en un diseño realizado de un tribómetro tipo péndulo de fricción para catéteres intravenosos, el objetivo de este proyecto es realizar la manufactura y puesta en marcha de éste, y corroborar datos experimentales con evaluaciones teóricas del coeficiente de fricción.

CAPITULO 1.- ESTADO DEL ARTE

En sí, la Tribología podría parecer algo nuevo, pero solamente el término como tal lo es, ya que el interés en temas relacionados con la disciplina existe desde antes de que la historia se escribiera. Como un ejemplo, se sabe que las “brocas” realizadas durante el periodo Paleolítico para perforar agujeros o para producir fuego, eran “fijados” con rodamientos hechos de cornamentas o huesos [1].

Los documentos históricos muestran el uso de la rueda desde el 3500 A.C., lo cual ilustra el interés de nuestros antepasados por reducir la fricción en movimientos de traslación. Los egipcios tenían el conocimiento de la fricción y los lubricantes, esto se ve en el transporte de grandes bloques de piedra para la construcción de monumentos y pirámides. Para realizar esta tarea utilizaban agua o grasa animal como lubricante [2], [3].

Los primeros estudios que se tienen relacionados con este tipo de fenómenos, se remontan a la época de Aristóteles, hace aproximadamente 2000 años, quien fue el primero en reconocer la fuerza de fricción.

Posteriormente el artista científico renacentista Leonardo Da Vinci a mediados del siglo XV, en los bocetos del Codex Atlanticus y Codex Arundel, presentó el primer estudio cuantitativo de la fricción. Da Vinci dedujo la leyes que gobernaban el movimiento de un bloque rectangular deslizándose sobre una superficie plana, también, fue el primero en introducir el concepto del coeficiente de fricción. Desafortunadamente sus escritos no fueron publicados hasta cientos de años después de sus descubrimientos. Fue en 1699 que el físico francés Guillaume Amontons redescubrió las leyes de la fricción al estudiar el deslizamiento entre dos superficies planas.

John Theophilus Desaguliers en 1724, enfocó su investigación en adhesión de dos cuerpos y observó que las rugosidades superficiales son responsables de la mayor parte de la fuerza de fricción, Desaguliers notó que cuando las superficies en deslizamiento estaban muy pulidas, la fricción aumentaba, además enfatizó la magnitud y naturaleza de las fuerzas de cohesión como: *“es más fácil levantar la mayoría de los cuerpos de la tierra que romperlos en pedazos, la fuerza que mantiene a las partes unidas es más fuerte que su gravedad. Esta fuerza se llamará fuerza de atracción de cohesión”*. Desaguliers establece que *“la fricción es causa de las fuerzas de atracción molecular (adhesión) entre las superficies solidas de contacto”*,[3].

En 1748, el matemático suizo Leonhard Euler contribuyó al conocimiento de la fricción. Él realiza la primera distinción entre el coeficiente estático de fricción y el coeficiente dinámico de fricción. También introdujo el uso del símbolo μ , comúnmente usado para denotar el coeficiente de fricción.

En 1781, Coulomb presenta su trabajo “Teoría de las máquinas simples”, en este trabajo hace la distinción entre fricción estática, fuerza requerida para comenzar el movimiento, y fricción dinámica, fuerza requerida para mantenerlo. Además, encontró que en general la fricción dinámica fue menor que la fricción estática, pero que la diferencia fue casi imperceptible para metales.

En 1785 estableció la tercera ley de la fricción: (3) La fricción cinética es independiente de la velocidad de deslizamiento. Robert Henry Thurston se dedicó a investigar la fricción de superficies lubricadas [2].

Hasta este momento nadie podía explicar el origen de la fricción, Frank Bowden y David Tabor, establecen que cuando dos superficies se sitúan una sobre otra, surge una fuerte adhesión y se crea un sólido continuo; de esta forma, las superficies hacen contactos con los mismos puntos, en las crestas de sus rugosidades, y una presión alta aparece en esos puntos. Cuando las superficies se deslizan, las uniones creadas se rompen y la fuerza necesaria para separarlas es igual a la fuerza de fricción.

También existe una dependencia entre la fricción y la adhesión, la fricción es el esfuerzo cortante y la adhesión es el esfuerzo de tensión de las uniones formadas en las regiones de contacto real.

En 1958 Rabinowicz, propone el concepto de trabajo de adhesión y lo define como el trabajo necesario para separar dos superficies en contacto. El concluye que la energía de superficie de los metales, es aproximadamente dos veces mayor a temperatura ambiente y propone la compatibilidad metalúrgica de los materiales, y la define como la propiedad de aquellos materiales que presentan un alto grado de solubilidad mutua, o que permite la formación de compuestos intermetálicos [1].

Por otra parte, actualmente no existen registros de algún dispositivo que permita medir el coeficiente de fricción de tuberías de diámetros pequeños como es el caso de los catéteres intravenosos, pero de lo que se ha encontrado registro en las patentes, es lo referente al mecanismo de prueba (tipo péndulo de impacto), siendo uno de los más apegados al diseño del tribómetro, los que se enlistan a continuación.

1.1. PÉNDULO BRITÁNICO TRRL (Transport Road Research Laboratory).

El Péndulo Británico es un péndulo dinámico que se utiliza para medir la energía perdida cuando el borde de un patín de goma se desliza sobre una superficie.

El método tiene por objetivo obtener el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) que valora las características antideslizantes de la superficie de un pavimento.

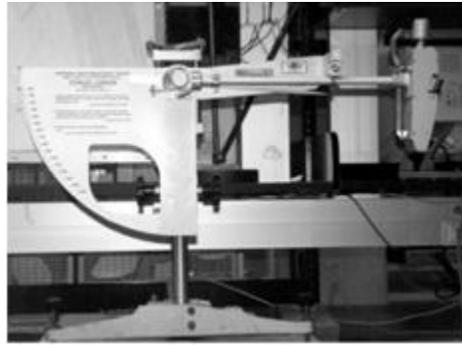


Fig. 1 Péndulo de fricción británico (ASTM E 274)

Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija.

Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo [4]. (Véase fig. 1)

1.2. PÉNDULO DE CHARPY



Fig. 2 Péndulo de Charpy

El péndulo de Charpy es un dispositivo a modo de péndulo ideado por Georges Charpy. Se utiliza en ensayos para determinar la tenacidad de un material. Son ensayos de impacto de una probeta entallada y ensayada a flexión en 3 puntos. El péndulo cae sobre el dorso de una probeta y la fractura. La diferencia entre la altura inicial del péndulo (h) y la final tras el impacto (h') permite medir la energía absorbida en el proceso de rompimiento de la probeta. En estricto rigor se mide la energía absorbida en el área debajo de la curva de carga, desplazamiento que se conoce como resiliencia [5]. (Véase fig. 2)

REFERENCIAS

- [1]F. D. del Castillo Rodríguez, “Lectura de Ingenierías 2: Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación, UNAM cuautitlán, Cuautitlán Izcalli 2007.
- [2]L. M. Ramos Sommer • V. Meza López, “Diseño de un dispositivo para evaluar coeficiente de fricción en tuberías de 1 a 3 mm de diámetro exterior”, Cuernavaca, Morelos, Mayo de 2013.
- [3]J. A. Rodríguez Ramírez, “Diseño y construcción de un dispositivo para evaluar la resistencia al desgaste en rodamientos recubiertos a base de fricción seca con diamante”, Cuernavaca, Morelos, Junio del 2003.
- [4]D. B. López Valdéz • R. Garcinica Anguas. Publicación Técnica N. 170 “Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción internacional en carreteras de México”, Secretaria de Comunicaciones y Transportes • Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, 2002.
- [5]E. Medina Bejarano, “Guía Laboratorio Mecánica de Materiales”, pag. 2.

CAPITULO 2.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

La Tribología es un nuevo campo de la ciencia definido en 1967 por un comité de la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo, que se centra en la fricción, desgaste y lubricación de superficies en movimiento relativo que interaccionan entre sí. La palabra “Tribología” es una derivación de la palabra griega “tribos” que significa fricción o deslizamiento.

Para entender un poco más de las diferencias entre los factores que estudia la tribología, se tienen las siguientes definiciones:

La fricción se define como la resistencia al movimiento durante el deslizamiento o rodamiento que experimenta un cuerpo sólido al moverse sobre otro con el cual está en contacto y depende de las características de las superficies.

El desgaste es el daño de la superficie y/o eliminación de material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo, ya sea por deslizamiento, rodamiento o impacto.

La lubricación consiste en la introducción de una capa intermedia de un material ajeno entre las superficies en movimiento, cuya función es disminuir la fricción y el desgaste. El término lubricante es muy general, y puede estar en cualquier estado material: líquido, sólido, gaseoso incluso puede ser semisólido o pastoso.

2.1. MODELO TRIBOLÓGICO

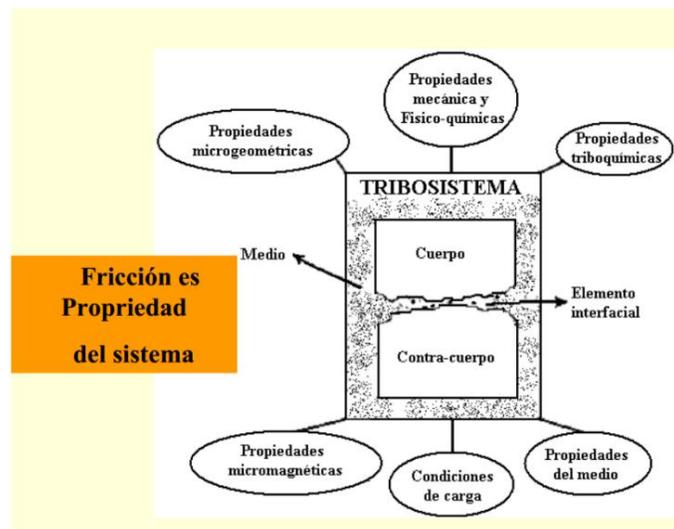


Fig 3. Representación de un tribosistema

Una abstracción del contacto tribológico real se hace a través del modelo tribológico. Este modelo consta de cuatro elementos: dos superficies sólidas en contacto, la interfase entre ambas superficies y las condiciones ambientales [1].

Los procesos tribológicos suelen ocurrir en el área de contacto entre las superficies sólidas, los cuales pueden tener una naturaleza física, físico-química (adsorción, desorción) o química.

La obtención del consumo energético, desde un punto de vista tribológico, depende del área y la geometría de la superficie de contacto, la carga aplicada en esa superficie y el espesor de la película de lubricante [1]. (Véase la fig. 3)

Sistema Tribológico

1. Objeto base.
2. Cuerpo opuesto.
3. Influencias del entorno: temperatura, humedad relativa, presión.
4. Material intermedio: aceite, grasa, agua, partículas, contaminantes.
5. Carga.
6. Movimiento.

2.2. ENFOQUE ENERGÉTICO DEL PROCESO TRIBOLÓGICO

La energía en el proceso de fricción se invierte en producir dos tipos de modificaciones en el sistema tribológico [1]:

- Deformaciones, que pueden ser:
 - Elásticas
 - Plásticas
 - Reológicas (del lubricante utilizado)
- Adhesiones: este proceso consiste en invertir la energía consumida en la fricción para separar aquellos microporos que se fusionan como consecuencia del proceso tribológico. Para que se produzcan estas adhesiones es necesario un contacto directo entre ambas superficies.

Existe un algoritmo para investigar un problema tribológico desde un punto de vista energético desarrollado por Fleischer (1982) y Kuhn (2000) y utilizado para el diseño de rodamientos, contactos con fricción, análisis de desgaste y estimación de fiabilidad entre otras aplicaciones [1]. Este algoritmo se define siguiendo una serie de pasos:

- Describir la geometría de contacto: como resultado de esta etapa se define un área de contacto real y el número de contactos.

- Cálculo de la energía requerida en el proceso de fricción (pérdida de energía): en esta etapa se determina la energía de fricción ya sea elástica, plástica o para cizallar el lubricante.
- Cálculo de la densidad de energía crítica: a partir de esta etapa se cuantifica la densidad de energía de fricción aparente y la intensidad lineal de desgaste.

2.3. GEOMETRÍA DE CONTACTO

Para describir la geometría de contacto son necesarios estudios a escala macro, micro y nanométricos. Esto es necesario debido a que aunque visualmente muchas superficies tienen un aspecto liso, a escala microscópica (o menor) se pueden diferenciar una serie de rugosidades que afectan al proceso de fricción [1].

De forma general, existen diferentes formas para enfocar el estudio de la superficie de los cuerpos en contacto:

- ✓ Modelizando las rugosidades con determinadas formas geométricas (generalmente esferas) donde se definen una serie de variables aleatorias.
- ✓ Mediante un perfil que caracterice la superficie a través de un proceso estocástico. Generalmente se necesita invertir una gran cantidad de tiempo con la ayuda de un software para generar un resultado.
- ✓ Describiendo la superficie con la ayuda de campos estocásticos. Esta opción es la más compleja pero la que da una mayor aproximación a la realidad.

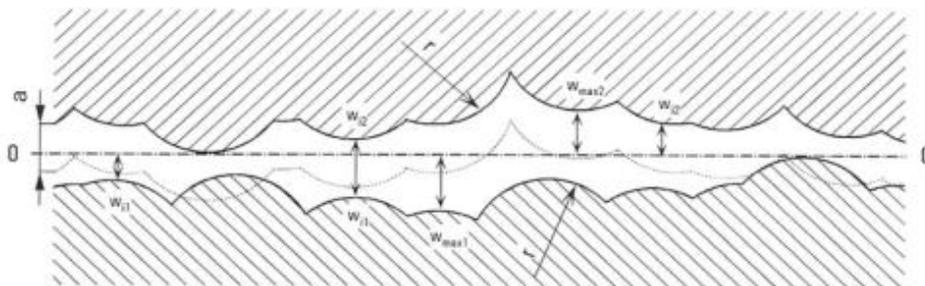


Fig 4. Contacto entre dos superficies sólidas modelado a través de esferas [Kuhn, 2009]

Cuando no es necesario un estudio muy profundo sobre la descripción de la geometría de contacto, es preferible usar la modelización a través de formas geométricas, siendo el modelo más usado el esférico, de tal forma que la superficie se representa a través de una serie de esferas caracterizadas por su radio y la altura relativa con respecto a la posición de referencia. Tanto los radios como las alturas se pueden caracterizar a través de una distribución gaussiana [Kuhn, 2009]. (Véase la fig. 4)

2.4. DESGASTE

El desgaste es el daño de la superficie por remoción de material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo. Es un proceso en el cual las capas superficiales de un sólido se rompen o se desprenden de la superficie. Al igual que la fricción, el desgaste no es solamente una propiedad del material, es una respuesta integral del sistema.

Es de esperarse que para aumentar la vida útil de un equipo se debe disminuir el desgaste al mínimo posible.

La predicción del desgaste es difícil porque no es una propiedad intrínseca del material, sino que depende de todo el tribosistema con el que interacciona el cuerpo que se desgasta. El deslizamiento entre superficies sólidas se caracteriza generalmente por un alto coeficiente de fricción y un gran desgaste debido a las propiedades específicas de las superficies [2], [4].

2.4.1. TIPOS DE DESGASTE EN MATERIALES

En general, los sistemas de ingeniería implican el movimiento relativo entre componentes fabricados a partir de metales y no metales, y se han identificado seis tipos principales de desgaste, como sigue:

- Desgaste por adherencia.
- Desgaste por abrasión.
- Desgaste por ludimiento o frotación.
- Desgaste por fatiga.
- Desgaste por erosión.
- Desgaste por corrosión

2.4.1.1. DESGASTE POR ADHERENCIA.

En este caso, el movimiento relativo puede ser deslizamiento unidireccional o de vaivén, o bien la interacción ocurre bajo carga en un contacto oscilatorio de pequeña amplitud.

Se sabe que los picos superficiales que coinciden fluyen plásticamente y forman fuertes uniones endurecidas por el trabajado. A medida que estas se rompen bajo la tracción tangencial impuesta, los sólidos van perdiendo material.

Esta forma de desgaste ocurre cuando dos superficies se deslizan una contra otra bajo presión.

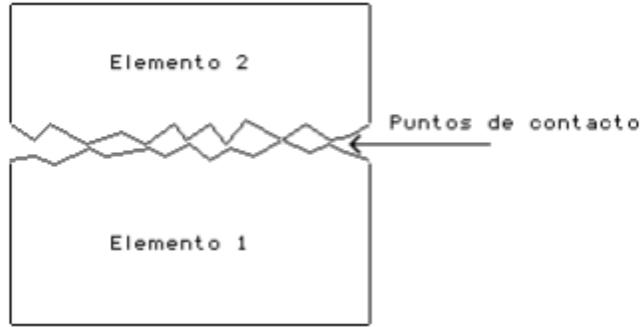


Fig 5. Desgaste adhesivo entre dos piezas en movimiento

Los puntos de contacto (ver figura 5), proyecciones microscópicas o la aspereza de la unión en la interfase donde ocurre el deslizamiento debido a los altos esfuerzos localizados, llevan a que las fuerzas de deslizamiento fracturen la unión, desgarrando al material de una superficie y transfiriéndolo a otra, lo que puede ocasionar posteriormente mayor daño [2], [3].

2.4.1.2. DESGASTE POR ABRASIÓN.

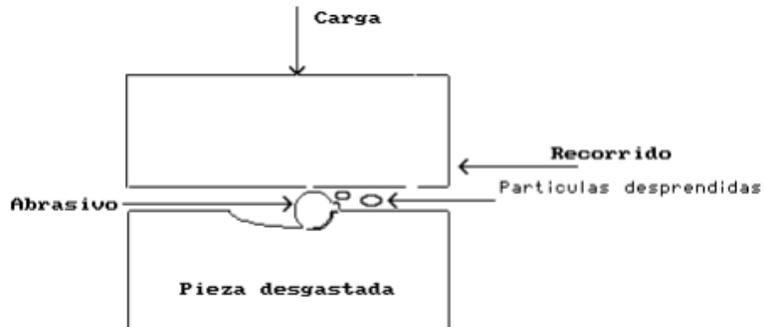


Fig 6. Desgaste abrasivo debido a la presencia de partículas duras

Es la remoción de material de la superficie en contacto por superficies duras en superficies de coincidencia, o con superficies duras que presentan un movimiento relativo en la superficie desgastada. Cuando es el caso de partículas duras, ellas pueden encontrarse entre las dos superficies que se deslizan entre sí como se muestra en la figura 6 o se podrían incrustar en cualquiera de las superficies. Es conveniente aclarar que este tipo de desgaste se puede presentar en estado seco o bajo la presencia de un fluido.

Las partículas abrasivas producidas por los residuos del desgaste o por partículas extrañas de arena y polvo circundante permanecen atrapadas en la superficie deslizante y eliminan material principalmente por formación de surcos [2], [3].

2.4.1.3. DESGASTE POR LUDIMIENTO O FROTACIÓN

El desgaste por ludimiento aparece como resultado del movimiento oscilatorio de dos superficies en contacto, como sucede en máquinas donde existe vibración entre las partes [2], [3].

2.4.1.4. DESGASTE POR FATIGA.

Es probable que el modo predominante de la mayoría de los tipos de desgaste sea por desprendimiento de material de la superficie por fatiga, ya sea que la naturaleza del movimiento sea unidireccional o de vaivén.

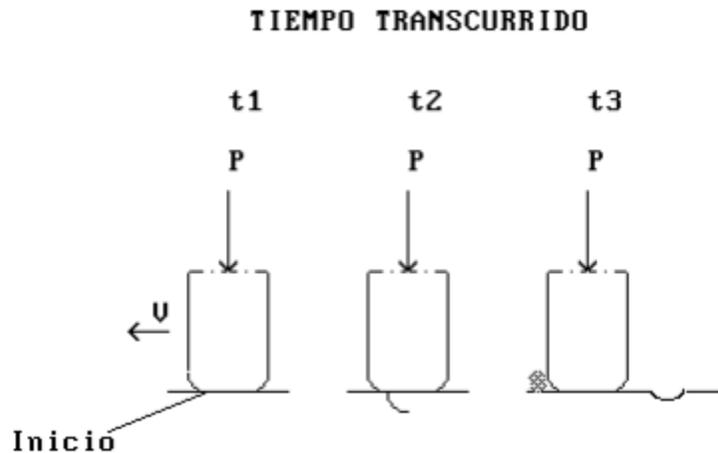


Fig 7. Desgaste por fatiga superficial

Clasificar un tipo particular de falla como desgaste por fatiga puede ser confuso. Sin embargo, a fin de hacer un clasificación, el término desgaste por fatiga se reserva para identificar la falla de contactos lubricados en casos como los rodamientos de bolas o rodillo, engranes, levas y mecanismos impulsores de fricción. La pérdida de material es por desprendimiento superficial y por picaduras, como en los engranes.

Se piensa que las grietas por fatiga aparecen debajo de la superficie en un punto en que el esfuerzo cortante es máximo [2], [3]. (Véase fig. 7)

2.4.1.5. DESGASTE POR EROSIÓN.

El desgaste por erosión se define como el proceso de eliminación de metal provocado por la incidencia de partículas sólidas sobre una superficie.

El grado de desgaste tiene relación con el ángulo de incidencia de la partícula respecto de la superficie.

Los materiales dúctiles parecen deformarse y posiblemente se endurezcan cuando se les golpea en forma perpendicular, pero a un ángulo crítico de aproximadamente 20° , el metal se elimina por una acción de corte. Los materiales frágiles fallan por agrietamiento de las superficies cuando la fuerza de impacto es normal. Se deduce que un componente dúctil finalmente se endurecerá por trabajado y fallará como si fuera frágil [2], [3].

Se han hecho intentos de manipular el ángulo de incidencia por modificación del diseño del componente en sí o por protección de las superficies con un material como el hule. El control del ángulo de incidencia, es una situación industrial que no es fácil y es pertinente especular si las superficies deben recubrirse con medios que se puedan restaurar fácilmente como un procedimiento programado de mantenimiento.

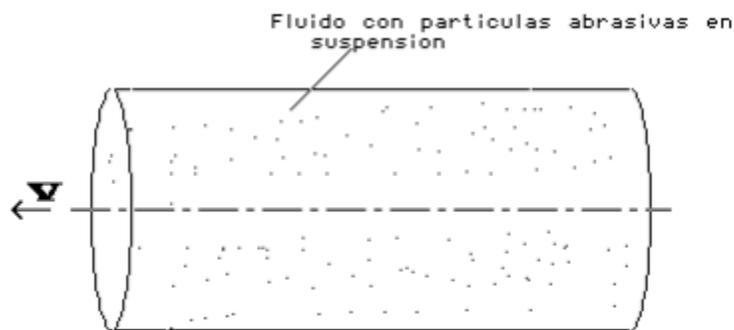


Fig. 8 Desgaste erosivo debido a la acción de un fluido con partículas abrasivas en suspensión

Este tipo de desgaste ocasiona pérdidas de material en la superficie por el contacto con un líquido que contiene en suspensión cierta cantidad de partículas abrasivas como se muestra en la figura 8, siendo esencial el movimiento relativo entre el fluido y la superficie, ya que la fuerza de las partículas, que de hecho son responsables del daño, se aplica cinemáticamente. En el desgaste erosivo es donde el movimiento relativo de las partículas sólidas es casi paralelo con las superficies erosionadas se denomina erosión abrasiva, por otro lado, la erosión en la que el movimiento relativo de las partículas es casi normal (perpendicular) a la superficie erosionada se conoce como erosión bajo impacto [2], [3]

2.4.1.6. DESGASTE POR CORROSIÓN.

En esta forma de desgaste las reacciones químicas o electroquímicas con el medio ambiente contribuyen significativamente en la velocidad del desgaste.

En algunas ocasiones, las reacciones químicas ocurren primero y son seguidas por una remoción de los productos de la corrosión mediante una acción mecánica (abrasión), de otra manera, la acción mecánica podría preceder a la acción química dando como resultado la creación de pequeñas partículas de desperdicio [2], [3].

2.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD

Una cantidad de uso frecuente en la mecánica de contacto es de los llamados módulo de elasticidad E^* , para el contacto entre dos materiales 1 y 2, con módulos de Young E_1 y E_2 y Poisson relaciones de ν_1 y ν_2 [5], que se define como:

$$E = \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right) \quad (1)$$

En el caso de un material elástico 1 y un material rígido 2, que se simplifica a:

$$E = \frac{E_1}{1 - \nu_1^2} \quad (2)$$

2.6. ENERGÍA DE SUPERFICIE

Es una propiedad de los materiales, se refiere a la energía de los átomos situados sobre la superficie libre. La energía de superficie " γ " se define como el trabajo reversible necesario para crear un área unitaria de superficie, bajo condiciones de temperatura y volumen constante [5].

Cuando, en el caso de un sólido, rompemos su superficie, haciendo pedazos, conseguimos que se consuma una cantidad de energía debido a la ruptura de enlaces. Si dicho corte es de tipo reversible, conseguiremos que la energía que se produce en la ruptura, se conserve, pues la conservación de energía dice que la energía que ha sido consumida en dicho proceso deberá ser idéntica a la energía de tipo inseparable a las superficies nuevas que han sido creadas.

La unidad de energía superficial que posea un material debe ser entonces, la mitad del valor de la energía de cohesión que tiene, mientras que el resto de las condiciones dadas permanecen iguales.

Si se considera que la energía de superficie es función de la resistencia mecánica del material y la fuerza de los enlaces entre sus elementos, se espera que elevados valores de energía de superficie estén asociados a elevadas fuerzas de enlace [5]. La ecuación que representa la energía libre de superficie en función de estos parámetros es:

$$\gamma = \frac{Ea}{10} \quad (3)$$

Donde E es el módulo de elasticidad del material y a es la distancia de separación entre los centros de los iones del material.

2.7. RUGOSIDAD SUPERFICIAL

Es el conjunto de irregularidades de la superficie real definidas convencionalmente en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminados (Chuvieco, 1996).

Las superficies sólidas, independientemente de su método de formación, contienen irregularidades o desviaciones de la forma geométrica. Las superficies sólidas son casi siempre compuestas de variaciones aleatorias en la altura superficial en algunas escalas. Estas desviaciones superficiales de altura se denominan rugosidad superficial, y son caracterizadas mediante picos y valles de varias magnitudes.

La rugosidad superficial se relaciona con una escala de longitud. Usualmente, las fluctuaciones superficiales con una gran longitud de onda son conocidas como las ondulaciones de la superficie, mientras que las que tienen longitudes de onda más corta son comúnmente asociadas a la rugosidad [6], [7].

2.8. SUPERFICIE DE CONTACTO REAL

Si consideramos dos materiales que están en contacto, algunas regiones en su superficie estarán muy cerca unas de las otras, y algunas muy separadas. Es posible asumir que la suma de todas las interacciones que toman lugar en estas regiones de contacto entre las posibles superficies y en las cuales existe contacto átomo-átomo, corresponde al área real de contacto.

Si asumimos que las interacciones están en contacto y bajo una carga normal, la deformación plástica en los contactos de la superficie, ocurrirá; el contacto inicial se realizará sobre varios tamaños de área y la deformación continuará hasta alcanzar el área total de contacto [5].

2.9. ADHESIÓN

Éste fenómeno ocurre cuando dos superficies se unen bajo la acción de una carga normal, o también, bajo la acción de una carga combinada, normal y cortante. Este fenómeno se presenta tanto en sistemas que mantienen contacto sólido-sólido, como en sistemas sólido-líquido-sólido [8], [9].

En 1953 Archard presentó un modelo de desgaste por adhesión, donde asumió el proceso de fricción de superficies en deslizamiento consiste en romper las uniones que se forman en las asperezas superficiales [5].

Consideró que el contacto es totalmente plástico, y a partir de ese modelo, podemos definir a la adhesión como, la resistencia a la separación de dos cuerpos en una dirección normal a la interfase común.

La adhesión es función de las energías de superficies de los cuerpos en contacto. Si un enlace se forma entre dos materiales con energía de superficie γ_a y γ_b respectivamente, la energía de superficie de la interfase por unidad de área cambia a γ_{ab} .

Este cambio de energía o trabajo de adhesión por unidad de área, puede expresarse como:

$$W_{ab} = \gamma_a + \gamma_b - \gamma_{ab} \quad (4)$$

Para determinar la energía interracial γ_{ab} se utiliza la ecuación:

$$\gamma_{ab} = (\sqrt{\gamma_a} - \sqrt{\gamma_b})^2 \quad (5)$$

En el desgaste por adhesión se descarta la idea de que se eliminen átomos aislados de la superficie, es decir, se supone que el desgaste se produce por eliminación de fragmentos de material en la superficie. [Olvera, 2001]

Asimismo, la adhesión es función de las propiedades de los materiales en contacto y condiciones de la interfase tales como estructura cristalina, orientación cristalográfica, solubilidad de un material en otro, limpieza de la superficie, magnitud de la carga normal, temperatura, tiempo de duración del contacto y distancia de separación [5].

También se ve afectada por el área real de contacto, la cual es función de la carga normal y las rugosidades superficiales. Para que se genere fricción, los enlaces que se forman por la adhesión se deben romper, esto facilita el deslizamiento entre las superficies. A mayor fuerza tangencial o combinada para iniciar el deslizamiento y viceversa.

Las propiedades de las sustancias dependen en gran medida de la naturaleza de los enlaces que unen sus átomos.

2.10. TIPOS DE ENLACES

2.10.1. ENLACE DE VAN DER WAALS

Las fuerzas de van der Waals [10], [12], se conocen también como fuerzas de dispersión, esto se debe a que se encuentran presentes en las moléculas de muy baja polaridad. Estas interacciones ocurren cuando las moléculas están muy próximas. Todas las fuerzas de van der Waals son cohesivas y varían con respecto a la distancia.

Las fuerzas de van der Waals son consideradas como la explicación molecular para las energías cohesivas de los líquidos y son semejantes en magnitud a las entalpías de vaporización de muchos líquidos, éstas se originan como resultado de diversos movimientos de electrones, cuando una porción de la molécula en cierto instante se torna ligeramente negativa, en tanto que en otras regiones aparecen cargas positivas que son equivalentes a las negativas (interacciones ión-dipolo inducido, dipolo-dipolo inducido).

2.10.2. ENLACE PUENTE DE HIDRÓGENO

El enlace por puente de hidrógeno en realidad no es un enlace propiamente dicho, sino que es la atracción experimentada por un átomo electronegativo y un átomo de hidrógeno que están formando parte de distintos enlaces covalentes polares.

El átomo con mayor electronegatividad atraerá hacia sí los electrones del enlace, formándose un dipolo negativo, mientras que el átomo de hidrógeno, al ceder parcialmente sus electrones, genera un dipolo de carga positiva en su entorno. Estas cargas opuestas se atraen.

El puente de hidrógeno es un caso especial de la interacción dipolo-dipolo [11], [12].

2.10.3. ENLACE IÓNICO

La atracción electrostática entre átomos de diferente carga eléctrica genera un tipo de enlace conocido como enlace iónico. Es necesario que para que pueda darse dicho enlace uno de los átomos pueda ceder electrones y por el contrario el otro pueda ganar electrones, es decir, se produce la unión entre átomos que pasan a ser cationes y aniones. Este tipo de enlace generalmente se produce entre un elemento metálico (electropositivo) y elemento no metálico (electronegativo) [13].

2.10.4. ENLACE COVALENTE

Los enlaces covalentes se definen como la unión que se produce entre 2 átomos por la compartición de 2 o más electrones de su capa externa, con objeto de formar una molécula estable.

En el enlace covalente los átomos se unen dos a dos, compartiendo dos, cuatro o seis electrones y recibiendo el nombre de enlace simple, enlace doble o enlace triple. Cuanto mayor sea el número de electrones compartidos, mayor será la fortaleza del enlace [14].

2.10.5. ENLACE METÁLICO

El enlace metálico ocurre cuando se combinan metales entre sí. En este enlace todos los átomos envueltos pierden electrones de sus capas más externas, que se trasladan más o menos libremente entre ellos, formando una nube electrónica.

2.11. FUERZA DE ADHESIÓN

Los mecanismos de fricción en la interfase de deslizamiento pueden ser categorizados en dos tipos distintos. El primer tipo es de naturaleza mecánica y principalmente implica la deformación plástica de la capa superficial y rotura de la superficie por partículas de desgaste y asperezas duras. El segundo tipo, la adhesión, es de naturaleza química. En muchas aplicaciones de ingeniería, el aumento de la temperatura interfacial es bajo, los componentes mecánicos de fricción determinan la fuerza de fricción, y la adhesión juega un papel menor.

En la ausencia de los componentes mecánicos de fricción, se espera que el coeficiente de fricción sea muy bajo, debido principalmente a la adhesión.

La fuerza de adhesión (es decir, la fuerza máxima necesaria para separar los dos cuerpos) dependerá de la fuerza de la interacción atractiva, el área de contacto entre los cuerpos, y la distancia mínima entre ellos. Si se conoce la forma de los cuerpos y la energía de interacción por unidad de superficie entre los materiales, podemos en principio, utilizando la aproximación de Derjaguin para calcular la fuerza de adherencia [8]. Bradley y Derjaguin calculados de esta manera la fuerza de adhesión entre una esfera rígida y una superficie plana rígida para ser:

$$F_{adh} = -2\pi W_{adh} R_p \quad (6)$$

Con W_{adh} siendo la energía adhesiva por unidad de superficie, es decir, el trabajo necesario para separar una unidad de área de las dos superficies de contacto.

2.12. MODELOS DE CONTACTO ADHESIVO

2.12.1. MODELO DE HERTZ

El problema del contacto elástico entre una esfera y una superficie plana y entre dos superficies esféricas se resolvió por Hertz en 1882.

Bajo el supuesto de que el radio de contacto es pequeño en comparación con los radios de esfera, que es el contacto sin fricción y sin esfuerzo de tracción existente dentro de la zona de contacto [5], [8], Hertz deriva una ecuación para el radio de contacto entre una de las esferas:

$$a^3 = \frac{3F_{adh}R}{4E} \quad (7)$$

Donde otra vez E es el módulo de Young y R es el llamado radio reducido se define como:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (8)$$

2.12.2. MODELO DE JKR (ADHESIÓN DE ESFERAS)

La teoría de Hertz permite calcular la forma de contacto y las fuerzas entre las esferas bajo la influencia de una fuerza externa. No incluye cualquier fuerza de superficie y por lo tanto no conduce a una expresión para la fuerza de adherencia. Cuando se separaron, los cuerpos separados en el punto donde y sin ninguna fuerza de adhesión.

Una extensión de la teoría de Hertz teniendo interacciones adhesivas y su influencia en la forma de contacto en cuenta fue introducida en 1971 por Johnson, Kendall y Roberts y ha llegado a ser bien conocida como la teoría de JKR. Su base supone era tener en cuenta la interacción adhesiva sólo dentro del contacto zona y el abandono de las interacciones fuera de la zona de contacto [5], [8].

Combinando el criterio de Griffith relacionando el coeficiente de energía de almacenamiento G con la profundidad de indentación δ y el radio de contacto a y la fuerza F_L , se puede obtener la carga F_1 necesaria para obtener el mismo radio de contacto que el modelo de Hertz, de forma que la ecuación queda como a continuación se muestra:

$$F_1 = F_L + 3\pi W_{adh}R \mp \sqrt{6\pi W_{adh}RF_L + (3\pi W_{adh}R)^2} \quad (9)$$

De las misma forma se puede obtener la ecuación de JKR para el radio de contacto reemplazando F por F_L :

$$a^3 = \frac{3R}{4E} \left(F_L + 3\pi W_{adh}R + \sqrt{6\pi W_{adh}RF_L + (3\pi W_{adh}R)^2} \right) \quad (10)$$

El primer sumando en esta ecuación es idéntica a la del radio de contacto de Hertz la segunda y la tercera se deben a la interacción adhesiva y conduce a un radio de contacto mayor en comparación con la adhesión. Mediante el uso del criterio de Griffith nuevamente, se obtiene la ecuación para la sangría JKR.

$$\delta = \frac{a^2}{R} - \sqrt{\frac{2\pi a W_{adh}}{E}} \quad (11)$$

2.13. FRICCIÓN Y COEFICIENTE DE FRICCIÓN

La fricción se define como la resistencia al movimiento durante el deslizamiento o rodamiento que experimenta un cuerpo sólido al moverse tangencialmente sobre otro con el cual está en contacto. La fuerza tangencial de resistencia que actúa en una dirección directamente opuesta a la dirección del movimiento se conoce como fuerza de fricción.

La ASTM G40/93 define la fuerza de fricción y el coeficiente de fricción de la siguiente manera:

La fuerza de fricción es la fuerza tangencial resistente que actúa en la interfase de dos cuerpos y es la resultante de la acción de una fuerza externa aplicada a un cuerpo que se mueve o tiende a moverse sobre otro.

El coeficiente de fricción es la razón entre la fuerza tangencial (F_f), resistente al movimiento entre dos cuerpos y la fuerza normal N aplicada a estos cuerpos.

El artista científico renacentista Leonardo Da Vinci fue el primero que postuló un acercamiento a la fricción. Da Vinci dedujo la leyes que gobernaban el movimiento de un bloque rectangular deslizándose sobre una superficie plana, también, fue el primero en introducir el concepto del coeficiente de fricción. Desafortunadamente sus escritos no fueron publicados hasta cientos de años después de sus descubrimientos. Fue en 1699 que el físico francés Guillaume Amontons redescubrió las leyes de la fricción al estudiar el deslizamiento entre dos superficies planas [5].

Muchos otros descubrimientos ocurrieron a lo largo de la historia referente al tema, científicos como Charles Augustin Coulomb, Robert Hooke, Isaac Newton, entre otros, aportaron conocimientos importantes para el desarrollo de esta ciencia.

Al surgir la Revolución Industrial el desarrollo tecnológico de la maquinaria para producción avanzó rápidamente. El uso de la potencia del vapor permitió nuevas técnicas de manufactura. En los inicios del siglo veinte, desde el enorme crecimiento industrial hasta la demanda de una mejor tribología, el conocimiento de todas las áreas de la tribología se expandió rápidamente.

Las leyes del mecanismo de fricción son:

- a) La resistencia de fricción es directamente proporcional a la carga aplicada,
- b) La fricción es independiente del área de deslizamiento de las superficies, y

c) La fricción cinética es independiente de la velocidad de deslizamiento.

Para determinar el coeficiente de fricción basta con medir simultáneamente la fuerza normal W entre las superficies en contacto y la fuerza F necesaria para iniciar el movimiento entre ellas (en el caso del coeficiente estático - μ_s) o la fuerza F de rozamiento cuando una superficie se está desplazando respecto de la otra (en el caso del coeficiente dinámico - μ_k) [5].

Ley de Coulomb de rozamiento seco o Ley de Amontons.

$$\mu = \frac{F}{W} \quad (12)$$

Sabiendo que

$$F = \mu N \quad (13)$$

Donde N , la fuerza normal, es igual al peso de la masa que se sienta y F , la fuerza de carga, es igual al peso de la masa que cuelga.

En el caso de μ_k (coeficiente de fricción cinético), éste se considera independiente de la velocidad con la que se desplacen las superficies.

Para los materiales que se usan en ingeniería se cumple además que - $\mu_k < \mu_s$

Lo anteriormente descrito aunado a las tres leyes del mecanismo de fricción son suficientes para describir un mecanismo de fricción en forma macroscópica, donde lo que sucede en la interfase de contacto no tiene mayor importancia; pero en investigaciones recientes se demuestran que en la interfase de dos cuerpos con movimiento relativo, existen una fuerte interacción entre las superficies de los materiales; lo que lleva a tomar en cuenta otros factores tales como:

1. El área real de contacto entre las superficies deslizantes.
2. El tipo de enlace que se forma en la interfase, donde ocurre el contacto “adhesión”.
3. La forma de ruptura y separación de las capas interiores del material, así como el entorno de la zona de contacto durante el deslizamiento.

Estas tres nuevas consideraciones actúan directamente en el coeficiente de fricción, y se expresa de la siguiente, manera:

$$\mu = \frac{S}{N - F_{adh}} \quad (14)$$

La ecuación anterior, contiene los tres elementos que se mencionan. La carga normal N , tiene relación con el área real de contacto. La fuerza de adhesión F_{adh} , se relaciona con la resistencia de los enlaces moleculares que se forma en la interfase de contacto, y la carga

tangencial s , se relaciona con el rompimiento de la unión en contacto y con la fuerza de fricción.

Para expresar el coeficiente de fricción en función de las fuerzas de adhesión, y de acuerdo Rabinowics [5], si la fuerza de fricción, depende de la resistencia al cortante de las superficies en contacto, y la carga aplicada tiene relación con la energía de superficie y del radio de unión sobre la fricción, el coeficiente de fricción queda:

$$\mu = \frac{\tau}{H_m - \frac{2W_{ab} \cot \theta}{r_{ab}}} \quad (15)$$

2.14. DEFINICIÓN DE TRIBÓMETRO

Un tribómetro es un instrumento que mide cantidades tribológicas, tales como coeficiente de fricción, la fuerza de fricción, y el volumen de desgaste, entre dos superficies en contacto. Fue inventado por el científico holandés del siglo XVIII, Musschenbroek.

2.15. IMPORTANCIA DE LOS TRIBÓMETROS

El encontrar nuevos métodos que permitan reducir la fricción ha llevado a la creación de equipos los cuales simulen condiciones semejantes a las que se presentan en las máquinas. La gran y extensa necesidad de poder medir la fricción y el desgaste en piezas que son sometidas a condiciones de operación donde se exige alto desempeño llevó a la construcción de los tribómetros.

El principal problema que ha limitado el uso de estos equipos, sin duda, es el elevado costo. Otro problema que se presenta es que el investigador se restringe a las pruebas que puede realizar con él y al tipo de muestras para las que se diseñó, por tanto es complicado conseguir un equipo que se amolde a sus exigencias. El inconveniente de presentar elementos manufacturados en otros países no permite garantizar que en caso de falla, existan refacciones o personal capacitado que pueda solucionarlo en un tiempo razonable.

La falta de un equipo que permita medir fricción en cualquier tipo de material usado para los catéteres, con la capacidad de aplicar cargas, de costo accesible y con un tamaño reducido condujo a la idea de diseñar y construir un equipo propio, además, al percatarse que un equipo de estos es indispensable para la investigación de nuevas mejoras en la optimización de los materiales que se usan actualmente.

El estudio de las características de fricción de los catéteres es posible con un equipo que imite el contacto que tienen estos dispositivos médicos con la piel humana y que permita medir el coeficiente de fricción; este equipo facilitará la evaluación de las propiedades.

2.16. TIPOS DE TRIBÓMETROS

Tribómetros se refieren a menudo por la disposición de contacto específica que simulan o por el desarrollador del equipo original. Varias disposiciones son:

- Cuatro bolas
- Pin en disco
- Bouncing Ball

2.16.1. CUATRO BOLAS

El tribómetro de cuatro bolas es un excelente dispositivo para el control de calidad y desarrollo. Las pruebas con este dispositivo permiten acciones repetitivas debido a que consta de una bola situada en la parte superior y tres bolas en el fondo los cuales hacen una configuración única para el contacto repetitivo y estable. Este tribómetro se puede utilizar para identificar las propiedades de extrema presión; la acción de fricción de los lubricantes y el desgaste propiedades preventivas. Dado que este instrumento de cuatro bolas ofrece resultados rápidos y muestras rentables, es el dispositivo ideal para proyectos de R&D [15].

2.16.2. PIN EN DISCO

Un pin de tribómetro disco se compone de un "pin" estacionaria bajo una carga aplicada en contacto con un disco giratorio.

El pasador puede tener cualquier forma para simular un contacto específico, pero puntas esféricas se utilizan a menudo para simplificar la geometría de contacto.

Coefficiente de fricción se determina por la relación de la fuerza de fricción a la fuerza de carga sobre el pasador.

La prueba de la señal en el disco ha demostrado ser útil en el suministro de un desgaste simple y prueba de fricción de los revestimientos de baja fricción, tales como diamante recubrimientos de carbono en los componentes del tren de válvulas en motores de combustión interna [15].

2.16.3. BOUNCING BALL

El tribómetro bouncing ball consiste en una bola que se impacta en un ángulo contra una superficie. Durante una prueba típica, una bola se desliza en un ángulo a lo largo de una pista hasta que impacta en una superficie y luego rebota de la superficie.

La fricción produce en el contacto entre la bola y los resultados de la superficie en una fuerza horizontal sobre la superficie y una fuerza de rotación en la pelota. La fuerza de fricción se determina mediante la búsqueda de la velocidad de rotación de la bola usando la fotografía de alta velocidad o por la medición de la fuerza sobre la superficie horizontal. La presión en el contacto es muy alta debido a la gran fuerza instantánea causada por el impacto con la pelota.

Los tribómetros bouncing ball se han utilizado para determinar las características de corte de lubricantes bajo altas presiones, como se encuentra en los rodamientos de bolas o de engranajes [15].

2.17. GENERALIDADES DE LOS CATÉTERES INTRAVENOSOS

Un catéter es un dispositivo o sonda plástica minúscula, biocompatible, radio opaca, que puede ser suave o rígida, larga o corta dependiendo del diámetro o tipo de vaso sanguíneo en el que se instale; se utiliza para infundir solución intravenosa al torrente circulatorio.

Algunos tratamientos necesitan un acceso directo a una vena. En dichas situaciones, un profesional de la salud capacitado le inserta en la vena una aguja, por la cual pasa un pequeño y delgado catéter. Este catéter se llama “vía intravenosa” o “IV”.

Dispositivo que se introduce en el sistema vascular humano. La unidad comprende a un tubo flexible de plástico (catéter) que se introduce en una arteria o vena como medio de contraste de inyección y para ciertos procedimientos terapéuticos y/o de diagnóstico [16].

La fig. 9 nos muestra las partes principales de un catéter intravenoso.

2.17.1. CLASIFICACION Y DESIGNACION

Para los efectos de esta norma, los catéteres intravenosos se clasifican en cuanto a su presentación en dos tipos y un solo grado de calidad, con longitud variable de acuerdo a su uso y se designan de la manera siguiente:

- Tipo I Radio - opaco.
- Tipo II No radio - opaco.

2.17.2. ESPECIFICACIONES

Los catéteres intravenosos en sus dos tipos y único grado de calidad deben cumplir con las especificaciones siguientes:

2.17.2.1. MATERIALES

Los catéteres intravenosos deben ser fabricados con materiales del tipo "Grado Médico", es decir: sin poder tóxico o pirogénico y con un grado aceptable de reacción tísular, con un contenido de metales pesados menor o igual a 5 ppm, cuando se efectúe dicha determinación por medio del método de prueba de absorción atómica; como: polietileno, polivinilo, poliéster, teflón, polipropileno, silicón, u otro metal que reúna las condiciones de grado médico.

2.17.2.2. FÍSICAS

El tubo del catéter no debe tener porosidades; debe tener paredes uniformes y estar libre de imperfecciones y/o materia extraña (como: líneas de estructuración, grumos, grasas o aceites).

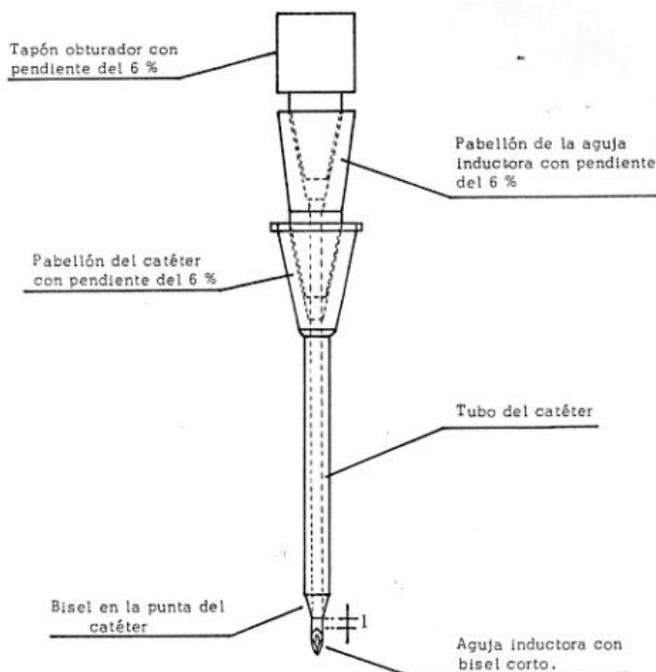


Fig. 9 Partes principales de un catéter intravenoso.

En la figura 9, se puede apreciar las partes estructurales y las especificaciones que componen un catéter intravenoso, una de las características principales en la fabricación de estos dispositivos consiste en la parte final del tubo de catéter y la aguja inductora, ya que al final del tubo de catéter se realiza un proceso conocido como termoformado, el objetivo de este procedimiento es realizar un biselado en la punta del catéter, esto permite que al introducir la aguja en la piel y pasar por la parte del catéter, el dolor no incremente durante la inserción.

Otro aspecto importante considerado en la fabricación de los catéteres es referido a la distancia de separación que existe entre la aguja y el catéter, este espacio de aire evita la adhesión entre las superficies y facilita la separación entre la aguja y el catéter, a la hora de su utilización.

Tabla N° 1.- Dimensiones nominales del catéter y sus calibres. Datos en milímetros (mm). Información obtenida de “Equipos Médicos Vizcarra S.A. de C.V.”[18].

Calibre	Distancia Catéter-Bisel	Longitud del catéter	Diámetro Ext. Catéter	Diámetro Int. Catéter	Diámetro ext. De la aguja	Longitud útil de la aguja
1451	0.5	51	2.13	1.73	1.65	67.4
1651	0.5	51	1.75	1.35	1.27	65.9
1851	0.5	51	1.30	0.98	0.902	64.8
1832	0.5	32	1.30	0.98	0.902	46.3
2051	0.5	51	1.10	0.80	0.711	64.1
2225	0.5	25	9.0	0.62	0.559	38.2
2420	0.5	20	0.7	0.50	0.457	32.9
2414	0.5	14	0.7	0.50	0.457	26.9

La tabla 1 muestra los diferentes calibres de agujas y catéteres existentes en el mercado y sus especificaciones. Comercialmente las agujas hipodérmicas se fabrican de diferentes calibres. Los calibres determinan los diámetros externos e internos de la aguja. Estos tamaños se establecen por la Norma Oficial Mexicana NOM-133-SSA1-1995 [17].

2.17.3. CARACTERISTICAS TECNICAS ESPECÍFICAS DE UN CATETER INTRAVENOSO PERIFERICO DE POLIURETANO RADIOPACO.

Catéter intravenoso periférico, estéril, desechable, utilizado en la punción de vasos periféricos para venoclisis elaborado en poliuretano, integrado por catéter, pabellón, cánula ,introdutora, funda y tapón.

- Componente 1

Catéter de forma tubular, elaborado en poliuretano hipoalergénico atóxico, radiopaco encapsulado, superficie pulida, flexible, memoria elastomérica, punta con desnivel, extremo distal ensamblado al pabellón luer con muescas que se adapten a cualquier equipo de venoclisis.

- Componente 2

Pabellón o conector, de plástico rígido con código de color ensamblado en su extremo proximal al catéter, entrada luer hembra.

- Componente 3

Cánula introductora de acero inoxidable austenítica, con triple afilado, doble bisel corte en "v", ensamblada al pabellón de plástico grado médico, transparente y translúcido (cámara visual de reflujo).

- Componente 4

Funda de plástico grado médico, semirígida. tapón protector, estéril con filtro hidrófobo.

Envase unitario estéril, compuesto por una cara transparente y otra de papel grado médico, con referencia para su apertura, presentará en forma impresa las características del producto.

En apego con las especificaciones de la farmacopea de los estados unidos mexicanos, ISO-10555-5-2002, NOM-137-SSAL-2008 y la ISO 11607:2006, y la NOM-050-SCFL-2004.

REFERENCIAS

- [1]R. Sánchez Martínez, Tesis Doctoral “Formulación y procesado de oleogeles para el desarrollo de nuevas grasas lubricantes biodegradables”, Universidad de Huelva, Huelva 2011.
- [2]F. D. del Castillo Rodríguez, “Lectura de Ingenierías 2: Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación, UNAM cuautitlán, Cuautitlán Izcalli 2007.
- [3]A. A. Rivera Ponce, Tesis “Diseño y construcción de un tribómetro rotatorio”, Universidad Veracruzana Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Xalapa, Veracruz, Agosto 2007.
- [4]A. Gutiérrez Villegas, “Tecnología de la fricción”, Universidad Veracruzana Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Xalapa- Enríquez, Veracruz, Agosto 2011
- [5]L. M. Ramos Sommer • V. Meza López, “Diseño de un dispositivo para evaluar coeficiente de fricción en tuberías de 1 a 3 mm de diámetro exterior”, Cuernavaca, Morelos, Mayo de 2013.
- [6]J. A. Arellano Cabrera, Tesis “Principios de transferencia de masa durante el corte de metales”, Cuernavaca, Morelos, 7 de diciembre del 2007.
- [7]Pradeep L. Menezes • Kishore • Satish V. Kailas •Michael R. Lovell, “Role of Surface Texture, Roughness, and Hardness on Friction During Unidirectional Sliding”, Received: 9 March 2010 / Accepted: 19 July 2010 / Published online: 31 July 2010_ Springer Science+Business Media, LLC 2010.
- [8]Hans-Jürgen Butt and Michael Kappl, “Surface and Interfacial Forces”, WILEY-VCH.
- [9]Hans-Jürgen Butt • Karlheinz Graff • Michael Kappl, “Physics and Chemistry of Interfaces”, WILEY-VCH, 2003.
- [10]Dr. Edgar Vázquez Contreras, “Las Fuerzas de Van der Waals”, Bioquímica y Biología Molecular en línea, Instituto de Química, UNAM.
- [11]Dr. Edgar Vázquez Contreras, “Los Puentes de Hidrógeno”, Bioquímica y Biología Molecular en línea, Instituto de Química, UNAM.
- [12]Silvina Iriberry, “Enlaces II- Fuerzas intramoleculares y fuerzas intermoleculares”, Departamento de Ciencias, Fundación Educacional Colegio de los SS. CC. –Manquehue.

[13]Eduardo Ochoa Hernández (responsable del CIE), “Enlace Iónico”, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Coordinación de Innovación Educativa, Servicio Web.

[14]P. Vitoria • J.M. Gutiérrez Zorilla, Química Inorgánica “Enlace Covalente”, Departamento de Química Inorgánica, Apartado 644, E-48080 Bilbao.

[15]Vishal Khosla, artículo “Tribometer and its Uses”, publicado en Ezine@rticles, November 8, 2012, Servicio Web.

[16]Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, Norma Mexicana NMX-BB-089-1982, “Productos para uso médico- Catéteres Intravenosos para Venóclisis- Especificaciones”.

[17]Web page “Norma Oficial Mexicana NOM-133-SSAI-1995”, <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/133ssa/s.html>, México DF, octubre 1998 .

[18]Web page “Equipos Médicos Vizcarra” http://www.vizcarra.com/productos_vizcarra.html, 2011.

CAPITULO 3.- PROCEDIMIENTOS Y VALIDACIÓN DE LA APLICACIÓN EXPERIMENTAL DEL TRIBÓMETRO PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN DE LOS CATÉTERES INTRAVENOSOS MEDIANTE PRUEBAS DE IMPACTO - DESLIZAMIENTO.

3.1. INTRODUCCIÓN

La industria moderna ha cimentado su desarrollo en un conjunto de reglas que determinan las características que deben cubrir los materiales, los productos, la maquinaria o los procedimientos.

Dichas reglas implementadas adecuadamente, constituyen los estándares o normas industriales, cuya aplicación ha sido factor determinante del desarrollo científico y tecnológico, solo alcanzado por algunos países.

Las normas establecen con precisión el reconocimiento de calidad, estimulando la confianza del consumidor, dan prestigio al fabricante, fomentan la organización de estructuras sólidas para el incremento de una producción masiva, simplificando los procesos y aumentando la eficiencia del trabajo, reducen los costos y aumentan los beneficios.

El presente trabajo aborda la instrumentación del péndulo para la ejecución de este tipo de pruebas, con el fin de acreditar el ensayo como un organismo de nivel internacional (patrón de referencia). El material de ensayo es un catéter de poliuretano radiopaco y la temperatura a la cual se realiza la prueba se determina en el momento previo al ensayo experimental, los procedimientos son referidos a la norma ASTM D1894, pero adaptándolo al dispositivo manufacturado ya que algunos aspectos son variables, es decir, que el procedimiento que se debe seguir para la realización de medidas de coeficiente de fricción es usando un péndulo (del tribómetro) bajo un esquema similar al péndulo de Charpy.

3.1.1. DISEÑO DE LOS EXPERIMENTOS.

Diseñar un experimento significa planear un experimento de modo que reúna la información pertinente al problema bajo investigación. El diseño de un experimento es la secuencia completa de pasos tomados de antemano para asegurar que los datos apropiados se obtendrán de modo que permitan un análisis objetivo que conduzca a deducciones válidas con respecto al problema establecido.

El empleo de un diseño de experimentos ayuda a responder preguntas tales como:

- ¿Cómo se va a medir el efecto? o ¿Cuáles son las características a analizar?
- ¿Qué factores afectan las características que se van a analizar?
- ¿Cuáles son los factores que se estudiarán en esta investigación?
- ¿Cuántas veces deberá ejecutarse el experimento?
- ¿Cuál será la forma de análisis?
- ¿A partir de que valores se considera importante el efecto?

Objetivos de un diseño de experimentos

- ✓ Proporcionar la máxima cantidad de información pertinente al problema bajo investigación.
- ✓ El diseño, plan o programa debe ser tan simple como sea posible.
- ✓ La investigación debe efectuarse lo más eficientemente posible; ahorrar tiempo, dinero, personal y material experimental. "Proporcionar la máxima cantidad de información al mínimo costo"

Las técnicas del diseño experimental desempeñan un papel fundamental en la Estadística. Precisamente, utilizando correctamente procedimientos estadísticos relativamente sencillos se arriban a resultados confiables y repetibles.

3.1.2. MODELACIÓN DEL EXPERIMENTO.

Como hemos señalado un modelo empírico generalmente no proporciona explicación acerca del mecanismo del proceso, pero nos brinda una descripción algebraica aproximada del comportamiento de los datos medidos. Ocurre en muchas ocasiones que las correlaciones entre variables de entrada o factores y las variables de salida no tengan una explicación física determinada o lógica. En muchos casos, estas correlaciones pueden ser inferidas por el investigador, ya sea por su experiencia propia, o por la literatura, pero en muchas situaciones experimentales es difícil ganar en claridad acerca de las posibles relaciones entre las variables, partiendo solo de datos cuya toma no se ha planeado de forma correcta (Diseño Experimental).

De aquí la importancia de diseñar y modelar adecuadamente los experimentos para que los datos brinden la información deseada. Esto se realiza bajo el concepto de caja negra.

La caja negra representa un concepto de ignorancia de lo que pasa dentro del problema a investigar, estudiando solo las reacciones entre las variables de entrada y los parámetros de salida.

¿Cómo debe seleccionarse el modelo?

Seleccionar un modelo significa definir la forma de la función matemática que puede describir el proceso en estudio.

Este paso lo requiere todo diseño de Experimento, para definir los valores y la cantidad de niveles a estudiar y determinar la forma de estimación de los coeficientes del modelo. Hay muchos modelos disponibles para la selección. Para optar por uno de ellos es necesario conocer dos cosas fundamentales:

- a. ¿Qué se quiere del modelo?
- b. ¿Cuáles son nuestros requerimientos?

Si el objetivo trazado en el estudio es encontrar las condiciones óptimas del objeto en estudio, el principal requerimiento del modelo debe ser la capacidad de predecir la dirección de los ensayos futuros, siempre con la precisión requerida, lo cual significa que en una cierta subregión, que por supuesto incluye las coordenadas de los ensayos realizados, el valor de la respuesta anticipada con la ayuda del modelo no debe diferir del valor real más allá de una cantidad preestablecida. Un modelo que cumpla con estas condiciones se dice que es adecuado y su adecuación se comprueba por métodos estadísticos. Si existieran varios modelos que se adecuarán a nuestras exigencias debemos seleccionar uno, según criterios; por ejemplo, el criterio de simplicidad. Se prefiere seleccionar entre los modelos posibles el más simple.

3.1.3. PRINCIPIO DEL MÉTODO CHARPY

La prueba de impacto Charpy consiste en impactar de manera súbita una muestra o probeta de material, la cual se encuentra estática, el péndulo que impacta es infinitamente rígido en comparación con la muestra, de manera que conociendo la posición inicial, la elevación final y el ángulo del péndulo se calcula la diferencia de energía potencial; ésta diferencia es la energía absorbida por la probeta.

3.1.4. REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

Un aspecto muy importante para el procedimiento es lograr la calidad en las mediciones, alcanzar un determinado nivel de precisión, la cual se estima mediante indicadores de repetibilidad y reproducibilidad.

Por repetibilidad se entiende la capacidad de un determinado procedimiento de obtener medidas que presenten un nivel reducido de dispersión. Un sistema de medición es repetible si múltiples mediciones realizadas exactamente en el mismo lugar, con el mismo procedimiento y bajo las mismas condiciones resultan estadísticamente equivalentes.

La reproducibilidad, en tanto, está asociada a la varianza entre procesos de medición distintos.

Un sistema de medición es reproducible si múltiples mediciones realizadas en el mismo lugar y bajo las mismas condiciones, pero con diferentes equipos o métodos de medición, son estadísticamente equivalentes (Montgomery, 1991).

La materialización de las corridas experimentales debe estar regida por tres principios: la aleatorización, la replicación y el trabajo por bloques experimentales. De aquí que sea muy importante, en la realización de un experimento, realizar cada corrida en un orden aleatorio, con el fin de que los errores experimentales no estén agrupados en una sección de la matriz. Es preciso recordar también que se define el número de réplicas como la cantidad de veces que se monta y desmonta la instalación experimental para la realización de una sola corrida.

En este paso se velará porque se cumplan estrictamente las condiciones impuestas al experimento y se tratará de llevar a sus valores mínimos los posibles errores casuales, que afecten el desempeño correcto del trabajo.

También resulta importante en esta etapa el correcto manejo en la toma de datos de la variable respuesta que se analiza, lo que asegurará que los datos que se procesen brinden alguna respuesta “luz” sobre el fenómeno estudiado.

3.2. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN MEDIANTE PRUEBA DE IMPACTO.

3.2.1. ALCANCE DEL PROCEDIMIENTO

El procedimiento metodológico, que posteriormente se describirá, tiene como objetivo fundamental establecer los pasos a seguir para la puesta a punto, calibración y realización de los ensayos en el tribómetro para catéteres intravenosos.

Este método de ensayo cubre un procedimiento de laboratorio de manera que para determinar el coeficiente de fricción en una prueba experimental se realiza un análisis mediante la relación de la fuerza obtenida por un péndulo y la carga normal dada por la presión ejercida por unos tornillos en el soporte los cuales sujetan el dispositivo de prueba (catéter).

Los valores declarados en las unidades del SI serán considerados como los normalizados.

Este procedimiento no pretende dirigir (establecer) toda la seguridad que involucra, para cualquiera que esté asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de este procedimiento el establecer la seguridad y protección práctica requerida y determinar la pertinente prioridad de las limitaciones reguladas para su uso.

3.2.2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

G115-98 Guía estándar para medir e informar coeficientes de fricción

G143-96 Método de prueba estándar para la medición de la Web/ Roller características de fricción.

D618 Prácticas para acondicionamiento de plásticos para la prueba.

D883 Terminología relacionada con plásticos.

D1894 Método de prueba estándar para coeficientes estáticos y cinéticos de fricción de película y láminas de plásticos.

D3574 Métodos de prueba para materiales flexibles celulares - losa, la servidumbre y espumas de uretano moldeado.

D4000 Sistema de clasificación de especificación de materiales plásticos.

E177 Prácticas para el uso de la precisión términos y sesgo en los métodos de prueba de ASTM.

E691 Práctica para la realización de un estudio entre laboratorios para determinar la precisión de un método de prueba.

Norma Mexicana (NMX)

NMX-CH-21747-IMNC-2008 Guía para el uso de los estimados de la repetibilidad, la reproducibilidad y la veracidad en la estimación de la incertidumbre de medición.

NMX-CH-140-IMNC-2002 Guía para la expresión de la incertidumbre de las mediciones equivalente a Guide to the expression of uncertainty in measurement,(1995).

Norma ISO

ISO8295-1995Av

3.3. RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

El dispositivo se ha diseñado de manera que el objeto de prueba se desplaza horizontalmente en dirección de la fuerza de impacto impartida por el péndulo.

El procedimiento para la realización de las pruebas para determinar el coeficiente de fricción es muy sencillo, en primer lugar procedemos a conectar y encender todos los equipos en general (computadora, dispositivos) que forman parte del tribómetro.

Siguiendo las condiciones de prueba, que se establecerán en el diseño del experimento, se ejecuta la interfaz que ha sido instalada, en una computadora, para mostrarnos los datos que se obtendrán del ensayo experimental, además de tener listo el péndulo en la altura y ángulo según la calibración estándar del dispositivo.

La puesta a punto de la instalación experimental se realiza colocando el catéter sobre el soporte y sujetándolo por medio de un tornillo a una determinada medida de presión. Además de ajustar y corroborar que todo el dispositivo está nivelado y listo para la prueba usando niveles de burbuja u otros elementos auxiliares.

Una vez contemplado todo lo anterior se quita el gatillo que sostiene al péndulo, logrando así que el péndulo empiece su recorrido en caída libre con movimiento curvilíneo hasta impactar con el catéter de prueba, momento en el cual se obtendrá toda la información necesaria para determinar el coeficiente de fricción.

Todo el procedimiento anterior tendrá que realizarse bajo las condiciones ya establecidas en cálculos previamente realizados para luego compararse con los resultados obtenidos del procedimiento experimental.

Posteriormente se analizan los resultados de la experimentación.

3.4. IMPORTANCIA Y USO DEL PROCEDIMIENTO

Este método nos permite determinar el coeficiente de fricción de los catéteres intravenosos a partir de una prueba de impacto.

Las condiciones para lograr la medición del coeficiente de fricción en el catéter intravenoso son mediante un péndulo, la forma de obtener este coeficiente es de la relación que existe entre la fuerza tangencial y la fuerza normal. El catéter es de poliuretano así que en los soportes tiene un recubrimiento con DLC para poder tener las superficies en contacto y validar el coeficiente de fricción que se obtuvo mediante los cálculos.

Los valores medidos siguiendo este procedimiento no necesariamente concuerdan con los resultados de otros métodos que evalúan las características de fricción.

Este procedimiento de ensayo por fricción adhesiva no intenta reproducir todas las condiciones que pueden experimentarse en el uso normal de catéteres (por ejemplo dureza, velocidad, carga, y presencia de un ambiente corrosivo), no se garantiza con este procedimiento de ensayo que exista repetitividad del valor de coeficiente de fricción para condiciones que difieran de las de este procedimiento de ensayo.

3.5. DISPOSITIVO DE ENSAYO. DESCRIPCIÓN GENERAL

El tribómetro tipo péndulo de fricción es un dispositivo muy versátil y de fácil manejo, sus especificaciones son las siguientes:

- El dispositivo de impacto está compuesto por un péndulo el cual imparte la fuerza tangencial al objeto de prueba, un gatillo que sostiene al péndulo en su posición inicial, un soporte para catéteres con un tornillo ajustable que presiona el objeto de prueba, sensores de fuerza.
- Todo el sistema está montado sobre una placa base.
- Una computadora con el software diseñado para mostrar las mediciones hechas físicamente y transmitidas por un circuito adquisidor de datos, así como también con algún software estadístico para poder evaluar los resultados después de terminado el ensayo.
- Rigidez del dispositivo: el dispositivo de ensayo debe ser lo suficientemente rígido y estable, evitando vibraciones que puedan alterar los resultados durante el ensayo. La superficie que fija el abrasivo debe estar rígida y poseer una adecuada excentricidad.
- El soporte que sostiene el objeto de prueba (catéter) garantiza su fijación pero de forma que permita su deslizamiento al momento de que el péndulo impacte al catéter durante la prueba.
- Sensores de fuerza: El sensor es un resistor sensible a la fuerza de 0.5 pulg. de diámetro de área de detección. Este sensor variará su resistencia en función de la cantidad de presión que está siendo aplicada a la zona de detección. Cuando no hay presión aplicada al sensor su resistencia será mayor que $1M\Omega$. Este sensor puede sentir la fuerza aplicada en cualquier lugar en el rango de 10 g-10 kg.

3.6. PARÁMETROS DEL ENSAYO

- Carga: la magnitud de la fuerza normal, se expresa en newton, y la misma actúa sobre el área del objeto de prueba. La magnitud de la carga será ajustada antes de realizar el ensayo.
- Fuerza del péndulo: Como tal la masa del péndulo es de 0.01 Kg su centro de gravedad está situado en el eje del brazo, a una distancia de 68.7375 mm del centro de oscilación. Ejercerá una fuerza en el movimiento de 0.099 N.

- Ambiente (condiciones de ensayo): la temperatura nominal del local del laboratorio. Deben informarse la humedad relativa y cualquier exposición medioambiental rara.

3.7. MATERIALES Y EQUIPOS COMPLEMENTARIOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO.

- Adquisidor de datos IUSBDAQ-U120816 HYTEK. Es el módulo de adquisición de datos USB que proporciona ocho salidas analógicas de 12 bits Entradas 16 líneas digitales de E / S, Dos Pulse-PROGRAMABLES canales de salida de ancho y uno de 16 bits del canal de venta libre. Frecuencia de muestreo analógico es de hasta 32 ksamples / s para los 8 canales, con un solo canal hasta de 13 ksamples / s.



Fig. 10 Adquisidor de datos HYTEK

3.8. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES DE FUERZA.

Uno de los puntos más importantes del proyecto, consiste en la calibración de las señales enviadas por los sensores de fuerza ya que por efectos reales siempre existen pequeños desajustes, ruidos y/o perturbaciones de manera que estas afectaciones repercuten de forma directa o indirecta las mediciones durante los ensayos experimentales, lo cual se traduce en una mayor desviación de los resultados a los valores reales.

Para poder realizar esta prueba de calibraciones en las mediciones se necesita conseguir previamente un juego de pesas calibradas o también llamadas pesas patrón, los cuales son esenciales para el procedimiento que a continuación se enlista:

1. Se conectan los sensores de fuerza en serie con una resistencia de $10k\Omega$.
2. Posteriormente se conecta el circuito a los canales de +5V, AGND y los canales de adquisición de datos respectivos a cada sensor.
3. Luego se enciende una computadora la cual tiene instalado el software iDAQTest & Log versión 3.1.
4. Enseguida se conecta el sistema adquisidor de datos en el puerto de USB de dicha computadora y se procede a abrir el programa.

5. Después de comprobar que el sistema está listo, se procede a colocar las diferentes pesas patrón y de forma simultánea se empiezan a tabular las mediciones con respecto a los voltajes que indique el programa.
6. Se aconseja que después de esta acción se realice una graficación de los valores obtenidos de voltaje-peso para poder visualizar los valores.
7. Posteriormente se recurre a modelar matemáticamente la tendencia de la dispersión de valores de acuerdo al modelo que sea más conveniente.

3.9. PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO.

1. Se conectan los sensores de fuerza en serie con una resistencia de $10k\Omega$.
2. Posteriormente se conecta el circuito a los canales de +5V, AGND y los canales de adquisición de datos respectivos a cada sensor.
3. Luego se enciende una computadora la cual tiene instalado el software iDAQTest & Log versión 3.1.
4. Enseguida se conecta el sistema adquirente de datos en el puerto de USB de dicha computadora y se abre el programa instalado.
5. Hecho lo anterior, se procede a preparar el dispositivo de ensayo. Antes de cada prueba se tiene que hacer una limpieza del dispositivo, sacudiendo con un cepillo todos los elementos para remover la mayor cantidad de polvo y residuos que puedan afectar las mediciones.
6. El siguiente paso es verificar que el dispositivo está nivelado, corroborando que todos los elementos están en su lugar y que no hay ninguna anomalía. *En caso de faltar alguna pieza o presentar alguna irregularidad, reportarlo.*
7. Luego se eleva el péndulo hasta la altura predefinida en los cálculos teóricos de manera que quede perfectamente horizontal y se sujeta en esa posición con el gatillo. *Utilice material adicional como escuadras para realizar esta operación.*
8. Después de esto, se procede a seleccionar un catéter intravenoso de prueba, el cual se coloca sobre el soporte de manera que la cámara trasera del catéter este expuesta al impacto del péndulo y se prensa entre los desplazadores de forma que el sujeto de prueba esté asegurado y listo. *Se recuerda que la presión que ejercen los desplazadores sobre el catéter, son regulados por un tornillo de presión.*
9. Al término de la prueba, se separan los desplazadores que sujetan el catéter desatornillando el tornillo de presión y se retira el catéter con el que se ha realizado el ensayo.
10. Por último se desconecta el sistema adquirente de datos y el circuito convertidor-amplificador y se guardan cada uno con sus respectivos cables o adaptadores.

3.10. VALIDACIÓN DE LA APLICACIÓN EXPERIMENTAL DEL TRIBÓMETRO PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN MEDIANTE PRUEBAS DE IMPACTO – DESLIZAMIENTO.

3.10.1. INTRODUCCIÓN

3.10.1.1. PRECISIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.

El criterio de precisión de la prueba está basado en la confiabilidad estadística de los resultados experimentales.

Criterio - considerando lo planteado en práctica E 177 de ASTM, el criterio de un laboratorio en particular podría ser la confiabilidad estadística de los resultados experimentales obtenidos en ese laboratorio, para una combinación particular del par de materiales de referencia.

Repetitividad - reproducibilidad como indicador de precisión de dimensiones obtenidos con este procedimiento de ensayo, las condiciones de los parámetros del ensayo, la configuración de la probeta, el tipo de material abrasivo empleado, y el material de referencia. Se debe considerar como nivel límite de confiabilidad estadística el 95%.

3.10.2. MÉTODOS

3.10.2.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES DE ENSAYOS DE LABORATORIO.

Durante los ensayos se obtienen una gran cantidad de datos experimentales a los cuales se les determina una serie de parámetros estadístico - matemáticos tales como:

- a) Media aritmética de los resultados (y')

Ha de señalarse que estos parámetros representan la media de una propiedad evaluada durante los experimentos.

$$y' = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n} \quad (16)$$

- b) Desviación media cuadrática o desviación estándar de la media (S).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - y')^2}{n - 1}} \quad (17)$$

Ó para números ensayos (corridas) entre 1 y 10:

$$S = \frac{k}{d_2} \quad (18)$$

Dónde:

c) Desigualdad cuadrática o variabilidad del procedimiento de ensayo

A este parámetro también se le conoce como coeficiente de variación; se da en porcentaje.

$$V = \left(\frac{S}{y'}\right) \times 100 \quad (19)$$

Es común señalar que para un número de ensayos (corridas experimentales) igual o superior a 30 (y'), (S) o (V) se pueden calcular por el método de las sumas o las multiplicaciones.

Tabla 2.-Factor de desviación para la desviación estándar estimada en el rango del tamaño básico de la muestra.

Tamaño de la muestra (m)	Factor de desviación (d_2)	$\frac{1}{d_2}$
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299
6	2.534	0.3946
7	2.704	0.3698
8	2.847	0.3512
9	2.970	0.3367
10	3.078	0.3249

El tamaño de la muestra (m) se pueden determinar para un nivel de 95% de confianza como:

$$m = \left[1.96 \frac{V}{e}\right]^2 \quad (20)$$

3.10.2.2. DETERMINACIÓN DEL ERROR PERMISIBLE DE LA MUESTRA (e) ABSOLUTO.

La precisión de los ensayos se evalúa a través del error, para lo cual se consideran o analizan dos tipos fundamentales de error, el absoluto y el relativo, para cada uno de los estadígrafos anteriores.

Error absoluto de los valores.

$$e_{y'} = |y_i - y'| \quad (21)$$

3.10.2.3. DETERMINACIÓN DEL ERROR RELATIVO

Error relativo de las mediciones.

$$e_{ry'} = \frac{e_{y'}}{y'} \times 100 \quad (22)$$

3.10.2.4. GRADO DE PRECISIÓN DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL.

Durante la realización de trabajos científicos de investigación el error relativo no debe sobrepasar de un 3 a 5% [1]

A partir del valor de error relativo determinado (definido), se determina el tamaño de la muestra (número de réplicas) (n), necesario para garantizar la requerida precisión en los ensayos.

REFERENCIAS

- [1]A. A. Rivera Ponce, Tesis “Diseño y construcción de un tribómetro rotatorio”, Universidad Veracruzana Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Xalapa, Veracruz, Agosto 2007.
- [2]Montgomery, D. “Introduction to Statistical Quality Control”, Wiley, United States, (1991).
- [3]Guía para estimar la incertidumbre de la medición. Rev 1/ CENAM / WSchmid y RLazos / Febrero 2004.
- [4]W. Pérez Castro • J. Felipe Arroyavel • S. Acevedo H., “Determinación Experimental del Coeficiente de Fricción Empleando Sensores Movimiento”, Universidad Tecnológica de Pereira, Scientia et Technica Año XVI, No 44, Abril de 2010.
- [5]J. A. Rodríguez Ramírez, “Diseño y construcción de un dispositivo para evaluar la resistencia al desgaste en rodamientos recubiertos a base de fricción seca con diamante”, Cuernavaca, Morelos, Junio del 2003.
- [6]M. Madrid, “Tecnología de la Adhesión”, Departamento Técnico de Loctite España.

CAPITULO 4.- RESULTADOS

Una de las primeras actividades que se necesitaron hacer, es calibrar los sensores a causa de que los sensores solo funcionan como una resistencia variable, y por lo tanto lo que la interfaz gráfica en LABVIEW muestra son los diferentes valores de voltaje presentes en los sensores cuando están bajo una carga.

Para ello se utilizó un juego de pesas calibradas de 1 a 600g, Clase F1. Adecuadas para realizar la calibración de los sensores FSR, las pesas están elaborados en acero inoxidable austenítico y con acabado espejo. Consta de 11 pesas de 1, 2, 2, 5, 10, 20, 20, 50, 100, 200 y 600 gramos.

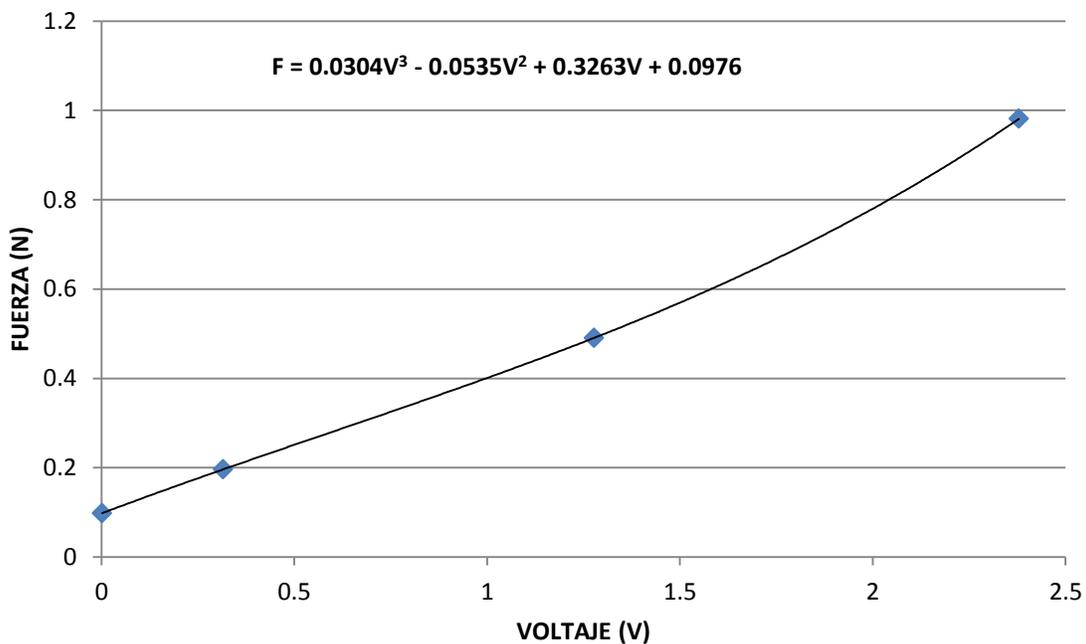


Fig. 11 Graficación de las mediciones de fuerza en función del voltaje

Para la calibración de los sensores solo se usarán cuatro pesas patrón las cuales fueron las medidas de 10, 20, 50 y 100 gramos.

En la figura 11, se puede observar la tendencia de la dispersión de puntos, a primera vista se podría esperar que la tendencia de los puntos tendría que ser perfectamente proporcional pero al realizar la calibración de los sensores relacionando los voltajes con valores de fuerza, se puede observar que un ajuste de curva lineal tendría un porcentaje de error considerable tomando en cuenta que lo que se busca es que el dispositivo permita encontrar valores cercanos a los reales.

Tabla 3.- Calibración de las mediciones de masa en términos del voltaje y su conversión a fuerza dada en Newton.

Masa en gramos	Voltaje (V)	Fuerza (N)
10	0.0015	0.0981
20	0.3155	0.1962
50	1.277	0.4905
100	2.379	0.981

En la tabla 3, se muestra la calibración de las mediciones de masa en términos del voltaje y su conversión a fuerza dada en Newton. Para transformar los gramos en fuerza se realiza la siguiente conversión:

$$F = m \left(\frac{1 \text{ Kg}_f}{1000g} \right) \left(\frac{9.81 \text{ N}}{1 \text{ Kg}_f} \right) \quad (23)$$

A continuación se mostraran las diferentes pruebas que se realizaron juntamente con los resultados obtenidos.

Tabla 4.- Tabla de resultado de las pruebas experimentales realizadas.

Num. prueba	Fuerza Normal	Fuerza Tangencial	Coefficiente de fricción	Error absoluto	Error relativo
1	0.1714 N	0.0992 N	0.578	0.3745	183.5651%
2	0.1876 N	0.0992 N	0.528	0.3247	159.1549%
3	0.1680 N	0.0992 N	0.590	0.3861	189.2565%
4	0.2352 N	0.0992 N	0.421	0.2176	106.6762%
5	0.2319 N	0.0992 N	0.427	0.2236	109.5863%
6	0.2574 N	0.0992 N	0.385	0.1813	88.8539%
7	0.3251 N	0.0992 N	0.305	0.1011	49.5344%
8	0.3090 N	0.0992 N	0.320	0.1169	57.2852%
9	0.2913 N	0.0992 N	0.340	0.1364	66.8587%
10	0.3866 N	0.0992 N	0.256	0.0525	25.7317%
11	0.4177 N	0.0992 N	0.237	0.0334	16.3735%
12	0.3751 N	0.0992 N	0.264	0.0603	29.5780%
13	0.4532 N	0.0992 N	0.218	0.0148	7.2542%
14	0.4633 N	0.0992 N	0.214	0.0100	4.9070%
15	0.4684 N	0.0992 N	0.211	0.0077	3.7627%

En la tabla 4, se muestran todos los datos obtenidos durante las pruebas experimentales, es importante resaltar que se encuentran 5 grupos en las 15 muestras en donde cada grupo consta de tres mediciones seleccionadas aleatoriamente, el grupo conformado por los números 13,14,15 son los datos que utilizamos para realizar los cálculos que a continuación se muestran.

El estudio se enfocó en éste último grupo de datos a causa de que estos últimos valores eran los que tenían un error absoluto pequeño en comparación con la evaluación teórica del coeficiente de fricción. A continuación se muestran los resultados que se obtuvieron.

El valor de la media aritmética de las mediciones de coeficiente de fricción:

$$y' = \frac{0.218 + 0.214 + 0.211}{3} = \mathbf{0.214}$$

El valor de la varianza de las mediciones de coeficiente de fricción:

$$S = \sqrt{\frac{(0.218 - 0.214)^2 + (0.214 - 0.214)^2 + (0.211 - 0.214)^2}{2}} = \mathbf{0.0035}$$

El valor del coeficiente de variabilidad de las mediciones de coeficiente de fricción:

$$V = \left(\frac{0.0035}{0.214}\right) * 100\% = \mathbf{1.6\%}$$

Comparando el valor calculado en la evaluación teórica y el valor obtenido en las pruebas experimentales del coeficiente de fricción, se obtiene lo siguiente:

$$\mu_{teórico} = 0.204$$

$$\mu_{experimental} = 0.214$$

Calculando el error del coeficiente de fricción promedio experimental.

$$error\ absoluto = 0.214 - 0.204 = \mathbf{0.01}$$

$$error\ relativo = \frac{0.01}{0.204} * 100\% = \mathbf{4.9\%}$$

4.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Como se citó en el capítulo 2, durante la realización de trabajos científicos de investigación el error relativo no debe sobrepasar de un 3 a 5%, tomando en cuenta este criterio, se concluyó que el dispositivo cumple con lo previsto en esta tesis, ya que se obtiene un error relativo entre el coeficiente de fricción teórico y el experimental del **4.9%**. Además se puede concluir con sustento en las pruebas realizadas, que la fuerza normal aplicada oscila en valores cercanos de entre 0.45 a 0.48 N cuando la fuerza tangencial alcanza valores cercanos a 0.1 N.

CAPITULO 5.- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1. CONCLUSIONES

Se presenta un dispositivo para determinar el coeficiente de fricción en catéteres intravenosos, el diseño de éste equipo dinámico de impacto ha sido planteado como una alternativa para medir el coeficiente de fricción de los diferentes materiales utilizados para la fabricación de estos instrumentos médicos.

Inicialmente se había establecido que el diseño de este dispositivo permitiría medir el coeficiente de fricción de los diferentes calibres de catéteres intravenosos que se fabrican actualmente, pero a lo largo de la manufactura se encontraron ciertos detalles que se tuvieron que corregir en su momento, debido a las circunstancias, tal es el caso de la ranura en los dados de prensa, ya que en el diseño se había establecido que la indentación sería de 0.65 mm pero debido a que no se contaba con la herramienta para realizar esa ranura, por ello se optó por dejar dicha ranura con una indentación de 0.9 mm aproximadamente, de manera que únicamente se pueden realizar pruebas de fricción en catéteres intravenosos de calibre 16G.

Con base en los resultados obtenidos se puede concluir que el dispositivo cumple con los requerimientos descritos en este memoria descriptiva obteniendo un coeficiente de variabilidad en las pruebas del 1.6% y con un error relativo entre el coeficiente de fricción teórico con el experimental del 4.9%. Además se puede concluir que las fuerzas involucradas en la inserción de los catéteres intravenosos, donde la fuerza normal aplicada oscila en valores cercanos de entre 0.45 a 0.48 N y la fuerza tangencial con valores cercanos a 0.1 N.

Como se plantea desde el principio de este trabajo, las fuerzas normal y tangencial obtenidas en las pruebas experimentales además del coeficiente de fricción adquirido a partir de dichas fuerzas, son referidas a un componente conocido como DLC (Diamond Like Carbon); los dados de prensa se recubrieron con este material por ello cuando se realice una pruebas de fricción, el catéter estará en contacto con la película de recubrimiento adherido en la ranura de los dados de prensa.

Observando los resultados obtenidos, se concluye que entre mayor sea la fuerza normal, manteniendo una fuerza tangencial constante, el coeficiente de fricción disminuye, esto quiere decir que si ésta información lo relacionamos con la práctica de los enfermeros que realizan canalizaciones en los pacientes, se comprueba que cuando aplican una mayor fuerza normal de forma rápida, el dolor en los pacientes es menor en la inserción, no obstante, que las propiedades del catéter son influyentes, por ello, la información obtenida en este trabajo, se muestran con la finalidad de que sea un fundamento con el cual, en la posteridad, pueda servir de sustento para la fabricación de catéteres intravenosos con propiedades tribológicas favorables para reducir en mayor grado en dolor en los pacientes, además de contribuir para la creación de nuevas técnicas de inserción.

5.2. TRABAJOS FUTUROS

Se propone que para que se puedan efectuar las pruebas para determinar el coeficiente de fricción (referido al recubierto de DLC) para distintos calibres de catéteres, se realice la manufactura de los dados de prensa para cada calibre de catéteres de manera que el dispositivo pueda usarse para realizar éstos ensayos, sin la necesidad de fabricar otro dispositivo como el fabricado en este trabajo.

Se recomienda además, realizar pruebas experimentales con el dispositivo sustituyendo los sensores de carga por otro tipo de sensores como podrían ser las cámaras de alta velocidad colocándolas en los soportes del péndulo con la finalidad de medir la velocidad en el momento del impacto de la masa situada en el extremo del péndulo y a partir de una nueva metodología realizar estas mediciones de fuerza y coeficiente de fricción a fin de compararlas y comprobar los resultados obtenidos en la presente tesis.

Se sugiere que además de realizar las pruebas que se hicieron siguiendo la metodología propuesta por este estudio, se realice la manufactura de películas de cada material en donde la fricción entre la superficies sea con el mismo del que esté fabricado el catéter intravenoso, es decir por ejemplo, que si tenemos un catéter intravenoso de teflón, éste pueda montarse en los dados de prensa pero que además, en las ranuras de los dados de prensa se adhieran las películas de teflón, de manera que al realizar la prueba, el catéter de teflón se deslice sobre las películas de teflón adheridas a las ranuras de los dados de prensa.

Se recomienda que se introduzca en el diseño del dispositivo un mecanismo más controlable referente a la presión que se ejerce en los dados de prensa, esto a causa de que es difícil ajustar la presión a un determinado valor usando un tornillo convencional para realizar esta actividad.

Por último se sugiere considerar nuevas aleaciones para el proceso de manufactura del dispositivo de manera que se puede obtener mayor eficiencia en el dispositivo.

ANEXOS

REPORTE DE PRUEBA

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA Interior Internado Palmira S/N, Col. Palmira Cuernavaca, Morelos. D.R.©2008 C.P. 62490 Tel. 01(777) 362-7770, Fax 01(777) 362-7795					
FECHA:					
MATERIAL BASE DE SOPORTE DEL CATÉTER:				DLC (Carbono tipo diamante)	
PROPIEDADES FÍSICAS DEL CATÉTER					
- TIPO				<input type="checkbox"/> RADIOPACO <input type="checkbox"/> NO RADIOPACO	
- MATERIAL:					
- CALIBRE:					
- LONGITUD ÚTIL (CATÉTER):					
DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN:					
CONDICIONES DE PRUEBA					
- TIPO DE MOVIMIENTO:					
- TEMPERATURA (°C)					
- HUMEDAD RELATIVA					
NIVELACIÓN DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN:				<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
LIMPIEZA DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN:				<input type="checkbox"/> LIMPIO <input type="checkbox"/> SUCIO	
DETALLES OBSERVADOS EN EL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN:					
NUM. DE MUESTRA	MAGNITUD DE CARGA (N)	MAGNITUD DE FUERZA PROPORCIONADA POR EL PÉNDULO (N)	FUERZA POR EL	COEFICIENTE DE FRICCIÓN	DE
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					
COMENTARIOS:					
EJECUTOR DE LA PRUEBA:				FIRMA:	
RESPONSABLE DEL ÁREA:				FIRMA:	

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN ENTRE POLIURETANO – DLC

PROPIEDADES			
DLC		POLIURETANO	
DUREZA	20 GPa	DUREZA	133.5 MPa
MÓDULO DE YOUNG	800 GPa	MÓDULO DE YOUNG	221 MPa
ESFUERZO DE FLUENCIA	4.5 Gpa	ESFUERZO DE FLUENCIA	44.5 MPa
DENSIDAD	2200 Kg/m ³	DENSIDAD	1170 Kg/m ³
ENERGÍA SUPERFICIAL	20.8 J/m ²	ENERGÍA SUPERFICIAL	1.77 J/m ²
POISSON	0.2	POISSON	0.45
a	3.56E -10 m	a	8.0E -09 m
r	1.53E -06 m	r	1.34E -06 m

$$\gamma_{DLC-PU} = (\sqrt{7.24E - 04} - \sqrt{0.131116})^2 = 0.112353801 \frac{J}{m^2}$$

$$W_{Adh} = 7.24E - 04 + 0.131116 - 0.112353801 = 19.5 m \frac{J}{m^2}$$

$$R = \left(\frac{1}{1.56E - 06} + \frac{1}{1.34E - 06} \right)^{-1} = 7.14355E - 07 m$$

$$E = \left(\frac{1 - 0.2^2}{8E + 11} + \frac{1 - 0.45^2}{2.21E - 08} \right)^{-1} = 277023866.2 Pa$$

$$F_{Adh} = \frac{3}{2} \pi \left(19.5 m \frac{J}{m^2} \right) (7.14355e - 07) = 6.55968e - 08 N$$

$$a = \left(\frac{3R}{4E} \left(F_{Adh} + 3\pi W_{adh} R + \sqrt{6\pi W_{adh} R F_{Adh} + (3\pi W_{adh} R)^2} \right) \right)^{1/3} = 9.04269E - 08 m$$

$$\delta = \frac{9.04269E - 08^2}{7.14355E - 07} - \sqrt{\frac{2\pi(9.04269E - 08) \left(19.5 m \frac{J}{m^2} \right)}{277023866.2}} = 5.12487E - 09 m$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{5.12487E - 09}{9.04269E - 08} \right) = 3.24^\circ$$

$$\tau = \frac{44.5 MPa}{\sqrt{3}} = 25.692 MPa$$

$$\mu = \frac{25.692 MPa}{133.5 MPa - \frac{2(1.95E - 02) \cot(3.24^\circ)}{9.04269E - 08}} = \mathbf{0.204}$$

IMÁGENES DE LOS MATERIALES RECUBIERTOS DE DLC

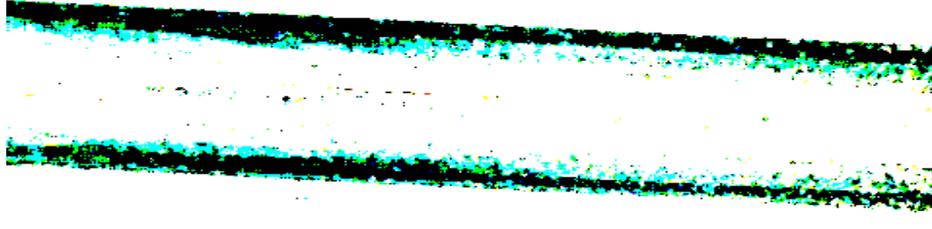


Foto 1 - Aguja de catéter intravenoso sin DLC

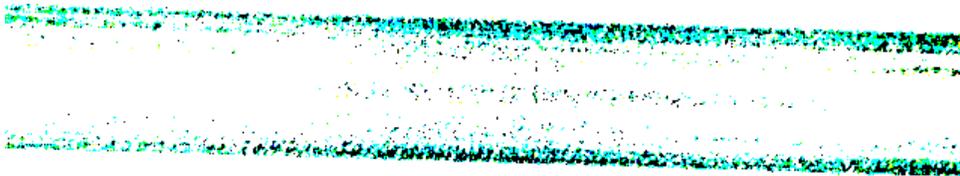


Foto 2 - Aguja de catéter intravenoso con DLC

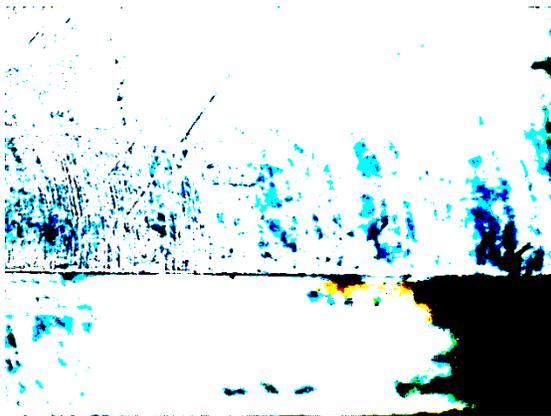


Foto 3 – Dado de prensa sin recubrimiento de DLC.



Foto 4 – Dado de prensa con recubrimiento de DLC.

ALBÚM DE FOTOGRAFÍA DE LAS PIEZAS FABRICADAS PARA EL DISPOSITIVO

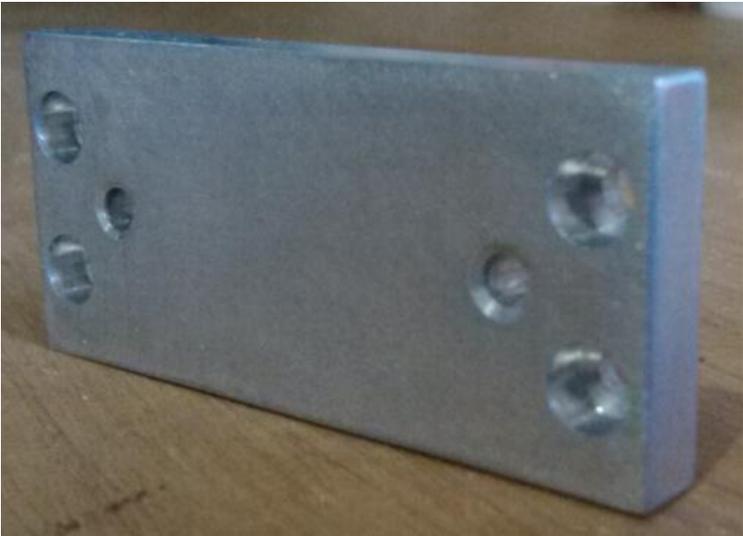
Placa Base – Núm. De dibujo 1



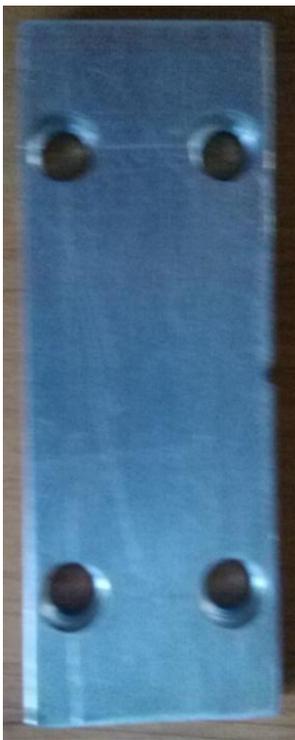
Soporte 1– Núm. De dibujo 2



Pieza 1 – Núm. De dibujo 17



Pieza 6 – Núm. De dibujo 21



Soporte del péndulo- Núm. De dibujo 3



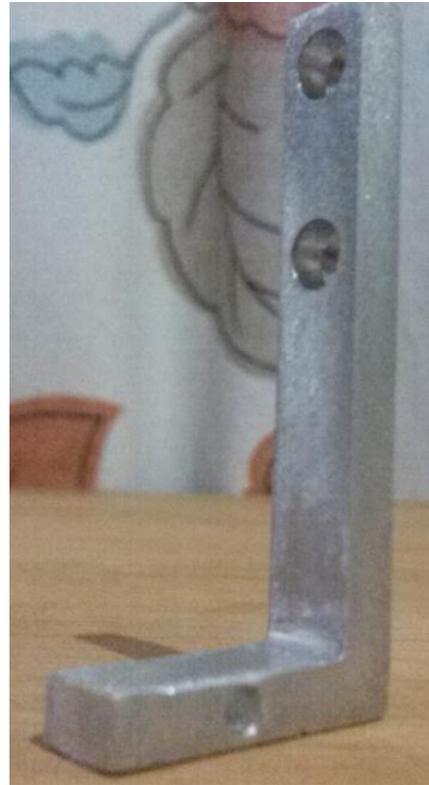
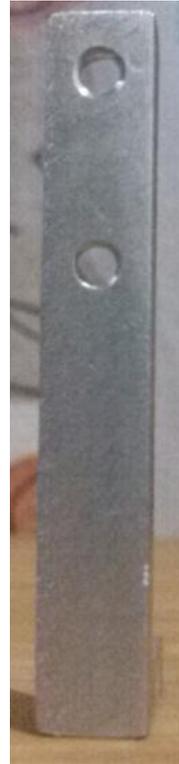
Desplazador 2 – Núm. De dibujo 25



Cople – Núm. De dibujo 5



Soporte 3 – Núm. De dibujo 11



Eje transversal – Núm. De dibujo 8



Peso – Núm. De dibujo 12



Gatillo – Núm. De dibujo 13



Armella – Núm. De dibujo 15



Esparrago – Núm. De dibujo 4



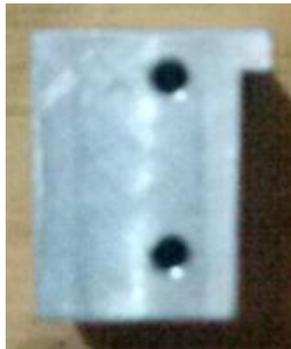
Gomas – Núm. De dibujo 33



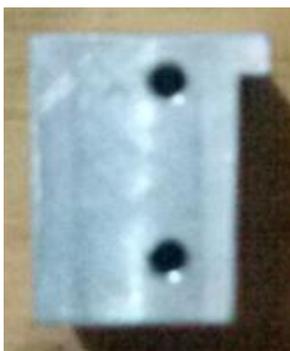
Tuerca – Núm. De dibujo 16



Pieza 9 – Núm. De dibujo 23



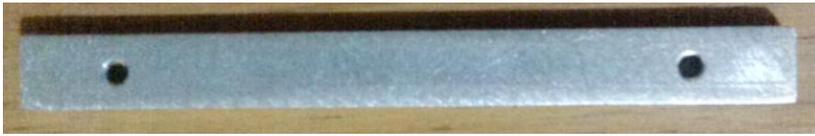
Pieza 2 – Núm. De dibujo 18



Pieza 5 – Núm. De dibujo 20



Pieza 1 – Núm. De dibujo 31



Rodamiento – Núm. De dibujo 7



Tornillo 2 – Núm. De dibujo 9



Tornillo 4 – Núm. De dibujo 8



Fotos del dispositivo armado

