

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS

Departamento de Ingeniería Mecánica

RESIDENCIA PROFESIONAL

DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA EVALUAR COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN TUBERÍAS DE 1 A 3 MM DE DIÁMETRO EXTERIOR

Realizada en

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

(CENIDET)

Presentada por

Luis Manuel Ramos Sommer

Virgilio Meza López

Asesor externo

Dr. José María Rodríguez Lelis

Asesor interno

Dr. Carlos Ríos Rojas

INDICE

Contenido

I. INTRODUCCIÓN	2
II. JUSTIFICACIÓN	4
III OBJETIVOS	5
IV. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA EN QUE PARTICIPO.....	6
V. PROBLEMAS A RESOLVER.....	7
VI. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	7
VII. FUNDAMENTO TEORICO	8
VIII. PROTOTIPOS	50
IX. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	64
X. REFERENCIAS	66
Apéndice A	72
Apéndice B	76
Apéndice C	80

I. INTRODUCCIÓN

La tribología es una ciencia fundamental por su gran impacto en ámbito cotidiano ya que los fenómenos tribológicos están presentes en gran porcentaje diariamente. Este ha dedicado todos sus esfuerzos tanto a la docencia, investigación y desarrollo de tecnología, con la cual impulsar el desarrollo de la sociedad. Prueba de ello son las diferentes máquinas de ensayo tribológico, las cuales se basan en diferentes técnicas, lo cual ha generado no solo la creación de estos mecanismos, si no también basado en esos mecanismos, se han generado investigaciones y desarrollo de nuevos materiales.

La Tribología estudia la fricción, desgaste y sus efectos asociados, toma en cuenta entre otros aspectos, el de la maquinaria industrial: el diseño, los materiales de las superficies en contacto, el sistema de aplicación de la lubricación, el medio ambiente circundante y en general las condiciones operativas.

El deslizamiento de un cuerpo sobre la superficie de otro se le llama fuerza de fricción o roce por deslizamiento, la causa principal radica en que las superficies de los cuerpos en contacto no son completamente lisas, sino más o menos ásperas. La fuerza de rozamiento alcanza su valor máximo en el momento en que comience a moverse uno de los cuerpos.

Cuando aparece la fuerza de rozamiento el reposo relativo de un cuerpo se le llama fuerza de fricción estática, y cuando la fuerza de rozamiento actúa durante el deslizamiento de un cuerpo se llama fuerza de fricción cinética.

La fricción está compuesta de diversos fenómenos físicos combinados entre sí, por lo que se comporta como un fenómeno muy complejo. Entre estos fenómenos están las deformaciones elásticas, las deformaciones plásticas, la adhesión y las oscilaciones mecánicas, como vibraciones u ondas acústicas (sonido, ruido). De los fenómenos físicos antes mencionados, las vibraciones inducidas por fricción, representan alrededor del 40% de los problemas que este fenómeno tribológico causa en la industria.

La tribología siendo una rama de la ciencia de la ingeniería mecánica, estudia los fenómenos presentes en el contacto entre dos elementos así como los efectos que este ocasiona, en México es un país basado en la industria petrolífera, por lo tanto la aplicación de esta ciencia es limitada.

La colocación de un catéter en una vía venosa periférica es un procedimiento técnico asistencial muy común entre los profesionales de enfermería. Durante la inserción de estos catéteres invariablemente se origina dolor en el paciente, que puede ser percibido en distintos niveles.

Debemos recordar que uno de los principales objetivos del personal de enfermería en su práctica diaria es el no generar dolor en el paciente y utilizar los medios necesarios para disminuir o mitigar este síntoma en los pacientes durante su estancia intrahospitalaria. El procurar que el paciente no sufra dolor es un objetivo humano y también es un derecho terapéutico. El dolor, al ser una experiencia subjetiva de cada persona, tiene componentes sensoriales, cognitivos y emocionales que determinan la respuesta que presentará cada paciente al estímulo doloroso.

Por eso este trabajo está dedicado al desarrollo de un dispositivo para evaluar el coeficiente de fricción en tuberías de catéteres intravenosos, lo cual dará lugar a la creación del mecanismo en sí, y a la utilización del mismo para probar las características del material utilizado en los catéteres, para después en trabajo diferente probar cuál es la combinación óptima de materiales para poder disminuir el dolor en los pacientes, así como verificar su comportamiento de los ya existentes encontrando nuevos usos y confiabilidad en el mercado.

II. JUSTIFICACIÓN

La canalización intravenosa es un método de acceso directo a la circulación venosa, ya sea periférica o central, se ha convertido en una práctica indispensable ya que permite la administración de fluidos, fármacos y nutrición parenteral, así como el control hemodinámico de los pacientes.

Dentro de las desventajas del uso de este dispositivo, se encuentra la generación de dolor, una parte por la penetración de la aguja y otra por la inserción del catéter. Esto ocurre porque la punta del catéter se fuerza demasiado al pasar a través de las paredes vasculares y en casos más severos, este catéter al ser de material poliuretano se arremanga sobre la cánula de la aguja imposibilitando el procedimiento de cateterización. Con el desarrollo de sistemas de recubrimiento es necesario desarrollar un dispositivo que evalúe los coeficientes de fricción en las superficies de tubería de catéter para determinar la combinación óptima de materiales.

III OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar el coeficiente de fricción en tuberías de catéter intravenoso
- Diseño de un dispositivo experimental

Objetivo específico

- Analizar el coeficiente de fricción con el modelo de Rabinowicz.
- Analizar el coeficiente de fricción de catéteres intravenosos.
- Realizar cálculos con los teoremas de contactos para la obtención del coeficiente de fricción.
- Investigar las propiedades mecánicas y químicas del material en uso.

IV. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA EN QUE PARTICIPO

La residencia profesional se realizó en el área de biomecánica. La biomecánica es un conjunto de conocimientos derivados de la física que tienen como objetivo estudiar los efectos de las fuerzas mecánicas sobre los sistemas orgánicos de los seres vivos y sus estructuras, para predecir cambios por alteraciones y proponer métodos de intervención artificial que mejoren el desempeño.

En un sentido más amplio, los estudios tecnológicos aportan conocimiento en las ramas de maquinaria, muebles, deportes y salud y también en la automotriz, apoyándose en estudios de antropometría (medición del cuerpo humano) y de ergonomía (postura y funciones del cuerpo humano).

La Biomecánica utiliza los conocimientos de la mecánica, la ingeniería, la anatomía, la fisiología y otras disciplinas. A la Biomecánica le interesa el movimiento del cuerpo humano y las cargas mecánicas y energías que se producen por dicho movimiento.

El objetivo de la Biomecánica es resolver los problemas que surgen de las diversas condiciones a las que puede verse sometido nuestro cuerpo en distintas situaciones.

Las posibilidades que la Biomecánica ofrece al plantear y resolver problemas relacionados con la mejora de nuestra salud y calidad de vida la han consolidado como un campo de conocimientos en continua expansión, capaz de aportar soluciones científicas y tecnológicas muy beneficiosas para nuestro entorno más inmediato.

V. PROBLEMAS A RESOLVER

- Calcular el coeficiente de fricción en diferentes tipos de catéteres
- Estudiar los problemas del poliuretano
- Disponer de una superficie que asegure un bajo coeficiente de fricción

VI. ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES

- Se diseñó el dispositivo para evaluar el coeficiente de fricción.
- Se podrá utilizar en todos los tipos de catéteres.
- Se determinó el coeficiente de fricción mediante el modelo de Rabinowicz.
- Cálculo de energía del péndulo (dispositivo de fricción).
- Tiempo de la residencia cumpliendo un total de 640 horas.
- Se compró el sistema de adquisición de datos y sensores para el uso en el dispositivo.

LIMITACIONES

- El dispositivo no se logró hacer físicamente por falta de tiempo.

VII. FUNDAMENTO TEORICO

ESTADO DEL ARTE

A través de la historia se sabe que existieron civilizaciones como las de los egipcios, griegos y romanos que utilizaban la lubricación en sus máquinas primitivas. [2]

No se puede pensar en la tribología como una ciencia nueva; básicamente, 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, y numerosos esfuerzos se han realizado para minimizar sus efectos [3,4]. 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 movimiento 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. Para realizar esta tarea utilizaban agua o grasa animal como lubricante. Se puede asumir que los sumerios y los egipcios utilizaban "lubricantes" para reducir la fricción (betún, aceites animales y vegetales, agua).

Los ejemplos son numerosos:

1. Base sencilla para generar fuego y para crear perforaciones a través de movimientos de rotación
2. Torno con soporte de piedra y madera
3. Soportes de ejes con correas de cuero para vehículos de rodillos y ruedas
4. Uso de lubricantes como aceite, grasa y agua
5. Construcción de carros para el transporte de piedras pesadas

Así, los sumerios, hace unos 3 000 años, ya utilizaban en sus carros correas de cuero y horquillas invertidas para el apoyo de los ejes rígidos. Los hallazgos muestran que estos puntos de contacto se lubricaban para reducir la fricción y, con ello, reducir también el desgaste.

El rodamiento debe su nombre y su origen a los "elementos rodantes" las maderas redondas que utilizaban los egipcios en tiempos de faraones. Este método permitía aumentar la velocidad de trabajo, solucionar el problema de la fricción y que las tareas fueran menos duras. La idea de sustituir la fricción de deslizamiento por fricción de rodadura se remonta al pasado más remoto de la historia de la civilización. Algunos relieves egipcios muestran el transporte de enormes bloques de piedra que se utilizaban para la construcción de monumentos y que se deslizaban sobre troncos de árboles en lugar de rodillos.

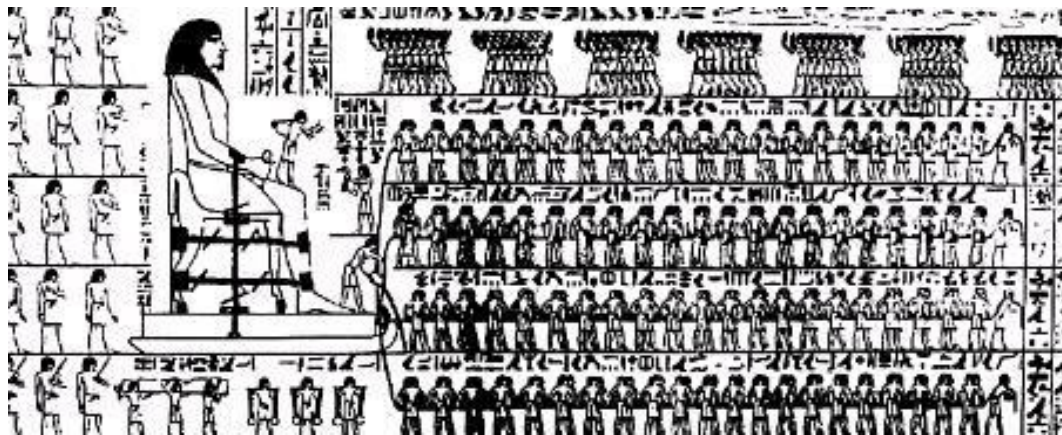


Figura 1. Evidencias gráficas de los egipcios

En el siglo XV, [5] Leonardo Da Vinci (1452 – 1519) investigó el movimiento de un bloque rectangular, deslizando sobre una superficie plana y estableció dos leyes básicas de la fricción: La fuerza de fricción es proporcional a la carga. La fuerza de fricción es independiente al área de contacto, también fue el primero en introducir una definición del coeficiente de fricción, la definió como la razón de la fuerza de fricción a la fuerza normal [6].

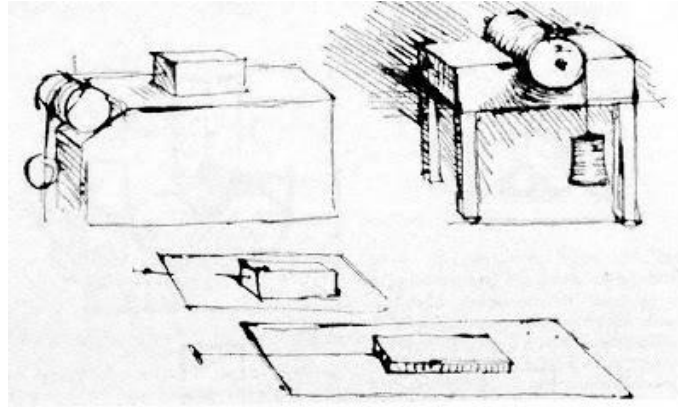


Figura 2. Movimiento de un bloque rectangular

Un gran número de investigadores realizó experimentos sobre lubricación: Leonardo da Vinci (1508), Amontons (1699), Euler (1748), Coulomb (1809). Amontons y Coulomb hallaron que la fuerza de fricción F que hay que vencer para mover un cuerpo en respecto a otro es proporcional a la carga normal aplicada P (P/F), llamada coeficiente de fricción. [7]

En (1699) Guillaume Amontons [8] físico francés realizó experimentos enfocados a estudiar el fenómeno de fricción en máquinas [3]. Estableció que el mecanismo de fricción se debe a la fuerza que se requiere para vencer las impurezas de las superficies de los cuerpos en deslizamiento, redescubrió las leyes de la fricción (o rozamiento) estudiando el deslizamiento seco de dos superficies planas, las cuales fueron verificadas por el físico francés Charles Agustín Coulomb.

John Theophilus Desaguliers [9] 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” [10]. Desaguliers establece que “la fricción es causa de las fuerzas de atracción molecular (adhesión) entre las superficies solidas de contacto”.

En 1748, el matemático suizo Leonhard Euler [8] 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. [4]

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 [11,12]. En 1785 estableció la tercera ley de la fricción: (3) La fricción cinética es independiente de la velocidad de deslizamiento. Robert Henry Thurston [13] se dedicó a investigar la fricción de superficies lubricadas.

Hasta este momento nadie podía explicar el origen de la fricción, Frank Bowden y David Tabor [14], 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 [15], 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 [16] 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. [17]

En 1965, en investigaciones realizadas por el científico investigador Kraghelsky [18], se propone que el desgaste ocurre como un resultado de la fatiga. Se considera que el contacto plástico en las interacciones de asperezas es menos importante que el contacto elástico,

argumentando que aún si el contacto inicial es plástico, éste cambia rápidamente a elástico. Kraghelsky explica el desgaste en términos de un esfuerzo cíclico debajo del límite elástico.

El 9 de marzo de 1966 en un informe elaborado por la Comisión del Ministerio de Educación y Ciencia de la Gran Bretaña conocido como: Reporte del Ministerio de Educación y Ciencia de la Posición Presente y Necesidades de la Industria o Reporte Jost; señala las grandes pérdidas que existen en la industria relacionados con la fricción y el desgaste. Además, por primera vez se utiliza el concepto de “Tribología” y se le reconoce el carácter multidisciplinario de esta ciencia. [19]

Tabor [20] 1981 manifestó tres elementos básicos implicados en la fricción entre dos cuerpos solidos: (1) el área aparente en la unión de superficies rugosas; (2) el tipo de fuerza de enlace que se forma en la interfaz donde el contacto ocurre, (3) la manera en la cual se rompe el material alrededor de las regiones en contacto por esfuerzo cortante durante el deslizamiento. [21]

Como resultado de experimentos más recientes, se establecieron nuevas afirmaciones que complementan las anteriores:

- 1) Para presiones lo suficientemente elevadas para producir deformaciones excesivas, el coeficiente de fricción estática se incrementa.
- 2) Para velocidades relativas cercanas a cero, el coeficiente de fricción dinámica se incrementa y alcanza el valor del coeficiente de fricción estática sin presentar discontinuidad.
- 3) Para velocidades elevadas, el coeficiente de fricción dinámica se incrementa.
- 4) Cambios ordinarios en la temperatura no afectan los coeficientes de fricción.

Ya que las aseveraciones anteriores involucran no linealidades en el comportamiento de la fricción, resulta necesario recurrir, en la mayor parte del tiempo, a métodos numéricos para hallar la solución.

Como se mencionó anteriormente, la tribología es la ciencia del rozamiento, de la interacción de superficies en movimiento relativo, los temas y prácticas relacionadas con ella.

Una práctica donde podemos observar claramente el fenómeno de rozamiento y fricción es en el procedimiento medico llamado cateterismo.

Un catéter (del latín cathēter, y este del griego, καθετήρ) es, en medicina, un dispositivo de forma tubular que puede ser introducido dentro de un tejido o vena. Los catéteres intravasculares son dispositivos plásticos que permiten acceder al compartimiento intravascular a nivel central. Varían en su diseño y estructura según se utilicen en forma temporal (días) o permanente (semanas, meses) así como también en el material con que son fabricados, en el número de lúmenes, y en el motivo por el cual se instalan.

El uso de estos dispositivos ha sido de gran utilidad clínica ya que permiten un acceso rápido y seguro al torrente sanguíneo, pudiendo ser utilizados para la administración de fluidos endovenosos, medicamentos, productos sanguíneos, nutrición parenteral total, monitoreo del estado hemodinámico y para hemodiálisis. Sin embargo, no están exentos de riesgos habiéndose descrito complicaciones mecánicas e infecciosas.

La infección relacionada a catéteres centrales constituye una de las principales complicaciones de su uso y la primera causa de bacteriemia nosocomial primaria. [22]

Los dispositivos vasculares centrales se clasifican

- Según la localización, que pueden ser periféricos o centrales.
- Según el tiempo de permanencia, pudiendo ser temporales, transitorios o de corta duración; o permanentes o de larga duración.
- Según el material de fabricación, que pueden ser de silicona, teflón, recubiertos o impregnados.

Un catéter venoso central común (CVC) es el dispositivo intravascular más ampliamente usado. Se inserta en forma percutánea, a través de un acceso venoso central (vena subclavia, yugular o femoral).

Los CVC's son frecuentemente utilizados en unidades de cuidados intensivos con variados objetivos: infusión de fármacos, monitoreo hemodinámico, plasmaféresis, nutrición parenteral total, etc.

Las tasas de infección asociadas al uso de este tipo de dispositivos han ido en aumento en las últimas décadas, debido probablemente a su mayor uso y a la mayor complejidad de los pacientes en quienes se utilizan. [22]

El catéter central periféricamente instalado CCPI (Peripherically Instaled Central Catéter, PICC), es un dispositivo de silicona biocompatible, cuya inserción es periférica, pero la ubicación de su extremo distal ("punta") es central (vena cava superior o subclavia). Posee un introductor de teflón divisible o scalpvein.

Se ha utilizado ampliamente en neonatología, ya que permite un acceso central rápido y seguro por vía periférica, la administración de todo tipo de soluciones, mayor comodidad y confort al paciente y registra una baja incidencia de complicaciones. [22]

Al estar directamente en contacto dos superficies sólidas, catéter y piel, surgen fuerzas tangenciales las cuales provienen de fenómenos físicos complejos, como la rugosidad de las superficies, la adhesión y la creación de enlaces intermoleculares. Eso hace que se hayan de establecer modelos que formulen estas fuerzas de forma simplificada. El modelo más usual es el de rozamiento seco de Coulomb [23]. Cuando entre las superficies solidas hay lubricante, el modelo de rozamiento viscoso da una aproximación razonable de la fuerza tangencial.

La experiencia pone de manifiesto que en un contacto puntual, lineal o superficial entre superficies secas pueden aparecer fuerzas tangenciales de valor limitado que tienden a

impedir el deslizamiento. Si consiguen evitarlo son fuerzas de enlace, ya que valen lo que haga falta para garantizar la condición cinemática $V_{desl}=0$. La resultante de estas fuerzas se denomina fuerza de rozamiento.

Si las fuerzas tangenciales no consiguen evitar el deslizamiento, dejan de ser fuerzas de enlace y pasan a ser resistencias pasivas. En este caso, la resultante se denomina fuerza de fricción. El paso de no deslizamiento a deslizamiento –de fuerza de rozamiento a fuerza de fricción- corresponde a la condición límite del enlace establecido por el rozamiento.

El modelo de rozamiento seco o de Coulomb establece que, en un punto de contacto y en ausencia de deslizamiento, el módulo de la fuerza de rozamiento F_{roz} está condicionada a $|F_{roz}| \leq \mu_e N$, siendo N la fuerza normal de repulsión en el punto de contacto y μ_e un coeficiente adimensional que se considera constante para una pareja de superficies de contacto y que se denomina coeficiente de rozamiento estático.

En presencia de deslizamiento, la fuerza de fricción se opone –misma dirección y sentido contrario – a la velocidad relativa de deslizamiento, y su módulo es $|F_{friccion}| \leq \mu_d N$, donde μ_d es un coeficiente adimensional que se denomina coeficiente de rozamiento dinámico. Se suele considerar constante y normalmente su valor es más pequeño que μ_e .

Actualmente hay varios mecanismos que pueden medir el coeficiente de fricción de varias superficies, dos de ellos se muestran a continuación:

- "Péndulo de Fricción TRRL (Transport Road ResearchLaboratory)", mide el coeficiente de fricción en forma puntual; el ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma que roza sobre la superficie a ensayar. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo. La forma más difundida de valorar la macrotextura en forma puntual es con el ensayo del "Parche de Arena". Este equipo se utiliza para estudiar problemas en el diseño y mantenimiento de carreteras. Fuera del ámbito vial, el péndulo de fricción puede ser utilizado para estudiar

problemas en suelos de oficinas, edificios públicos, fábricas, superficies para prácticas deportivas, etc. [24]

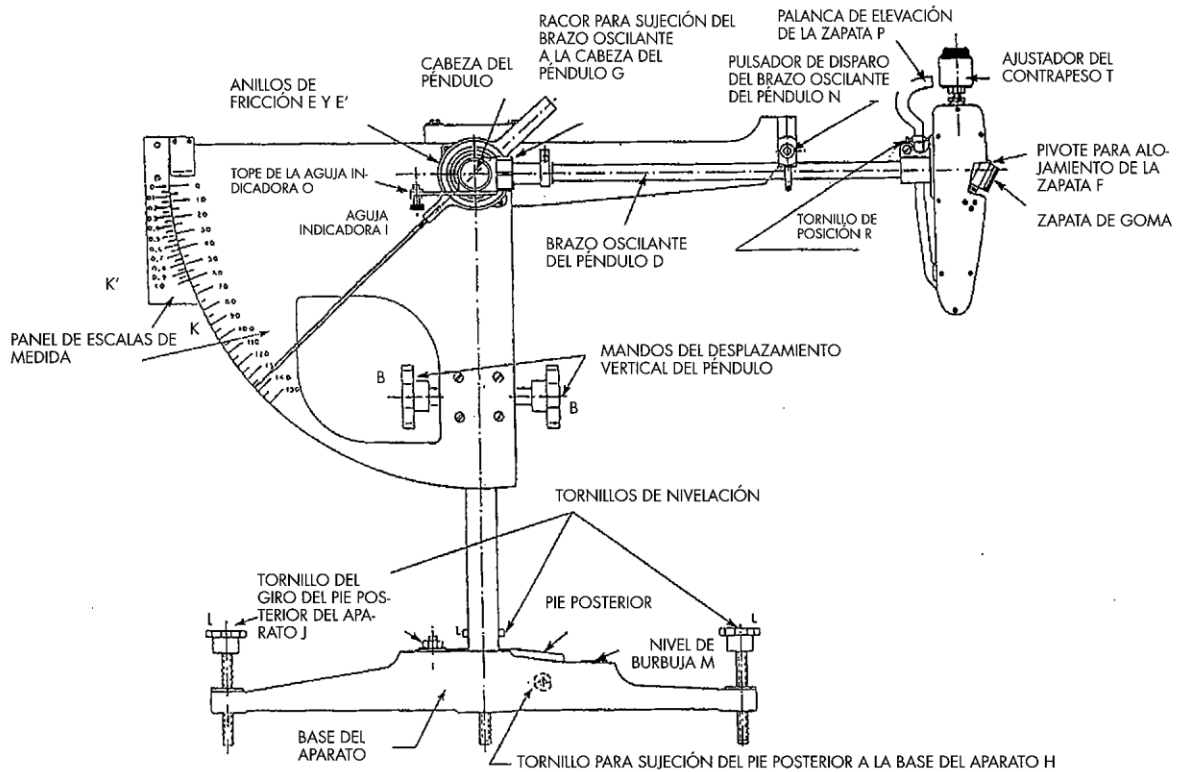


Figura 3. Partes del péndulo de fricción

- “Péndulo de fricción con balón”, se refiere a un dispositivo y un método para determinar la fuerza de fricción, entre una pelota de juegos y una superficie de juego. El dispositivo consiste en un péndulo rígido pivotado en su extremo superior y sobre la cual se retiene una bola en su extremo inferior. El soporte se une a una zapata que pivota alrededor de un punto, de tal manera que la zapata se mueve en un arco que se encuentra en un plano vertical perpendicular al plano vertical en el que el péndulo oscila. El movimiento de la zapata permite que la bola se mueva en una dirección aproximadamente radial con respecto al pivote del péndulo. [25]

La medida del coeficiente de fricción evidencia las características de la superficie tales como la rugosidad, fuerzas adhesivas y enlaces intermoleculares.

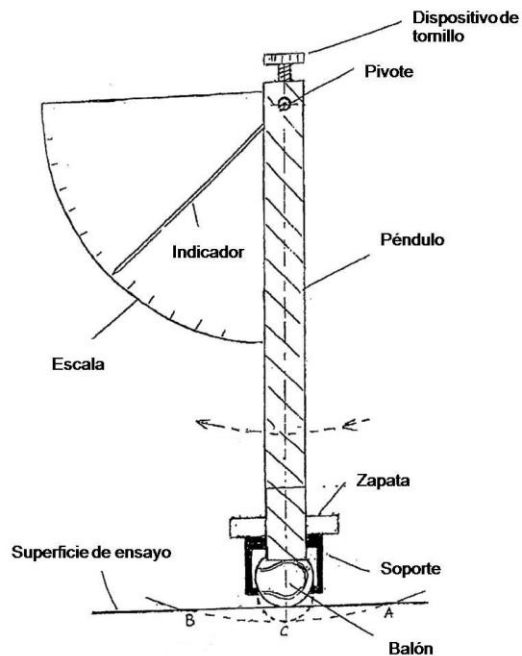


Figura 4. Partes del péndulo de fricción con balón

- “Tribómetro”, Un esquema del dispositivo se muestra en la figura 1; la figura 2 detalla las fuerzas que tienen un efecto sobre el catéter probado y el principio de medición del factor de fricción. Las bobinas del motor de CC de un catéter en movimiento hebra (conectado por la captura) en plano paralelo con velocidad constante de 1 cm s^{-1} . Al mismo tiempo, el catéter se presiona hacia abajo con un elemento con peso conocido y el intercambiable superficie opuesta (la presión de fuerza normal N), fijado con una goma elástica. La superficie de contacto permanece inmersa en agua destilada. El movimiento relativo del catéter probado y una superficie contraria provoca un desplazamiento del elemento de presión debido a una fenómeno fuerza de fricción (T), que puede ser registrado por el medidor de fuerza y adquisidor en PC con convertidor A/D realizado por National Instruments. Para los datos de medición Se preparó el procesamiento de solicitudes equipo original. Lo se hizo en LabView medio ambiente 8. Esta sencilla aplicación permite al usuario elegir la frecuencia de muestreo (por defecto 1 ms) y para observar los cambios de la fuerza de fricción en tiempo real en el gráfico. [26]

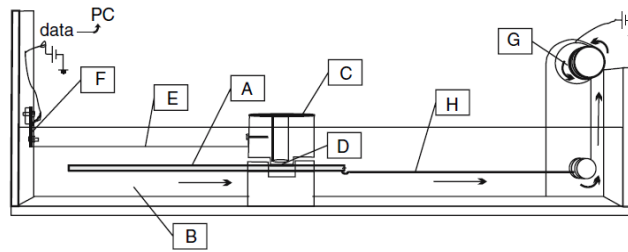


Figura 5. Esquema del dispositivo. Una prueba del catéter; B-un recipiente lleno con agua destilada, elemento C-polímero que mantiene presionado el catéter, rígidamente conectados, a través de la barra E, con medidor de fuerza F, D una intercambiable contracara, motor G-DC enrollar la cadena H.

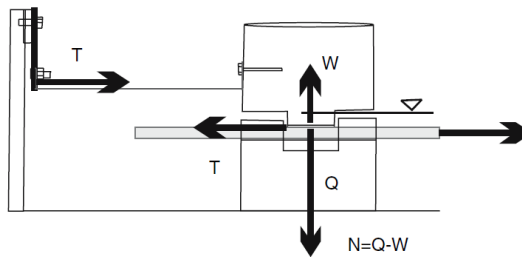


Figura 6. Fuerzas que tienen un efecto sobre la medición del factor de fricción: $\mu = N/T$; fuerza T -fricción, la fuerza N -normal, siendo una diferencia de un fuerza de la gravedad Q y una flotabilidad W

- Pin en disco (pin on disk) para la prueba de desgaste con este método se necesitan dos probetas. El primero es un pin cuyo tamaño es muy reducido, el cual es posicionado perpendicularmente a la otra pieza, la cual usualmente es un disco circular. La máquina de pruebas causa que el pin o el disco giren entre sí; como consecuencia de ello, se forma un camino de desgaste en el disco. El plano del disco puede ser orientado vertical u horizontalmente. Los resultados de desgaste pueden diferir según la orientación del disco. [27]

La probeta en forma de pin se presiona sobre el disco con una carga específica, y dicha probeta, se encuentra sujeta a un dispositivo posicionado con contrapesos. Los reportes de desgaste se realizan en términos de pérdida de volumen en milímetros cúbicos. La pérdida de masa por desgaste se puede convertir en pérdida de volumen mediante la utilización de adecuados valores de densidad. En términos generales el equipo consiste en un posicionado de un pin esférico sobre un disco, el cual gira por la acción de un motor a unas determinadas revoluciones por minuto rpm. El pin se encuentra localizado a un radio R del centro del disco.

Un motor con velocidad variable, es capaz de mantener la velocidad seleccionada constante es requerido, además, debe estar montado de tal manera que las vibraciones no afecten las pruebas. Las velocidades de rotación pueden ser de 60 a 600 rpm, por lo cual, la máquina debe estar equipada con un contador de revoluciones. La balanza utilizada para medir la pérdida de masa en las probetas deberá tener una sensibilidad de por lo menos 0.1 mg [27].

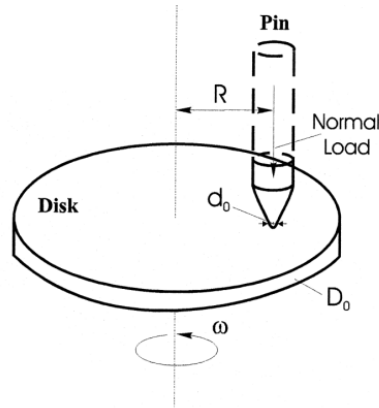


Figura 7. El principio de funcionamiento pin on disk tribómetro

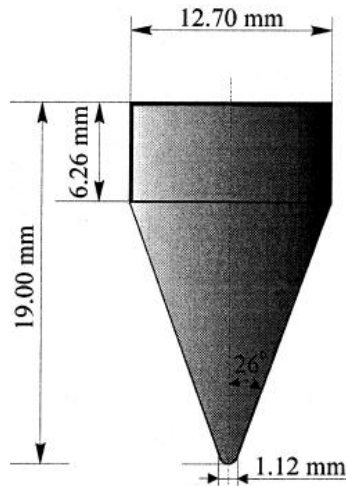


Figura 7. Geometría del pin

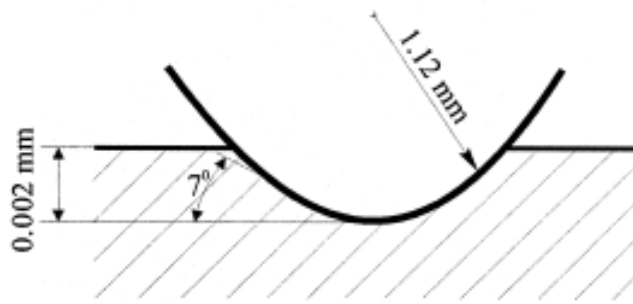


Figura 8. Cabeza de un alfiler penetra en el disco

- Péndulo Charpy, se libera desde una altura (h_1) una masa atada a una barra que gira en torno a un eje, choca contra una muestra del material, lo rompe, y sigue subiendo hasta otra altura (h_2). Por tanto, se puede concluir por la ley de la conservación de la energía, que la energía que absorbe el material en su rotura es la energía que tiene la masa antes de soltarla (en h_1), menos la energía que tiene la masa cuando llega a la altura h_2 . [28]

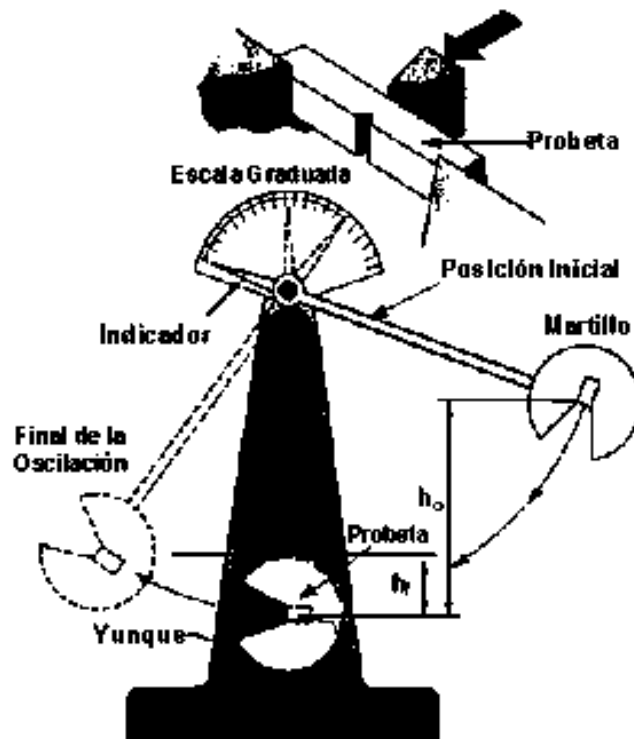


Figura 9. Péndulo charpy

- “Portable Tactile Meter” Este instrumento permite que la textura, el sentimiento y fusión, que eran previamente difícil de cuantificar, que se muestra numéricamente. Uso de tres galgas extensiométricas, las resistencias en las direcciones X, Y y Z se detecta. El funcionamiento sólo requiere colocar la muestra en la tabla probeta y trazando el objeto con el dedo u otro objeto. La medición puede se llevará a cabo con facilidad. Además, el uso de la sonda a mano, las muestras que no se pueden cargar en la mesa de la pieza de prueba también se puede medir.



Figura 10. Portable Tactile Meter

- “StaticFrictionCoefficientTester” La probeta se instala en el tablero ascendente y penetrador plana. La junta ascendente está provisto de un sensor que monitoriza el movimiento de la penetradora plana. La junta ascendente se inicia desde la posición horizontal, y la inclinación aumenta cuando empieza la medición. El sensor detecta el movimiento cuando la penetradora plana comienza a deslizarse, y al instante se detiene el tablero ascendente. El ángulo y la $\tan \theta$ en este momento se deben leer.



Figura 11. StaticFrictionCoefficientTester

Coefficiente de fricción

Hay que diferenciar entre la fricción por adhesión y de deslizamiento, el coeficiente de fricción estático y dinámico. Para la determinación de ambos valores.

Hay básicamente dos métodos de medición:

- El "método plano horizontal", con el que se determinan los coeficientes de fricción estático y dinámico con un carro.
- El "método de tiras": dos tiras de material se estiran en sentido contrario entre dos rodillos apretados entre sí. La ventaja de este método: se ensayan sólo aquellas superficies que no han tenido contacto previo.

Como ya se mencionó se han desarrollado dispositivos que miden el coeficiente de fricción de diferentes superficies, pero hasta ahora no hay ningún dispositivo que calcule el coeficiente de fricción de tuberías con diámetros pequeños como por ejemplo el de los catéteres intravenosos, tomando esto en consideración y como apoyo se desarrolla el siguiente proyecto para diseñar un dispositivo el cual medirá el coeficiente de fricción en tuberías de 1 a 3 mm de diámetro exterior.

VII.1 PRINCIPIOS BÁSICOS

TRIBOLOGÍA

A pesar de que la metalurgia ha existido por miles de años, la tribología se incluye muy escasamente en los cursos de ese tema. Por consiguiente, ahora discutimos sobre los conceptos clave de la tribología.

La ciencia de la tribología (del griego: fricción) se concentra en la mecánica de contacto de interfaces movibles que generalmente involucra a la dispersión de energía. Por esto la caracterización de la tribología del material tiene que ver con adhesión, fricción, desgaste, lubricación, resistencia al rayado y diseño de superficies interactuantes en movimiento relativo.

La palabra Tribología se deriva del término griego “tribos”, el cual puede entenderse como “frotamiento o rozamiento”, así que la interpretación de la palabra es, “la ciencia del rozamiento”. Los diccionarios definen a la Tribología como la ciencia y tecnología que estudia la interacción de las superficies en movimiento relativo, así como los temas y prácticas relacionadas.

El entendimiento de las interacciones superficiales en una interfase requiere tener conocimiento de varias disciplinas incluyendo la física, química, matemáticas aplicadas, mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, termodinámica, transferencia de calor, ciencia de materiales, lubricación, diseño de máquinas, desempeño y confiabilidad.[29]



Figura 12. Ciencias que aportan a la tribología [30]

La Tribología se centra en el estudio de tres fenómenos; la fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de este fenómeno y la lubricación como un medio para evitar el desgaste. Está presente en prácticamente todos los aspectos de la maquinaria, motores y componentes de la industria en general. Los componentes tribológicos más comunes son:

- 1) Rodamientos
- 2) Frenos y embragues
- 3) Sello
- 4) Anillos de pistones
- 5) Engranajes y levas
- 6) Turbinas
- 7) Procesos de corte
- 8) Prótesis articulares

Aplicar el conocimiento de la tribología implica:

- 1) Ahorro de materias primas
- 2) Aumento en la vida útil de las herramientas y la maquinaria
- 3) Protección al medio ambiente
- 4) Ahorro económico.[31]

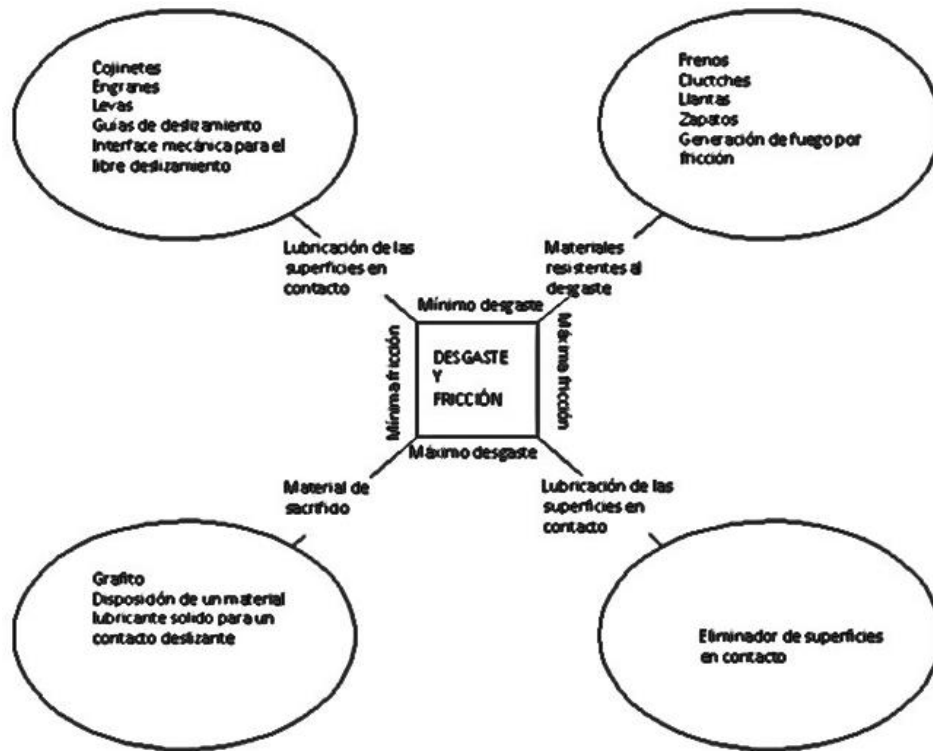


Figura 13. Objetivos prácticos de la tribología

FRICCIÓN

La fricción es la resistencia al movimiento durante el deslizamiento o rodado y se expresa como una fuerza de resistencia tangencial, la cual actúa en dirección opuesta a la dirección del movimiento. Debe destacarse que la fricción no es una propiedad del material si no la respuesta del sistema. [32]

Las primeras observaciones sobre el mecanismo de fricción fueron hechas por Leonardo da Vinci y posteriormente Guillaume Amontons y Charles A. Coulomb. Se estableció las leyes de fricción: [33]

Primera ley: la fricción es independiente del área de contacto entre los sólidos.

Segunda ley: la fuerza de fricción es directamente proporcional a la carga aplicada.

Tercera ley: la fricción cinética es independiente de la velocidad de desplazamiento.

Esto es que para un par de superficies, la razón de fricción con respecto a la carga es constante, es decir:

$$\mu = \frac{F}{N} \dots\dots (7.1)$$

Donde μ es el coeficiente de fricción (adimensional), F es la fuerza de fricción (Newtons) y N es la carga normal aplicada (Newtons).

Donde μ es la constante conocida como coeficiente de fricción estática μ_s o cinemática μ_k . La fuerza de fricción estática " $F_{estática}$ " es la fuerza de fricción requerida para iniciar el movimiento y la fuerza de fricción cinética " $F_{cinemática}$ " es la fuerza requerida para mantener el movimiento. Estas tres leyes son suficientes para describir el mecanismo de fricción en forma macroscópica, de esto se puede decir que la fricción, es la resistencia al movimiento de cuerpos deslizándose en dirección de una interface común

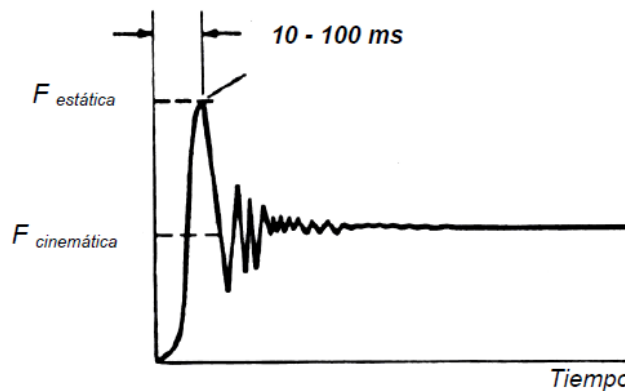


Figura 14. Variación de la fuerza tangencial F como una función del tiempo.

FRICCIÓN SECA

Se presenta por deslizamiento o por rodadura cuando un objeto sólido seco, es movido tangencialmente con respecto a otra superficie o cuando intenta hacer tal movimiento.

FRICCIÓN FLUIDA

Es la resistencia al movimiento que ofrece un fluido interpuesto entre dos superficies con movimiento relativo, debido al rozamiento entre sus capas moleculares.

CAUSAS DE LA FRICCIÓN

Los factores más relacionados con todos los procesos tribológicos son:

Lubricación

Una película apropiada interpuesta entre dos superficies reduce la fricción entre dos elementos.

Carga

Reduce el espesor de la película lubricante, pero incrementa la cohesión entre sus capas.

Geometría de las partes

La forma de los elementos influye considerablemente: por deslizamiento o por rodadura.

Perfil de la superficie metálica

El método y el proceso de mecanizado y el estado de las superficies tienen una notable influencia en la fricción y el desgaste, tanto de orden mecánico como físico.

Materiales

Dependiendo del tipo de material y aleaciones presenta un mayor o menor coeficiente de fricción, también es importante conocer los tratamientos térmicos, mecanizados.

Tolerancias en el diseño de elementos mecánicos

Se deben calcular exactamente para evitar que se puedan producir daños debido a la falta de una película lubricante cuando las tolerancias son muy reducidas.

Acabado superficial

El coeficiente de rozamiento es mayor cuando la superficie es áspera y menor para superficies pulidas.

Adhesividad

Está relacionada con la capilaridad superficial del lubricante el cual dependerá del acabado superficial. Las irregularidades ayudan a retener el lubricante permitiendo una mayor adherencia.

En investigaciones recientes se demuestran que en la interfase de contacto de dos cuerpos con movimiento relativo, existen una fuerte interacción entre las superficies de los materiales; lo que incluye otros factores como: [33]

- El área real de contacto entre las superficies deslizantes.
- El punto de enlace que se forma en la interfase, donde ocurre el contacto adhesión.
- La forma de ruptura y separación de las capas interiores del material.

Estas consideraciones actúan directamente al coeficiente de fricción y se expresa de la manera siguiente:

$$\mu = \frac{s}{N - F_{ad}} \dots\dots (7.2)$$

La carga normal N , tiene relación con el área real de contacto. La fuerza de adhesión F_{ad} , 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. [34]

El comportamiento de la fricción de la mayoría de los materiales cambia en una interacción con los alrededores. Se ha demostrado que el diamante proporciona fricciones muy altas en ambientes de gas inerte, pero proporciona coeficientes de fricción muy bajos en el aire normal. Cuando se encuentran las superficies en movimiento relativo y la presión de contactos es baja, las moléculas absorben la energía, pueden permanecer en contacto y logran moléculas centradas en cuerpo por los enlaces carbono-carbono (del diamante), por lo cual la fricción se reduce.

La fricción depende principalmente de la interacción de las asperezas entre dos superficies que están en deslizamiento. La energía disipada a causa del trabajo mecánico se manifiesta en forma de calor y ocasiona incremento de la temperatura sobre la superficie. Esto sucede de manera intermitente dentro de los puntos de contacto real, a causa de la adherencia y deslizamiento posterior de las uniones. [35]

A partir de los anteriores parámetros se obtiene una ecuación más acorde con las características del fenómeno de triboadhesión, esto, a partir del estudio de la generación instantánea de calor por fricción.

Para que las superficies en contacto, se deslicen en movimiento relativo, es necesaria una fuerza de fricción para cortar las uniones inter-metálicas de acuerdo a Rabinowicz se forman a causa de la adhesión, si la fuerza de fricción, depende de la resistencia al cortante de las superficies en contacto, y de la carga aplicada tiene relación con la energía de superficie y del radio de unión sobre la fricción, y de acuerdo con la teoría se tiene que para el coeficiente de fricción:

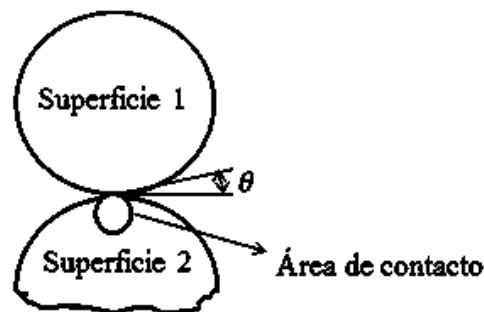


Figura 15. Área de contacto

$$\mu = \frac{\tau}{H - \frac{2W_{ab} \cot \theta}{r_{ab}}} \dots (7.3)$$

Dónde τ es el esfuerzo cortante, H es la dureza del material, W_{ab} es el trabajo de adhesión, θ es el ángulo de contacto y r_{ab} es el radio de adhesión.

Cada uno de estos elementos dependen de la composición y estructura del material, del estado de la superficie y del medio ambiente en general, esto genera, que los coeficientes de fricción varíen aun para un mismo material.

Según E. Rabinowicz (1995) las causas de pérdida de utilidad de los objetos materiales son: 15% por amortiguado, 15% por descompostura y 70% por deterioro de superficie, siendo aquí donde se carga el desgaste y su fractura. [36]

Tomando en cuenta todos los anteriores parámetros, la fricción es una combinación de efectos de adhesión, deformación y ruptura de la superficie de los materiales. La interacción relativa de estos componentes depende entonces de las condiciones del medio ambiente, de la interface de deslizamiento y de los materiales de contacto.

DESGASTE

El desgaste es definido como el proceso de remoción de material de una superficie sólida, como un resultado del movimiento relativo de esta superficie respecto a otra en contacto. En el proceso continuado de desgaste, el material puede ser removido de la superficie y expulsado o puede resultar transferido a la otra superficie o también puede romperse y quedar atrapado dentro del contacto como una partícula libre de desgaste. En el caso de la transferencia de material desde una superficie a otra, la pérdida de masa o volumen neto de la interfase sería cero, aunque una de las superficies sería desgastada. En un proceso de contacto tribológico la fuerza de fricción también está asociada a la evolución del desgaste, sin embargo, su relación no es bien entendida. Algunas veces se asume que interfaces de alta fricción exhiben altas tasas de desgaste. Esto no es necesariamente verdad, por ejemplo, las interfaces entre metales pulidos y polímeros exhiben baja fricción y simultáneamente alto desgaste, mientras que las interfaces entre materiales cerámicos

exhiben moderada fricción pero muy bajo desgaste. Sin embargo, esto no es una regla general y hay contradicciones. Al igual que la fricción, el desgaste no es solamente una propiedad del material, es una respuesta integral del sistema. Los análisis de los sistemas han demostrado que 75% de las fallas mecánicas se deben al desgaste de las superficies en rozamiento. Se deduce fácilmente que para aumentar la vida útil de un equipo se debe disminuir el desgaste al mínimo posible. [39]

El daño ocasionado a una superficie como resultado de un movimiento relativo entre dos superficies, sería una definición de desgaste. Este daño puede ser en forma de pérdida de material, formación de microgrietas o también en términos de deformación plástica, se presenta por la fuerte adhesión que existe de las uniones y la dificultad para romperlas. [39]

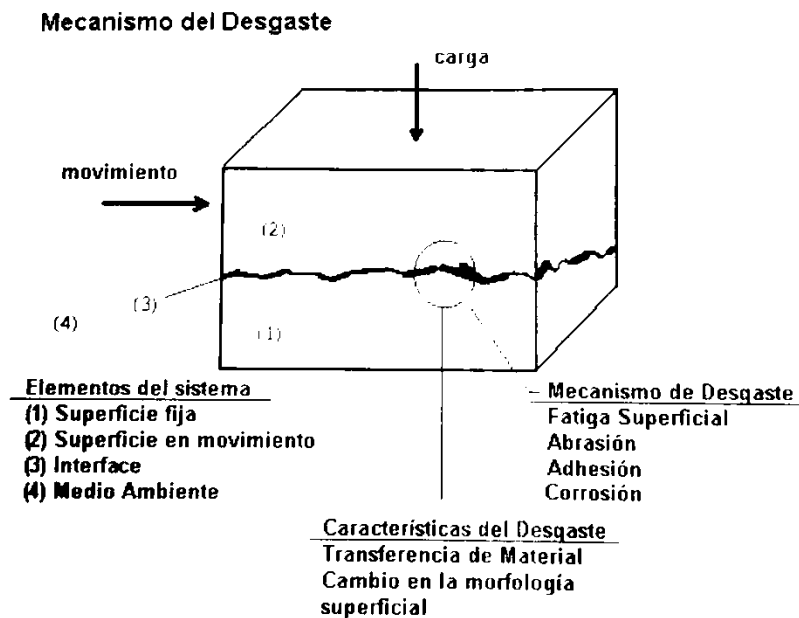


Figura 16. Mecanismo del desgaste de un sistema tribológico

Hay un número de procesos tales como adhesión, abrasión y fatiga superficial, que están involucrados dentro del desgaste de materiales. A causa de estos diferentes procesos de contacto que ocurren entre cuerpos con movimiento relativo, existe el cambio de las características geométricas y la pérdida del material de alguno o ambos cuerpos.

TIPOS DE DESGASTE

Desgaste adhesivo: Sucede cuando dos superficies lisas entran en contacto deslizando la una respecto a la otra, de modo que pequeños fragmentos de material son arrancados de una superficie y adheridos a otra. [38]

Desgaste abrasivo: La abrasión se presenta cuando una superficie dura, o una superficie blanda con partículas duras, se deslizan sobre una superficie blanda, causando una serie de cavidades y desplazando material de estas cavidades en forma de partículas generalmente libres. [39]

Desgaste por erosión: Es producido por una corriente de partículas abrasivas, muy común en turbinas de gas, tubos de escape y de motores.

Desgaste corrosivo: Cuando las superficies en contacto se encuentran en un medio corrosivo, los productos de la corrosión formarán una capa encima de las superficies que frenará o inhibirá la corrosión. Sin embargo, el continuo deslizamiento podría arrancar esta capa continuando así el ataque corrosivo. [39]

Desgaste por fatiga superficial: Se presenta durante el deslizamiento o rodamiento repetitivo a lo largo de una huella. La exposición a ciclos de carga y descarga de las superficies puede inducir la formación de grietas superficiales o justo por debajo de ella, que podría llegar a romper la superficie en forma de grandes fragmentos, dejando grandes marcas en la superficie. [39]

En general hay dos maneras de describir el mecanismo de desgaste, la primera se refiere al comportamiento mecánico de los materiales, y la segunda lo describe en función de la naturaleza química de los materiales.

Como se mencionó anteriormente, Bowden y Tabor explican que, para que dos superficies que entran en contacto, se deslicen, las uniones formadas en las asperezas superficiales durante el contacto se tienen que romper y entonces el desgaste puede definirse, como el cambio acumulativo en las dimensiones de las superficies en contacto, a causa de la eliminación gradual de partículas por acción mecánica o química en las superficies durante el deslizamiento relativo.

RUGOSIDADES SUPERFICIALES Y ÁREA DE CONTACTO REAL

Es difícil encontrar superficies que sean lisas, aun sobre superficies cuidadosamente pulidas existen colinas y valles los cuales son grandes comparados con la medida de una molécula. [40]

El contacto solo existe sobre las asperezas superficiales. El resto de las superficies se forma de espacios de cientos de angstrom o más. Ya que el rango de fuerzas superficiales es extremadamente pequeño, las superficies están completamente separadas y no hay interacción entre ellas. [41]

Para el caso de las superficies en contacto, las asperezas se encuentran deformadas dentro del rango plástico, al aumentar la carga al doble, el área de contacto debe incrementar en igual proporción para mantener una presión constante. También para el área de contacto real A_r , depende del número de puntos en contacto; es decir, si se forma una serie de áreas de contacto $a_1, a_2, a_3 \dots a_n$, entonces el área de contacto total sería:

$$A_r = n a_i \quad (7.4)$$

Donde A_r es el área de contacto real, n es el número de asperezas que están en contacto y a_i es el área que se forma en cada aspereza por el contacto. [42]

Cuando dos sólidos están en contacto, el área aparente de contacto no es la misma que el área real de contacto por efecto de las rugosidades de la superficie. [34] Se representa el área aparente de contacto, que es más grande que el área real de contacto, donde el contacto se produce únicamente en la punta de las rugosidades. Esta área real de contacto se puede incrementar si se incrementa la fuerza de presión aplicada para mantener el contacto mecánico.

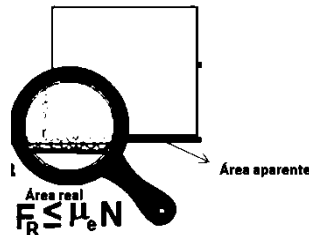


Figura 17. Áreas de contacto

Por otra parte, 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 esas interacciones que toman lugar en estas regiones de contacto entre las superficies y en las cuales existe un contacto átomo-átomo, corresponde al área de contacto real.

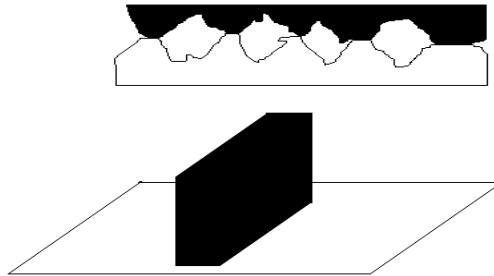


Figura 18. Contacto real

ADHESIÓN

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. Considero 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.

Los átomos tienden a formar iones entre sí. Cuando la distancia entre centros de átomos adyacentes es aproximadamente igual al diámetro atómico, la energía potencial colectiva U_p es mínima, y se logra una situación termodinámica ideal. [35]

$$U_p = U_{pm} \dots (7.5)$$

Dónde U_p es la energía potencial atómica y U_{pm} es la energía potencial media atómica.

Al separarse el contacto entre dos cuerpos, los átomos de ambos lados del plano de separación sufren un cambio de una posición en la interface a una posición superficial libre. En consecuencia, se presenta un cambio de energía por unidad de área de la interface, es decir, de U_{pi} a $U_{c1} + U_{pc2}$. A este cambio de energía se le llama energía de adhesión W_{ab} .

Así que [35]:

$$w_{ab} = U_{pc1} + U_{pc2} - U_{pi1-2} \dots (7.6)$$

Reescribiendo, de acuerdo a la nomenclatura que manejamos en este trabajo:

$$w_{ab} = \gamma_a + \gamma_b - \gamma_{ab} \dots (7.7)$$

γ_a es la energía libre de superficie del cuerpo a, γ_b es la energía libre de superficie del cuerpo b y γ_{ab} es la energía libre de superficie del cuerpo combinada.

El proceso de crear una unidad de área de superficie es equivalente a separar dos mitades unitarias de área del contacto, entonces podemos decir que:

$$2\gamma_a = w_{ab} \dots (7.8)$$

Para determinar la energía interracial w_{ab} se utiliza la ecuación: [44]

$$\gamma_{ab} = (\sqrt{\gamma_a} - \sqrt{\gamma_b})^2 \dots (7.9)$$

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.

Asimismo, la adhesión es función de las propiedades de los materiales en contacto y condiciones de la interface 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.

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. [45]

Las propiedades de las sustancias dependen en gran medida de la naturaleza de los enlaces que unen sus átomos. Existen tres tipos principales de enlaces químicos: enlace iónico, enlace covalente y enlace metálico. Estos enlaces, al condicionar las propiedades de las sustancias que los presentan, permiten clasificarlas en: iónicas, covalentes y metálicas o metales.

TEORÍA DE CONTACTO

La adhesión entre las superficies es obviamente de gran importancia práctica en la ciencia y la tecnología, así como en la vida cotidiana. La unión de materiales es claramente un caso donde uno quiere tener ya sea la máxima adhesión o eliminación reversible y reinsertión. La fuerza de adhesión (es decir, la fuerza máxima necesaria para separar el dos cuerpos de nuevo) dependerán de la fuerza de la interacción atractiva, el contacto área entre los cuerpos y la distancia mínima entre ellas. Si sabemos la forma de los cuerpos y la energía de interacción por unidad de área entre los materiales, que pueden, en principio, utilizando la aproximación para calcular la fuerza de adhesión.

$$F_{adh} = -2\pi w_{adh} R_p \dots(7.10)$$

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.

La fuerza de adhesión entre dos objetos puede surgir de una combinación de diferentes contribuciones como la fuerza de van derWaals, fuerza electrostática, enlace químico, y las fuerzas de enlace de hidrógeno, fuerzas capilares, y otros (por ejemplo, puentes o estérica fuerzas sobre superficies recubiertas con polímero), la fuerza de adhesión entre dos materiales por lo tanto, puede depender no sólo de los mismos, sino también de las condiciones ambientales materiales. Para el micro y nanocontactos.

CONTACTO MECÁNICO

Recordando algunos términos de mecánica de sólidos, la tensión que actúa sobre un material se define como la fuerza por área de la sección transversal:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots(7.11)$$

La tensión es la cantidad de alargamiento relativo de una material

$$\epsilon_x = \frac{\Delta L_x}{L_x} \dots(7.12)$$

Donde L_x es la longitud total del objeto en la dirección x y ΔL_x es su cambio en la longitud en la dirección x. La compresión de un material corresponde a una tensión negativa. Para una material elástico isótropo, la aplicación de una tensión σ_x actuando sólo en resultado dirección x en un la tensión de ϵ_x magnitud en la dirección x, donde:

$$\sigma_x = E\epsilon_x \dots(7.13)$$

La mayoría de los materiales muestran el efecto de Poisson, lo que significa que cuando se estiran en una dirección que se contraerán en las direcciones perpendiculares a esa dirección. La cantidad de contracción se caracteriza por la relación de Poisson ν para un material se estiró en la dirección x, en las contracciones y-y z-direcciones son dadas por:

$$\epsilon_y = \epsilon_z = -\nu\epsilon_x \dots(7.14)$$

Para deducir la ecuación (2.14) se tiene que

$$\epsilon_x = \frac{1}{e} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \dots(7.15)$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{e} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] \dots(7.16)$$

$$\epsilon_z = \frac{1}{e} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \dots(7.17)$$

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 , que se define como:

$$E^* = \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)^{-1} \dots (7.18)$$

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

$$E^* = \frac{E_1}{1-\nu_1^2} \dots (7.19)$$

MODELO DE HERTZ

El problema del contacto elástico entre una esfera y una superficie plana y entre dos esferas se resolvió por Hertz en 1882. Bajo el supuesto de que el radio de contacto es un pequeño en comparación con los radios de esfera, que es el contacto sin fricción y sin esfuerzo de tracción existe dentro de la zona de contacto, Hertz deriva una ecuación para el radio de contacto entre una de las esferas:

$$a^3 = \frac{3F_L R^*}{4E^*} \dots (7.20)$$

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

$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \dots (7.21)$$

La penetración δ está dada por:

$$\delta = \frac{a^2}{R^*} = \left(\frac{9F_L^2}{16E^{*2}R^*} \right)^{1/3} \dots (7.22)$$

La fuerza para lograr una cierta penetración δ se da como:

$$F = \frac{4}{3} E^* \sqrt{R^*} \delta^{3/2} \dots (7.23)$$

La distribución de la tensión vertical en el contacto sigue una forma elíptica

$$\delta_z = \frac{3}{2} \frac{F_L}{\pi a^2} \sqrt{1 - \frac{r^2}{a^2}} \quad \dots(7.24)$$

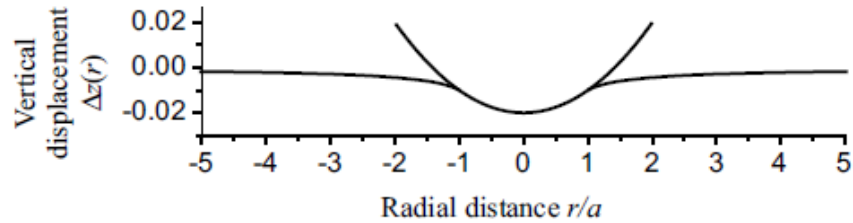


Figura 19. La geometría entre una esfera rígida y un semiespacio elástico, con un radio de contacto como se deriva de la teoría de Hertz

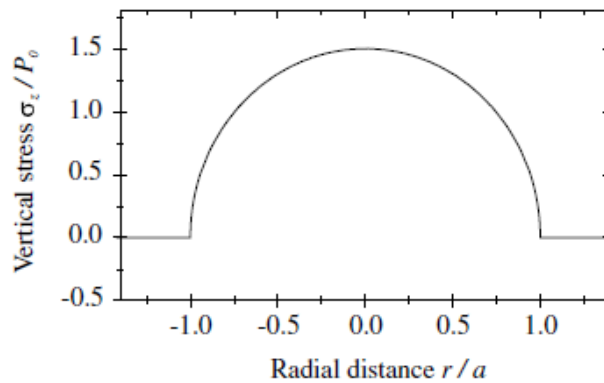


Figura 20. Tensión Vertical (presión de contacto) entre una esfera y un semiespacio elástico formando un contacto con la radio a .

$$P_{max} = \frac{3}{2} \frac{F_L}{\pi a^2} \quad \dots(7.25)$$

Que corresponde a una presión de contacto máxima en el centro del contacto de los cuales es 1.5 veces el valor de la presión de contacto media (Figura 19). La fuerza de indentación aumenta con una potencia de $3/2$ con la profundidad de indentación. El Contacto Área πa^2 aumenta a medida que $F_L^{2/3}$, y el contacto de presión media $\frac{F_L}{\pi a^2}$ aumenta con cargas aplicadas como $F_L^{1/3}$. El contacto ya no hace actuar como un resorte lineal desde F_L es proporcional a $\delta^{3/2}$ debido al hecho de que el área de contacto con cambios de carga. La constante de resorte efectiva o rigidez de contacto se puede definir como la pendiente de la curva de $F_L(\delta)$.

$$\frac{dF_L}{d\delta} = \frac{d}{d\delta} \frac{4}{3} E^* \sqrt{R^* \delta^{3/2}} = 2E^* \sqrt{R^* \delta} = 2E^* a \dots(7.26)$$

Este es el doble del valor de que para un punzón cilíndrico plana con el mismo radio de contacto a , la energía elástica almacenada U_E para una indentación δ dada puede calcularse a partir.

$$U_E = \int F_L(\delta) d\delta = \int \frac{4}{3} E^* \sqrt{R^* \delta^{3/2}} d\delta = \frac{2 \cdot 4}{5 \cdot 3} E^* \sqrt{R^* \delta^{5/2}} = \frac{2}{5} F_L \delta \dots(7.27)$$

Derivado de las ecuaciones anteriores, la teoría de Hertz asume que un $a \ll R$, esto en la mayoría de los casos prácticos se cumplió ya que para materiales de grandes hendiduras será a menudo ya que no están dentro de su límite elástico y la teoría el Hertz no se aplica. La indentación de un semiespacio elástico por un penetrador esférico con un radio R_p fue estudiado por Sneddon y Ting ecuaciones que se derivan sin la aproximación de $a \ll R_p$.

$$\delta = \frac{a}{2} \ln \frac{R_p + a}{R_p - a} \dots(7.28)$$

$$F_L = E^* \left[\frac{R_p^2 + a^2}{2} \ln \left(\frac{R_p + a}{R_p - a} \right) - a R_p \right] \dots(7.29)$$

Una comparación de sus resultados con los de Hertz muestra que para valores de a/R_p hasta 0.4, la teoría de Hertz es una excelente aproximación.

MODELO DE JKR (La 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 $\delta = 0$ y $a = 0$ sin ninguna fuerza de adhesión.

Un primer modelo para incluir fuerzas adhesivas sobre la base de la teoría de Hertz se introdujo por Derjaguin en 1934.

Se supone que la forma de contacto es la dada por la teoría de Hertz y que la energía total del sistema es la energía elástica como dado por modelo de Hertz menos la energía debido a la formación de la zona de contacto πa^2 . La fuerza para lograr una cierta indentación δ se reduce por:

$$F(\delta) = F_L(\delta) - \pi R^* w_{adh} \dots(7.30)$$

Donde F_L es el valor correspondiente de la carga en el modelo de Hertz. La separación de las superficies por lo tanto, se produce en adhesión.

$$F_{adh} = -\pi R w_{adh} \dots(7.31)$$

Y un radio de contacto de $a = 0$, Tenga en cuenta que esta fuerza es menor por un factor de 2 que el valor calculado por Bradley.

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.

Para calcular la penetración para las interacciones adhesivas, sugirieron la idea experimento bosquejado en la Figura 20. Supongamos que las esferas forman un contacto con radio a en la presencia de la adhesión y una F_L carga externa, se define como F_1 carga de fuerza necesaria para obtener el mismo radio de contacto en Hertziana.

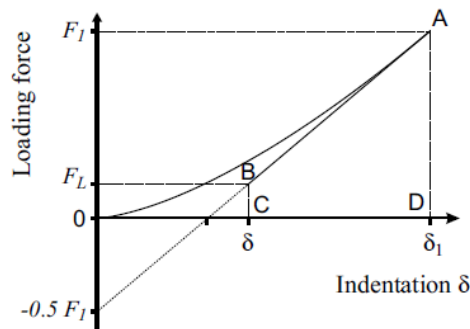


Figura 21. Carga (0-A) y descarga parcial (A-B) para derivar proceso de indentación y elástica energía en el modelo de JKR

Sin adherencia. De acuerdo a la ecuación. (7.22) y la ecuación. (7.23)

$$F_1 = \frac{4}{3} E^* \sqrt{R^* \delta^{3/2}} = \frac{4}{3} \frac{a^3 E^*}{R^*} \dots (7.32)$$

Al cargar el contacto hasta la fuerza F_1 en la ausencia de adherencia $w_{adh} = 0$ seguimos la curva de $P(\delta)$ hertziana de 0 a A. En A, se tiene el radio de contacto a y la indentación $\delta = a^2/R^*$ y la energía elástica almacenada es:

$$U_E^{(A)} = \frac{2}{5} \frac{F_1 a^3}{R^*} = \frac{2}{5} F_1 \delta_1 \dots (7.33)$$

Ahora comenzamos a disminuir la carga hacia abajo a un valor F_L mientras que simultáneamente el aumento de la energía de adhesión a su valor w_a de modo que el área de contacto se mantiene constante. La reducción de la carga en una constante corresponde a la descarga de un piso punzón y sigue la línea recta A-B. El cambio en la hendidura a lo largo de esta línea es dada por la ecuación:

$$\Delta\delta = \frac{F_1 - F_L}{2aE^*} \dots (7.34)$$

Y el cambio en la energía elástica viene dado por el área del trapecio ABCD:

$$\Delta U_E = \Delta\delta \frac{F_1 + F_L}{2} = \frac{1}{4aE^*} (F_1^2 - F_L^2) \dots (7.35)$$

La indentación δ en la presencia de adhesión se da por:

$$\delta = \delta_1 - \Delta\delta = \frac{a^2}{3R^*} + \frac{F_L}{2aE^*} \dots (7.36)$$

La energía elástica en el punto B es:

$$U_E = U_E^{(A)} - \Delta U_E = \frac{F_L^2}{4aE^*} + \frac{4a^5 E^*}{45R^{*2}} \dots (7.37)$$

El último resultado se obtuvo mediante la combinación de las Ecuaciones (7.32), (7.33) y (7.35). La distribución de la tensión normal σ_z a través de un contacto JKR es sólo la suma de la distribuciones de contacto a Hertziana con compresión carga F_1 y un golpe con una carga de tracción $F_1 - F_L$.

$$\sigma_z(r) = \frac{F_1 - F_L}{2\pi a^2} \frac{1}{\sqrt{1 - (r/a)^2}} - \frac{3}{2} \frac{F_1}{\pi a^2} \sqrt{1 - (r/a)^2} \dots (7.38)$$

El círculo interior de la zona de contacto estará bajo tensión de compresión, mientras que la zona anular exterior estará bajo tensión de tracción. El radio de la zona comprimida interior

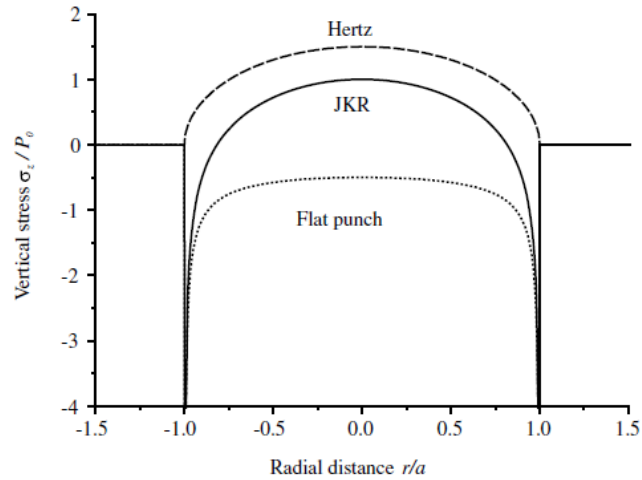


Figura 22. La tensión Vertical (presión de contacto) entre una esfera y un semiespacio elástico la formación de un contacto con un radio.

En comparación con un contacto de Hertz, la profundidad de indentación y radio de contacto son aumentados. Mientras que para el contacto de Hertz, los contactos de la superficie de la esfera tangencialmente.

La tasa de liberación de energía está dada por la ecuación:

$$\mathcal{G} = \frac{1}{E^*} \frac{(F_1 - F_L)^2}{8\pi a^3} \dots (7.39)$$

$$\mathcal{G} = \frac{(4a^3 E^* - F_L)^2}{8\pi a^3 E^*} \dots (7.40)$$

$$\mathcal{G} = \frac{E^*}{2\pi a} \left(\delta - \frac{a^2}{R^*} \right)^2 \dots (7.41)$$

Combinando Griffith criterio con la ecuación:

$$(F_1 - F_L)^2 = 8\pi a^3 E^* w_{adh} \dots (7.42)$$

Expresando F_1 y F_L como magnitudes adimensionales $\frac{F_1}{3\pi w_{adh} R^*}$ y $\frac{F_L}{3\pi w_{adh} R^*}$ obtenemos:

$$\left(\frac{F_1}{3\pi w_{adh} R^*} - \frac{F_L}{3\pi w_{adh} R^*} \right)^2 = \frac{8\pi a^3 E^* w_{adh}}{(3\pi w_{adh} R^*)^2} = \frac{8\pi a^3 E^*}{9\pi w_{adh} R^{*2}} = \frac{2F_1}{3\pi R^* w_{adh}} \dots (7.43)$$

Esta ecuación cuadrática se resuelve por:

$$F_1 = F_L + 3\pi w_{adh} R^* \mp \sqrt{6\pi w_{adh} R^* F_L + (3\pi w_{adh} R^*)^2} \dots (7.44)$$

A partir de la condición de estabilidad que $\partial G / \partial A > 0$ se puede demostrar que sólo el determinante positivo en la ecuación. Mediante el uso de la ecuación (7.32) a reemplazar F_1 con a^3 se obtiene la ecuación JKR para el radio de contacto:

$$a^3 = \frac{3R^*}{4E^*} \left(F_L + 3\pi w_{adh} R^* + \sqrt{6\pi w_{adh} R^* F_L + (3\pi w_{adh} R^*)^2} \right) \dots (7.45)$$

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 conducir a un radio de contacto mayor en comparación con la adhesión. Mediante el uso de nuevo Griffith, se obtiene la ecuación para la sangría JKR:

$$\delta = \frac{a^2}{R^*} - \sqrt{\frac{2\pi a w_{adh}}{E^*}} \dots (7.46)$$

La relación entre la carga y el radio de contacto viene dada por:

$$F_L(a) = \frac{4E^* a^3}{3R^*} - 2\sqrt{2\pi E^* w_{adh} a^3} \dots (7.47)$$

Con $F_L = 0$, obtenemos el radio de contacto de la ecuación, con $G = w_{adh}$

$$a_0 = \left(\frac{9\pi w_{adh} R^{*2}}{2E^*} \right)^{1/3} \dots (7.48)$$

Y la indentación:

$$\delta_0 = \frac{a_0^2}{3R^*} = \left(\frac{\pi^2 w_{adh}^2 R^*}{E^{*2}} \right)^{1/3} \dots (7.49)$$

El pull-off se produce a una fuerza de carga negativa $F_L = -F_1 = F_{adh}$ obteniendo la fuerza de adhesión:

$$F_{adh} = -\frac{3}{2}\pi w_{adh} R^* \dots (7.50)$$

En pull-off, el radio de contacto se da como

$$a_{min} = \left(\frac{9\pi w_{adh} R^{*2}}{8E^*} \right)^{1/3} = 0.63a_0 \dots (7.51)$$

Y la altura del cuello (de indentación negativo) como

$$\delta_{min} = -\left(\frac{\pi^2 w_{adh}^2 R^*}{\frac{6^4}{3} E^{*2}} \right)^{1/3} \dots (7.52)$$

La expresión para la fuerza de adherencia no depende de las propiedades elásticas de los materiales. Este resultado es contrario a la intuición, ya que para una material blando, una deformación más grande se producirá y el área de contacto será mayor y uno podría esperar un mayor valor de F_{adh} . Sin embargo, cuando se tira de los dos cuerpos de contacto, se recuperará la energía elástica almacenada. Este equilibrio entre el adhesivo y la energía elástica lleva a la independencia del módulo de Young.

ENLACE COVALENTE

Los enlaces covalentes son las fuerzas que mantienen unidos entre sí los átomos no metálicos, Estos átomos tienen muchos electrones en su nivel más externo (electrones de valencia) y tienen tendencia a ganar electrones más que a cederlos, para adquirir la estabilidad de la estructura electrónica de gas noble. Por tanto, los átomos no metálicos no pueden cederse electrones entre sí para formar iones de signo opuesto.

En este caso el enlace se forma al compartir un par de electrones entre los dos átomos, uno procedente de cada átomo. El par de electrones compartido es común a los dos átomos y los mantiene unidos, de manera que ambos adquieren la estructura electrónica de gas noble. Se forman así habitualmente moléculas: pequeños grupos de átomos unidos entre sí por enlaces covalentes.

ENLACE IÓNICO

Este enlace se produce cuando átomos de elementos metálicos (especialmente los situados más a la izquierda en la tabla periódica - períodos 1, 2 y 3) se encuentran con átomos no metálicos (los elementos situados a la derecha en la tabla periódica especialmente los períodos 16 y 17). En este caso los átomos del metal ceden electrones a los átomos del no metal, transformándose en iones positivos y negativos, respectivamente. Al formarse iones de carga opuesta éstos se atraen por fuerzas eléctricas intensas, quedando fuertemente unidos y dando lugar a un compuesto iónico.

ENLACE METÁLICO

Los átomos de los metales tienen pocos electrones en su última capa, por lo general 1, 2 ó 3. Estos átomos pierden fácilmente esos electrones (electrones de valencia) y se convierten en iones positivos, por ejemplo Na^+ , Cu^{2+} , Mg^{2+} . Los iones positivos resultantes se ordenan en el espacio formando la red metálica. Los electrones de valencia desprendidos de los átomos forman una nube de electrones que puede desplazarse a través de toda la red. De este modo todo el conjunto de los iones positivos del metal queda unido mediante la nube de electrones con carga negativa que los envuelve.

ENLACES DE VAN DER WAALS

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, Estas interacciones son dominantes en reacciones en donde la proximidad es importante y se clasifican en:

FUERZA DIPOLO-DIPOLO

Cuando dos moléculas polares (dipolos) se aproximan, se produce una atracción entre el polo positivo de una de ellas y el negativo de la otra.

FUERZAS DIPOLO – DIPOLO INDUCIDO

Tienen lugar entre una molécula polar y una molécula apolar. En este caso, la carga de una molécula polar provoca una distorsión en la nube electrónica de la molécula apolar y la convierte, de modo transitorio, en un dipolo.

FUERZAS DIPOLO INSTANTÁNEO – DIPOLO INDUCIDO

Las fuerzas de dispersión son fuerzas atractivas débiles que se establecen fundamentalmente entre sustancias no polares. La formación de un dipolo instantáneo en una molécula origina la formación de un dipolo inducido en una molécula vecina de manera que se origina una débil fuerza de atracción entre las dos.

PUENTES DE HIDROGENO

Los puentes de hidrogeno son enlaces de atracción débil entre los átomos de hidrogeno, oxigeno o nitrógeno, esta unión tiene un papel muy importante en los fenómenos biológicos ya que son responsables que la biomolécula se encuentre estable.

ENERGÍA DE SUPERFICIE

La energía de superficie es una propiedad de los materiales, se refiere a la energía de los átomos situados sobre la superficie libre [46]. 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.

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

$$\gamma = \frac{Ea_0}{10} \dots(7.53)$$

Donde E es el módulo de elasticidad del material y a_0 es la distancia de separación entre los centros de los iones del material. [47]

COMPATIBILIDAD

Un factor importante que afecta la adhesión es la compatibilidad metalúrgica de los materiales que están en contacto. La compatibilidad metalúrgica entre pares metálicos se define como la solubilidad mutua o la capacidad de formar compuestos inter- metálicos. Los pares metálicos se clasifican en grupos de materiales metalúrgicamente idénticos, compatibles, parcialmente compatibles, parcialmente incompatibles e incompatibles. Basados en el criterio anterior; la tablas muestra la carta de compatibilidades de algunos elementos. También existe una ecuación que presenta la energía de adhesión en función de la compatibilidad de los materiales, la cual es dada como [48]:

$$W_{ab} = C_m(\gamma_a + \gamma_b)\dots(7.54)$$

Donde C_m es el parámetro de compatibilidad para los metales a y b, siempre fluctúa entre 0 y 1. El valor de este parámetro se determina por la compatibilidad metalúrgica del material, vea las tablas

	Metales idénticos	Metales compatibles	Metales parcialmente compatibles	Metales parcialmente incompatibles	Metales incompatibles
Parámetros C_m	1.00	0.50	0.32	0.20	0.12

Tabla 1. Valores del parámetro de compatibilidad C_m para metales

	Metales idénticos	No compatibles	Metales No incompatibles	No Metales sobre otros materiales
Parámetros C_m	1.00	0.60	0.36	0.12

Tabla 2. Valores del parámetro de compatibilidad C_m para no metales

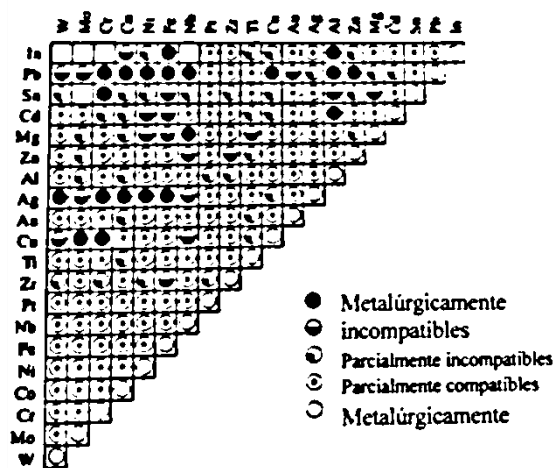


Figura 23. Carta de compatibilidad de pares metálicos

VIII. PROTOTIPOS

Se hicieron varios prototipos, que al estar diseñando se fueron modificando para hacer fácil su fabricación. A continuación se mencionará el proceso de modificación.

DISEÑOS PREVIOS AL DISPOSITIVO FINAL

DISEÑO 1

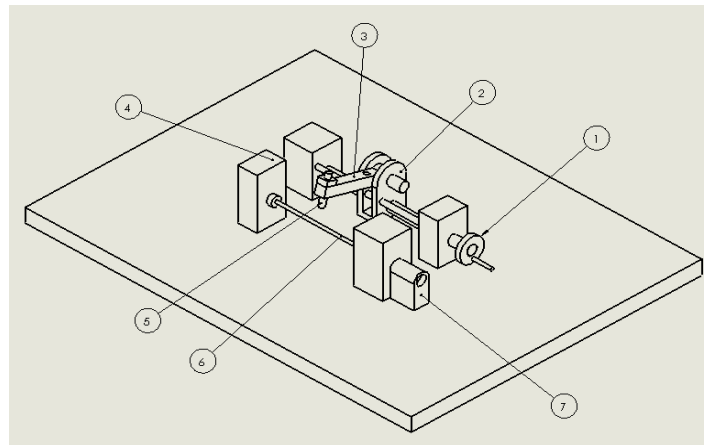


Figura 24. Diseño 1

Descripción:

En este diseño se tomó como base el dispositivo pin-on-disk, como se puede apreciar en el diseño el dispositivo está conformado de un eje donde se va a montar el catéter que este a su vez se rotara con un servomotor, el diseño también cuenta con una manivela que regula la posición del eje donde está ubicado la punta de diamante, en la punta se regulará la fuerza normal mediante el uso de pesos, en el dibujo número 1 muestra como esta ensamblado el dispositivo.

Componentes destacables del diseño 1:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------|
| 1. Manivela. | 5. Punta de diamante. |
| 2. Soporte del eje de la punta. | 6. Eje para catéter. |
| 3. Eje de la punta. | 7. Servomotor. |
| 4. Soporte del eje para catéter. | |

DISEÑO 2

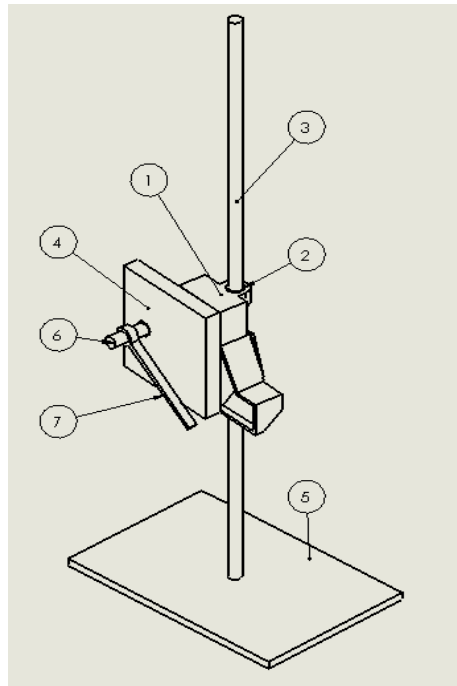


Figura 25. Diseño 2

Descripción:

En este diseño la referencia notable es su eje central para regular la altura del péndulo y de poderlo rotar 360 grados mediante para mayor versatilidad del dispositivo el eje central tendría que regular la altura mediante una banda que sería impulsada por un servomotor a continuación se muestra como está ensamblado el dispositivo.

Componentes destacables del diseño 2:

1. Coplee del soporte del péndulo y del eje central.
2. Buje del eje central.
3. Eje central.
4. Placa del para el eje del péndulo.
5. Placa base.
6. Eje transversal del péndulo.
7. Péndulo.

DISEÑO 3

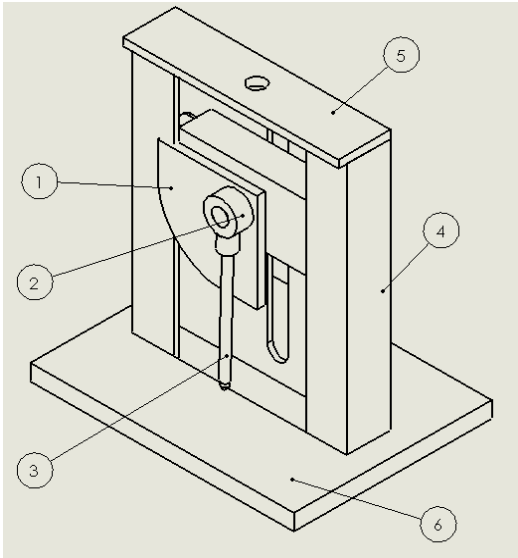


Figura 26. Diseño 3

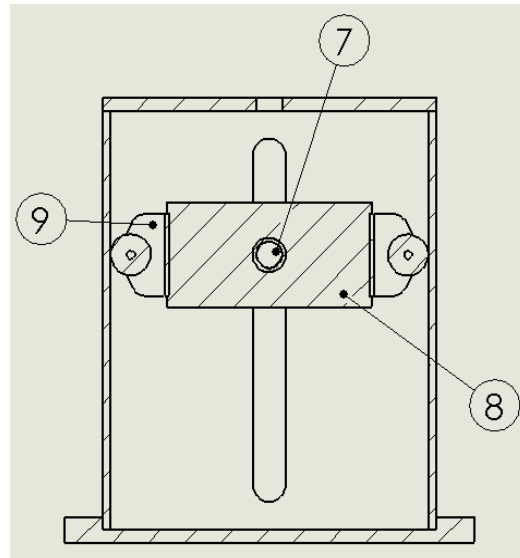


Figura 27. Vista seccionada

Descripción:

En este diseño se toman como base el péndulo charpy, en este diseño se puede apreciar la caja donde se desplazara el eje del péndulo el péndulo tiene punta de diamante en la vista seccionada se puede apreciar los carrillos para que tenga poca fricción a la hora de desplazarse de manera vertical la masa central, también se cuenta con una placa base y un medidor de Ángulo.

Componentes destacables del diseño 3:

1. Placa para medir ángulos.
2. Coplee del péndulo.
3. Punta de diamante y eje del péndulo.
4. Caja del dispositivo.
5. Soporte para colocar un regulador de altura.
6. Placa base.
7. Eje transversal del péndulo.
8. Soporte de los carrillos y del eje transversal.
9. Carrillos.

DISEÑO 4

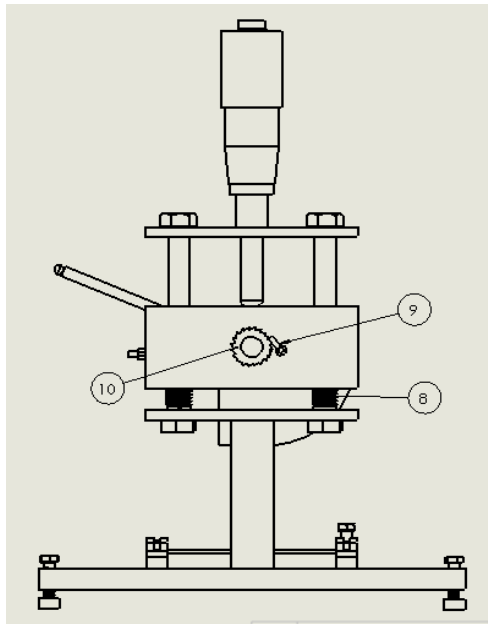


Figura 28. Diseño 4

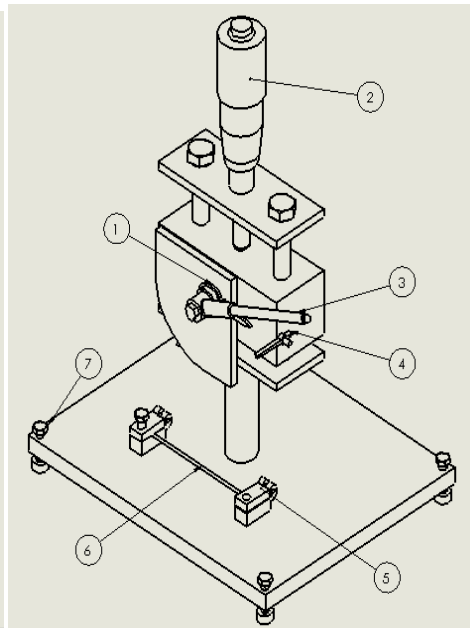


Figura 29. Vista posterior

Descripción:

En este diseño se pueden apreciar las partes más importantes del dispositivo. Este diseño tiene como finalidad medir el coeficiente de fricción mediante la absorción de energía a la hora del impacto superficial utilizando el contacto del péndulo y el catéter. Para saber la energía absorbida por el sistema se puede medir mediante la aguja que se encuentra alojada con el eje del péndulo. Esto permite medir la fuerza tangencial, la fuerza normal se medirá en los soportes del catéter mediante sensores de fuerza, luego se tomarán los datos de estos y se calculará el cociente de las fuerzas para obtener el coeficiente de fricción. Los componentes destacables del diseño 4 son:

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1) Aguja de medición. | 5) Soporte de la barra para catéter. |
| 2) Micrómetro para regular altura. | 6) Barra para catéter. |
| 3) Eje del péndulo con punta de diamante. | 7) Tornillos reguladores de nivel. |
| 4) Mecanismo de disparo del péndulo. | 8) Resorte. |
| | 9) Trinquete. |
| | 10) Engrane del trinquete (roquete). |

DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO

DISEÑO FINAL

El péndulo de fricción es un equipo dinámico de impacto utilizado para medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas equipado en su extremo del brazo por una masa m , de longitud L , que pivota en el centro (figura 3.1). El procedimiento consiste en golpear un catéter apoyado en el soporte, con la masa del péndulo que ha sido abandonada en caída libre desde una altura H . La energía absorbida por el catéter hará que este se desplace por el soporte (recubierto de DLC), transmitiendo así la carga producida a los sensores de carga, los cuales tendrán una deformación que lo transmitirá a un sistema de adquisición de datos.

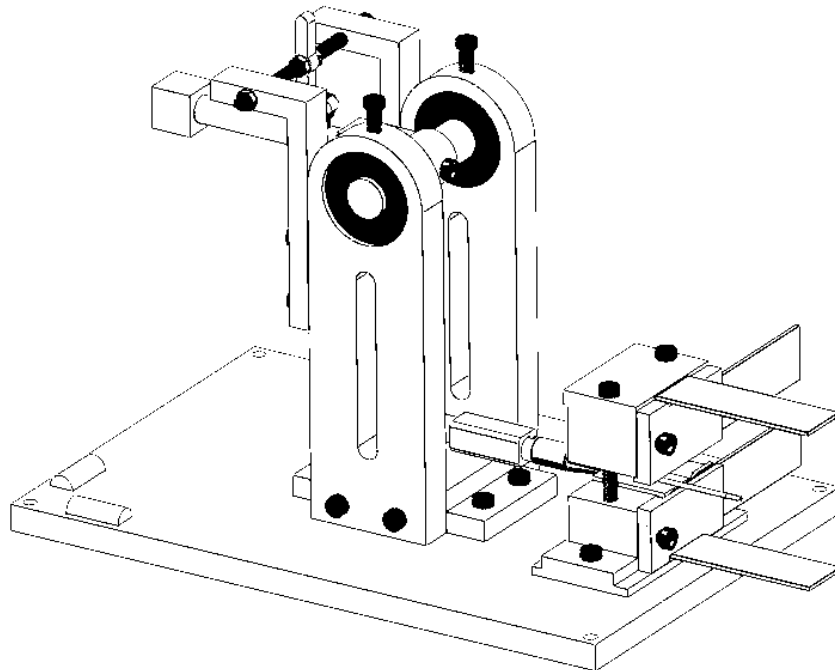


Figura 30. Dispositivo final

El dispositivo diseñado se esquematiza se observa en la figura 3.2, los principales componentes del dispositivo se enlistan en la tabla 3.1

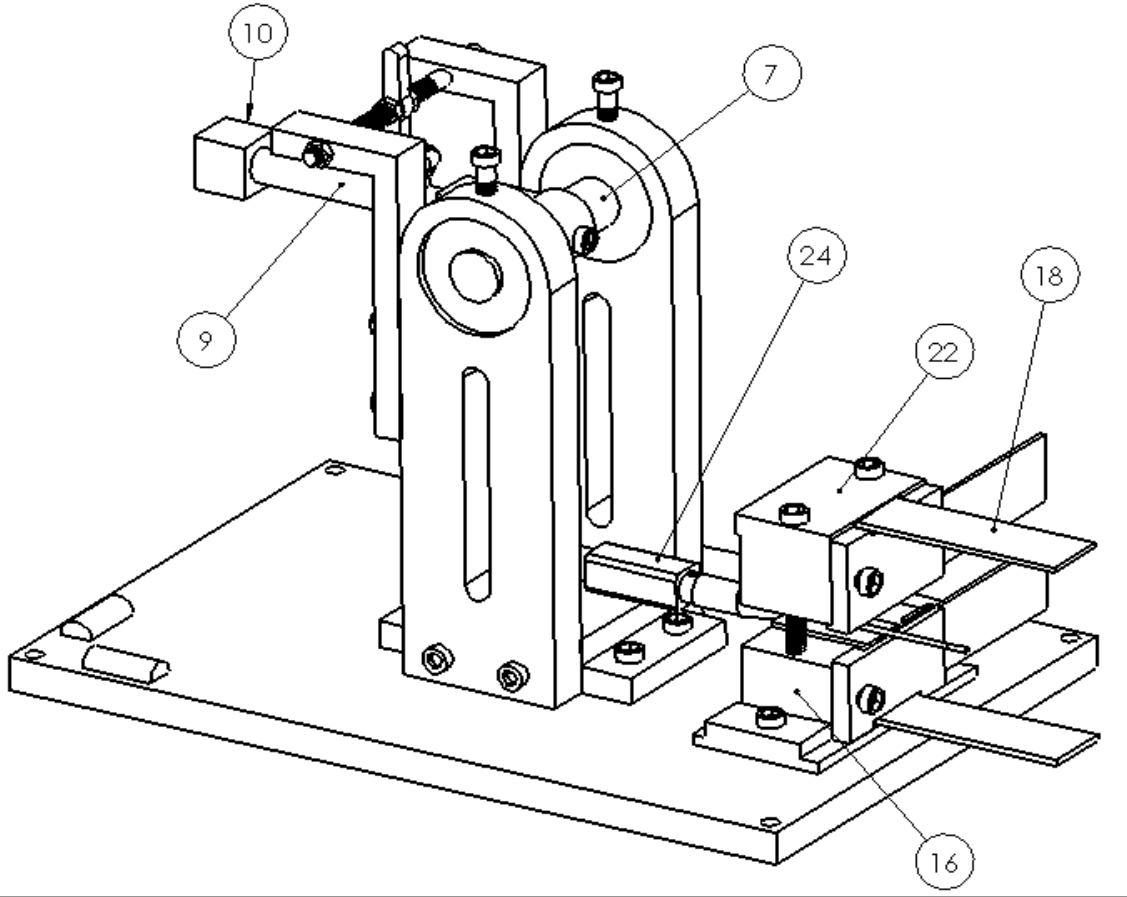
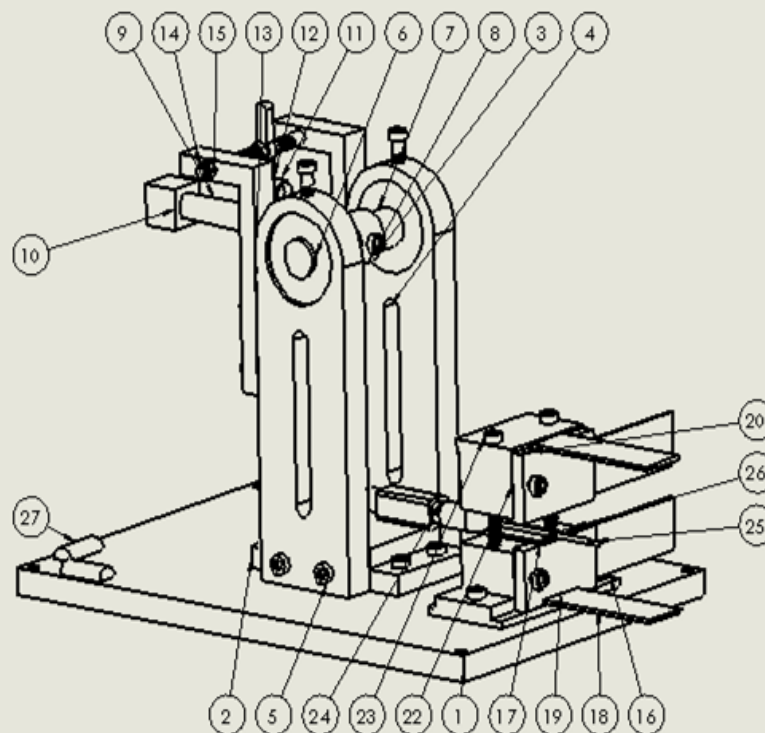


Figura 31. Partes principales del dispositivo

Tabla 3. Componentes del dispositivo

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	placa base	lamina	1
2	soporte del pendulo		1
3	tomillo 4		15
4	soporte	con una muesca para ver el pendulo en posicion vertical	2
5	tomillo 2		4
6	rod	rodamiento	2
7	eje transversal		1
8	cople del esparrago		1
9	esparrago 1		1
10	peso 1		1
11	armella		1
12	gatillo		1
13	soporte del mecanismo de disparo		2
14	tomillo 5		1
15	fuerca del tornillo 5		3
16	caja 2		1
17	desplacador 2	elemento para transferir fuerza	1
18	sensor 2	sensor de fuerza	4
19	tapa de la caja 2		1
20	tapa de la caja 1		1
21	desplacador 1	elemento para transferir fuerza	1
22	caja 1		1
23	tomillo 6		2
24	1	cateter	1
25	aguja 2	cateter	1
26	cateter intra	cateter	1
27	nivel		2



En este trabajo se utilizó el catéter intravenoso como objeto de prueba para obtener mediciones del coeficiente de fricción en el poliuretano en una superficie recubierta por DLC.

PÉNDULO

Como tal, la masa del péndulo es de 0.032097 kg y 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 0.31487 N .

DISPOSITIVO DE NIVELACIÓN

El dispositivo de nivelación será de tipo tornillo acoplado en cuatro puntos de la placa base y un extremo de la placa se encontrara los niveles de burbuja.

MECANISMO DE DISPARO DEL PENDULO

Este mecanismo permite liberar el péndulo de una posición horizontal cuando este se requiera, haciéndolo más preciso, para garantizar la fuerza en los cálculos obtenidos.

CATÉTER

Un catéter es un dispositivo de forma tubular que puede ser introducido dentro de un tejido o vena. Los catéteres permiten la inyección de fármacos, el drenaje de líquidos o bien el acceso de otros instrumentos médicos.

SOPORTE DEL CATÉTER

Podrá sostener el catéter y permitiendo el desplazamiento del mismo, creando una fuerza que podrá ser medido por los sensores.

SENSORES

Este es un resistor sensible, a la fuerza de 0.5 pulgadas de diámetro de área de detección. Este sensor variará su resistencia en función de la cantidad de presión está siendo aplicada a la zona de detección. Cuanto más difícil sea la fuerza, menor es la resistencia. Cuando no hay la presión su resistencia será mayor que $1M\Omega$. Este sensor puede sentir la fuerza aplicada en cualquier lugar en el rango de 100 g-10 kg.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS IUSBDAQ-U120816 HYTEK

Es el módulo de adquisición de datos USB que proporciona ocho salidas analógicas de 12 bits , 16 entradas para 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.



Figura 32. Adquisidor de datos

iDAQTest& Log versión 3.1

Es un software independiente que puede ser utilizado para probar el dispositivo iUSBDAQ, registrar los datos de entrada analógica y leer de nuevo los datos registrados para el análisis básico. Con este software, el usuario puede ser explorador a través de todas las funciones de iUSBDAQ, como leer un solo canal analógico, múltiples canales analógicos y transmisión de datos de entrada analógica continua para la visualización.

MATERIALES PARA CALCULAR EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN

POLIURETANO:

El poliuretano es un material plástico que se presenta en varias formas. Puede fabricarse para que sea rígido o flexible y es un material preferente en una amplia gama de aplicaciones

DLC:

Los diamantes sintéticos son diamantes producidos en procesos tecnológicos, en oposición a los diamantes naturales, que son creados en procesos geológicos. Los diamantes sintéticos también son conocidos como diamantes HPHT o diamantes CVD, donde HPHT y CVD se refieren al método de producción, que son la síntesis de alta presión y alta temperatura y deposición química de vapor.

**TABLA 4. PROPIEDADES MECÁNICAS Y QUÍMICAS
(POLIURETANO Y DLC)**

propiedades				
unidades	diamante		poliuretano	
Pa	dureza	1.00E+11	dureza	1.496E+09
pa	módulo de Young	8.00E+11	módulo de Young	2.21E+08
	a	3.56E-10	a	8.E-09
pa	esfuerzo de fluencia		esfuerzo de fluencia	4.45E+07
Kg/m³	densidad	3530	densidad	1,170
	Poisson	0.1	Poisson	0.45
	r	1.50E-10	r	1.36E-12

PRUEBAS EXPERIMENTALES

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.

Para medir la fuerza tangencial se realizaron las ecuaciones de Rabinowicz y de esta forma se obtendrá la fuerza tangencial que se usará para calcular el coeficiente de fricción. La fuerza normal se obtiene al presionar las cajas que soportan el catéter mediante un tornillo para regular la fuerza.

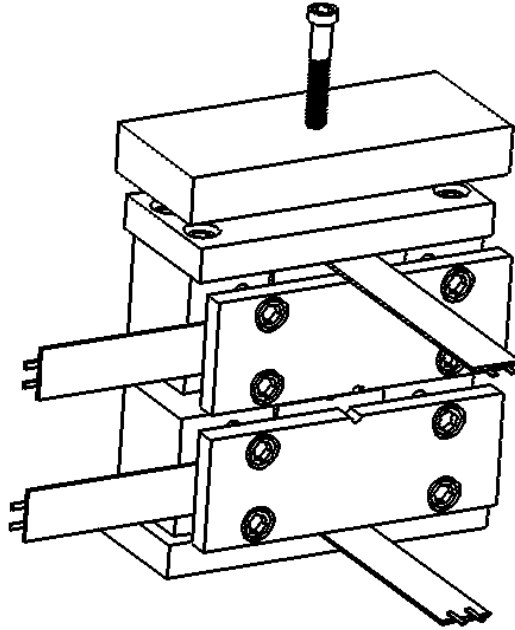


Figura 33. Soporte del catéter

DESARROLLO DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

Para poder realizar las pruebas experimentales, se debe de realizar el ensamble del dispositivo en general:

1. Se conectan todas las piezas que van atornilladas y se fijan bien con la llave correspondiente a su medida.
2. Se colocan los tornillos reguladores de altura para que la placa base este perfectamente equilibrada.
3. Se coloca los niveles de burbuja.
4. Se ensambla los soportes del catéter y se colocan los sensores y se fijan.
5. Se regula el mecanismo de disparo para que quede alineado con el péndulo y se ajusta para evitar que se mueva.
6. Se calibra el dispositivo.
7. Se revisa que todas las piezas estén en su lugar y que estén perfectamente aseguradas.
8. Se realiza la prueba de fricción.

CALIBRACIÓN DEL MODELO

El procedimiento para calibrar el modelo consta de fijar el gatillo de manera que el péndulo quede de manera perfectamente horizontal para garantizar la fuerza tangencial que se obtuvo en los cálculos.

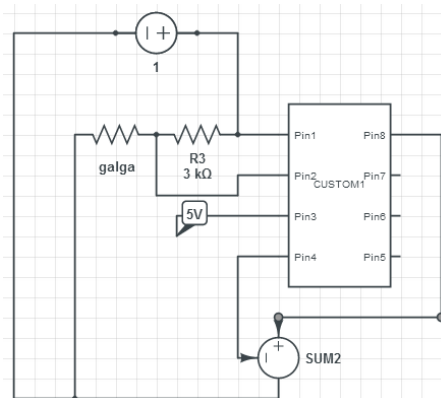
Se regula la altura de la base mediante tornillos y se verifica que los niveles de burbuja queden perfectamente nivelados.

Se activa el gatillo y se deja el péndulo que impacte a un material de prueba para medir la fuerza de impacto sobre las placas mediante los sensores de fuerza que están ubicados en los soportes para catéter.

Los datos obtenidos mediante la prueba de calibración se tomarán como referencia para las pruebas de los catéteres.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y SENSOR DE FUERZA

El sensor de fuerza nos proporciona una resistencia eléctrica de salida. Esta resistencia se convierte en una señal de voltaje mediante un amplificador para enviarla al sistema de adquisición de datos IUSBDAQ-U120816 HYTEK. A continuación se muestra un diagrama de conexiones.



Esquema 1. Conexiones



Figura 34. Sensor de fuerza

PRUEBAS CON EL CATÉTER INTRAVENOSO

En las pruebas realizadas se utiliza un catéter intravenoso de poliuretano sin recubrimiento de manera que con los datos tomados de los sensores de fuerza mediante el sistema de adquisición se calcula el coeficiente de fricción.

Para tener buenas lecturas de los sensores, el péndulo tiene que estar de manera concéntrica al catéter para tener una distribución de carga uniforme.



Figura 35. Catéter

IX. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realizó el diseño del dispositivo, para lograr medir el coeficiente de fricción del catéter intravenoso. Esto permite llevar a cabo pruebas de fricción con varios tipos de calibre de catéteres intravenosos de manera que es versátil para su uso, así como de su transportación.

Se diseñó y se manufacturó el péndulo así como todas las partes del dispositivo. Esto con base a la teoría de movimiento curvilíneo.

En el presente trabajo, con el dispositivo diseñado, se llevó a cabo las pruebas para medir el coeficiente de fricción del catéter intravenoso de calibre 18 de material de poliuretano para poder validar el modelo matemático de fricción de Rabinowicz, cuyas placas están recubiertas con DLC.

Se realiza el análisis del coeficiente de fricción mediante la relación de la fuerza obtenida por el péndulo y la carga normal dada por la presión de los tornillos en el soporte del catéter, esta información se obtiene de los sensores de fuerza.

Se observa el valor y se compara con los cálculos matemáticos. Se analiza la diferencia y los posibles factores del cambio significativo del valor obtenido por el método experimental y se toma en cuenta la mínima diferencia entre estos valores.

Las pruebas mostraron gran aproximación a los cálculos del coeficiente de fricción teórico, de manera que el dispositivo muestra la capacidad para medir el coeficiente de fricción real.

TRABAJOS FUTUROS

Se recomienda realizar el análisis de los coeficientes de fricción, no solo de los catéteres intravenosos comerciales sino también de diseños especiales.

Se propone cambiar el diseño del mecanismo de disparo del dispositivo para que este no tenga rebote y además, diseñar un mecanismo de frenado.

Realizar pruebas con distintos tipos de recubrimiento en las placas del soporte para catéter y al mismo tiempo, ver el comportamiento con diferentes materiales de prueba.

Realizar pruebas con agujas de diferentes calibres y para mayor versatilidad del dispositivo.

Rediseñar y mejorar los soportes de catéter para tener mejor obtención de datos y de estética para el dispositivo.

Considerar nuevas aleaciones para el proceso de manufactura del dispositivo de manera de tener mayor eficiencia en el equipo.

X. REFERENCIAS

- [1] Bhushan B. "Introduction to Tribology", Impreso en los Estados Unidos de America: John Wiley & Sons, (2002)
- [2] Morelaes E., Skrzypinska A, Rusek P y Haduch Z; 1997; "Desarrollo de la Tribología en el mundo"; Reporte técnico; pp.1 – 6
- [3] Rodríguez J. A. "Diseño Y Construcción De Un Dispositivo Para Evaluar La Resistencia Al Desgaste En Rodamientos Recubiertos A Base De Fricción Seca Con Diamante", Tesis de maestría, Cuernavaca Morelos México, Cenidet, 2003.
- [4] Pedrero J. L. "Efecto del recubrimiento por triboadhesión del DLC y Bisulfuro de Molibdeno en el desempeño y desgaste de anillos de motores en combustión interna", Tesis de maestría, Cuernavaca Morelos México, Cenidet, 2009.
- [5] Duncan D.; "Leonardo da Vinci, Biography", (Journal of Lubrication Technology, 100, (4), (1977), pp 382-386.
- [6] Dowson D., "Men of Tribology (Leonardo Da Vinci, Biography)", (en: Journal of Lubrication Technology, Vol. 100, No. 4, October 1977) pp. 382-386.
- [7] Linares O. "Generalidades de la Tribología Fundamentos de la Lubricación, Fricción y el Desgaste"; Reporte técnico
- [8] Ramírez F. "Estudio del Desgaste en la Superficie de Contacto Interno de Chumaceras Generado por Vibración Mecánica", Tesis de Maestría, Cuernavaca Morelos, Cenidet, 2004
- [9] Dowson D., "Men of Tribology (John Theophilus Desaguliers)", (en: Journal of Lubrication Technology, Vol. 100, No. 1, January 1978) pp. 3-5.

[10] Abúndez A. “Diseño De Un Dispositivo Para Deposición Por Triboadhesión En Prótesis De Cadera”, Tesis de maestría, Cuernavaca Morelos México, Cenidet, 2004.

[11] Hernández M. Francisco; 1988; “Charles Augustin Coulomb”; Colección Metrología Técnica Limusa; México D.F.

[12] Dowson D. April 1978; “Charles Augustin Coulomb”, Biography; Journal of Lubrication Technology; Vol. 100, No 1; pp. 148-152

[13] Priest, M. and Taylor, C. M. “Automobile engine tribology” - approaching the surface. Wear, 241(2000)2.

[14] Bowden and D. Tabor, “Friction and Lubrication”, Surface Physics, Cavendish Laboratory University of Cambridge, 1956.

[15] Rabinowicz E., 1958, “Theoretical criteria for the effectiveness of a lubricant film”, ASLE, No.1, pp.86- 100.

[16] Rabinowicz E., 1961, “Influence of surface Energy on Friction and Wear Phenomena, Journal of Applied Physics”, Vol.32, No. 8, pp.1440- 1444.

[17] Rabinowicz E., 1970, “The Determination of the Compatibility of Metals through Static Friction Tests”, ASME ASLE Lubrication, pp.198- 205.

[18] Rabinowicz E., 1981, “Influence of Surface Energy on Friction and Wear Phenomena”, (En: Journal of Lubrication Technology, 103, 1981) pp 169-179.

[19] Bahadur S., “OPINION. Wear Research and Development”, (En: Journal of Lubrication Technology, 99 (4), 1978), pp 449-454.

[20] Tabor D., 1981, "Friction the Present State of Our Understanding", ASME J. Lubr. Technol., No. 103, pp. 169 – 179.

[21] Aguilar B. "Estimación del Efecto de la Rugosidad en la Señal Dinámica de Cuerpos en Movimiento Relativo", Tesis de maestría, Cuernavaca Morelos México, Cenidet, 2011.

[22] F. J. Borrego., "Repercusión económica de los catéteres venosos centrales como acceso vascular en hemodiálisis crónica", NEFROLOGIA. Vol. XV. Número 6. 1995

[23]. Salvador Cardona i Foix, Daniel Clos Costa. Libro Teoría de máquinas. Univ. Politèc. de Catalunya, 2001 - 252 páginas

[24] Norma NLT 175/98. Dirección General de Carreteras y Caminos Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo del TRRL.

[25] Patente US 6612151 B2. Device and method for determining friction. Robert Christopher Halmes. Sep. 2 2003

[26] Katarzyna Kazmierska, Maciej Szwał; "Determination of urethral catheter surface lubricity", Published online: 12 December 2007

[27] M.R. Lovell, Zhi Deng; "Experimental investigation of sliding friction between hard and deformable surfaces with application to manufacturing processes", accepted 22 June 1999, Elsevier.

[28] victor moreno; "efecto de ambientes corrosivos en las propiedades de tensión uniaxial y fractura por impacto charpy de acero estructural bajo contenido de carbono", obtención para grado de maestría, México D.f. Enero 2011

[29] Witold Brostow., "Tribología Con Énfasis En Polímeros: Fricción, Resistencia Al Rayado Y Al Desgaste", Journal of Materials Education Vol. 24 (4-6): 119-132 (2003).

[30] Ernesto David García; “Diseño y desarrollo del sistema de control y automatización de una máquina de pruebas tribológicas basada en la técnica de cuatro bolas de acero lubricadas”, Tesis de maestría, Mexico, D.F. 2009.

[31] Díaz del Castillo R.F., “tribología: fricción, desgaste y lubricación”, Tesis de maestría, Cuautitlán, México.Unam Cuautitlán, 2007.

[32] Bharat Bhushan, “introduction to tribology”, editorial John Wiley and Sons, ISBN 0-471-15893-3, 2002.

[33] Arellano C. J., “Principios de Transferencia de Masa Durante el Corte de Metales”, Tesis de maestría, Cuernavaca Morelos, Cenidet, 2007.

[34] Tabor D., “Friction the present state for ours understanding”, ASME Journal of Lubrication, Vol. 103, pp. 169-179, 1981

[35] Navarro T. Jose., “Diseño De Un Dispositivo Para Deposición En Piezas Mecánicas Pequeñas Por Trioadhesión”, Tesis de Maestría, Cuernavaca, Mórelas, Cenidet, 2004.

[36] José Marulanda, Alberto Zapata, Carlos Augusto; “Construcción De Una Maquina Para Ensayo En Desgaste Abrasivo; Según Norma Técnica Astm G-65”, Universidad Tecnológica de Pereira, Scientia et Technica Año XV, No 41, Mayo de 2009.

[37] Maryory A. “Característica de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros”, Memoria presentada para optar al grado de Doctora Barcelona, Diciembre de 2005

[38] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA. “High Temperature Contact Response of Cemented Carbides”. Elaborado por Alcalá J. (Barcelona.).

[39]Rodríguez J. A. “Diseño Y Construcción De Un Dispositivo Para Evaluar La Resistencia Al Desgaste En Rodamientos Recubiertos A Base De Fricción Seca Con Diamante”, Tesis de maestría, Cuernavaca Morelos México, Cenidet, 2003.

[40]Bahadur S; April 1978; OPINION.The Economic impact of wear on society; Journal of lubrication technology; Vol. 103, No. 4, pp. 145-147.

[41] Villanueva Mario., “Evaluación de la Resistencia a la Erosión en Alabes Recubiertos por Triboadhesión”. Cuernavaca, Morelos, Cenidet,2004.

[42] Archard J.F; 1958-9; The Temperature of Rubbing Surfaces; wear; No.2; pp 438-455.

[43] Bowden F. and Tabor D., “The Friction and Lubrication Solids”, The first published Lithography in Great Britain at University Press, Oxford. 1950 pp 105-111.

[44]Hans-Jurgen Butt, “Surface and Interfacial Forces”.Max-Planck Institut fur polymerfoschung; Mainz Germany.

[45] Bisson Edmond E, Johnson Robert L, Swikert Max A and Douglas Godfrey; 1955; Report 1254.- Friction, Wear and Surface Damage of Solid Surface Films; National Advisory Committee for Aeronautics.

[46] Bowden F. and Tabor D;1964; The Friction and Lubrication of Solids Part I; Clarendon Press, London.

[47] Budinski K.G; 1992; engineering Materials, Properties and Selection; Prentice Hall; USA.

[48] Bull S.J; November 1992; Interfaces and Adhesion; Mechanical and Material Science; Vol. 1; Kluwer Academic Publishers; USA.

Apéndice **A**

COEFICIENTE DE FRICCIÓN UTILIZANDO LA ECUACIÓN DE RABINOWICZ

Propiedades mecánica y química

propiedades				
unidades	Diamante (diam)		Poliuretano (poli)	
Pa	dureza	1.00E+11	dureza	1.496E+09
pa	módulo de Young	8.00E+11	módulo de Young	2.21E+08
	a	3.56E-10	a	8.E-09
pa	esfuerzo de fluencia		esfuerzo de fluencia	4.45E+07
Kg/m³	densidad	3530	densidad	1,170
	Poisson	0.1	Poisson	0.45
	r	1.50E-10	r	1.36E-12

CALCULOS

ENERGIA DE SUPERFICIE

$$\gamma_{diam} = \frac{E a_0}{10} = \frac{(8^{11})3.56^{-10}}{10} = 28.472524 \frac{J}{m^2}$$

$$\gamma_{poli} = \frac{E a_0}{10} = \frac{(2.21^8)8^{-9}}{10} = 0.1768 \frac{J}{m^2}$$

$$\gamma_{poli-diam} = (\sqrt{28.472524} - \sqrt{0.1768})^2 = 24.16203 \frac{J}{m^2}$$

$$w_{poli-diam} = 28.472524 + 0.1768 - 24.16203 = 4.48729 \frac{J}{m^2}$$

$$R^* = \left(\frac{1}{1.5^{-10}} + \frac{1}{1.3^{-12}} \right)^{-1} = 1.34778^{-12} m$$

$$E^* = \left(\frac{1 - 0.1^2}{8^{11}} + \frac{1 - 0.45^2}{2.21^8} \right)^{-1} = 277020963.4$$

$$F_{adh} = \frac{3}{2} \pi (4.48729 * 1.34778^{-12}) = 2.85^{-11}$$

$$a_{cont}^3 = \frac{3R^*}{4E^*} \left(F_{adh} + 3\pi w_{adh} R^* + \sqrt{6\pi w_{adh} R^* F_{adh} + (3\pi w_{adh} R^*)^2} \right)$$

$$a_{cont}^3 = \frac{3(1.34778^{-12})}{4(277020963.4)} (2.85^{-11} + 3\pi(4.48729)(1.34778^{-12}))$$

$$+ \sqrt{6\pi(4.48729)(1.34778^{-12})2.85^{-11} + (3\pi(4.48729)(1.34778^{-12}))^2}$$

$$a_{cont} = 8.463^{-11}$$

$$\delta = \frac{a^2}{R^*} - \sqrt{\frac{2\pi a w_{adh}}{E^*}} = \frac{(8.463^{-11})^2}{1.34778^{-12}} - \sqrt{\frac{2\pi(8.463^{-11})4.48729}{277020963.4}} = 2.38^{-9}$$

$$\tan\theta^\circ = \frac{2.38^{-9}}{8.463^{-11}}$$

$$\theta = 1.5702^\circ$$

$$y = \frac{(4.48729)\cot(1.5702)}{2.21^8} = 1.07^{-10}$$

$$r_{adh} = \left[(1.34778^{-12})^2 + (1.07^{-10})^2 \right]^2 + 1.07^{-10} = 2.43^{-10}$$

$$A_{adh} = \pi(2.43^{-10})^2 = 1.85^{-19}m^2$$

$$s = \frac{4.45^7}{\sqrt{3}} = 25692087$$

$$\mu = \frac{\tau}{H - \frac{2W_{abcot\theta}}{r_{ab}}}$$

$$\mu = \frac{25692087}{1.496^9 - \frac{2(4.48729)\cot(1.5702)}{2.43^{-10}}}$$

$$\mu = 0.141452$$

Apéndice **B**

CÁLCULOS DE LA MASA Y LA FUERZA DEL PÉNDULO

Densidad del acero inoxidable AISI 304:

$$7800 \text{ kg/m}^3$$

Para calcular el volumen del cubo del peso de prueba del péndulo, la Ecuación del volumen de un cubo es:

$$L \times L \times L$$

Donde L es igual a 10 mm por lo tanto el Volumen total del cubo es

$$V_1 = 0.000001 \text{ m}^3$$

Para calcular el volumen del esparrago se toma como un cilindro, La ecuación para calcular el volumen de un cilindro es:

$$\pi \cdot r^2 \cdot l$$

Donde $l = 38.1 \text{ mm}$ y $r = 3.175 \text{ mm}$

Por lo tanto el volumen del esparrago es de

$$V_2 = 0.000001206 \text{ m}^3$$

Para calcular la el volumen del copleé del esparrago se relaciona con áreas de un rectángulo y de un cirulo.

$$V_3 = \left(((25.4 - 4.7625) \cdot 9.525) - \left(\frac{\pi \cdot 3.175^2}{2} \right) \right) \cdot 9.525 = 0.000001721 \text{ m}^3$$

$$V_4 = \left(\frac{\pi \cdot 4.7625^2}{2} - \frac{\pi \cdot 3.175^2}{2} \right) \cdot 9.525 = 0.000000188 \text{ m}^3$$

Por lo tanto la el volumen total del péndulo para calcular la fuerza de impacto es:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$V_T = 0.000004115 \text{ m}^3$$

La masa total del péndulo es:

$$m = V \cdot \rho$$

$$m_t = 0.000004115 \cdot 7800 = 0.032097 \text{ kg}$$

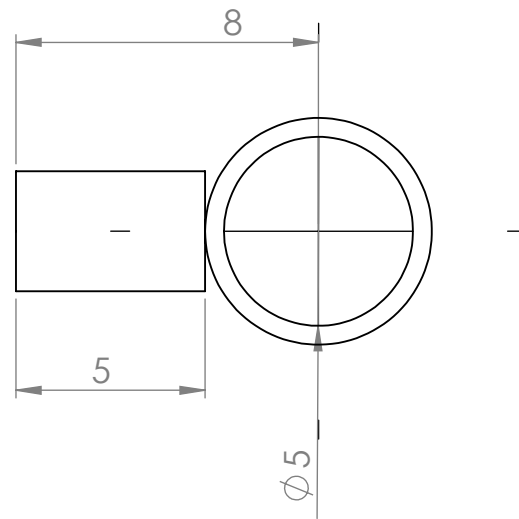
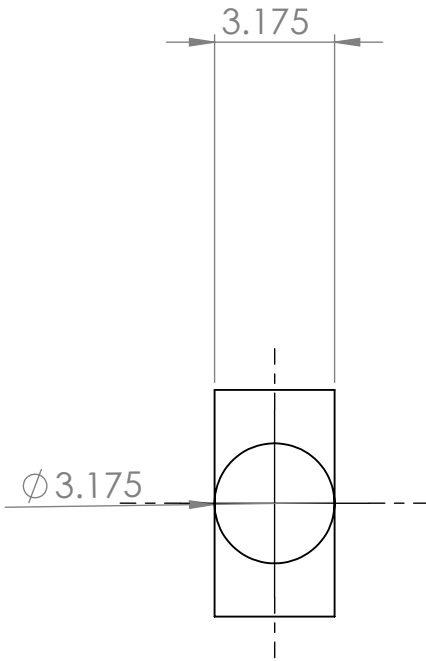
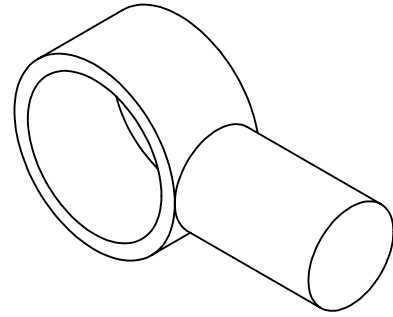
Para calcular la fuerza de impacto que tendrá el péndulo se usa la siguiente ecuación:

$$F = m \cdot g$$

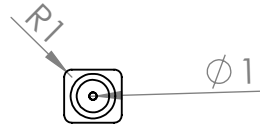
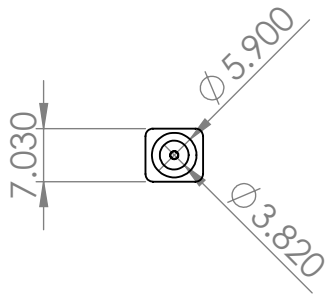
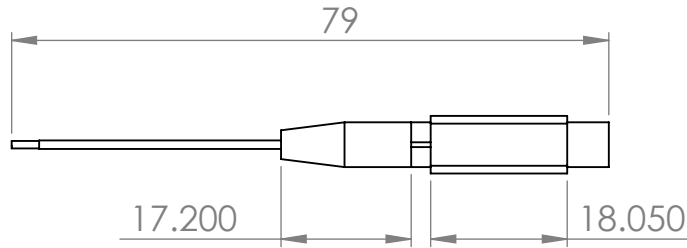
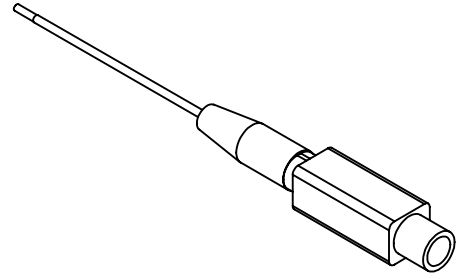
Donde F es la fuerza, m la masa total del péndulo y g la gravedad, entonces tenemos una fuerza del péndulo de:

$$F = 0.032097 \cdot 9.81 = 0.31487 \text{ N}$$

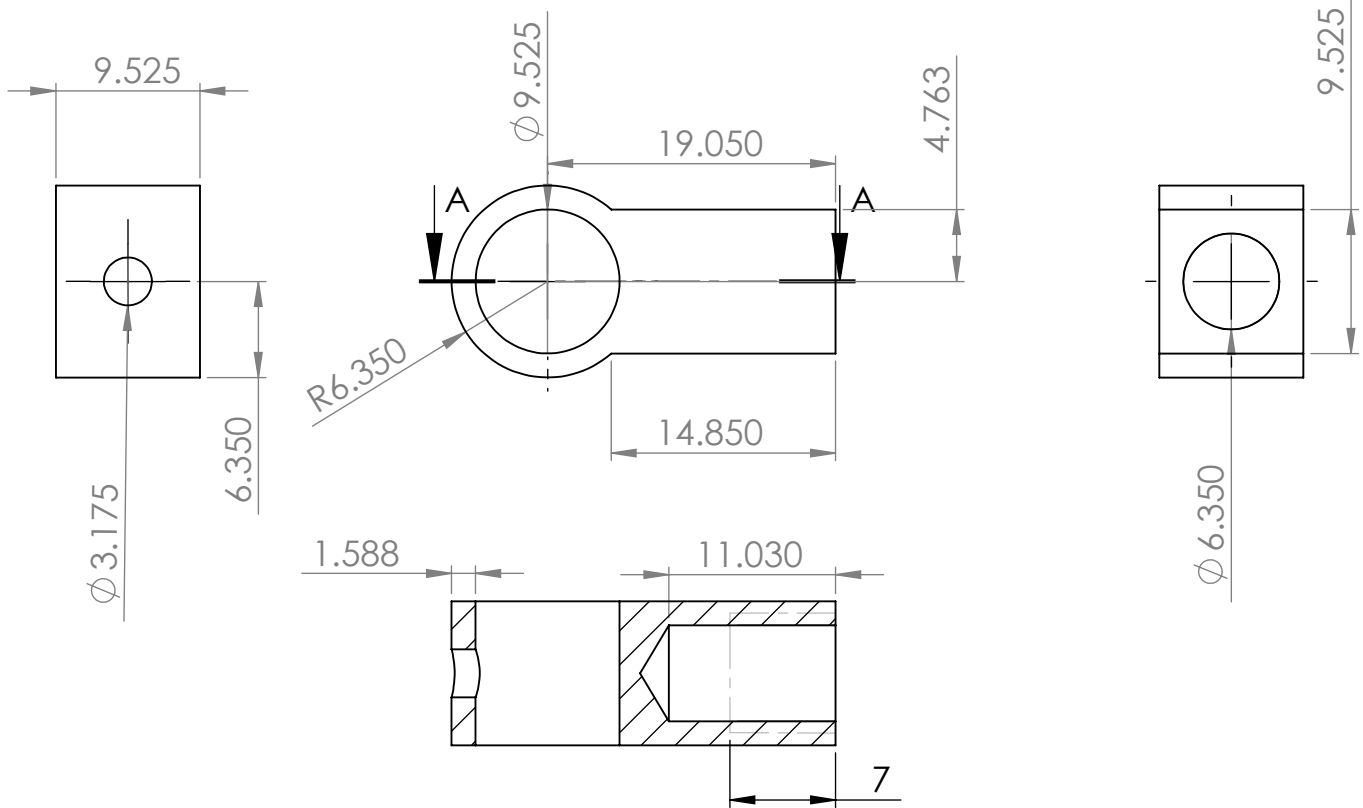
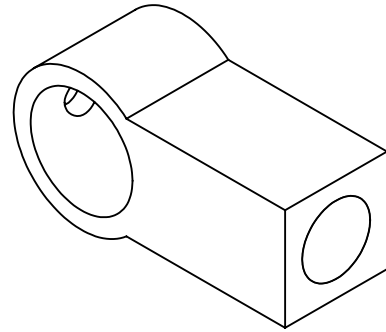
Apéndice **C**



N°Piezas	1	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Revisó	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 5:1	Nombre:		N°.Dibujo	Hoja:
Unidades mm	Armella		15	1/1



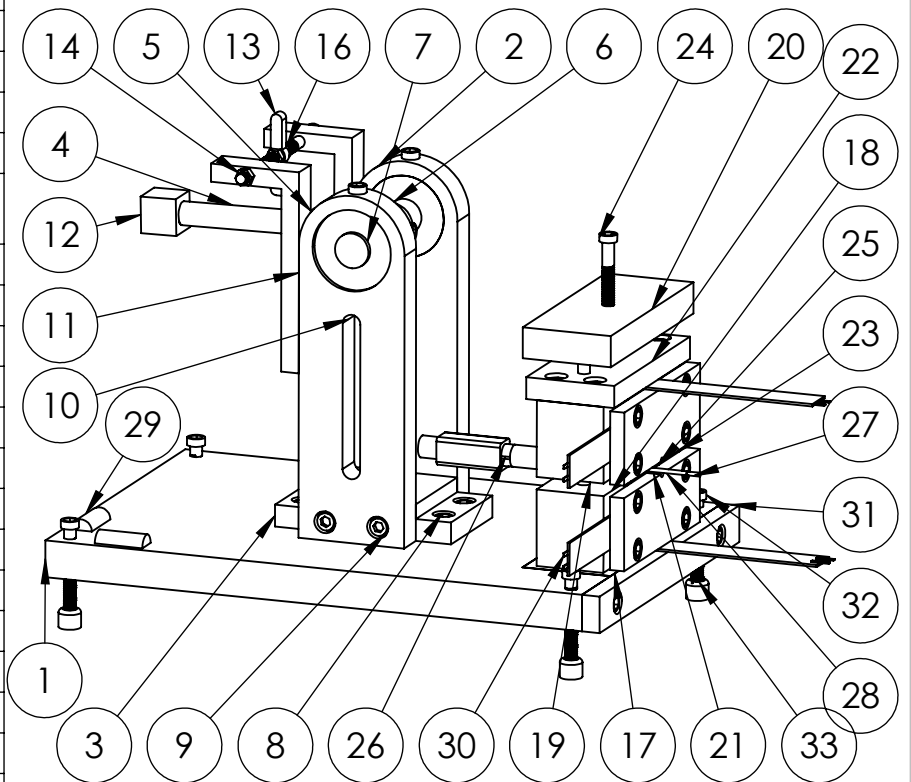
N°Piezas	1	Material : Poliuretano	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala SIN	Nombre:			
Unidades	Cateter		N°.Dibujo	Hoja:
mm			26,27,28	1/1



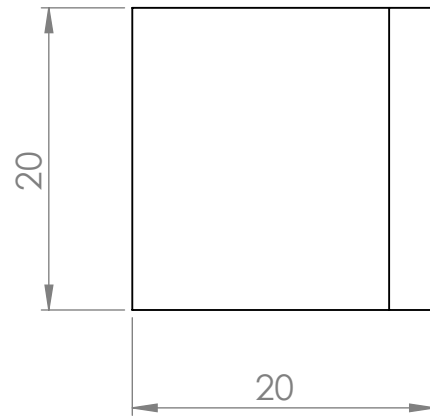
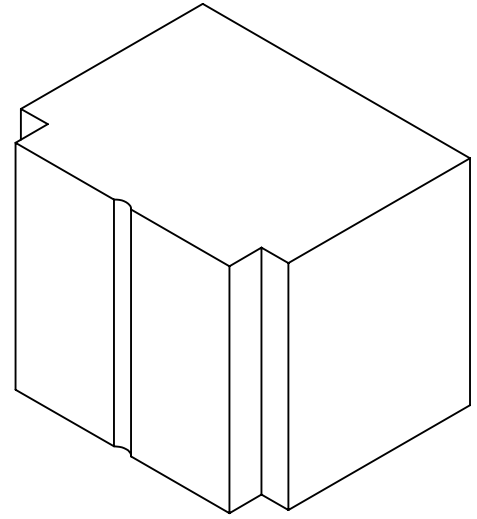
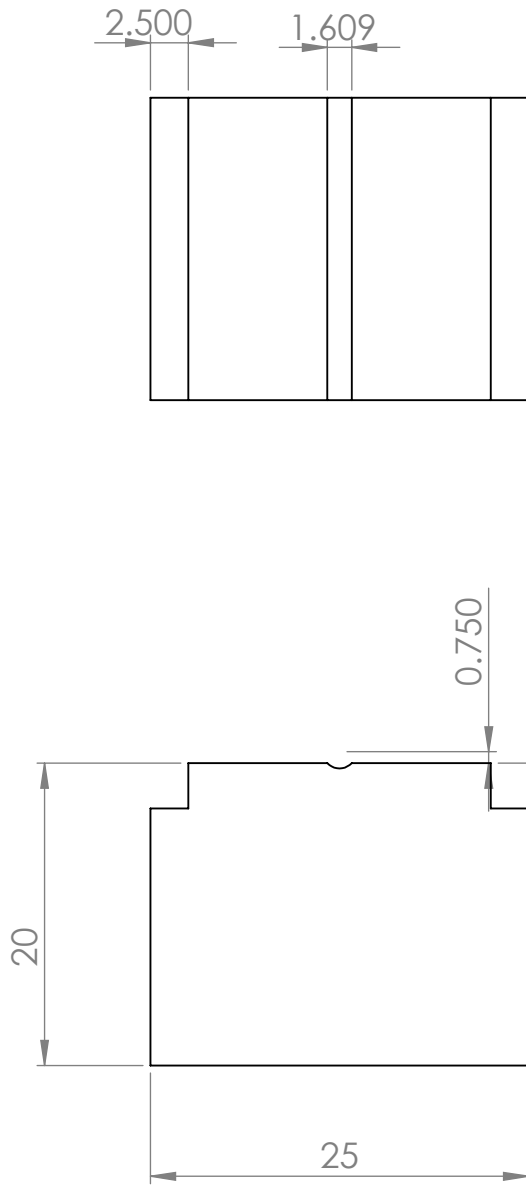
SECCIÓN A-A

N°Piezas	1	Material :Acero AISI 304	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Reviso	José María Rodríguez Lelis			
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 2:1	Nombre:		N°.Dibujo	Hoja:
Unidades	Cople		5	1/1
mm				

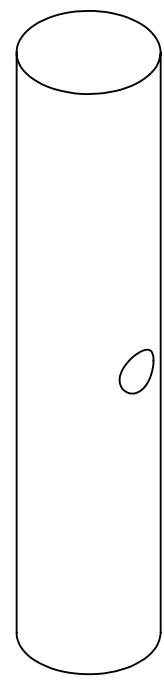
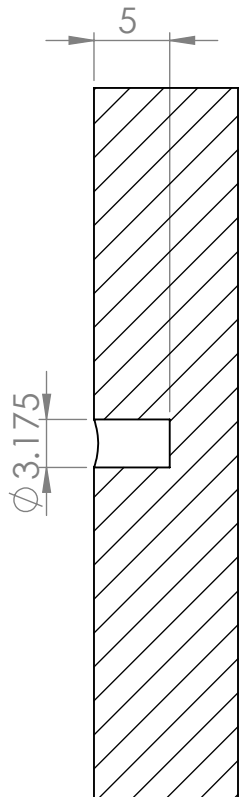
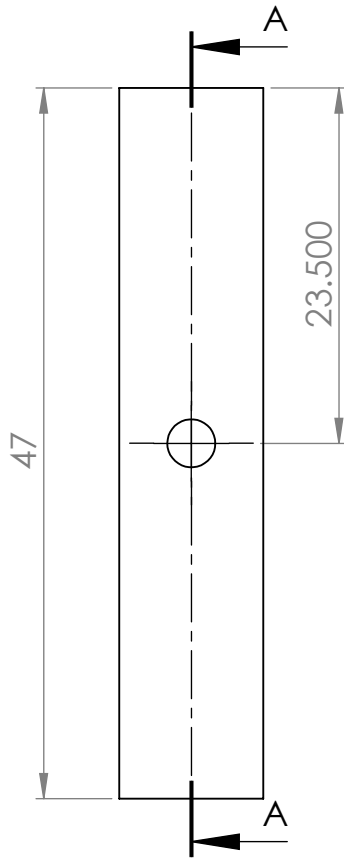
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	placa base		1
2	soporte	con una muesca para ver el pendulo en posicion vertical	1
3	soporte del pendulo		1
4	esparrago 1		1
5	cople del esparrago		1
6	eje transversal		1
7	rod.	rodamiento	2
8	tornillo 4	paso 1/40	29
9	tornillo 2	paso 1/40	4
10	soporte 2		1
11	soporte del mecanismo de disparo		2
12	peso 1		1
13	gatillo		1
14	tornillo 5	paso 1/40	1
15	armella		1
16	tuerca del tornillo 5		3
17	pieza 1		1
18	pieza 2		2
19	pieza 3		2
20	pieza 5		1
21	pieza 6		2
22	pieza 7		1
23	pieza 9		2
24	pieza 8		1
25	desplasador 2	elemento para transferir fuerza	2
26	1	cateter	1
27	aguja 2	cateter	1
28	cateter intra	cateter	1
29	nivel		2
30	sensor 3		4
31	placa 1		1
32	tornillo 6	paso 1/40	4
33	gomas		4



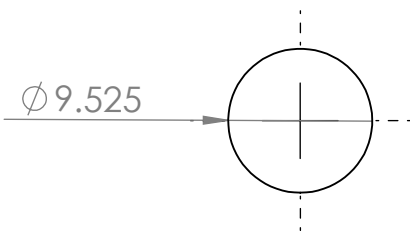
NºPiezas		Material :		
Diseño	Virgilio Meza López		Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 1:2	Nombre:		Nº.Dibujo	Hoja:
Unidades mm	Dispositivo			



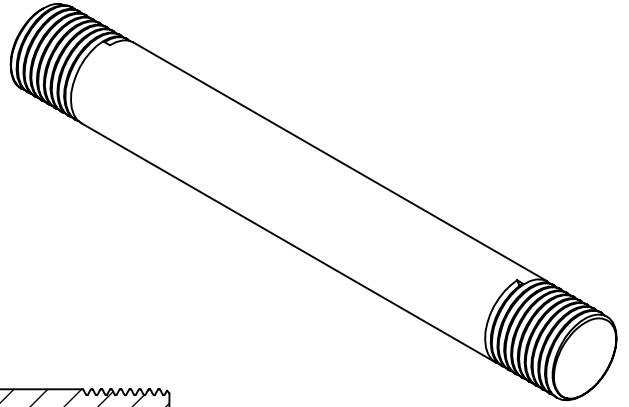
N°Piezas	2	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 2:1	Nombre:			
Unidades	Desplazador 2		N°.Dibujo	Hoja:
mm			25	1/1



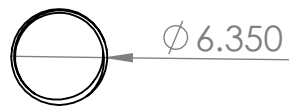
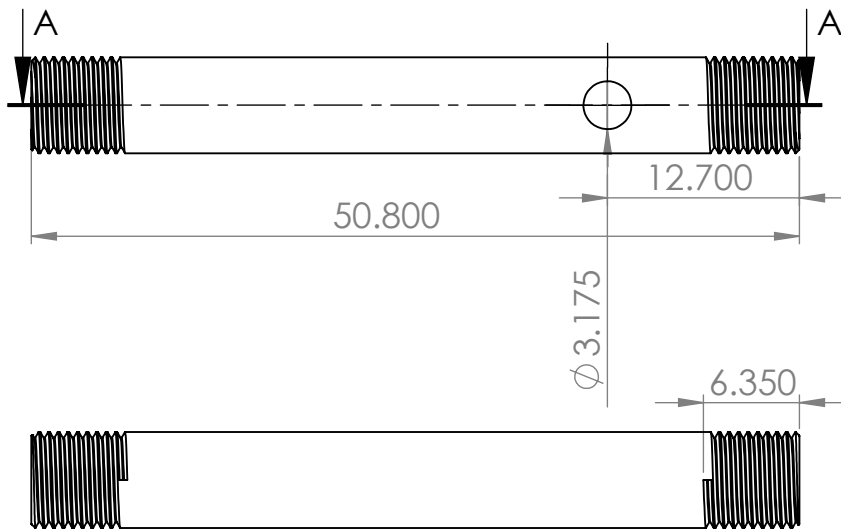
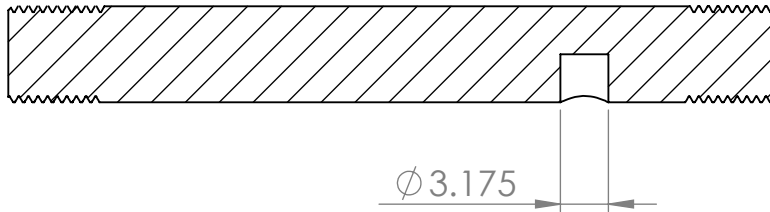
SECCIÓN A-A



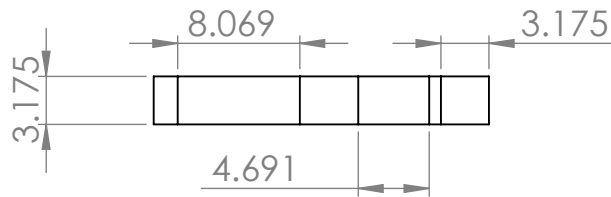
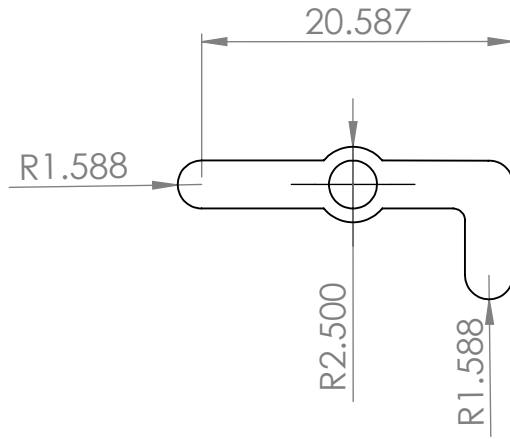
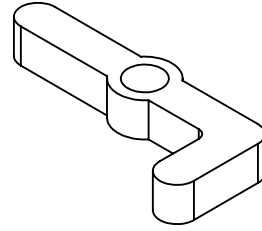
N°Piezas	1	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Reviso	José María Rodríguez Lelis			
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala	Nombre:		N°.Dibujo	Hoja:
2:1	Eje Transversal			
Unidades	mm		6	1/1



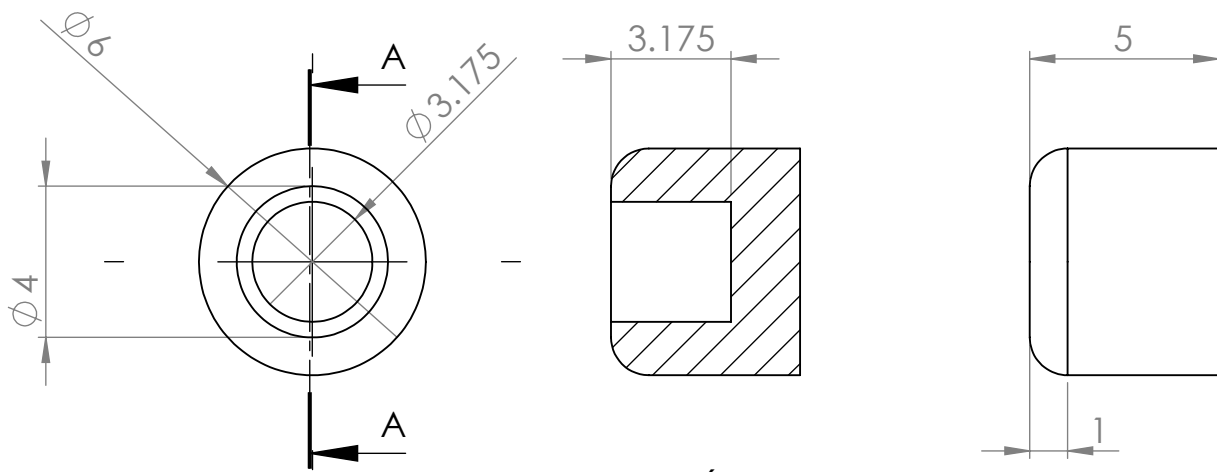
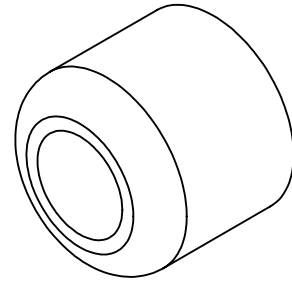
SECCIÓN A-A



N°Piezas	1	Material : Acero AISI 304	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Reviso	José María Rodríguez Lelis			
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 2:1	Nombre:		N°.Dibujo	Hoja:
Unidades mm	Esparrago		4	1/1

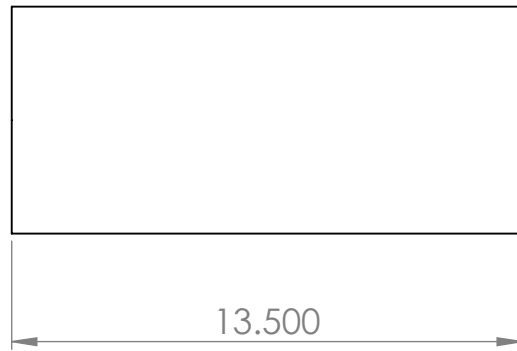
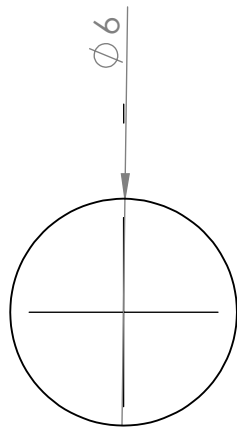
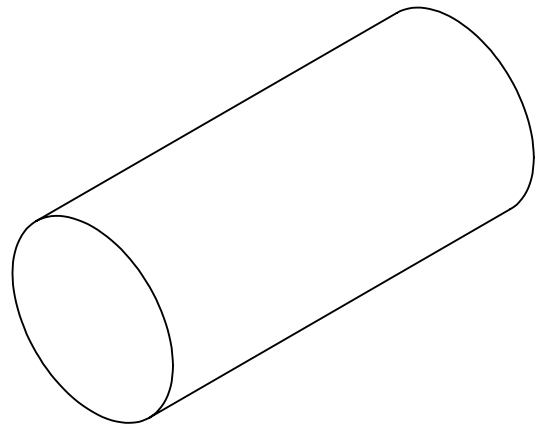


N°Piezas	1	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 2:1	Nombre:			
Unidades	Gatillo		N°.Dibujo	Hoja:
mm			13	1/1

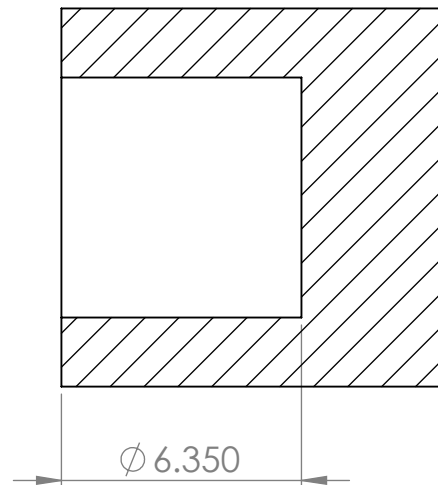
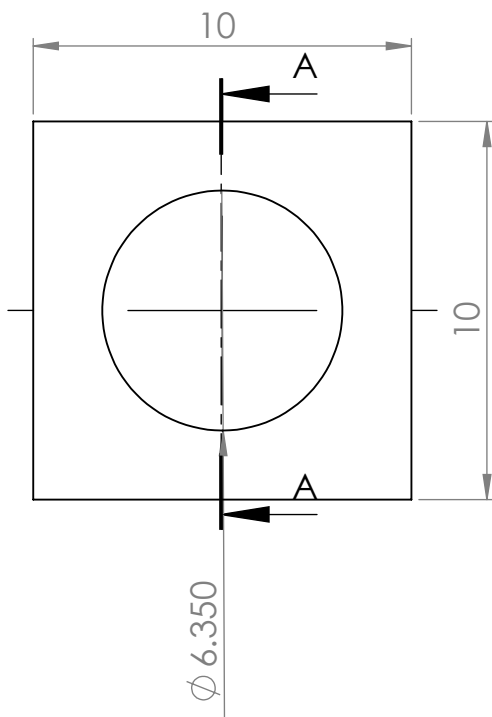
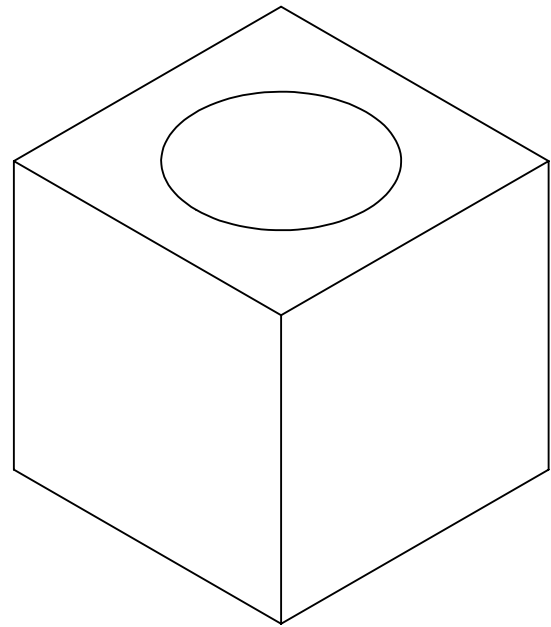


SECCIÓN A-A
ESCALA 5 : 1

N°Piezas	4	Material : Plastico	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala	5:1	Nombre:	N°.Dibujo	Hoja:
Unidades	mm	Gomas		

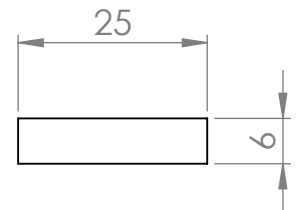
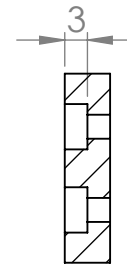
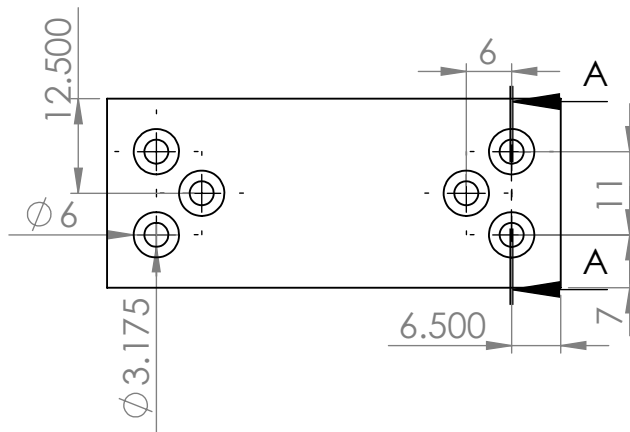
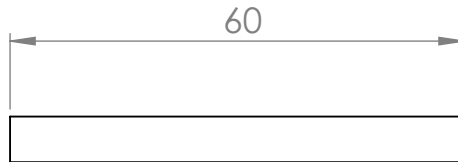
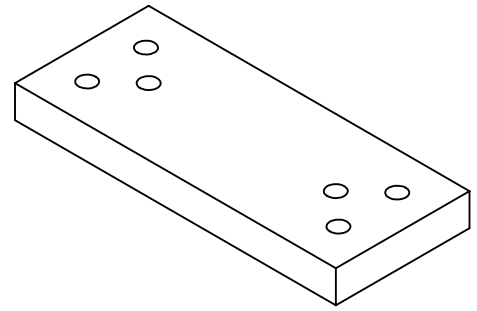


N°Piezas	2	Material : plastico	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 5:1	Nombre:		N°.Dibujo	Hoja:
Unidades mm	Nivel De Burbuja			



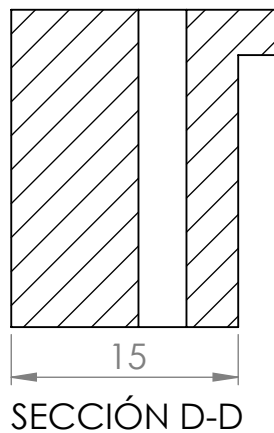
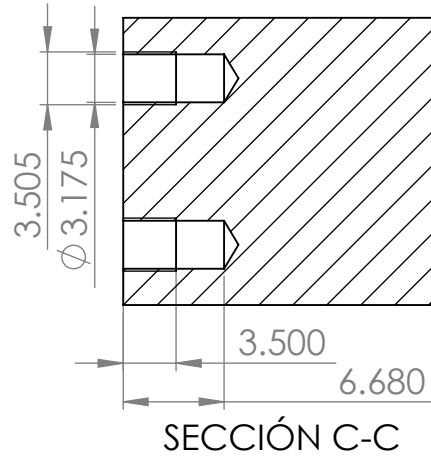
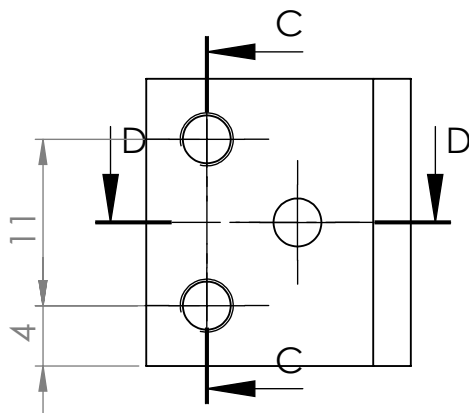
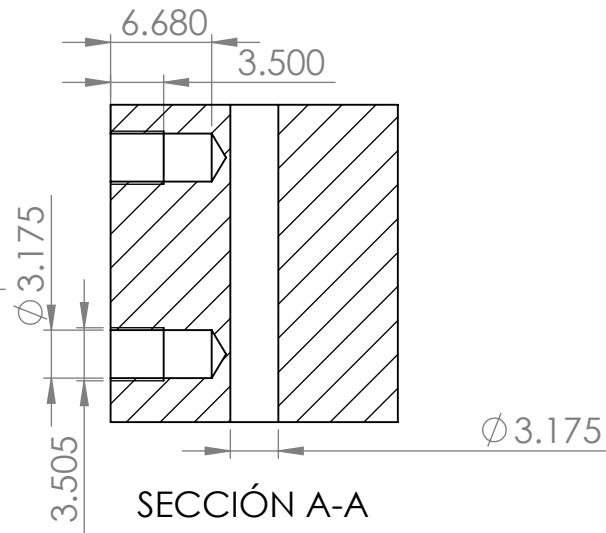
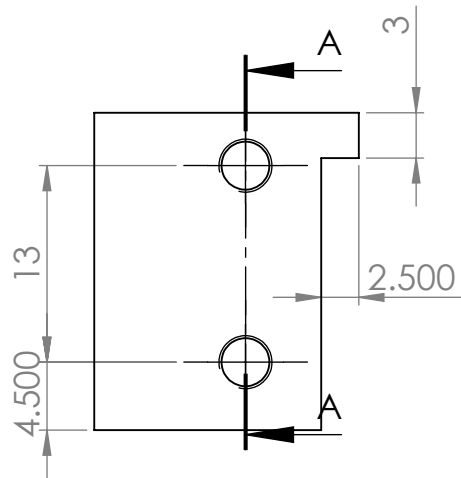
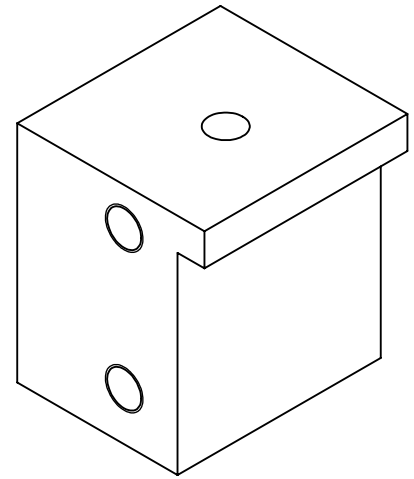
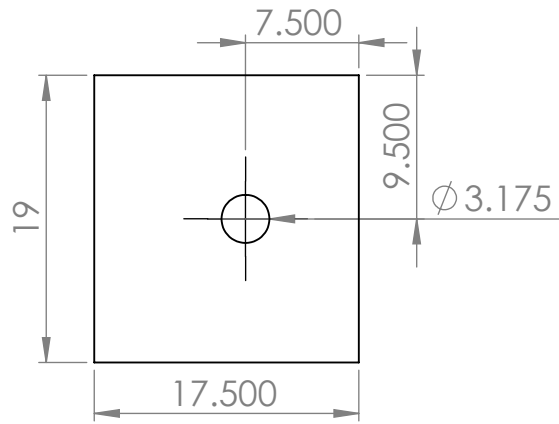
SECCIÓN A-A

N°Piezas	1	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 5:1	Nombre:		N°.Dibujo	Hoja:
Unidades mm	Peso			

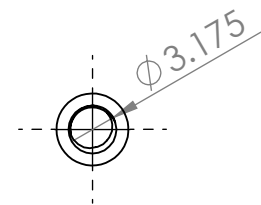
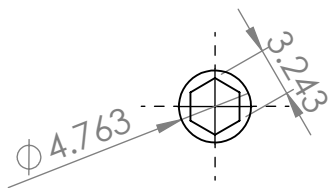
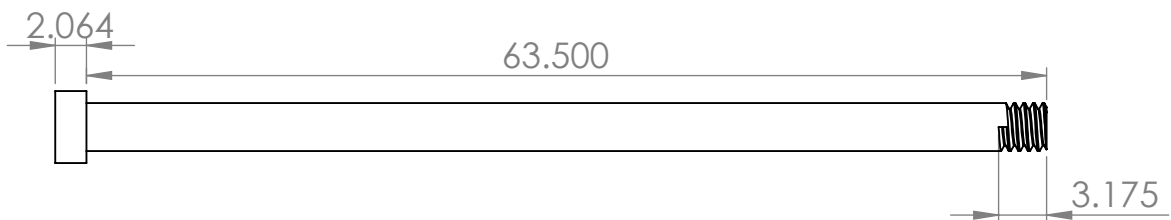
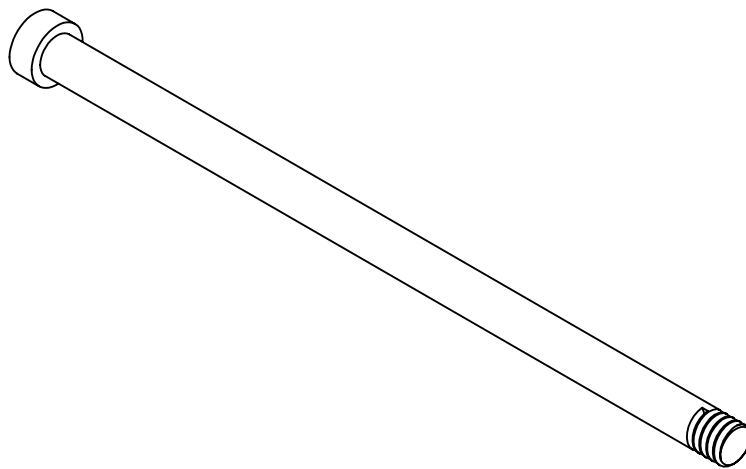


SECCIÓN A-A

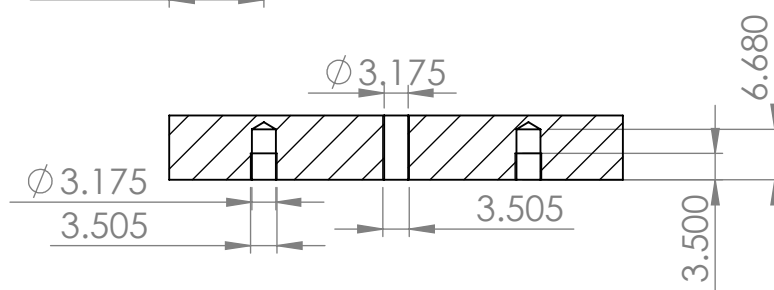
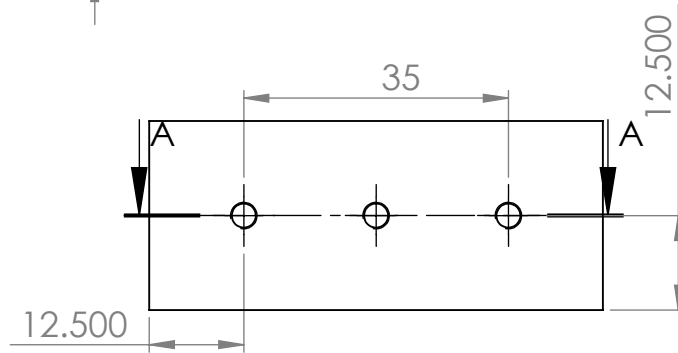
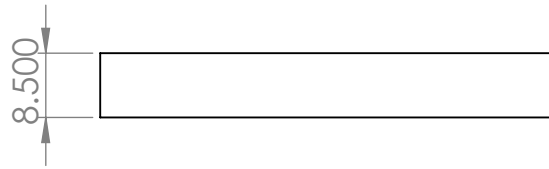
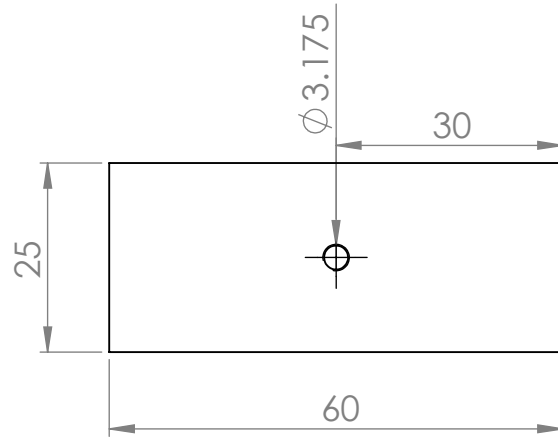
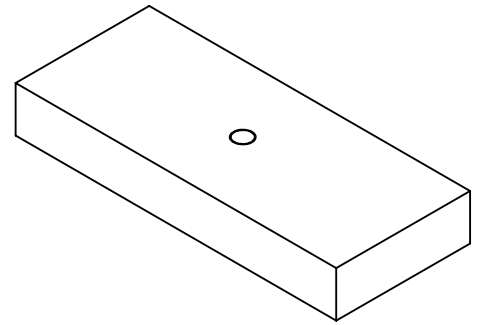
N°Piezas	1	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Reviso	José María Rodríguez Lelis			
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala SIN	Nombre:		N°.Dibujo	Hoja:
Unidades	Pieza 1		17	1/1
mm				



N°Piezas	2	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Reviso	José María Rodríguez Lelis			
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala	2:1	Nombre:	N°.Dibujo	
Unidades	mm	Pieza 2		
			18	1/1



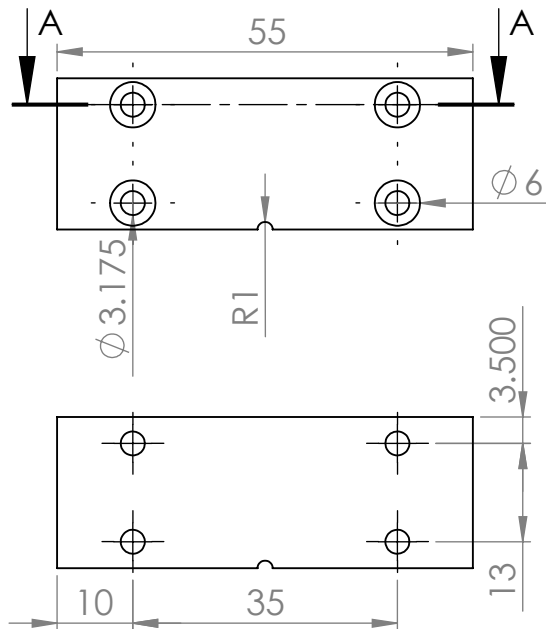
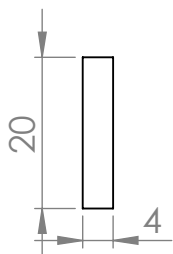
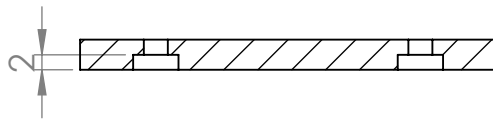
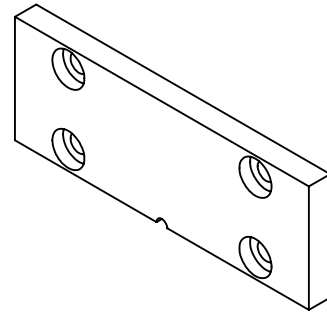
N°Piezas	2	Material : Acero	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Reviso	José María Rodríguez Lelis			
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 2:1	Nombre:		N°.Dibujo	Hoja:
Unidades mm	Pieza 3		19	1/1



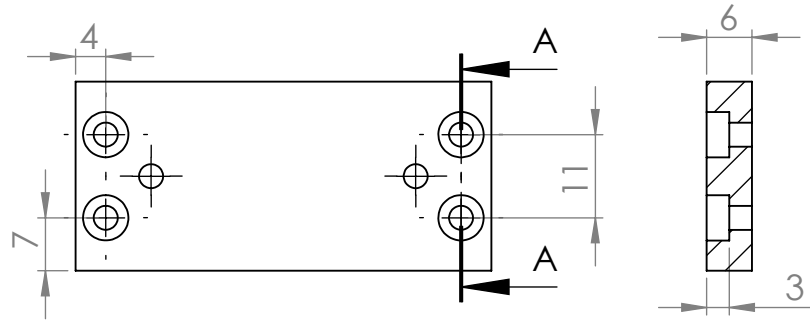
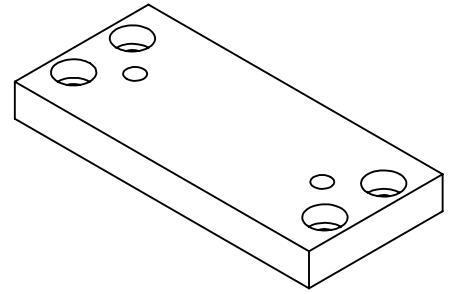
SECCIÓN A-A

N°Piezas	1	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala SIN	Nombre:			
Unidades	Pieza 5		N°.Dibujo	Hoja:
mm			20	1/1

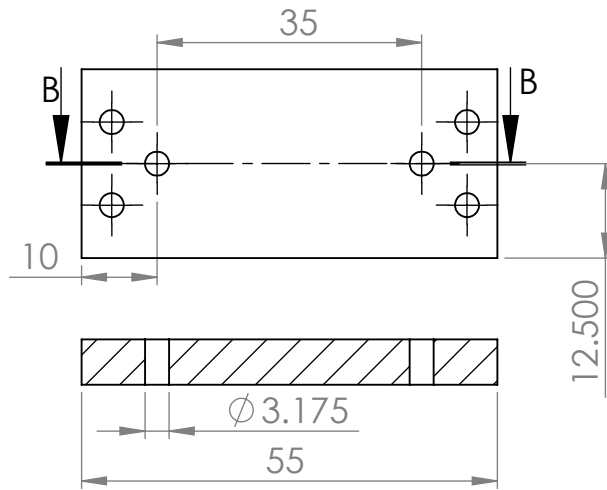
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1



N°Piezas	2	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala SIN	Nombre:			
Unidades	Pieza 6		N°.Dibujo	Hoja:
mm			21	1/1

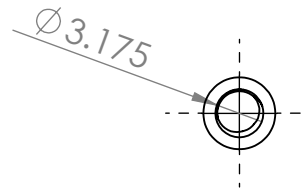
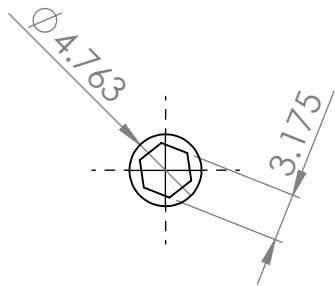
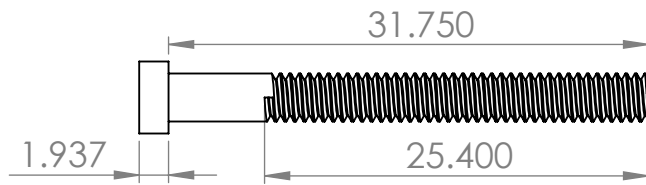
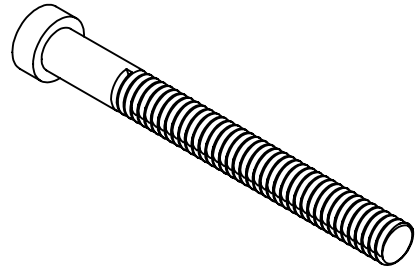


SECCIÓN A-A

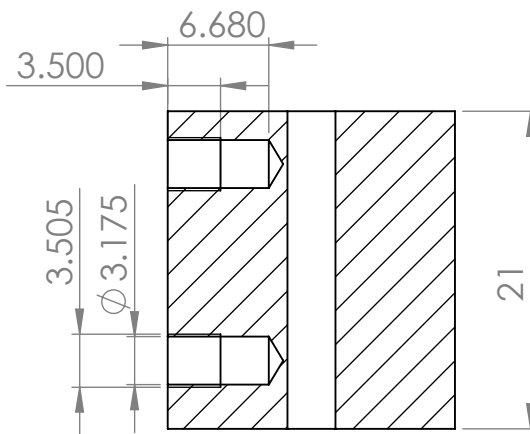
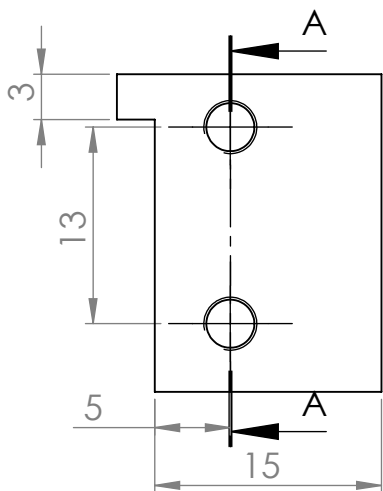
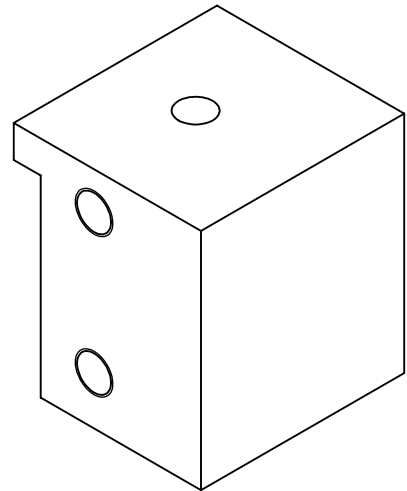
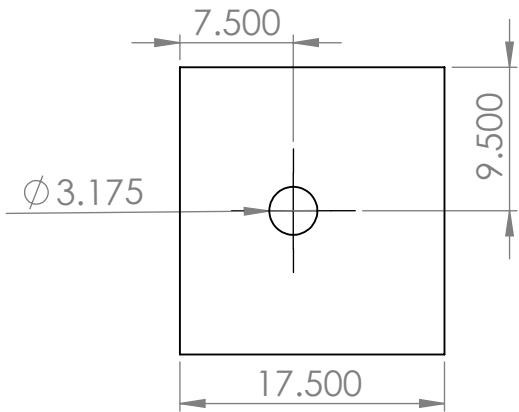


SECCIÓN B-B

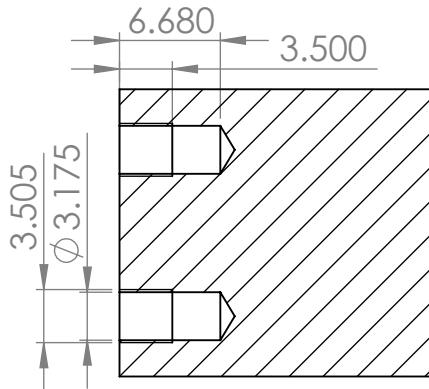
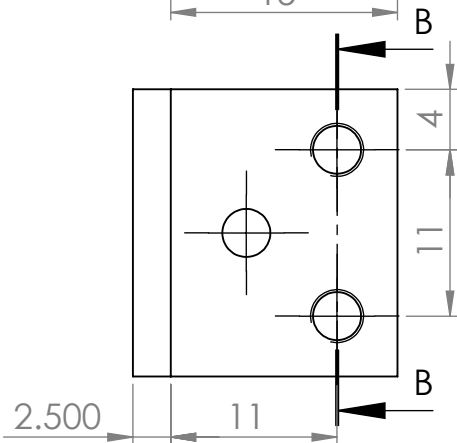
N°Piezas	1	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala SIN	Nombre:			
Unidades	Pieza 7		N°.Dibujo	Hoja:
mm			22	1/1



N°Piezas	1	Material : Acero	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 2:1	Nombre:		N°.Dibujo	Hoja:
Unidades mm	Pieza 8			

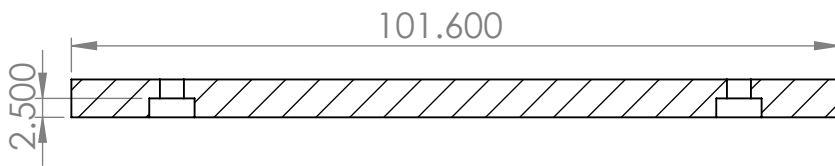
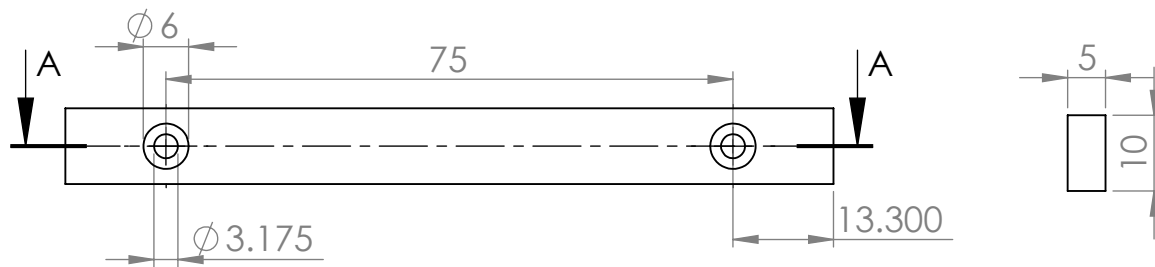
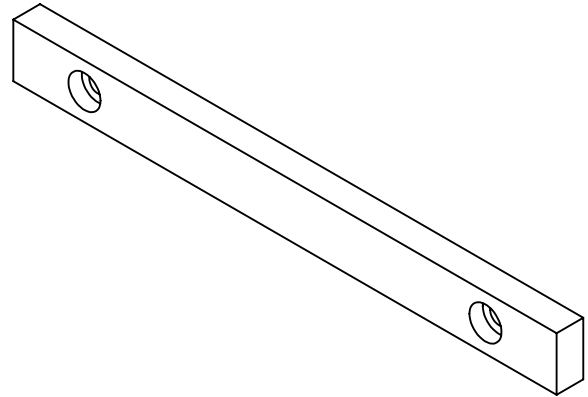


SECCIÓN A-A



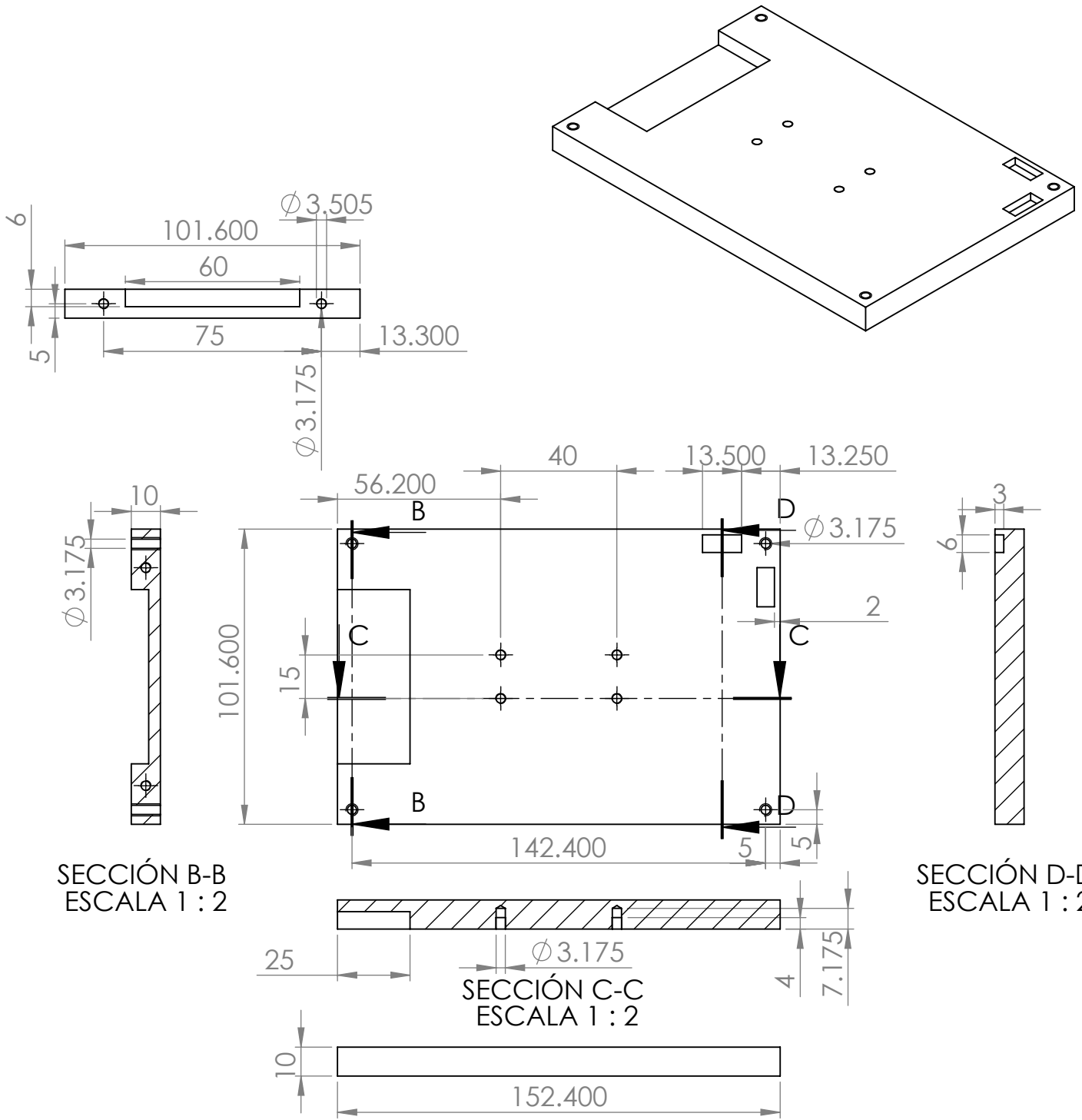
SECCIÓN B-B

N°Piezas	2	Material :Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Reviso	José María Rodríguez Lelis			
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala	2:1	Nombre:	N°.Dibujo	
Unidades	mm	Pieza 9		
			23	1/1



SECCIÓN A-A

N°Piezas	1	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Reviso	José María Rodríguez Lelis			
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala SIN	Nombre:		N°.Dibujo	Hoja:
Unidades	Placa 1			
mm			31	1/1

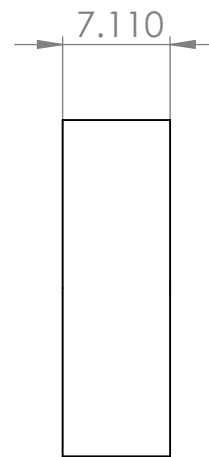
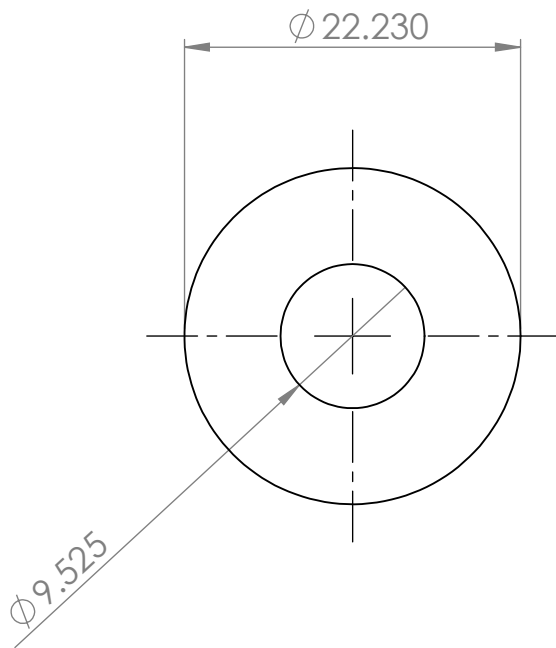
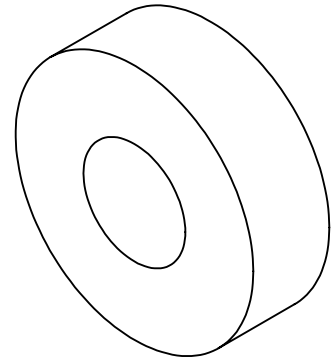


SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 2

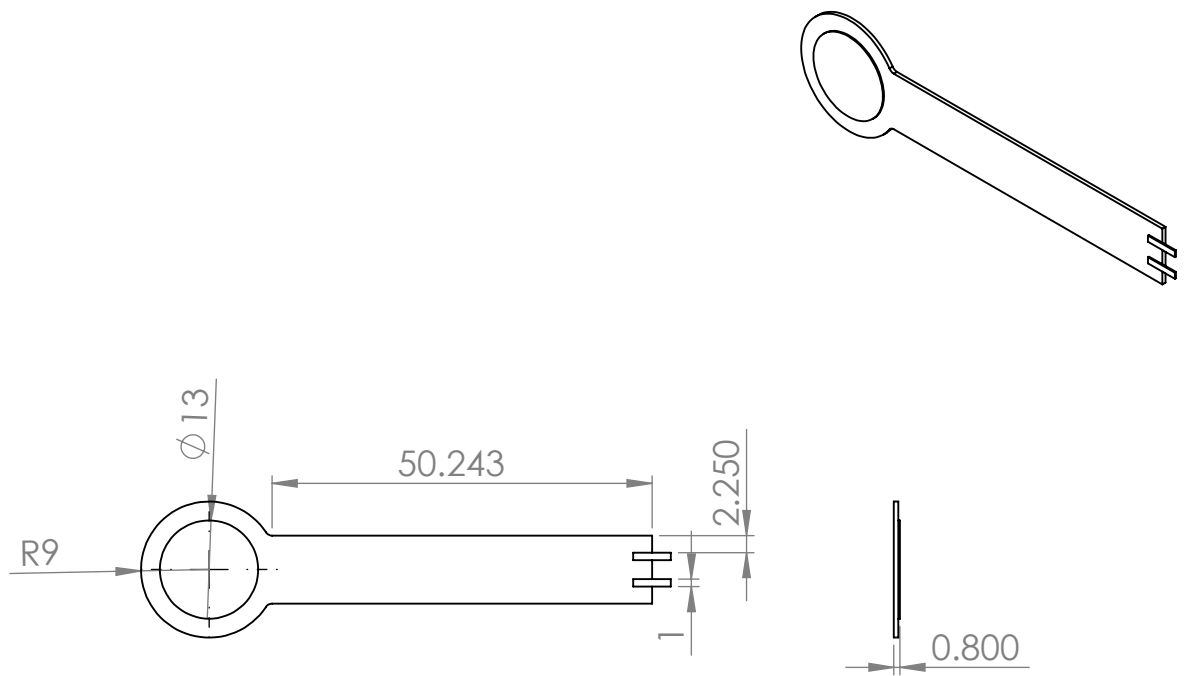
SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 2

SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 2

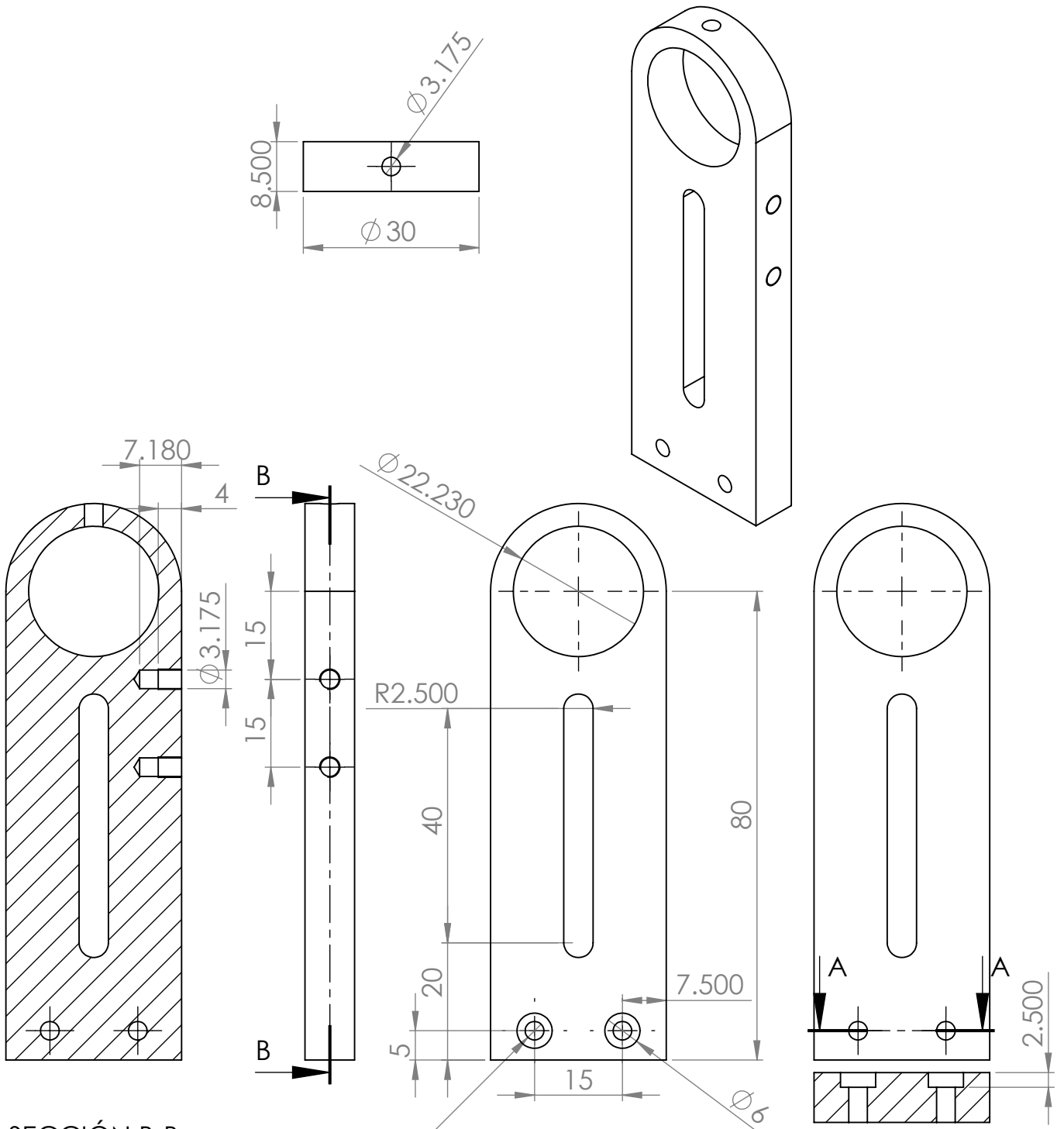
N°Piezas	1	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Reviso	José María Rodríguez Lelis			
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 1:2	Nombre:		N°.Dibujo	Hoja:
Unidades	Placa Base			
mm			1	1/1



N°Piezas	2	Material : Acero	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Revisó	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 2:1	Nombre:		N°.Dibujo	Hoja:
Unidades mm	Rodamiento			



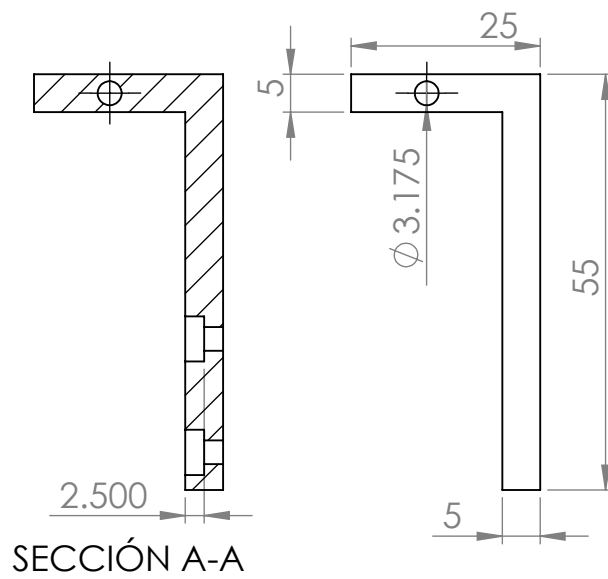
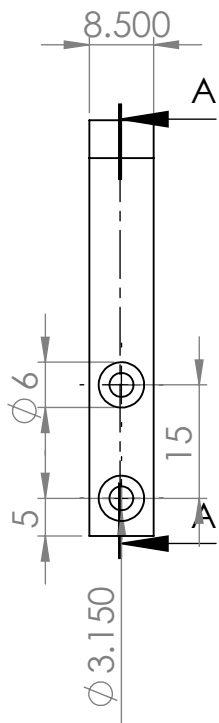
N°Piezas	4	Material :fabricante	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala	Nombre: Sensor 3		N°.Dibujo	Hoja:
SIN			mm	30



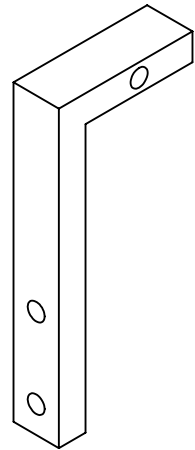
SECCIÓN B-B

SECCIÓN A-A

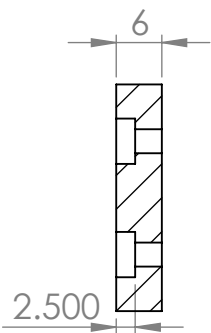
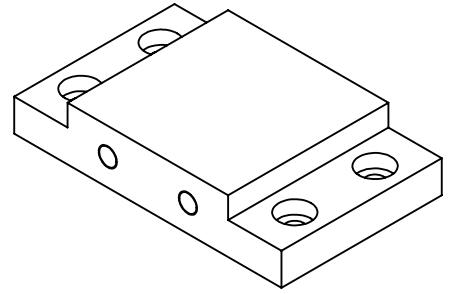
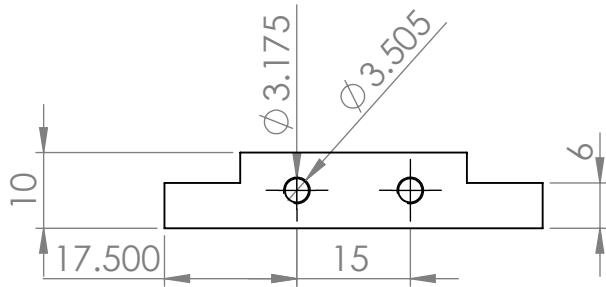
N°Piezas	1	Material :Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala	SIN	Nombre:		
Unidades		Soporte 2	N°.Dibujo	Hoja:
mm				1/1



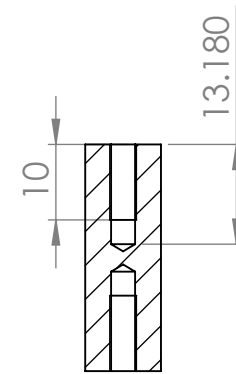
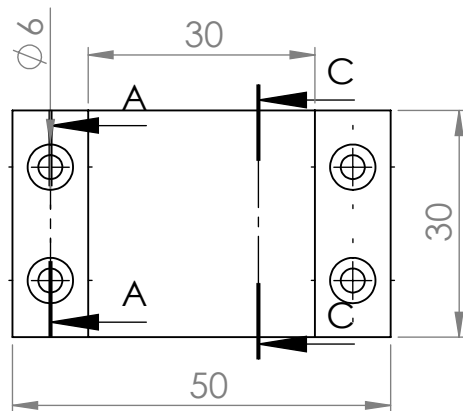
SECCIÓN A-A



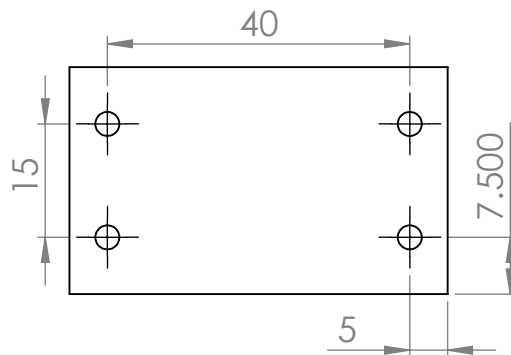
N°Piezas	2	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala	Nombre:			
Unidades	Soporte 3		N°.Dibujo	Hoja:
mm			11	1/1



SECCIÓN A-A

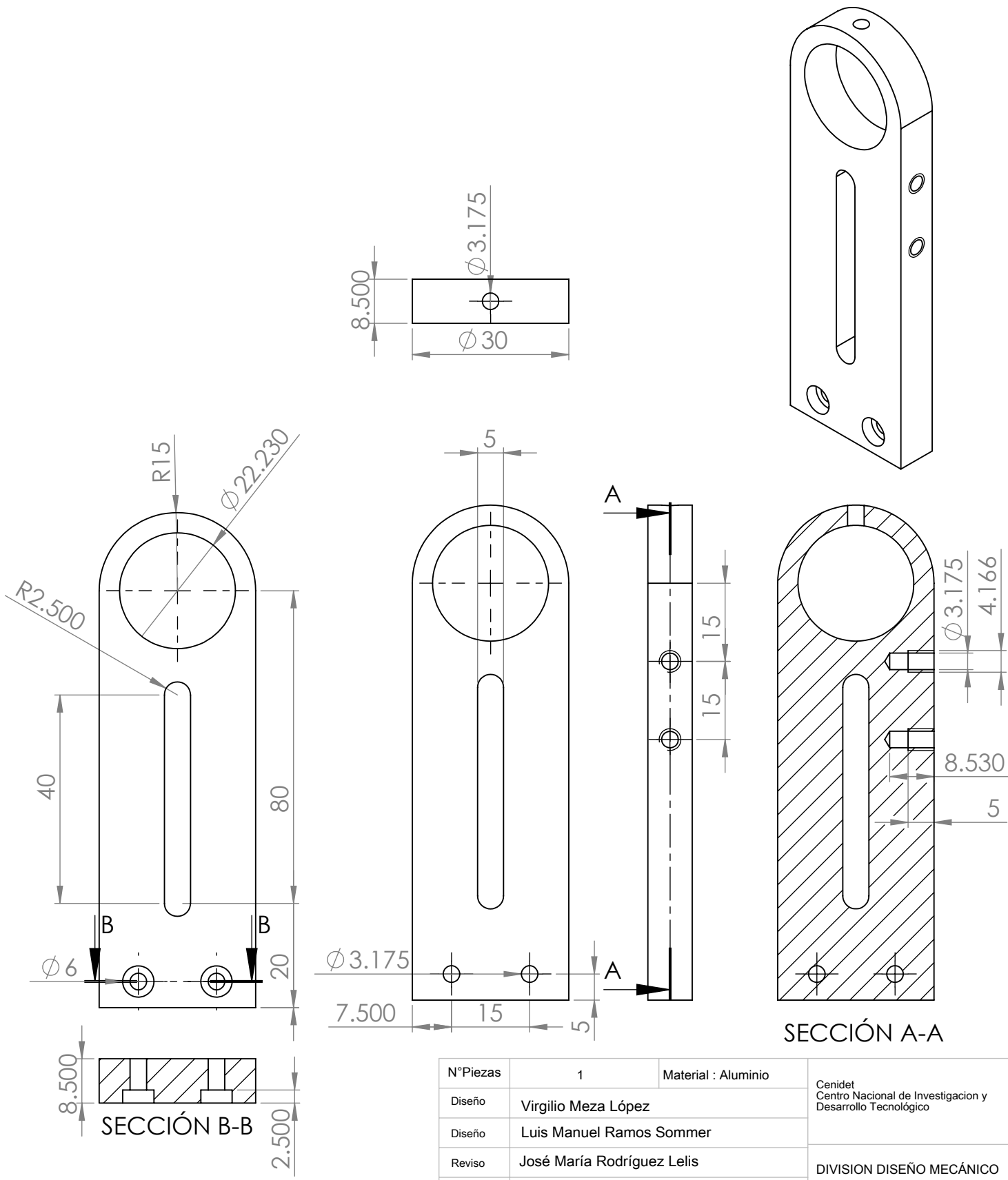


SECCIÓN C-C



5

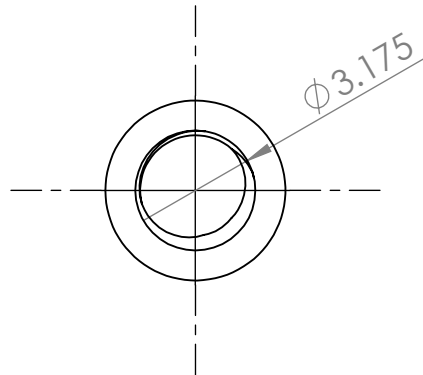
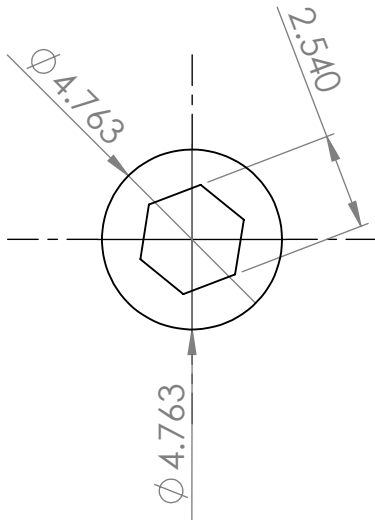
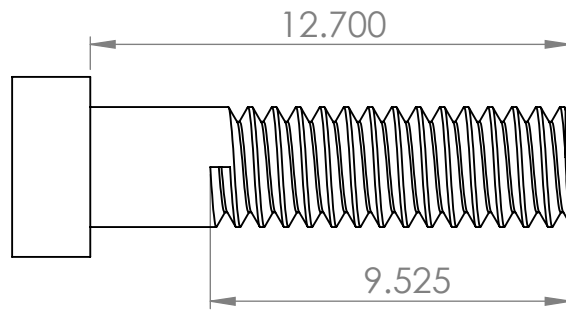
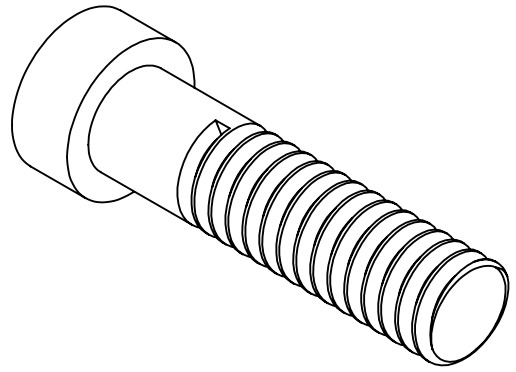
N°Piezas	1	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis			
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala	Nombre:		N°.Dibujo	Hoja:
SIN			3	1/1
Unidades	Soporte del pendulo			
mm				



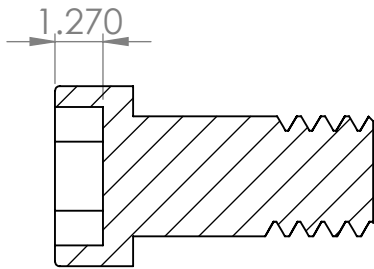
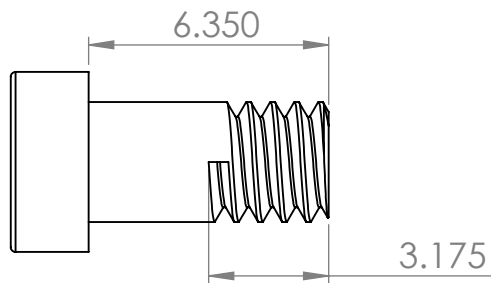
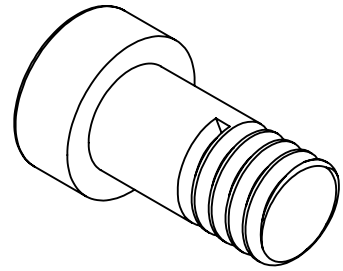
SECCIÓN A-A

SECCIÓN B-B

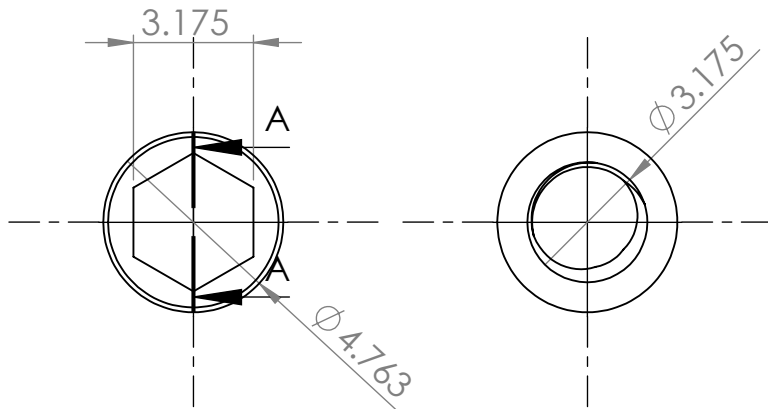
N°Piezas	1	Material : Aluminio	Cenidet Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico			
Diseño	Virgilio Meza López					
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer		DIVISION DISEÑO MECÁNICO			
Reviso	José María Rodríguez Lelis					
Aprobó	José María Rodríguez Lelis					
Escala	SIN	Nombre:	N°.Dibujo			
Unidades		Soporte 1			Hoja:	
mm						



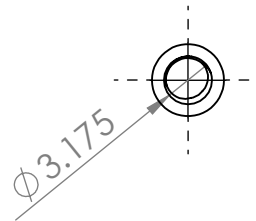
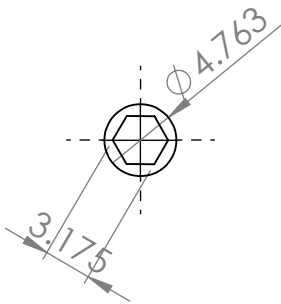
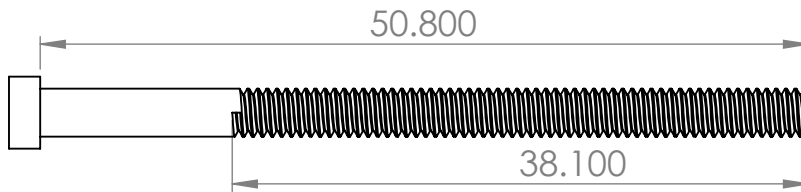
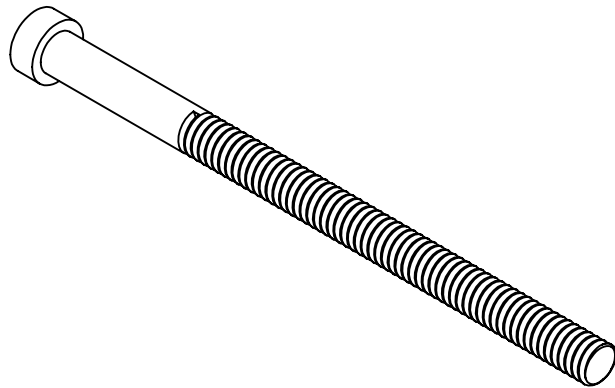
N°Piezas	4	Material : Acero	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 5:1	Nombre:			
Unidades	Tornillo 4		N°.Dibujo	Hoja:
mm			9	1/1



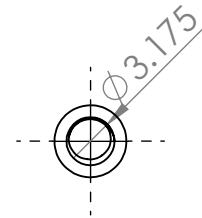
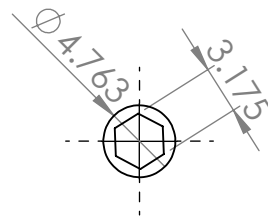
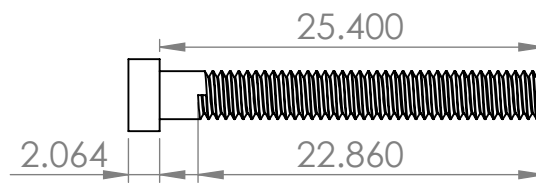
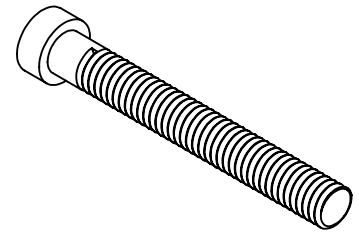
SECCIÓN A-A



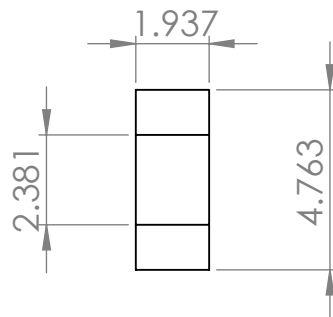
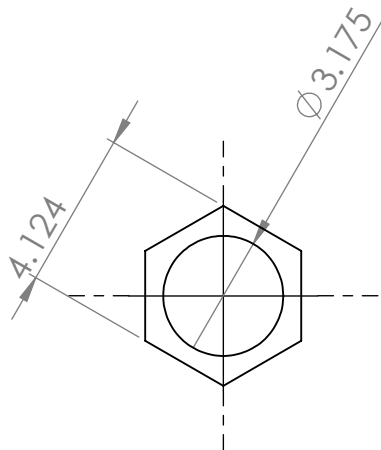
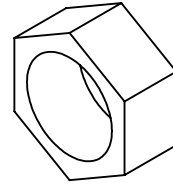
N°Piezas	29	Material : Acero	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 5:1	Nombre:			
Unidades	Tornillo 4		N°.Dibujo	Hoja:
mm			8	1/1



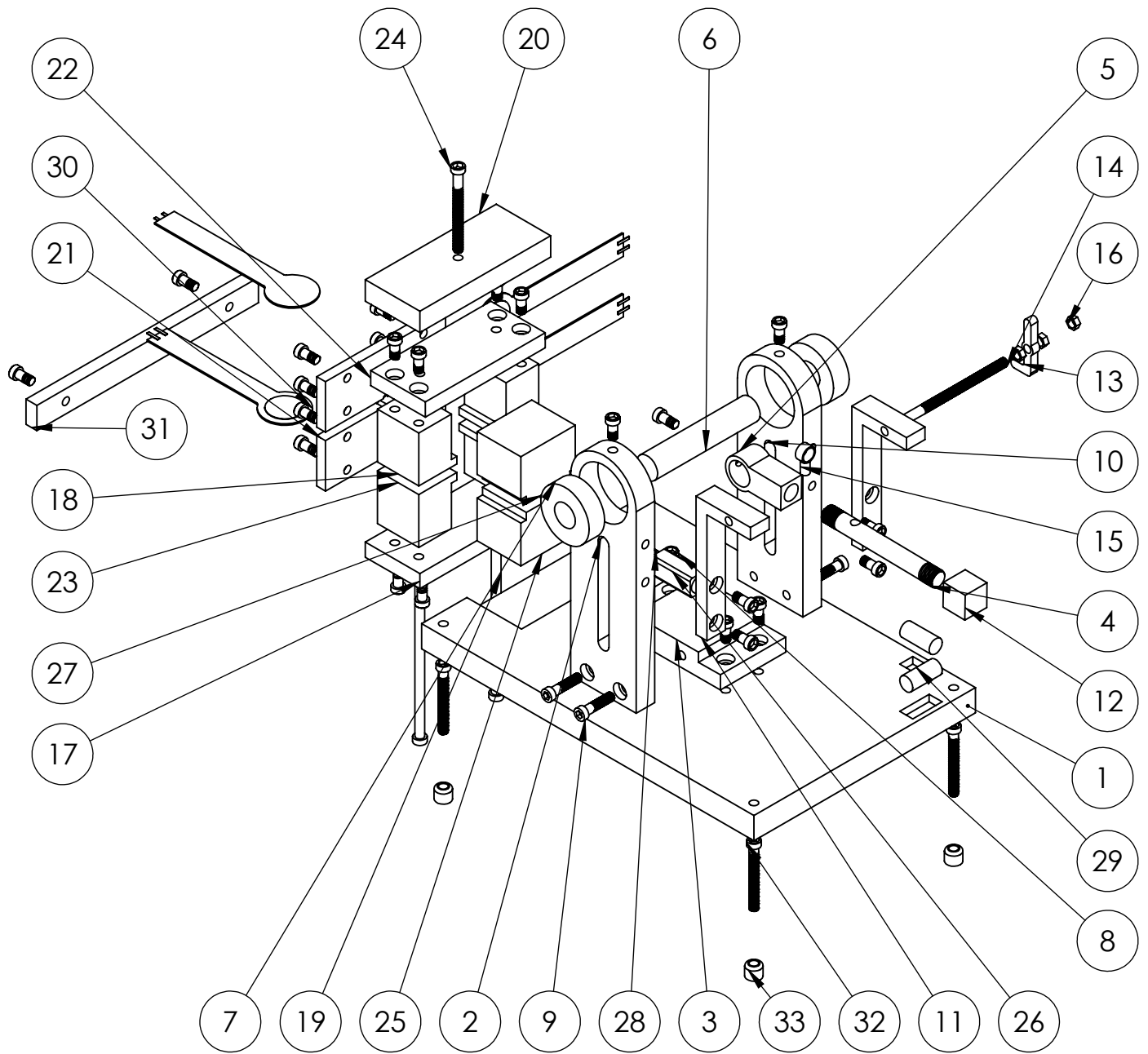
N°Piezas	1	Material : Acero	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 2:1	Nombre:			
Unidades	Tornillo 5		N°.Dibujo	Hoja:
mm			14	1/1



N°Piezas	4	Material : Acero	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 2:1	Nombre:			
Unidades mm	Tornillo 6		N°.Dibujo 32	Hoja: 1/1



N°Piezas	3	Material : Acero	Cenidet Centro Nacional de Investigacion y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Virgilio Meza López			
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 5:1	Nombre:			
Unidades	Tuerca		N°.Dibujo	Hoja:
mm			16	1/1



N°Piezas		Material :		
Diseño	Virgilio Meza López		Cenidet Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico	
Diseño	Luis Manuel Ramos Sommer			
Reviso	José María Rodríguez Lelis		DIVISION DISEÑO MECÁNICO	
Aprobó	José María Rodríguez Lelis			
Escala 1:2	Nombre:			
Unidades	Dispositivo		N°.Dibujo	Hoja:
mm			E1	1/1