

Construcción de un motor Stirling tipo alfa que utiliza biogás como combustible

Yordi Andrés Pineda Hernández

Trabajo de grado para optar al grado de:
Tecnólogo en Mecánica Industrial

Asesor:
Andrés David Morales Rojas

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
Facultad de Ingeniería
Departamento de Mecánica
Tecnología en Mecánica Industrial
2022

Dedicatoria

Este trabajo de grado va dedicado a mi familia que de una manera u otro tuvieron que ver en la realización de este, gracias a su apoyo incondicional he logrado culminar con éxito mi carrera universitaria, quiero dedicar en especial a mi madre y mi padre, que con su amor infinito he logrado la suficiente fortaleza para llevar cualquier adversidad.

Agradecimientos

Quiero comenzar este apartado dándole mil gracias a las personas que ha sido pieza clave en la realización de este trabajo. Muchas gracias por sus conocimientos, orientaciones, paciencia y su actitud ante este trabajo al técnico operativo Javier De Jesús Mejía Sierra, también al profesor Andrés David Morales Rojas; personas que han sido fundamentales para mi formación como investigador.

Quiero también expresar mi agradecimiento a todos esos profesores que también han aportado su granito de arena en determinados momentos de este viaje.

Quiero agradecerles a mis compañeros del semillero, Jorge Ceballos, Oscar Arcila, Mauricio Carmona, Elina Naranjo, Juan Diego, Sebastián Castro, Diego Areiza, Emanuel Contreras, con su apoyo incondicional y acompañamiento, han sido muy importantes para la realización de este proyecto, sus aportes e interacciones en el día a día hicieron que este trabajo fuera un éxito.

Sirvan estas palabras para agradecer a todas aquellas personas que han confiado en mí y siempre han tenido palabras de aliento y ánimo. ¡Espero no haberos fallado!

Finalmente agradecemos a todos mis compañeros monitores de taller y a la Institución Universitaria Pascual Bravo por la formación académica y laboral, adquirida durante este ciclo universitario.

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	2
Agradecimientos	3
Tabla de contenido.....	4
Índice de figuras.....	5
Resumen.....	6
Identificación y descripción del problema.....	8
Justificación	9
Objetivos del trabajo de grado	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos	10
Marco teórico	11
Antecedentes y Evolución Histórica.....	11
Motor Tipo Alfa.....	12
Motor Tipo Beta.....	13
Motor Tipo Gamma	13
Elección del motor y principio de funcionamiento ciclo Stirling	14
Ventajas.....	16
Desventajas	17
Modelo de cálculo de Schmidt para el motor Stirling tipo alfa	17
Estado del arte.....	22
Metodología	23
Resultados	25
Construcción.....	25
Ensamble del motor	26
Pruebas.....	27
Conclusiones.....	28
Bibliografía.....	29
Anexos A. Planos de construcción.....	31

Índice de figuras

Figura 1 Robert Stirling (La universidad de edimburgo, s.f.).....	11
Figura 2. Motor Stirling Original. Fuente: (Stirling Engines).	12
Figura 3 Motor Stirling Tipo Alfa (Chaves Ucurio & Orquera Revelo, 2012)	13
Figura 4 Motor Stirling Tipo beta (Chaves Ucurio & Orquera Revelo, 2012)	13
Figura 5 Motor Stirling Tipo Gamma (Chavez Acurio & Orquera Revelo, 2012)	14
Figura 6 Ciclo ideal (Pascual Toledo, J. I.;)	14
Figura 7 Ciclo Stirling del motor tipo Alfa (Partner, 2001)	15
Figura 8 Ciclo Stirling del motor tipo Alfa (Partner, 2001)	15
Figura 9 Ciclo Stirling del motor tipo Alfa (Partner, 2001)	16
Figura 10 Ciclo Stirling del motor tipo Alfa (Partner, 2001)	16
Figura 11 Diagrama Presión volumen	17
Figura 12. Figura 13 Diagrama de flujo metodología.....	24
Figura 14. Motor Stirling de la Universidad de Pamplona	25
Figura 15. motor Stirling propuesto por la Institución Universitaria Pascual Pravo.....	25
Figura 16 Fabricación	26
Figura 19 pruebas del motor Stirling	27

Resumen

El presente proyecto busca trascender en el conocimiento de los motores Stirling, al buscar nuevas fuentes de energía renovable, vemos la necesidad de sistemas capaces de producir energías alternativas y lograr disminuir los usos de combustibles fósiles, por lo cual se implementó el uso de la biomasa como fuente principal de energía para un motor Stirling tipo alfa donde se ha demostrado que el diseño de este juega un papel importante a lo largo de la historia. al construir este motor Stirling de tamaño escala nos servirá para seguir analizando el sistema y sus diferentes pruebas, sabiendo que cualquier diferencia de temperatura bastaría para mejorar el rendimiento y la potencia.

Para la construcción del motor Stirling, se realizó diferentes modificaciones partiendo del diseño CAD propuesto por la Universidad de Pamplona, España, se realiza los diferentes estudios de dimensionamiento para establecer el tamaño que adoptaría utilizando los programas CAD para su modelamiento y verificación de este.

Se realizan diferentes etapas partiendo desde la recopilación del marco teórico e información bibliográfica, ecuaciones y modelos matemáticos, se llevan a cabo cada una de las mejoras CAD, la cantidad de pizas a realizar y materiales a utilizar, por último, utilizamos máquinas-herramientas convencionales y CNC de manufactura avanzada donde se pone en marcha el motor para la recopilación de resultados.

El motor Stirling tipo alfa construido utiliza biogás como combustible, se hizo de tal forma que sea fácilmente armable. Tiene un diseño simple y compacto, y un costo de producción relativamente bajo. En este diseño se buscó que fuera funcional, de manera de reducir los errores humanos durante la construcción, adicional se realizaron cálculos de variación de volúmenes muertos con el fin de mejorar su eficiencia energética y de esta manera generar energía eléctrica que permita a las zonas rurales más apartadas solucionar las dificultades de no estar conectados a la red eléctrica del país.

Introducción.

Uno de los grandes problemas a nivel mundial es la explotación de los recursos energéticos y el uso masivo de estos. Tanto que, en los últimos años, el uso de los combustibles fósiles se ha convertido en la principal fuente de contaminación en el mundo. Muchas de las zonas rurales de nuestro país, habitadas por campesinos de escasos recursos, no están conectados a la matriz energética nacional, debido a que no es posible cubrirlas por el alto costo que implica llevar la red eléctrica hasta sus casas. Adicionalmente, en estas zonas, es común el uso de otras fuentes tradicionales de energía como la madera, lo cual contribuye a la deforestación, generando problemas sociales y ambientales. Aquí, surge la necesidad de reducir nuestra dependencia a los combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, mediante el uso de energías renovables.

Es por esto por lo que la biomasa es de gran importancia, ya que nos permite, con el paso del tiempo, recuperar el equilibrio de los ecosistemas mediante el uso de tecnologías renovables. La biomasa es un recurso energético renovable que se usa como combustible natural y tiene procedencias muy variadas, ya que son subproductos que se derivan de transformaciones naturales e industriales que se llevan a cabo en la materia orgánica.

El motor Stirling se presenta como una alternativa tecnológica sostenible que se está comenzando a implementar. Este motor es una máquina térmica de combustión externa que presenta una variación de temperatura entre las fuentes térmicas, con bajos niveles de ruido y emisiones, se destaca porque puede utilizar cualquier fuente de energía externa como combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, energía nuclear, solar, fuentes geotermales, entre otros (Agüero Zamora, 2006). Cuenta con su principal ventaja la versatilidad de fuentes de energía utilizables para su funcionamiento, como también su rendimiento, este motor Stirling es el único capaz de aproximarse al rendimiento máximo teórico conocido. Otra de sus ventajas importantes, es que puede ser usado con un proceso de combustión continua, por lo cual se pueden reducir la mayor parte de las emisiones de hollines e hidrocarburos; pero también podemos decir que tiene pequeñas desventajas como lo es el encendido lento, esto se da porque el motor Stirling no puede arrancar instantáneamente. Su gran tamaño puede ser desventaja por qué si el motor trabaja con diferenciales térmicos, estos serían muy grandes.

Actualmente la investigación sobre el motor Stirling y sus posibles aplicaciones no está muy desarrollada, ya que los motores tipo diésel y gasolina han ganado terreno a lo largo de las décadas. Además, no se ha obtenido un motor suficientemente pequeño y potente para reemplazar a otras tecnologías en muchas aplicaciones, como en la automoción. Sin embargo, comienza una tendencia al uso de energías renovables y una implementación de medidas de ahorro energético. (Varela Souto, 2014)

Identificación y descripción del problema.

En Colombia hay diversas zonas rurales de difícil acceso, que no cuentan con un buen suministro de energía o no existe dicho suministro. En los últimos años el uso de los combustibles fósiles se ha convertido en la principal fuente de contaminación en el Mundo. Adicionalmente, se emplean otras fuentes tradicionales de energía, como lo es el petróleo o el carbón, que contribuye a la deforestación, generando problemas sociales y ambientales (Ramirez Quirama & Taborda Vergara, 2014).

Desde esta perspectiva surge la necesidad de emplear energías alternativas que sean eficientes y amigables con el medio ambiente. En las zonas rurales, encontramos abundantes residuos de biomasa que se pueden aprovechar para producir energía y como abono (UNAL & TECSOL, 2017) de modo que la calidad de vida de estas personas mejora, al hacer uso racional de los recursos que tienen a su alcance, reduciendo los gases de efecto invernadero que son generados cerca o dentro de las viviendas (Ramirez Quirama & Taborda Vergara, 2014). El biogás residual es un proceso de degradación microbiana de la materia orgánica (residuos animales y vegetales), que reduce a moléculas solubles, partiendo del proceso de fermentación en ausencia de oxígeno que da una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono) conocida como biogás. Siendo aprovechado por el motor Stirling, para generar combustión, dándonos variación de temperatura entre sus fuentes térmicas, y debido a esto enviar menos gases contaminantes al ambiente. (Ramirez Quirama & Taborda Vergara, 2014).

El biogás residual es un proceso de degradación microbiana de la materia orgánica (residuos animales y vegetales), que reduce a moléculas solubles, partiendo del proceso de fermentación en ausencia de oxígeno que da una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono) conocida como biogás. Siendo aprovechado por el motor Stirling, para generar combustión, dándonos variación de temperatura entre sus fuentes térmicas, y debido a esto enviar menos gases contaminantes al ambiente.

Con base a lo anterior para enfrentar este problema en las zonas apartadas sin conexión energéticamente y disminuir el impacto que sufre el medio ambiente, se busca la generación de energías limpias. Ante esta situación este trabajo tiene como objetivo fabricar un motor Stirling tipo alfa (biodigestor, quemador, motor Stirling y generador) que utiliza biogás como combustible. Partiendo del diseño inicial de la universidad de pamplona. (Sanchez., 2010)

Justificación

Al buscar nuevas fuentes de energía renovable, vemos la necesidad de indagar en propuestas para la creación de sistemas en los cuales la energía se puede producir de manera más eficiente y sostenible, con el fin de disminuir los usos de los combustibles fósiles. Colombia es uno de los países que cuenta con los recursos necesarios para la utilización de las energías renovables. Desde allí toma importancia la biomasa, ya que se trata de recursos energético renovable que tiene procedencias muy variadas, porque son subproductos que se derivan transformaciones naturales e industriales que se llevan a cabo en la materia orgánica.

Teniendo en cuenta lo anterior, surge la necesidad de plantear en este trabajo de grado; la construcción de un motor Stirling tipo alfa, el cual es una máquina capaz de convertir el calor producido por un quemador bunsen, este último utilizando el biogás creado en un biodigestor, en energía mecánica. El funcionamiento se debe al confinamiento de un gas sometido a un delta de temperatura que provoca un movimiento alternante de un desplazador que posteriormente se transforma en movimiento circular en una volante. Este motor cuenta tiene como principal característica, una alta eficiencia térmica y la posibilidad de usar diferentes fuentes de calor.

Por lo tanto, al construir este motor Stirling de tamaño escala nos servirá para seguir analizando el sistema por medios teóricos y con pruebas, sabiendo que cualquier diferencia de temperatura bastaría para mejorar el rendimiento y la potencia, convirtiendo este proyecto en la fuente de transformación energética más viable tanto del país como del mundo.

Objetivos del trabajo de grado

Objetivo general

Construir un prototipo de motor Stirling tipo alfa adaptado para utilizar la combustión de biogás como suministró energético.

Objetivos específicos

- Realizar los cálculos pertinentes para establecer las dimensiones que adoptaría el motor Stirling.
- Diseñar el motor Stirling y el concentrador de calor utilizando herramientas de diseño CAD.
- Fabricar el motor Stirling utilizando los diferentes procesos de manufactura disponibles en la Institución.

Marco teórico

Antecedentes y Evolución Histórica

A principios del siglo XIX la revolución industrial comienza a cobrar protagonismo. La máquina de vapor, que ya cuenta con algunos años de desarrollo, constituye el símbolo de esta etapa histórica. Sin embargo, estas máquinas eran grandes, costosas, ineficaces y peligrosas, ya que las calderas explotaban frecuentemente al alcanzar altas presiones, causando graves accidentes. Problemas de diseño, baja calidad de materiales y escasos o nulos planes de mantenimiento era el origen de estos. Por otro lado, aun no se habían desarrollado motores simples, accesibles para pequeñas industrias y de construcción económica. Probablemente, estos inconvenientes propiciaron que el 17 de septiembre de 1816 el reverendo escocés Robert Stirling, (Santos Ráez, 2015). propusiera la patente número 4081 (aceptada el 20 de enero de 1817) con título:



Figura 1 Robert Stirling (La universidad de edimburgo, s.f.)

“Mejoras para disminuir el consumo de combustible y en particular un motor capaz de ser aplicado al movimiento de maquinaria con base a un principio completamente nuevo”, es decir, un motor de ciclo cerrado, donde las etapas de funcionamiento se suceden de forma continuada, conocido como el “motor de aire caliente” (hot-air engine). La invención del motor de combustión externa de ciclo cerrado por Robert Stirling, en 1816, fue todo un avance en conocimiento científico para la época. Pasaron más de 30 años para llegar a comprender realmente la forma de operar del motor. (Santos Ráez, 2015)

Su funcionamiento se basaba en una combustión externa, aire como fluido de trabajo principal a presión moderada y sujeto a los procesos de: calentamiento, expansión, enfriamiento y compresión. Además, incorporaba un economizador de calor (regenerador), dispositivo para mejorar el rendimiento térmico. Una diferencia importante en aquella época era que este motor no explotaba a causa del vapor, ya que su medio de trabajo era aire a

presión atmosférica, lo que lo convertía en una máquina muy segura. Proporcionaba una potencia de aproximadamente 1 kW girando a 28 rpm. (Santos Ráez, 2015)

Las primeras aplicaciones de este motor consistieron en fuentes de baja potencia de pequeñas máquinas y herramientas. Su hermano James Stirling lo insertó como motor de uso industrial en la fábrica en la que él mismo trabajaba como ingeniero en 1843. Además, tuvo diversos usos tanto en aplicaciones industriales como agrícolas, en 1922 su aplicación llegó incluso al accionamiento de bombas de agua y generadores eléctricos. El inventor sueco John Ericsson diseñó y construyó un barco movido por un motor Stirling y logró una patente para una bomba de agua accionada por esta máquina (Robert Stirling) Figura 2.

A pesar de ser un motor seguro y eficiente, no tuvo el éxito que los hermanos Stirling hubieran deseado, de manera que la máquina de vapor les ganó la batalla. Asimismo, en el año 1876 el ingeniero Otto desarrolló el motor de combustión interna alternativo de encendido provocado (MEP), y posteriormente en 1891, Diésel patentó su motor de encendido por compresión (MEC), ambos motores, por razones competitivas hicieron olvidar el Stirling. Por otro lado, la generación de electricidad se empezaba a focalizar en grandes centrales eléctricas, apareciendo las primeras redes eléctricas de distribución y transporte.

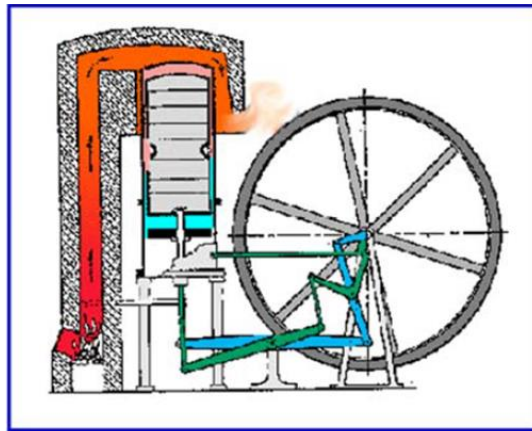


Figura 2. Motor Stirling Original. Fuente: (Stirling Engines).

Clasificación de los motores Stirling.

Existen 3 tipos de modelos de motores Stirling: alfa, beta, y gama, las diferencias entre estos, está en la complejidad del mecanismo con el cual se diseñe; pero tienen la misma finalidad

Motor Tipo Alfa.

Este motor consta de dos cilindros desfasados entre sí 90° y conectados por un cigüeñal que hace que la relación potencia/volumen sea bastante alta, consta de un cilindro donde se sitúa la zona fría, y otro donde se sitúa la zona caliente, en los dos cilindros siempre habrá pérdida de aire, en el cilindro caliente la pérdida de aire debido a la expansión es mayor que la del cilindro frío.

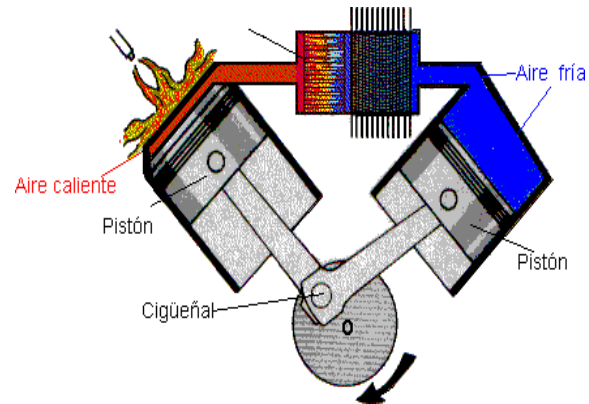


Figura 3 Motor Stirling Tipo Alfa (Chaves Ucurio & Orquera Revelo, 2012)

Motor Tipo Beta

Este tipo de motor tiene como principal característica un solo cilindro con dos zonas, una caliente y otra fría. En el interior del cilindro también se encuentra un desplazador que posibilita el movimiento de aire, y concéntrico con este, se encuentra el pistón de potencia, cuyo movimiento está desfasado 90° respecto al desplazador. Este tipo de motor trabaja como un sistema de ciclo cerrado que le permite que sea el más eficaz. Todo lo que se añade al sistema es de alta temperatura, temperatura constante, y todo lo que se elimina del sistema es de baja temperatura (residuos) de calor, además consta de cuatro fases. Si no existe regenerador, el motor también funciona, pero su rendimiento es inferior.

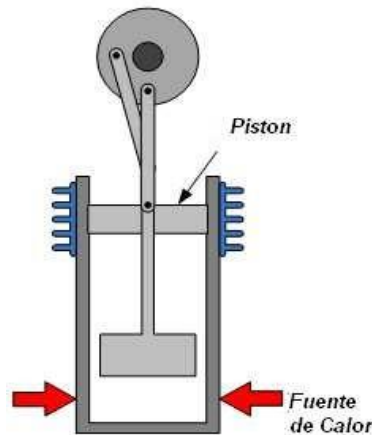


Figura 4 Motor Stirling Tipo beta (Chaves Ucurio & Orquera Revelo, 2012)

Motor Tipo Gamma

Este motor es derivado del beta, el cual se diferencia por poseer dos cilindros separados, unidos por un cigüeñal, en uno se sitúa el desplazador y en otro el pistón de potencia desfasados a 90° . Los sistemas para enfriar y calentar son idénticos a los del tipo beta, pero su potencia es menor, siendo menos eficaz termodinámicamente debido a que la expansión de trabajo se realiza en su totalidad a una temperatura más baja.

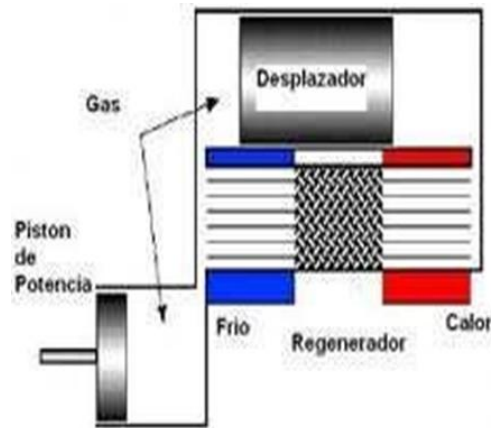


Figura 5 Motor Stirling Tipo Gamma (Chavez Acurio & Orquera Revelo, 2012)

Elección del motor y principio de funcionamiento ciclo Stirling

El motor Stirling presenta el siguiente funcionamiento, compuesto de cuatro fases:

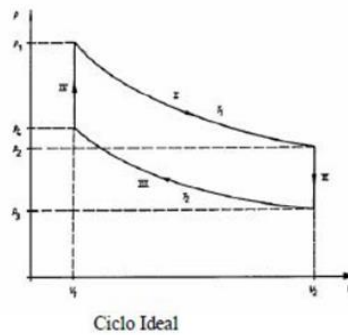


Figura 6 Ciclo ideal (Pascual Toledo, J. I.;)

Fase 1

Por medio de la energía captada, se calienta el gas de trabajo hasta llegar a su temperatura máxima generando una expansión de este. El pistón se desplaza hacia abajo transmitiendo movimiento al cigüeñal. El gas de trabajo se desplaza por el regenerador hacia la zona fría. (Chaves Ucurio & Orquera Revelo, 2012)

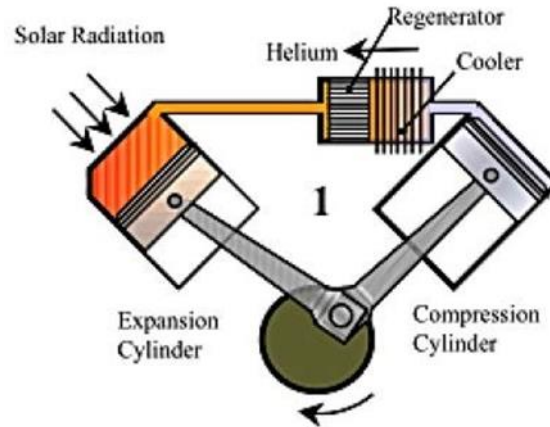


Figura 7 Ciclo Stirling del motor tipo Alfa (Partner, 2001)

Fase 2

Cuando el gas de trabajo va ocupando el espacio en el cilindro frío, el mecanismo de biela manivela genera un empuje del cigüeñal el cual permite desplazar el pistón caliente de su punto inferior a su punto superior. En este punto del proceso la presión cae ya que la temperatura disminuye por la transferencia de calor. (Chaves Ucurio & Orquera Revelo, 2012)

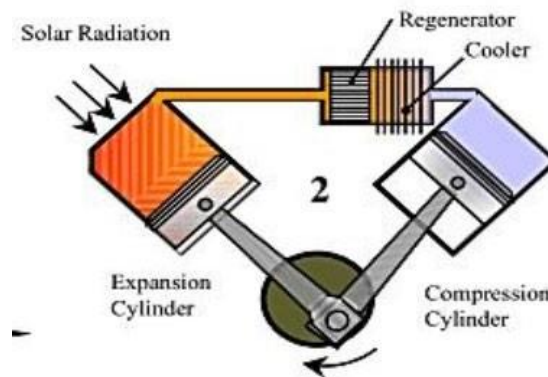


Figura 8 Ciclo Stirling del motor tipo Alfa (Partner, 2001)

Fase 3

El pistón de la zona caliente se desplaza hacia la parte superior (compresión) cuando el gas de trabajo ocupa todo el volumen del cilindro frío, gracias al proceso de transferencia de calor ya que su temperatura disminuye y la presión cae. En este proceso el volante de inercia ayuda a la compresión del gas. (Chaves Ucurio & Orquera Revelo, 2012)

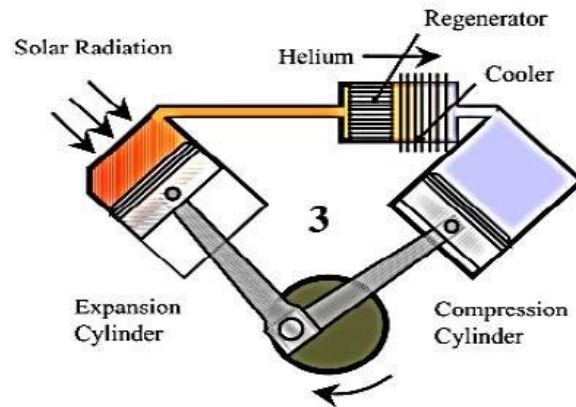


Figura 9 Ciclo Stirling del motor tipo Alfa (Partner, 2001)

Fase 4

El volumen del gas de trabajo en la zona fría ya es mínimo y el pistón caliente se encuentra en su punto superior. El gas se calienta de nuevo para iniciar el empuje del pistón caliente hacia el punto inferior. Nuevamente inicia el ciclo. (Chaves Ucurio & Orquera Revelo, 2012)

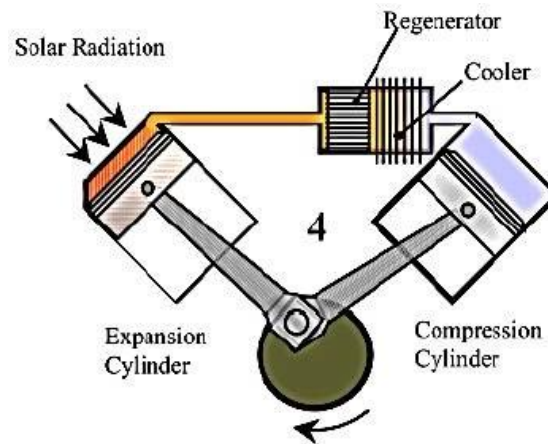


Figura 10 Ciclo Stirling del motor tipo Alfa (Partner, 2001)

Ventajas y desventajas del motor Stirling

Ventajas

- El aporte de calor es externo por lo que sus condiciones de combustión son flexibles.
- Funciona con cualquier fuente de calor.
- Reduce la mayor parte de las emisiones.
- Requieren de poca lubricación.
- Cuenta con mecanismos sencillos.
- Usa un fluido de trabajo de una única fase, manteniendo las presiones internas cercanas a la presión de diseño y reduce los riesgos de explosión.

Desventajas

- Baja densidad de potencia debido a la combustión externa.
- Lo condiciona su tamaño.
- La construcción puede resultar difícil para que tenga una larga vida útil.
- Largo tiempo de encendido y apagado del motor.
- Lento tiempo de respuesta, es decir no tiene un arranque inmediato, sino que pasado un tiempo de calentamiento comienza a ganar velocidad.
- Se requieren grandes superficies de intercambios de calor

Modelo de cálculo de Schmidt para el motor Stirling tipo alfa

La presente descripción está basada en el documento de Koichi Hirata "Schmidt Theory for Stirling Engines". La teoría Schmidt es uno de los métodos de cálculo isotérmicas para motores Stirling. Es el método más simple y muy útil para el desarrollo motor Stirling. Esta teoría se basa en la expansión compresión isotérmica de un gas ideal. El rendimiento del motor se puede calcular en un diagrama PV . El volumen en el motor se calcula fácilmente mediante el uso de la geometría interna. Cuando el volumen, la masa del gas de trabajo y la temperatura se decide previamente, la presión se calcula usando el método de gas ideal, como se muestra en la ecuación (22).

$$* V = m * R * T \quad (1)$$

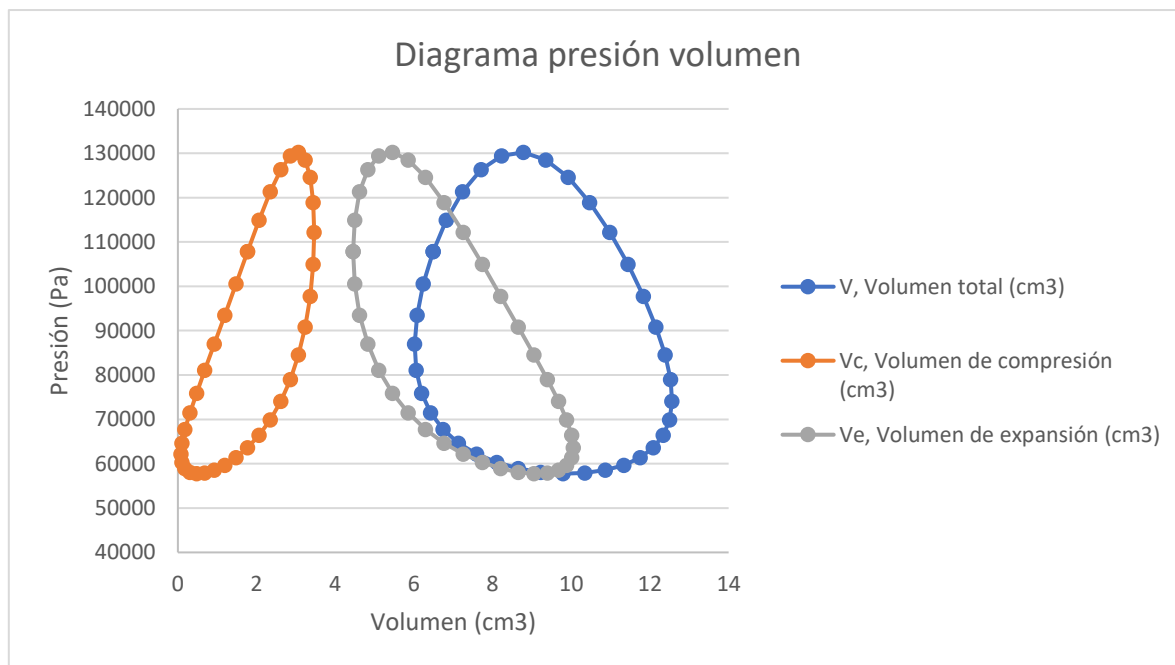


Figura 11 Diagrama Presión volumen

puede observar el desempeño del motor, el volumen del motor se calcula mediante la geometría interna y la posición del ángulo en el que el cigüeñal se encuentra. Se establecen los volúmenes, las temperaturas y la masa de trabajo, la presión es calculada mediante la ley de los gases ideales. (Pascual Toledo, J. I.;)

La presión del motor puede calcularse con arreglo siguientes supuestos ideales:

- No hay pérdida de presión en los intercambiadores de calor y no hay diferencias de presión interna.
- El proceso de expansión y el proceso de compresión el cambio es isotérmico.
- Las condiciones del gas de trabajo se consideran como un gas ideal.
- Existe una regeneración perfecta.
- El espacio muerto de expansión mantiene la temperatura del gas en el espacio de expansión T_e , el espacio muerto de compresión mantiene la temperatura del gas en el espacio de compresión T_c durante el ciclo.
- La temperatura del gas en el regenerador es un promedio de la temperatura del gas en el espacio de expansión T_e y la temperatura del gas en el espacio de compresión T_c .
- El espacio de expansión V_e y el espacio de compresión V_c cambia de acuerdo con las curvas de seno.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los símbolos utilizados la Teoría Schmidt.

Tabla 1 Simbología del modelo de Schmidt. Fuente adaptada

Nombre	Símbolo	Unidad
Volumen de barrido (cilindrada) del pistón de expansión o desplazador	V_{se}	m^3
Angulo del cigüeñal	x	$^{\circ}; rad$
Volumen muerto en el espacio de expansión	V_{de}	m^3
Volumen en el espacio de expansión	V_e	m^3
Volumen de barrido (cilindrada) del pistón de compresión o pistón de trabajo	V_{sc}	m^3
Angulo de desfase	dx	$^{\circ}; rad$
Volumen muerto en el espacio de compresión	V_{dc}	m^3
Volumen en el espacio de compresión	V_c	m^3
Volumen en el regenerador	V_r	m^3
Volumen total	V	m^3
Temperatura del gas en el espacio de expansión	T_e	K
Temperatura del gas en el espacio de compresión	T_c	K

Temperatura relativa	$t = \frac{T_c}{T_e}$	
Volumen de recorrido relativo	$v = \frac{V_{sc}}{V_{se}}$	
Volumen muerto relativo de expansión	$X_{de} = \frac{V_{de}}{V_{se}}$	
Volumen muerto relativo de compresión	$X_{dc} = \frac{V_{dc}}{V_{se}}$	
Volumen relativo del regenerador	$X_r = \frac{V_r}{V_{se}}$	
Temperatura del gas en el regenerador	T_r	K
Presión atmosférica	P_{atm}	Pa
Constante del gas de trabajo	R_g	$\frac{kJ}{kg * K}$
Masa total del gas de trabajo	M	kg
Presión media o de trabajo	P_w	Pa
Presión del motor Stirling	P_{st}	Pa
Energía en el espacio de expansión	W_e	J
Energía en el espacio de compresión	W_c	J
Energía indicada del motor Stirling	W_i	J
Potencia en el espacio de expansión	L_e	W
Velocidad del motor	n	$\frac{rad}{s}$
Potencia en el espacio de compresión	L_c	W
Potencia indicada en el motor Stirling	L_i	W
Eficiencia térmica	e	

Modelo de primer orden para dimensionamiento del motor

Para este proyecto nos basaremos en los modelos de cálculo de primer orden, por permitir un abordaje sencillo para lograr establecer unas dimensiones iniciales. Este modelo supone solo la conservación de la masa, mientras que el modelo de segundo orden implica tomar en cuenta la conservación de la energía y los modelos de tercer orden presuponen la conservación de la masa, la energía y el momento lineal.

Lo primero es determinar los volúmenes de la expansión y de compresión del cilindro para un ángulo de cigüeñal dado. Se determinan en primer lugar los volúmenes en el momento que el cigüeñal describe un ángulo x . Este ángulo del cigüeñal se define como $x = 0$ cuando se encuentra el pistón de expansión en la posición más superior (punto muerto superior PMS).

El volumen de expansión en el momento V_e se describe en la ecuación (2) con un volumen de desplazamiento del pistón de expansión V_{se} , una expansión de volumen muerto V_{de} .

$$V_e = \frac{V_{se}}{2} (1 - \cos(x)) + V_{de} \quad (2)$$

El volumen de compresión en el momento V_c se encuentra en la ecuación (22) con un volumen de barrido del pistón de compresión V_{sc} , un volumen muerto de compresión V_{dc} y un ángulo de fase dx .

$$V_c = \frac{V_{sc}}{2}(1 - \cos(x - dx)) + V_{dc} \quad (1)$$

El volumen total se calcula en la ecuación (4).

$$V = V_c + V_r + V_e \quad (2)$$

La relación temperatura t , una relación de volumen de barrido v y otras relaciones de volumen muerto se encuentran utilizando las ecuaciones (3), (4), (5), (6) y (7):

$$t = \frac{T_c}{T_e} \quad (3)$$

$$v = \frac{V_{sc}}{V_{se}} \quad (4)$$

$$X_{de} = \frac{V_{de}}{V_{se}} \quad (5)$$

$$X_{dc} = \frac{V_{dc}}{V_{se}} \quad (6)$$

$$X_r = \frac{V_r}{V_{se}} \quad (7)$$

La temperatura del regenerador T_r se calcula en la ecuación (22), mediante el uso de la suposición de (f).

$$T_r = \frac{T_c + T_e}{2} \quad (8)$$

Por los supuestos (a), (b) y (c), la masa total del gas de trabajo M , es constante, por lo tanto, la masa total del gas de trabajo es la suma del gas en el espacio de expansión y el espacio de compresión, se calcula de la siguiente manera en la ecuación (22):

$$m = \frac{P_{atm}}{R_g} * \left(\frac{V_{se}}{T_e} + \frac{V_{sc}}{T_c} \right) \quad (9)$$

La ecuación (10) y (22), son variables propias de modelo:

$$S = t + 2 * t * X_{de} + \frac{4 * t * X_r}{1 + t} + v + 2 * X_{dc} \quad (10)$$

$$B = \sqrt{t^2 + 2 * t * v * \sin(dx) + v^2} \quad (11)$$

La presión media o de trabajo P_w , se calcula de la siguiente manera:

$$P_w = \frac{2 * m * R * T_c}{V_{se} * \sqrt{S^2 + B^2}} \quad (12)$$

La ecuación (22), relaciona las ecuaciones (10) y (11) de la siguiente manera:

$$c = \frac{B}{S} \quad (13)$$

La ecuación (22), es una nueva variable propia del sistema, necesaria para los siguientes cálculos:

$$a = \tan^{-1} \frac{v * \sin(dx)}{t + \cos(dx)} \quad (14)$$

Como resultado, la presión del motor P_{st} , basada en la presión de trabajo del motor P_w que se defina al principio, se calcula en la ecuación (18).

$$P_{st} = \frac{P_w * \sqrt{1 - c^2}}{1 - c * \cos(x - a)} \quad (15)$$

La energía (área encerrada en el diagrama P-V) en el espacio de expansión y de compresión pueden ser calculadas analíticamente con el uso de los coeficientes anteriores. La energía en el espacio de expansión W_e , está dada en la ecuación (16).

$$W_e = \frac{P_w * V_{se} * \pi * c * \sin(a)}{1 - \sqrt{1 - c^2}} \quad (16)$$

La energía en el espacio de compresión W_c , está dada en la ecuación (17).

$$W_c = \frac{P_w * V_{se} * \pi * c * t * \sin(a)}{1 - \sqrt{1 - c^2}} \quad (17)$$

La energía indicada del motor Stirling W_i , es dada en la ecuación (18).

$$W_i = W_e + W_c \quad (18)$$

La potencia en el espacio de expansión L_e , La potencia en el espacio de compresión L_c y la potencia indicada del motor Stirling L_i , están definidas en las ecuaciones (19), (20) y (21).

$$L_e = W_e * n \quad (19)$$

$$L_c = W_c * n \quad (20)$$

$$L_i = W_i * n \quad (21)$$

La energía en el espacio de expansión significa un calor de entrada de una fuente de calor al motor. La energía en el espacio de compresión significa un calor de rechazo del motor al agua o el aire de enfriamiento. Entonces, la eficiencia térmica del motor Stirling se calcula en la ecuación (22):

$$e = \frac{W_i}{W_e} \quad (22)$$

Esta eficiencia es igual a la eficiencia del ciclo de Carnot que es la más alta eficiencia en un motor térmico.

Mejoras realizadas por los hermanos Stirling al diseño original

La principal mejora fue el uso de un nivel de presión, el cual incrementó la eficiencia, otra fue en 1843 cuando convirtieron una máquina de vapor en una que funcionara con su principio, donde alcanzo una potencia de 37 hp, con una presión interna que vario entre 160 a 240 *lbf/pulg²*/ Operando como una máquina de aire consumía menos carbón siendo más segura ya que la caldera no estaba sujeta a una explosión. Los resultados fueron muy satisfactorios, con el inconveniente que las porciones calientes se quemaban después de 6 o 7 meses de uso (Miranda, 2008).

Todos estos modelos no tuvieron gran éxito económico a pesar de que la potencia y la eficiencia eran mayores que la de las máquinas de vapor de la época, la razón principal fue el poco conocimiento de materiales resistentes al calor, ocasionando la quema de los cilindros. (Miranda, 2008)

2-3 regeneración a $v = \text{constante}$, (transferencia de calor interna desde el fluido de trabajo hacia el regenerador); Al llegar al estado 2, los dos pistones se desplazan a la derecha a la misma velocidad, de esta manera se mantiene constante el volumen del gas pasando por la malla o regenerador, la cual en ese instante se encuentra a menor temperatura debido al estado 1. (Howell, J., 2013)

3-4 compresión a $TL = \text{constante}$, (rechazo de calor a un sumidero externo); En el estado 3, todo el gas frío se encuentra en el pistón B, este se mueve a la izquierda mientras que el pistón A se mantiene fijo; simultáneamente se transfiere calor desde el gas de tal manera que la temperatura del gas se mantiene constante durante la compresión. (Howell, J., 2013)

4-1 regeneración a $v = \text{constante}$, (nuevamente, transferencia de calor interna desde un regenerador hacia el fluido de trabajo): En el estado 4 se mantiene el volumen constante como en el estado 1, desplazándose los dos pistones hacia la izquierda, manteniendo el gas a volumen constante y a su vez siendo forzado a pasar por el regenerador. El regenerador gana calor para luego cederlo al gas frío, de esta manera se ve reflejada la disminución de la temperatura en el material del regenerador. El ciclo vuelve a su estado 1 y el regenerador queda listo para recibir la energía del ciclo nuevamente. La transferencia de calor se genera en los procesos isotérmicos 2-3 y 4-1 son de la misma magnitud, pero con signo contrario. El proceso 2-3 tiene adición de calor, o calor positivo; El proceso 4-1 tiene rechazo de calor, o calor negativo. (Howell, J., 2013)

Estado del arte.

El fundamento del motor Stirling radica desde la máquina de vapor la cual aparece en el siglo XIX en la revolución industrial, esta era grande, costosa e ineficaz y por lo mismo peligrosa para los trabajadores debido a las explosiones generadas por las altas presiones que manejan. Su principal característica era generar energía calórica al calentar agua en una caldera y transformarla en energía mecánica por medio del vapor producido, ya que este se expande generando presión para empujar un pistón el cual realiza un movimiento lineal y luego es transformado en circular por un mecanismo biela-manivela lo cual produce el movimiento mecánico buscado. (Varela Souto 2014)

(Manrique, Franco, & Nuñez, 2009) realizó una investigación aplicada al diseño y funcionamiento de un motor Stirling con combustible producido por biomasa, en el cual se

determinó el tiempo de funcionamiento y cantidad necesario para alcanzar la temperatura del foco caliente para hacer funcionar el motor Stirling, también se realizó una comparación sobre la eficacia a la hora de utilizar tres tipos de fuentes de calor. Los resultados demostraron cuál fuente de calor era más eficiente, el tiempo que necesita para llegar a la temperatura máxima y las diferencias de poder calorífico de las fuentes de calor empleadas.

(Naso, Ghitis , & Fedele, 1997) realiza un análisis de los residuos agrícolas y agroindustriales de los principales cultivos colombianos el cual demuestra que el uso de sistemas Stirling puede resultar conveniente en la realidad de pequeñas haciendas agrícolas de la sabana neotropical. La utilización de sistemas innovadores de combustión representa una alternativa para el uso de quemadores convencionales y de plantas anaeróbicas para la producción de biogás actualmente difundidos.

(Nero Ortega., 2012) realiza un estudio sobre el diseño para crear un motor Stirling tipo beta en el cual se va a utilizar como fuente de energía la biomasa del bagazo de la caña de azúcar, el cual tiene como finalidad el uso de energía renovable también da indicaciones de cómo deben de ser las piezas y el ensamble para el motor Stirling, el rendimiento de este a la hora de utilizar el bagazo como fuente de calor.

(Aguirre Ossa, 2018), su investigación consta en generar una comparación entre 4 distintos tipos de biodigestores (digestor batch, de campana móvil, de cúpula fija, tubular); para así determinar por medio de los resultados cuál de estos puede ser más factible en cuanto a varios aspectos, como los son el suministro de gas y bioabono, la vida útil, mantenimiento, entre otros. El biodigestor tubular tuvo mejores resultados en generar metano, a pesar de que su vida útil y el material orgánico recomendado es limitado.

Metodología

El presente trabajo se desarrolló en las siguientes etapas:

- **Primera etapa:** consiste en la recopilación de información del marco teórico y la revisión bibliográfica, donde se estableció cada una de las ecuaciones, partiendo de los diferentes modelos matemáticos. De acuerdo con lo anterior, identificamos las variables en el motor Stirling como los volúmenes del cilindro de expansión y compresión, volumen muerto del cilindro de expansión y compresión, en base a esto realizamos nuestro propio modelo de cálculo teniendo en cuenta la teoría Schmidt para motores Stirling tipo alfa.
- **Segunda etapa:** se llevó a cabo las mejoras a los planos del motor Stirling, partiendo del diseño de la universidad de Salesianos Pamplona (España), utilizando los diferentes softwares de diseño CAD, se determina la cantidad de piezas y materiales necesarios para la construcción de este, con el fin de minimizar las fallas en la fabricación.
- **Tercera etapa:** la construcción; se hace la fabricación de las piezas del motor Stirling y por último al ensamblaje de cada sistema. Utilizamos máquinas-herramientas convencionales y CNC de manufactura avanzada (bloque 15) y manufactura (bloque 18), el laboratorio de soldadura (bloque 17) y laboratorio de fundición (bloque 19) de la Institución Universitaria Pascual Bravo.
- **Cuarta etapa:** puesta a punto del motor y recolección de resultados.

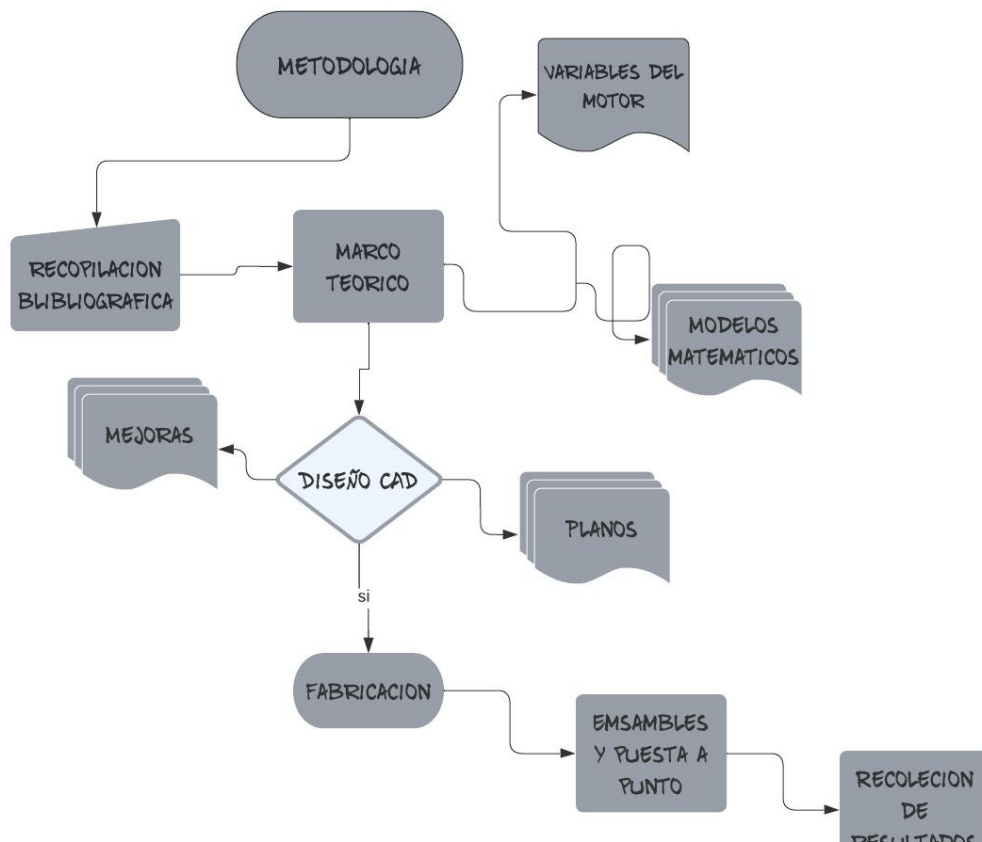


Figura 12. Figura 13 Diagrama de flujo metodología

Resultados

Construcción.

En esta etapa del proyecto se realizan las mejoras del motor Stirling, partiendo del factor de diseño de la Universidad de Pamplona, se evaluaron los ajustes y tolerancias para la fabricación.

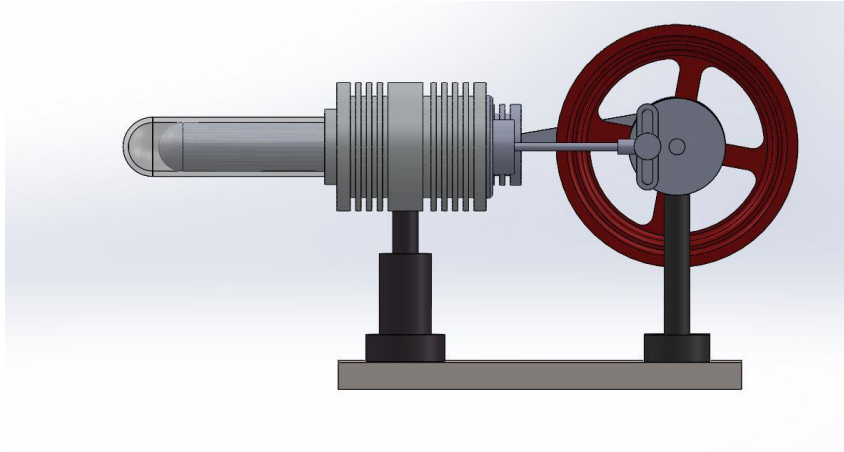


Figura 14. Motor Stirling de la Universidad de Pamplona

En la figura 13 vemos el diseño original propuesto por la Universidad de Pamplona, en la Figura 14 logramos ver nuestro diseño, en el cual se evidencian cambios en base al factor de temperatura del foco caliente, teniendo en cuenta el dimensionamiento del motor y los materiales a utilizar

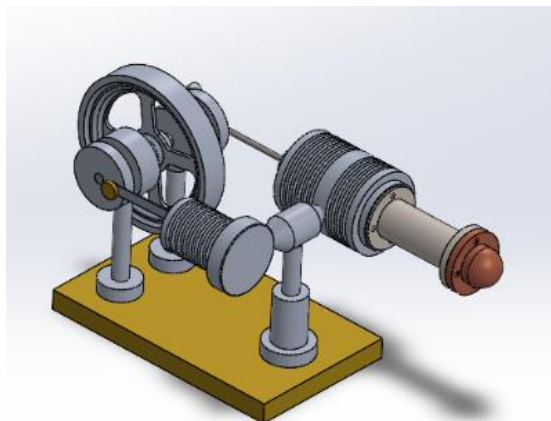


Figura 15. motor Stirling propuesto por la Institución Universitaria Pascual Pravo.

(Véase los anexos A. Planos de construcción)

Ensamble del motor

En esta fase se respetó, cada una de las tolerancia y ajustes para que el motor se utiliza cada una de las maquinas herramientas para la construcción del motor

En la siguiente figura 15 logramos ver la realización de la volante de inercia del motor Stirling por medio de la maquina CNC



Figura 16 Fabricación

Pruebas

Como etapa final realizamos pruebas del funcionamiento donde se enciende el mechero y ubique en la parte superior de la cabeza de cobre, espere entre 30 o 40 segundos a que el sistema gane energía suficiente para que el gas logre expandirse, se genera arranque manualmente haciendo girar la volante, se logra ver un movimiento fluido, en el sistema Stirling realizado.



Figura 16 pruebas del motor Stirling

Conclusiones

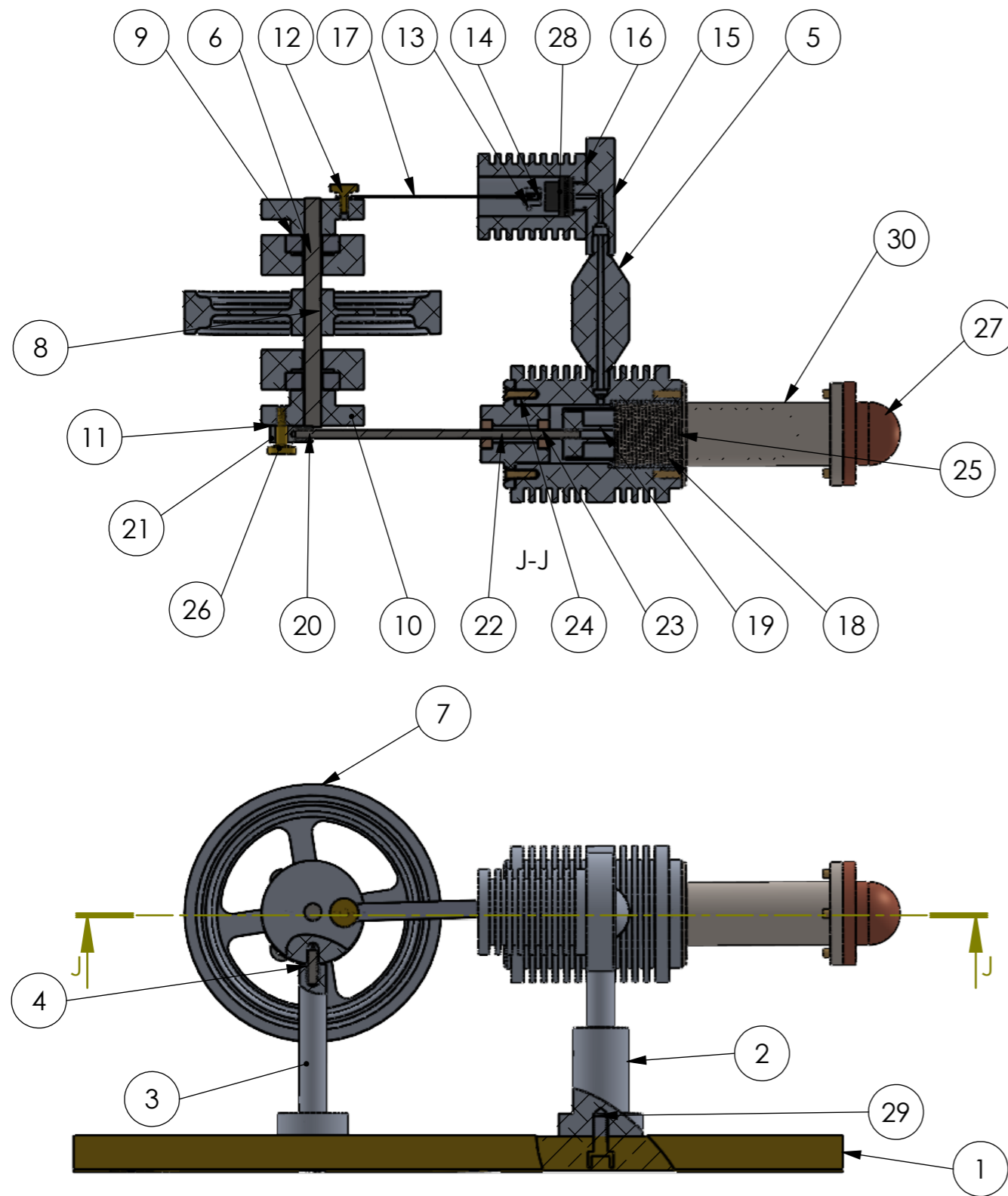
- Con base en el diseño obtenido se procedió a la construcción del prototipo final. Este se construyó en los laboratorios de la Universidad, se lleva puesta a punto y se utilizara para futuras investigaciones sobre el mismo.
- En la construcción del motor Stirling, uno de los factores más importantes es mantener las irreversibilidades, tolerancias y colinealidad. Es decir, un sistema libre de fugas del gas ya que no se completa el ciclo debido a las pérdidas de presión.
- El rediseño del foco caliente posee un sistema desmontable, que debe llevar un cierre de manera herméticamente eficiente, capaz de soportar altas temperaturas, con un embolo y un cilindro de 1% de tolerancias entre ellos, aumentándonos la compresión.
- Es importante observar la potencia de los diseños, comparar la obtenida por la Universidad Pascual Bravo con la teoría Schmidt ya que existe un delta de temperatura en compresión relacionado con la eficiencia.
- Como uno de los aspectos para tener en cuenta es la fricción generada por el eje del embolo, ya que nos quita potencia y se aleja de los resultados esperados.
- Los materiales auto lubricados donde se tiene fricción son efectivos al permitir mejores desplazamientos y soportar altas temperaturas, superando los 600 °C.
- En el regenerador se debe considerar en otro tipo de material, actualmente es en aluminio permite la disipación de temperatura, esas pérdidas disminuyen la potencia del motor.
- A pesar de no haber contado con el tiempo suficiente para realizar más pruebas en su funcionamiento, el proyecto hace parte del semillero de investigación S-GUIEN de la Universidad Pascual Bravo, donde en primer lugar continuaremos con las investigaciones del motor que puede llegar a revolucionar la generación de energías.

Bibliografía


- Nero Ortega., A. B. (2012). *Diseño y construcción de un motor Stirling tipo beta*. Universidad Nacional de Loja, Loja. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12318/1/Nero%20Ortega%2C%20Augusto%20Bol%C3%ADvar.pdf>
- Agüero Zamora, V. J. (2006). *Diseño y construcción de un motor Stirling para la generación de energía eléctrica*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Aguirre Ossa, F. J. (2018). *Estado actual de la obtención de gas metano a partir de biodigestores en el eje cafetero colombiano*. Fundación Universitaria San Mateo, Bogotá D.C.
- Chaves Ucurio, C. R., & Orquera Revelo, D. s. (2012). *modelamiento energetico y mecanico de un motor stirling tipo beta para la generacion de 70 we para el Decem-ugi*. Escuela politécnica del ejército, Sangolqui, Ecuador.
- Chavez Acurio , F. P., & Orquera Revelo, D. S. (2012). *Modelamiento energético y mecánico de un motor Stirling tipo beta para la generación de 70 we para el DECEM-UGI*. Escuela politécnica del ejército.
- La universidad de edimburgo.* (s.f.). Obtenido de <https://www.ed.ac.uk/alumni/services/notable-alumni/alumni-in-history/robert-stirling>
- Manrique, S. M., Franco, J., & Nuñez, V. (2009). Construcción de un prototipo stirling de baja potencia para su empleo en ámbitos rurales a partir de fuentes de energía renovable. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/97545>
- Naso, v., Ghitis , C. P., & Fedele, L. (1997). Microgeneradores "stirling" alimentados con biomasa. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/573/573>
- Partner, S. B. (2001). *Sistema Stirling Descripción Una nueva tecnología de energía solar descentralizada*.
- Pascual Toledo, J. I.;. (s.f.). *Simulacion de un motor stirling mediante modelos de primer orden*. Universidad carlos III de Madrid, escuela tecnica superior, Madrid.
- Ramirez Quirama, J. F., & Taborda Vergara, A. L. (2014). Consumo de leña en fogones. *Producción + Limpia*, 1(9), 99-114. doi:10.22507/pml
- Santos Ráez, I. S. (2015). Estudio de un motor stirling con absorbedor interno alimentado con energía solar.
- UNAL, &, & TECSOL. (2017). *Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento*. Bogota D. C.

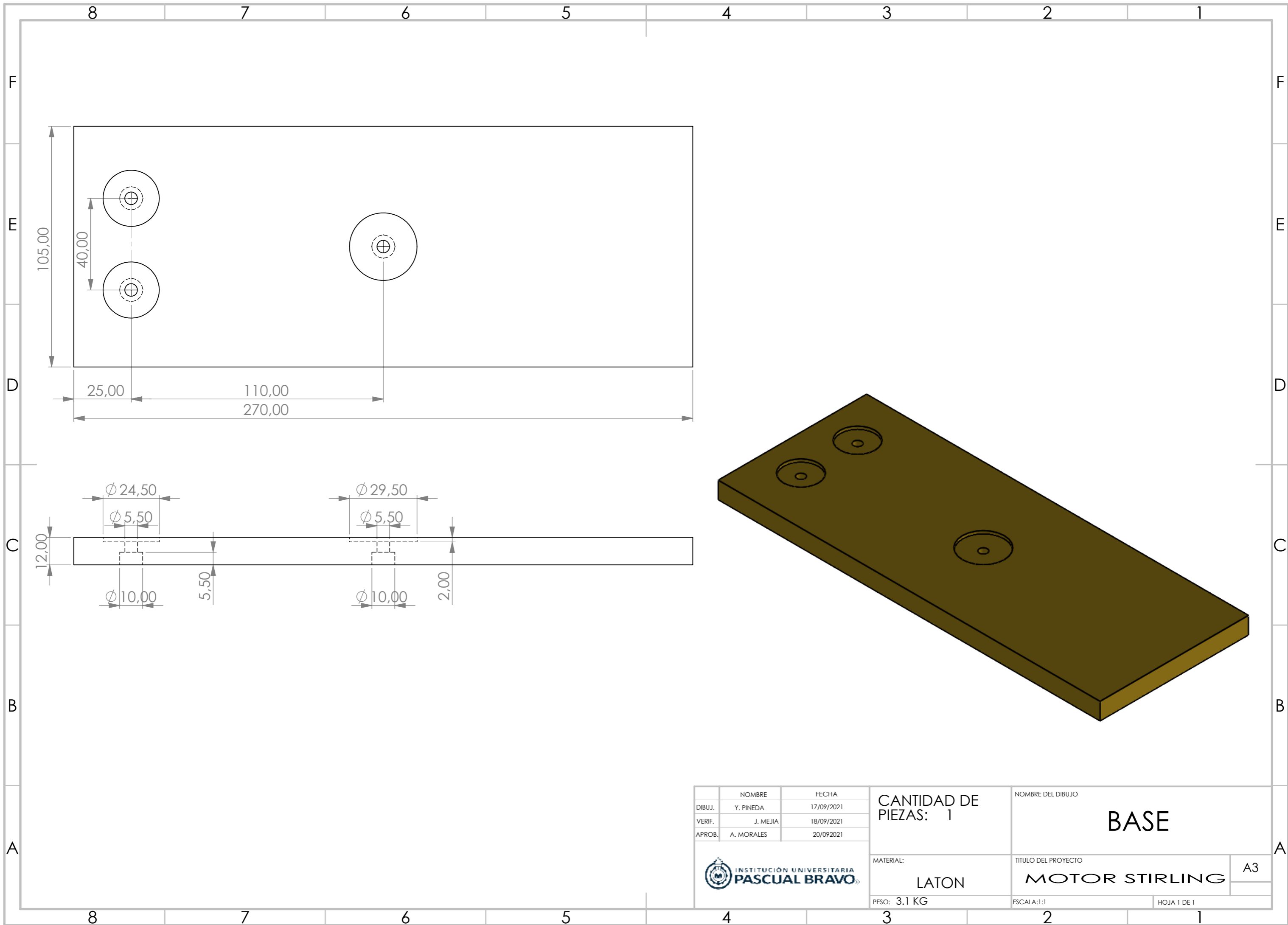
Varela Souto, A. (2014). *Estudio y modelización de un motor stirling*. Universidad Politécnica de Cataluña., Barcelona.

Anexos A. Planos de construcción

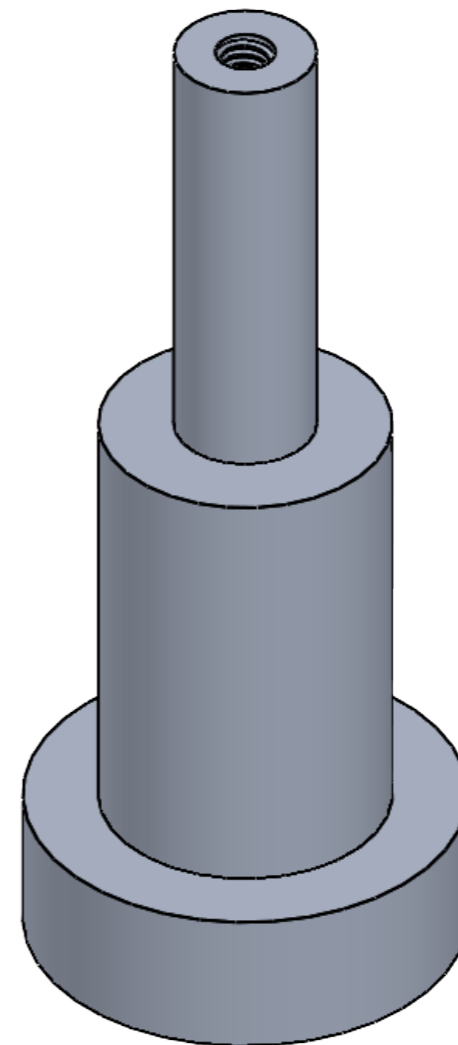
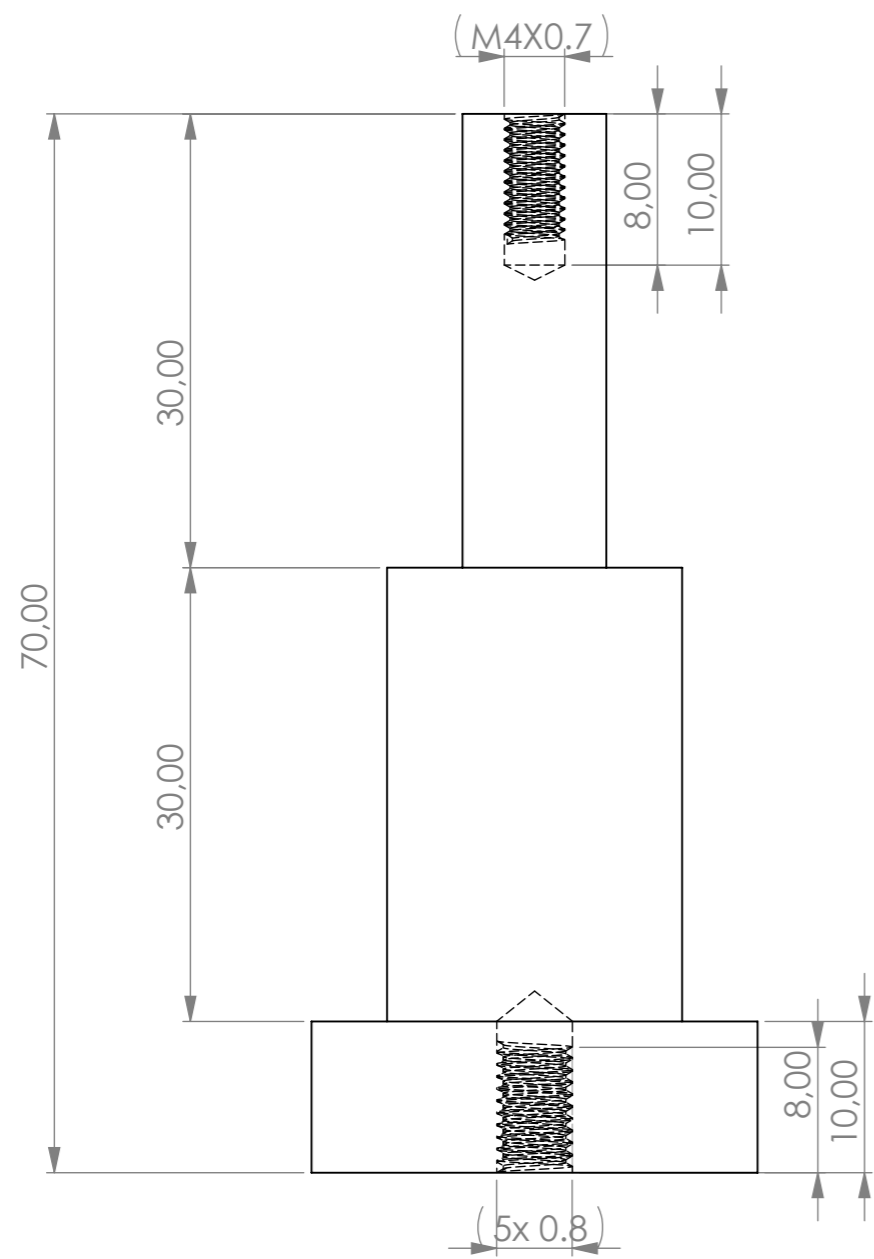
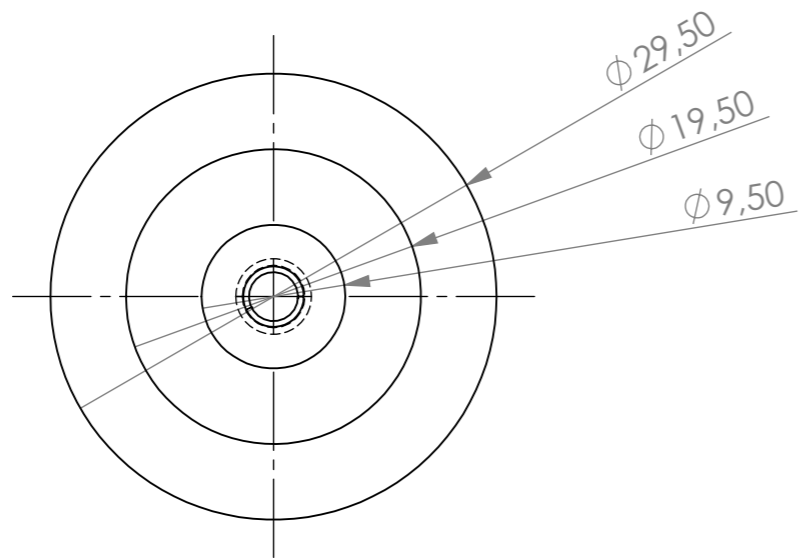



N.º DE ELEMENTO	NOMBRE PIEZA	MATERIALES	CANTIDAD
1	BASE	LATON	1
2	COLUMNA PRINCIPAL	ALUMINIO	1
3	COLUMNA	ALUMINIO	2
4	VARILLA ROSCADA	ACERO	3
5	REGENERADOR	ALUMINIO	1
6	SOPORTE EJE	ALUMINIO	2
7	VOLANTE	ALUMINIO	1
8	EJE	ACERO	1
9	RODAMIENTO RIGIDO	DIN 625	2
10	EXCENTRICA	ALUMINIO	2
11	ARANDELA	LATON	2
12	BULON 2	LATON	1
13	PASADOR DE ALETAS	ACERO DULCE	1
14	ARTICULACION	ALUMINIO	1
15	CULATA CILINDRO SEC	ALUMINIO	1
16	CILINDRO SEC	ALUMINIO	1
17	EMPUJADOR	ALUMINIO	1
18	EMBOLO PRINCIPAL	ALUMINIO	1
19	TAPA EMBOLO	ALUMINIO	1
20	VASTAGO	ACERO	1
21	EMPUJADOR	ALUMINIO	1
22	CULATA CILINDRO	ALUMINIO	1
23	COJINETE	BRONCE	2
24	TORNILLO DE CABEZA AVE	ACERO	12
25	CILINDRO PRINCIPAL	ALUMINIO	1
26	BULON 1	LATON	1
27	CABEZA	COBRE	1
28	PISTON	GRAFITO	1
29	TORNILLI ALLEN	ACERO INOXIDABLE 440C	3
30	TUBO	ACERO INOXIDABLE 304	1

NOMBRE: Y. PINEDA FECHA: 17/09/2021 DIBUJ.: Y. PINEDA VERIF.: J. MEJIA APROB.: A. MORALES 20/09/2021		CANTIDAD DE PIEZAS: N/A	NOMBRE DEL DIBUJO: Ensamblaje motor stirling
		MATERIAL: N/A	TITULO DEL PROYECTO: Motor stirling
		ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1

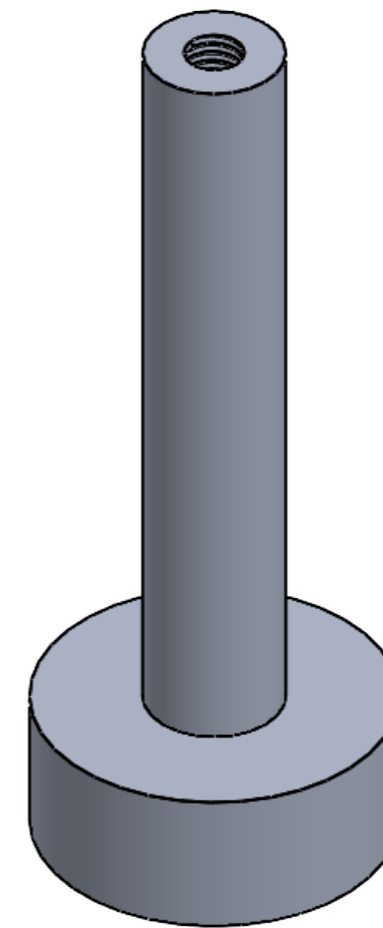
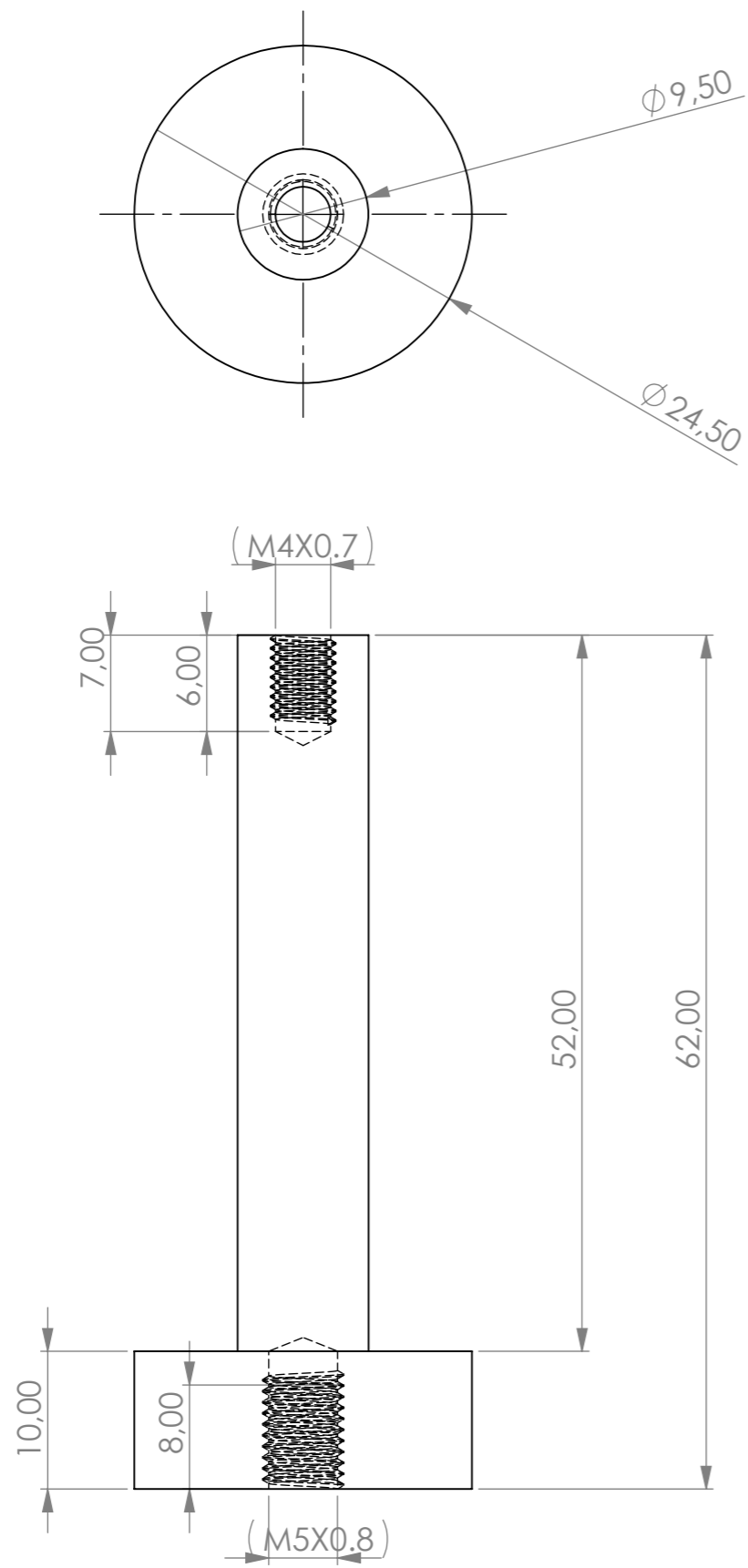



	NOMBRE	FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 1	NOMBRE DEL DIBUJO	
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		BASE	
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021			
APROB.	A. MORALES	20/09/2021			
			MATERIAL:	TITULO DEL PROYECTO	A3
			LATON	MOTOR STIRLING	
			PESO: 3.1 KG	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1



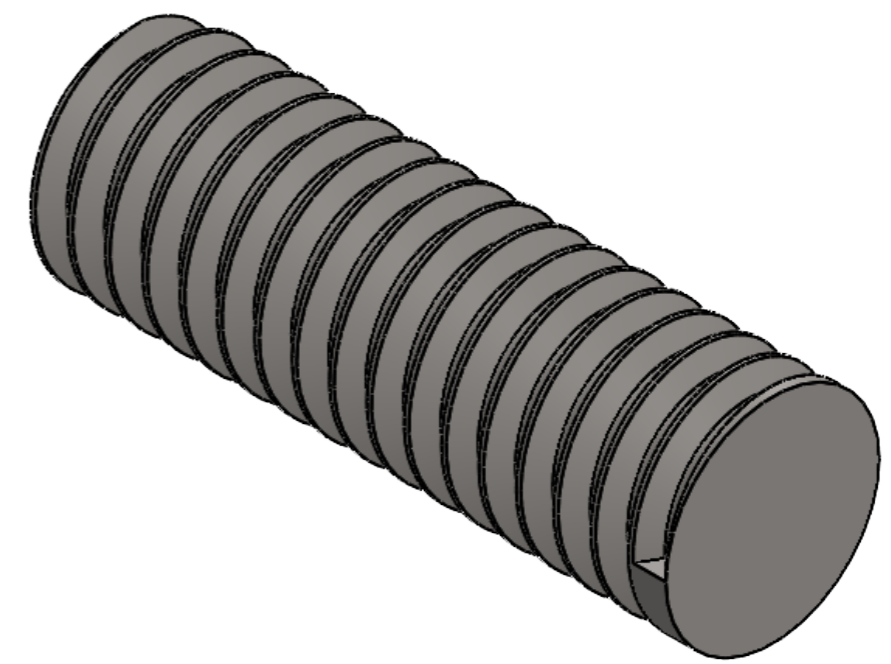
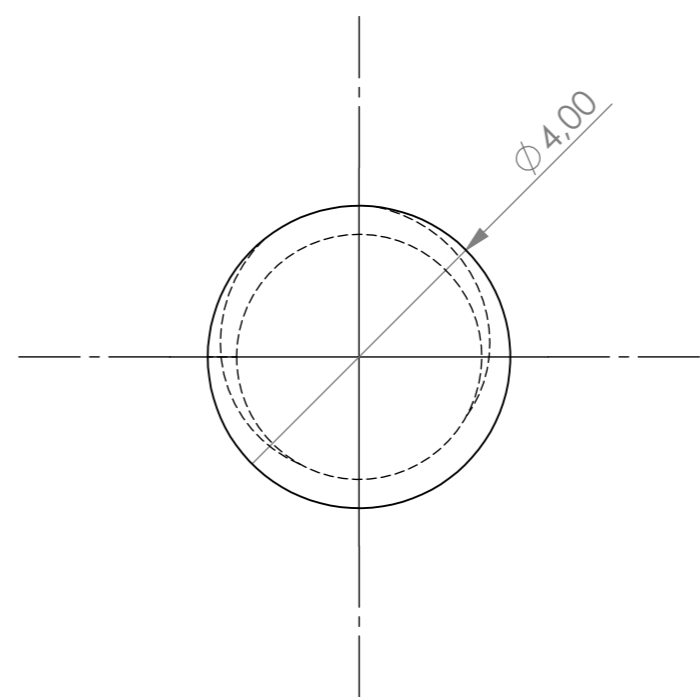
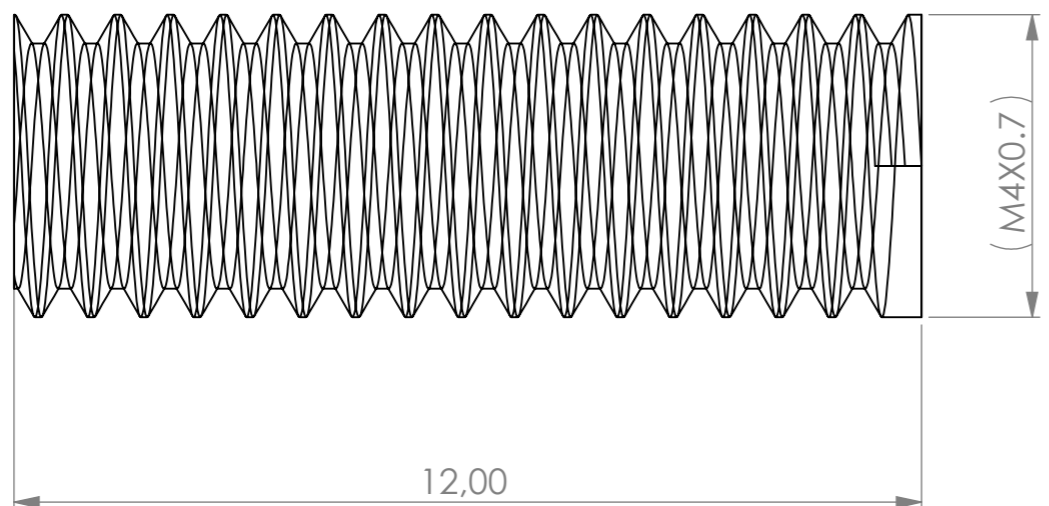
	NOMBRE	FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 1	NOMBRE DE PIEZA:	
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		COLUMNA PRINCIPAL	
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021			
APROB.	A. MORALES	20/09/2021		TITULO DEL PROYECTO:	
			MATERIAL:	Aluminio	Motor stirling
			PESO: 20 gr	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1

A3

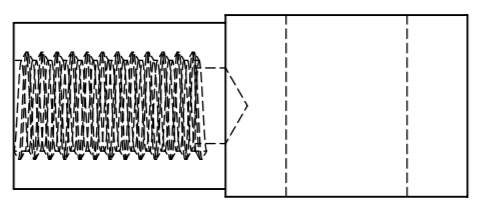
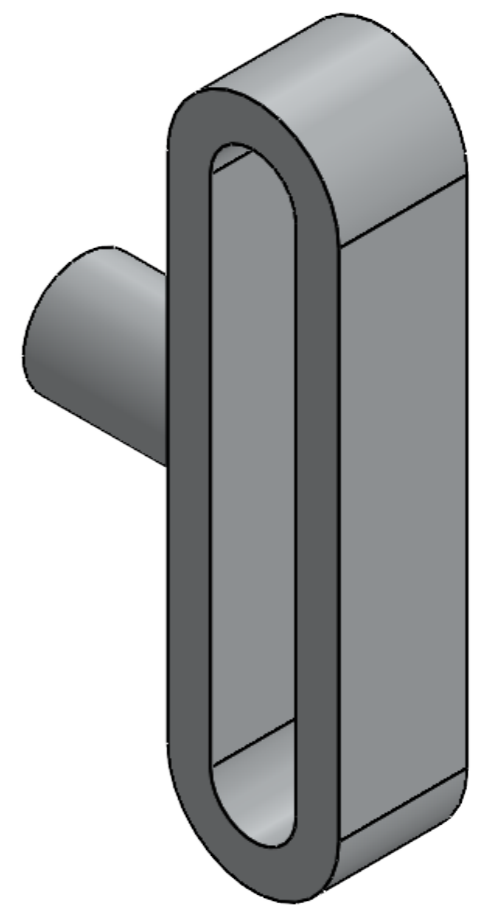
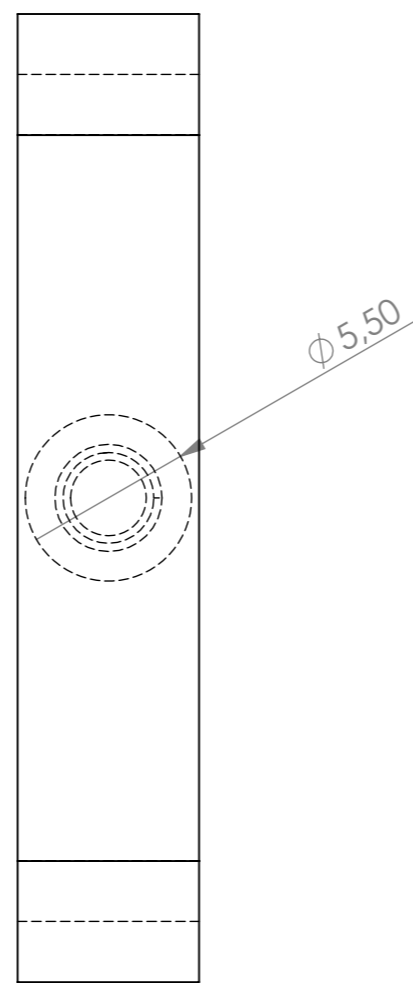
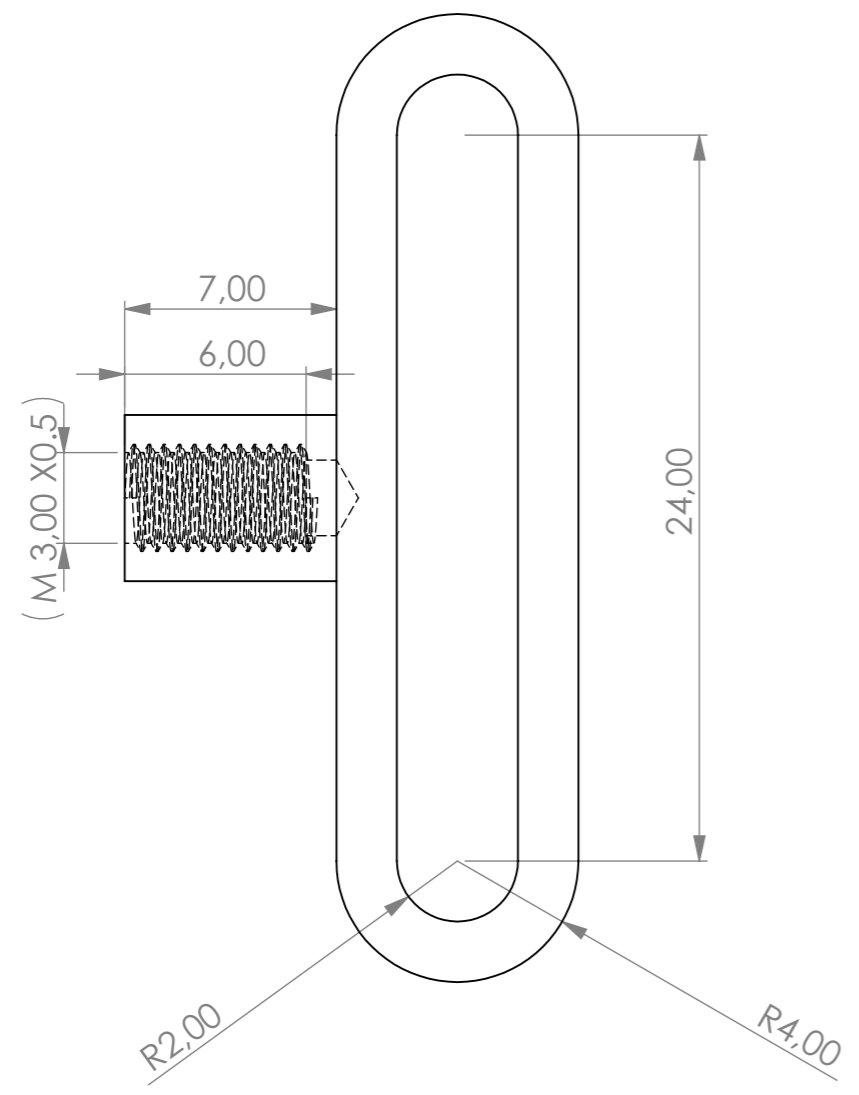



	NOMBRE	FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 2	NOMBRE DE PIEZAS:	
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		COLUMNA SECUNDARIA	
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021			
APROB.	A. MORALES	20/09/2021		TITULO DE PROYECTO:	
			MATERIAL:	Aluminio	Motor stirling
			PESO: 15 gr	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1

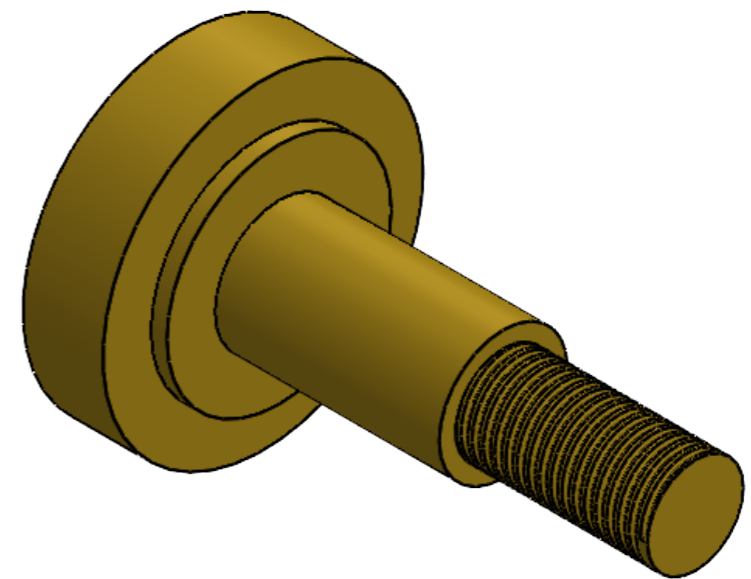
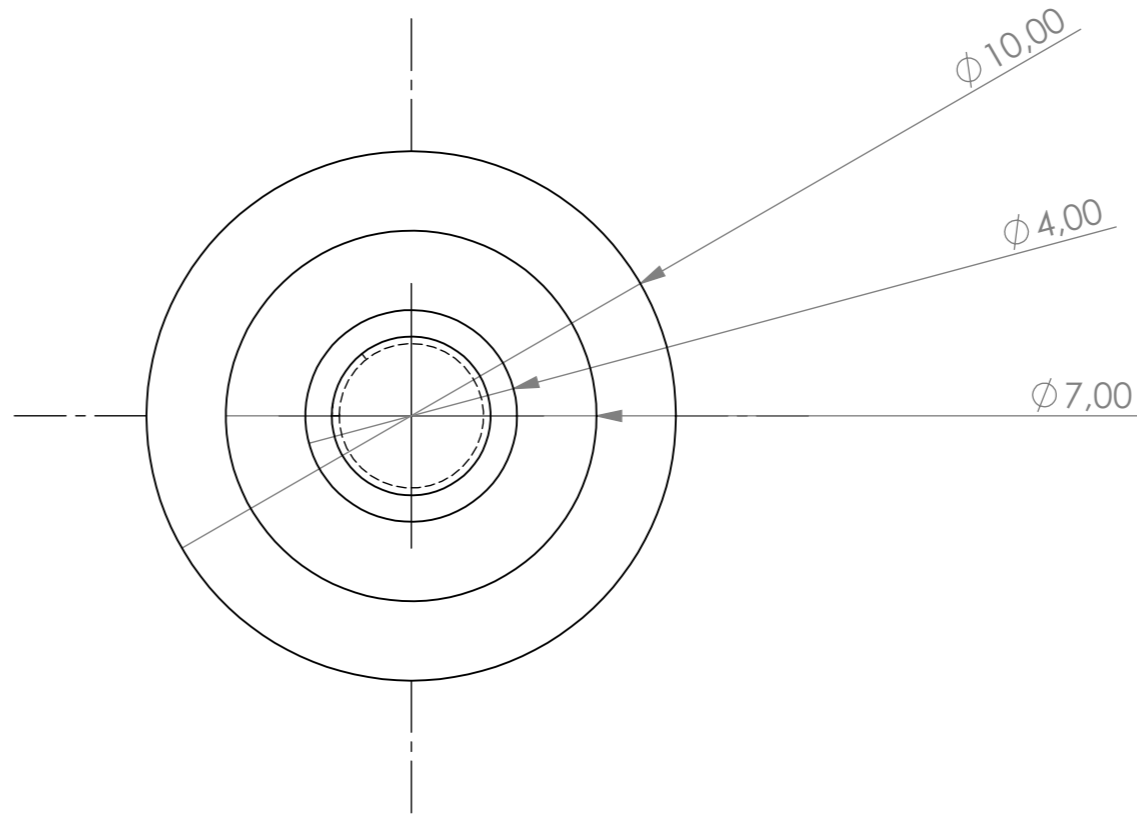
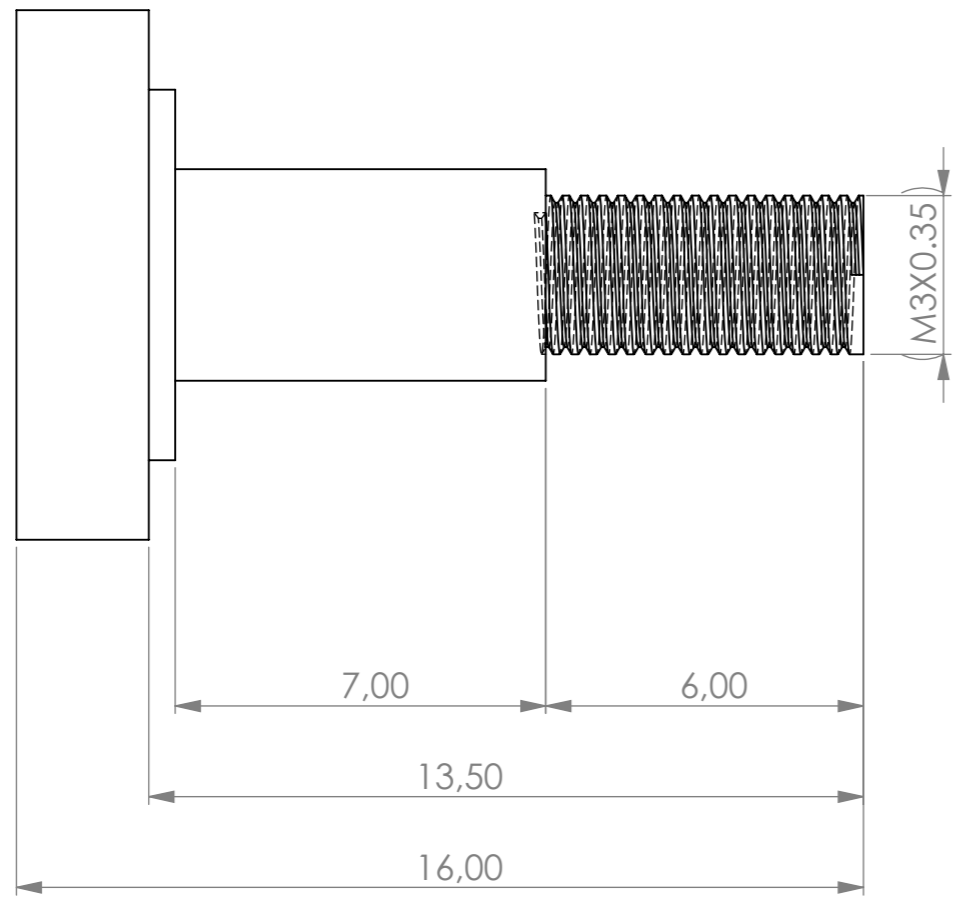
A3




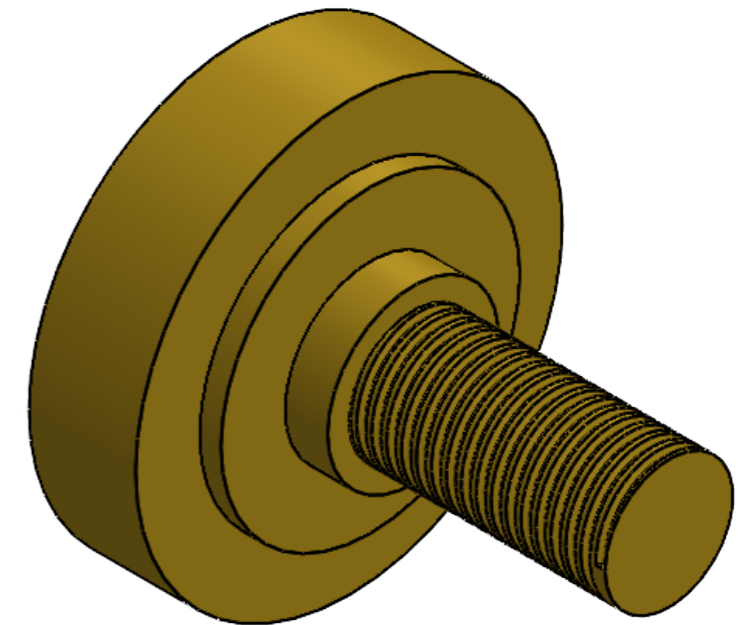
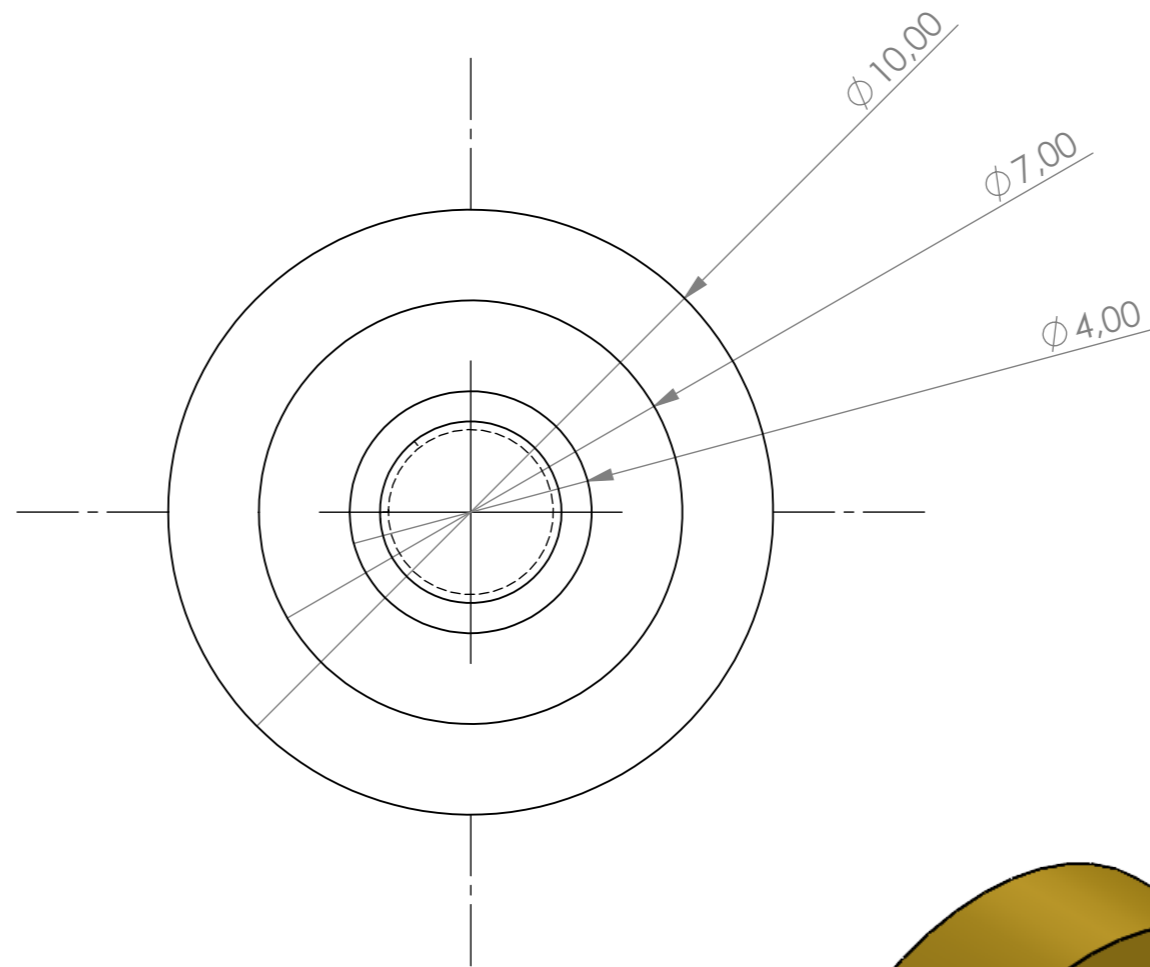
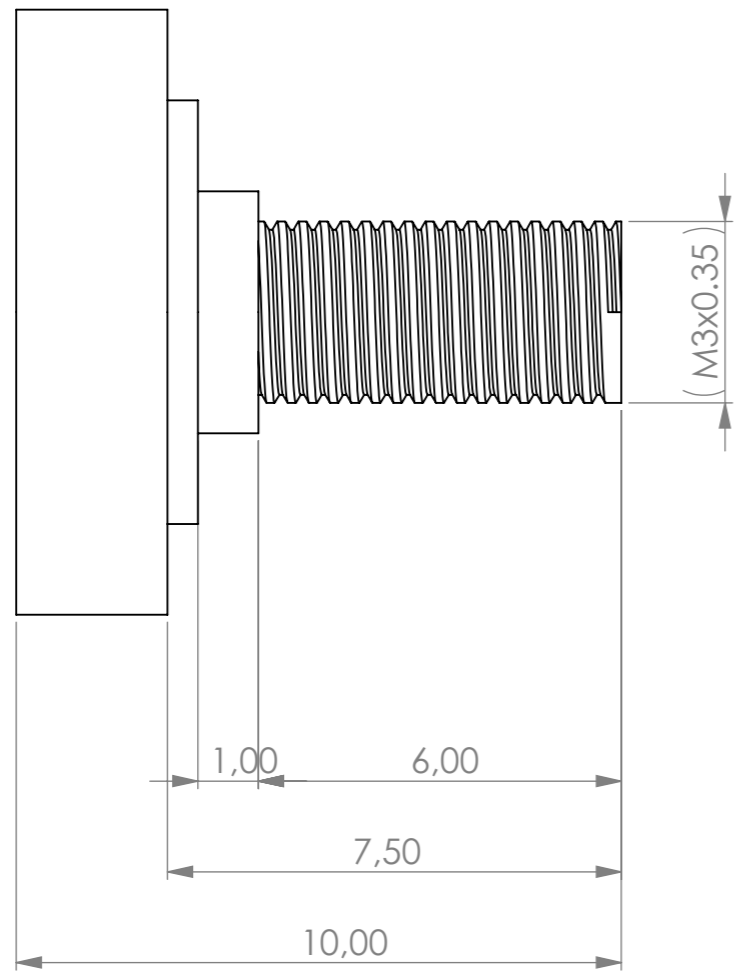
	NOMBRE	FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 3	TÍTULO:	VARILLA ROSCADA
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021			
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021			
APROB.	A. MORALES	20/09/2021			
			MATERIAL:	TÍTULO DEL PROYECTO:	A3
			ACERO	Motor stirling	
			PESO: 14 gr	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1



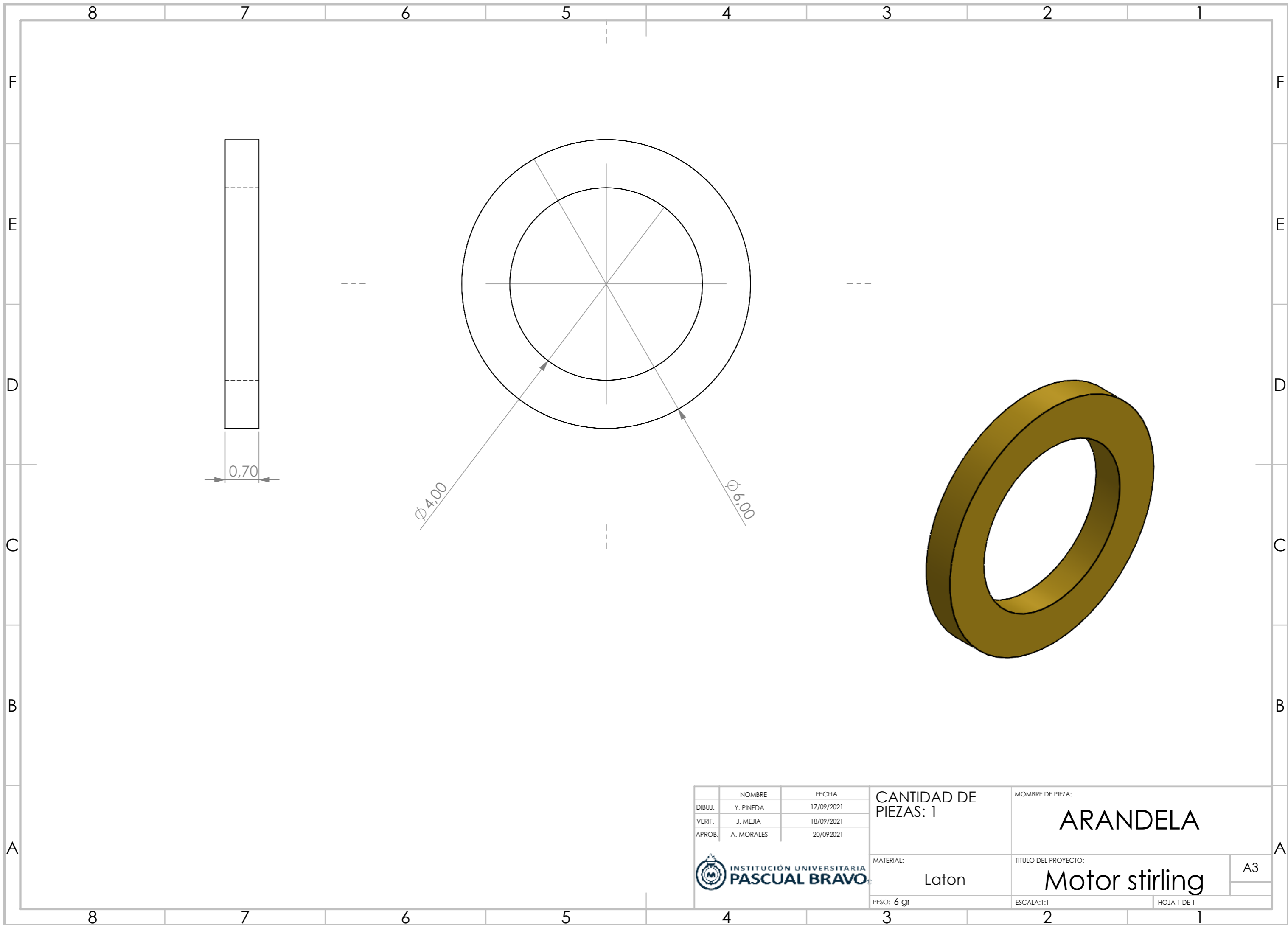
	NOMBRE	FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 1	NOMBRE DE PIEZA:	
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		EMPUJADOR	
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021			
APROB.	A. MORALES	20/09/2021		TITULO DEL PROYECTO:	
			MATERIAL:	Motor stirling	
			Aluminio	ESCALA: 1:1	A3
			PESO: 15 gr	HOJA 1 DE 1	



	NOMBRE	FECHA	CANTIDAD DE PIEZA: 1	NOMBRE DE PIEZA:		
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		BULON 1		
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021				
APROB.	A. MORALES	20/09/2021				
			MATERIAL:	TITULO DEL PROYECTO:		
			Latón		Motor stirling	
			PESO: 9 gr	ESCALA: 1:1	A3	
			HOJA 1 DE 1			



	NOMBRE	FECHA	CANTIDAD DE PIEZA: 1	NOMBRE DE PIEZA:		
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		BULON 2		
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021				
APROB.	A. MORALES	20/09/2021		TITULO DEL PROYECTO:		
			MATERIAL:	Motor stirling		
			Latón	ESCALA: 1:1	A3	
			PESO: 9 gr	HOJA 1 DE 1		



	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021
APROB.	A. MORALES	20/09/2021



CANTIDAD DE PIEZAS: 1

MATERIAL: Laton

PESO: 6 gr

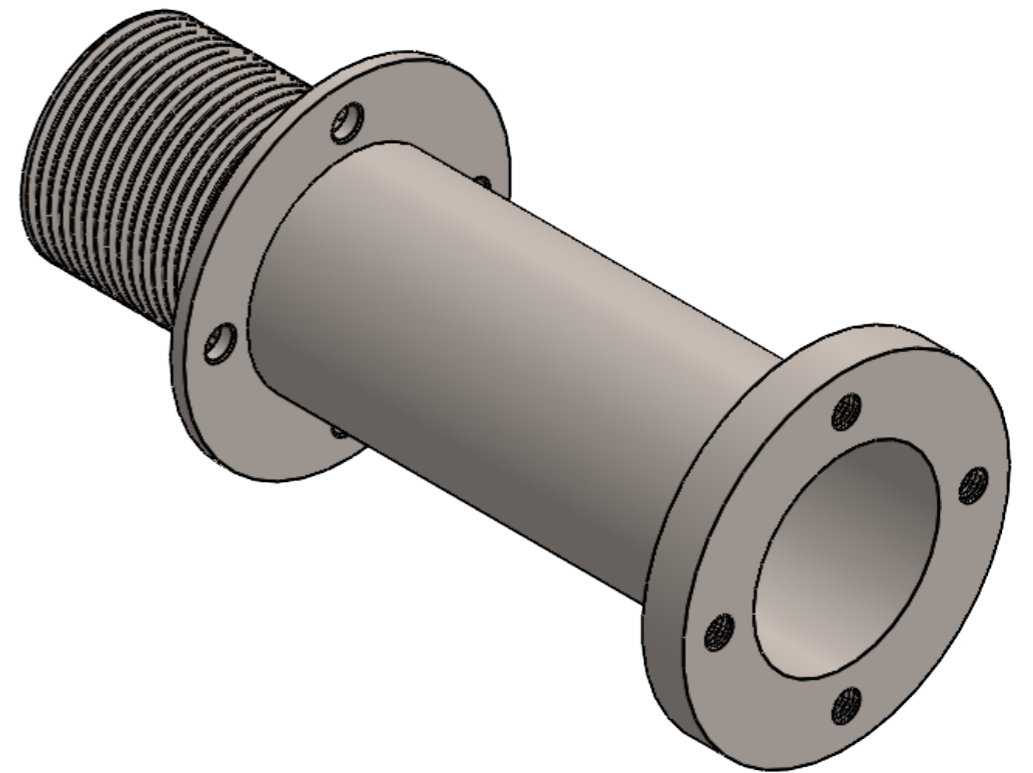
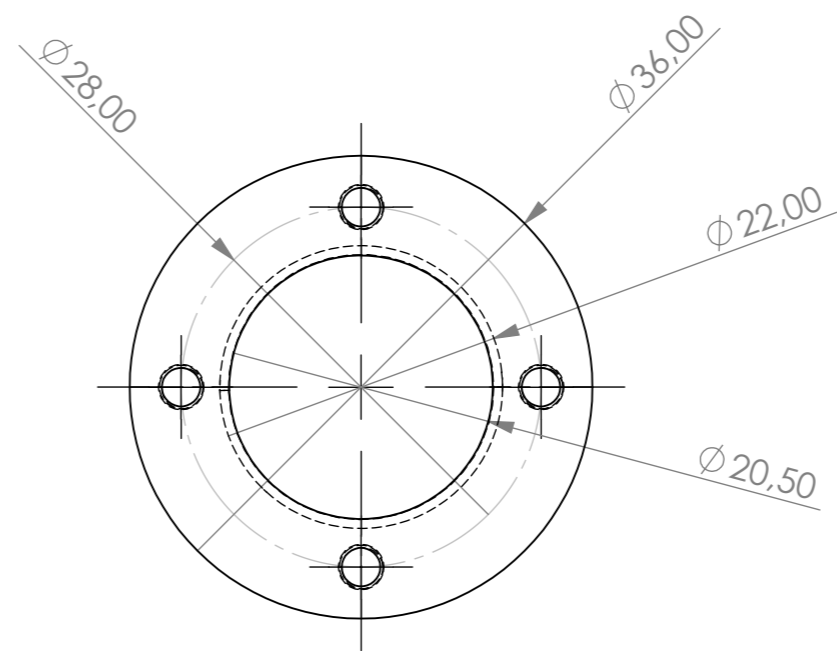
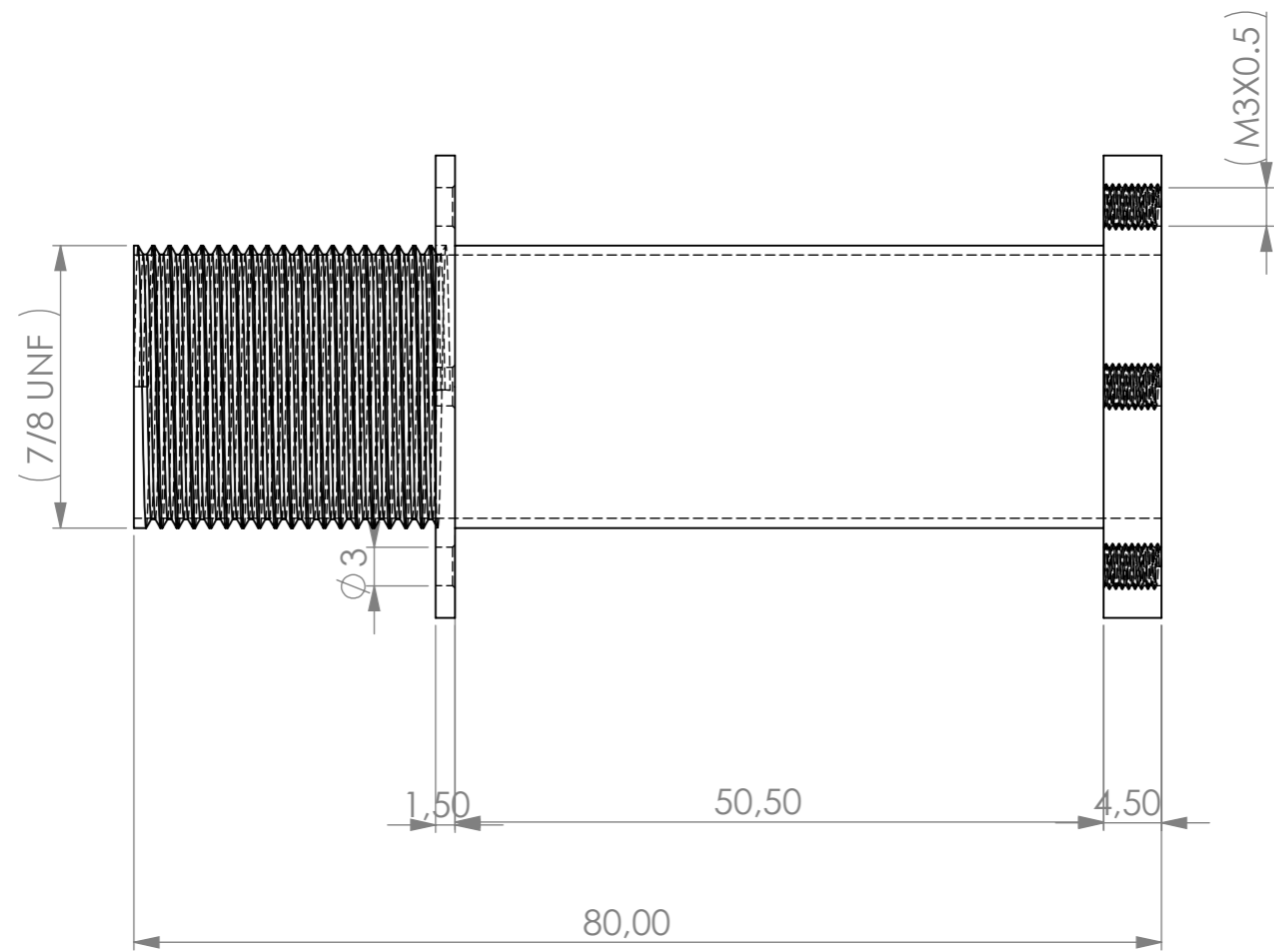
NOMBRE DE PIEZA:
ARANDELA


TITULO DEL PROYECTO:
Motor stirling

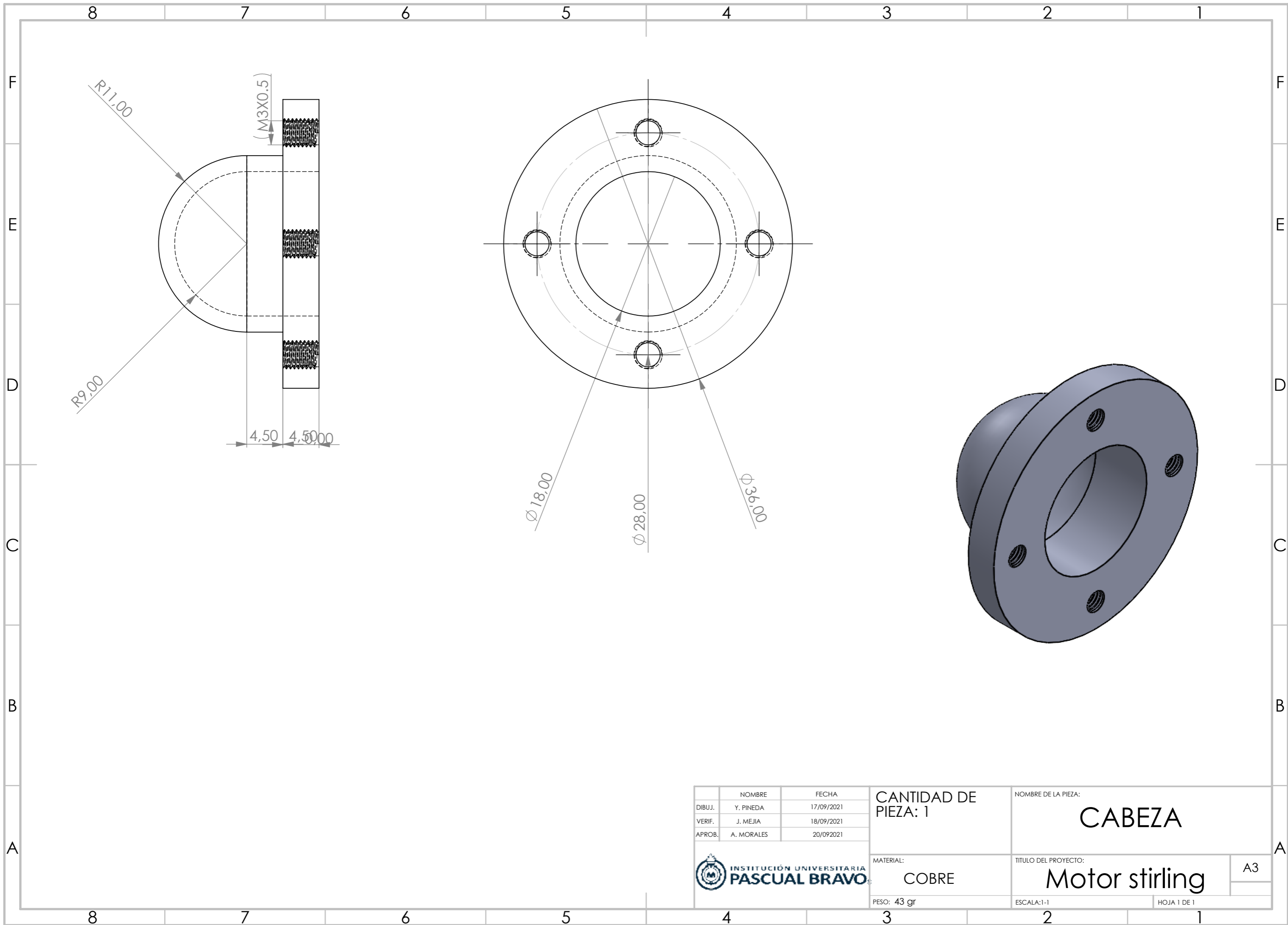
ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1

A3



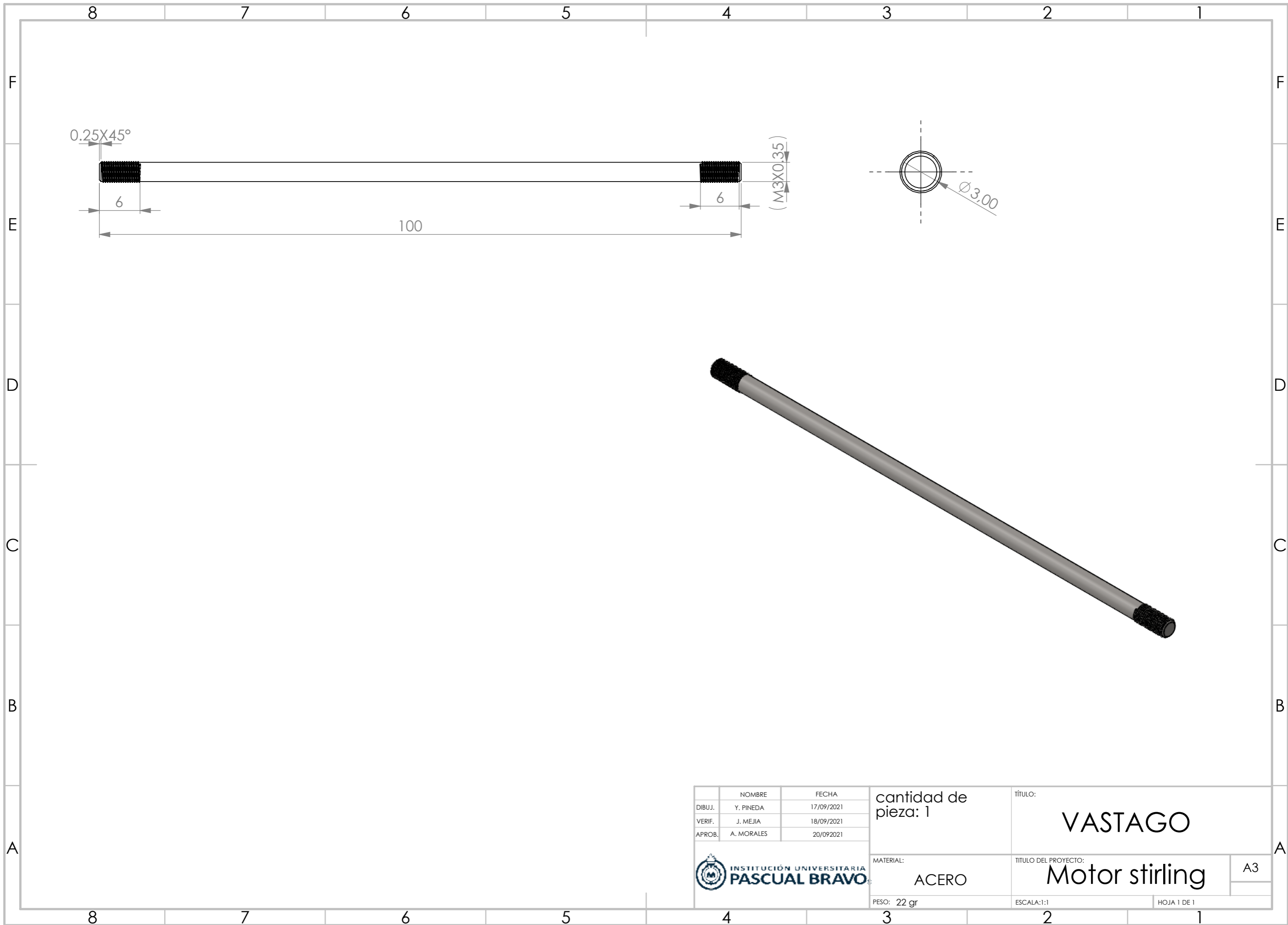
	NOMBRE	FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 1	NOMBRE DE PIEZA:		
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		TUBO		
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021				
APROB.	A. MORALES	20/09/2021				
			MATERIAL:	TITULO DEL PROYECTO:		
			acero inoxidable 304		Motor stirling	
			PESO: 70 gr	ESCALA: 1:1	A3	
					HOJA 1 DE 1	




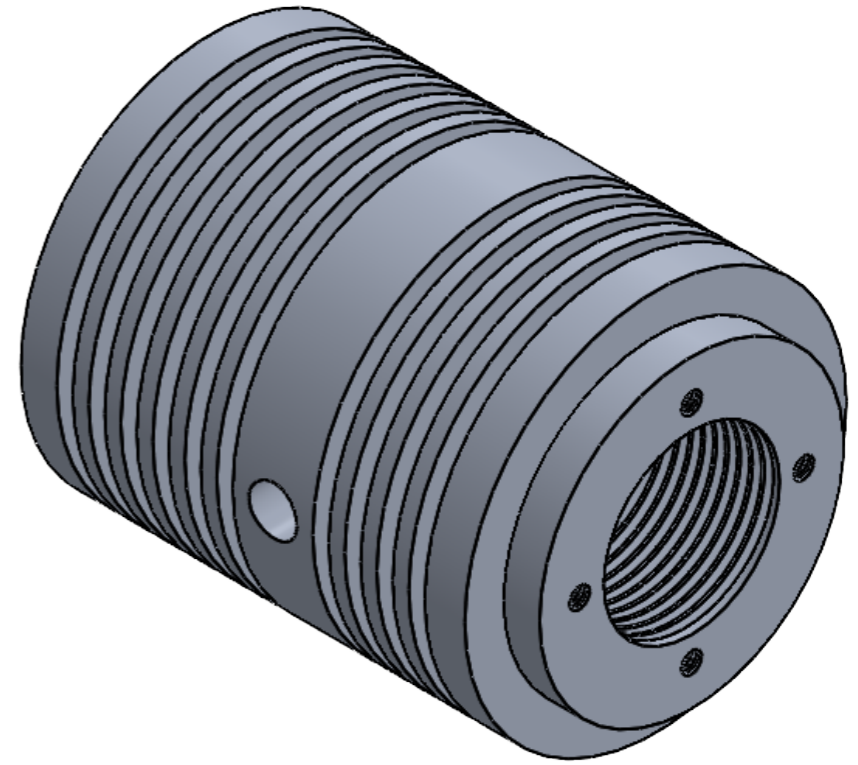
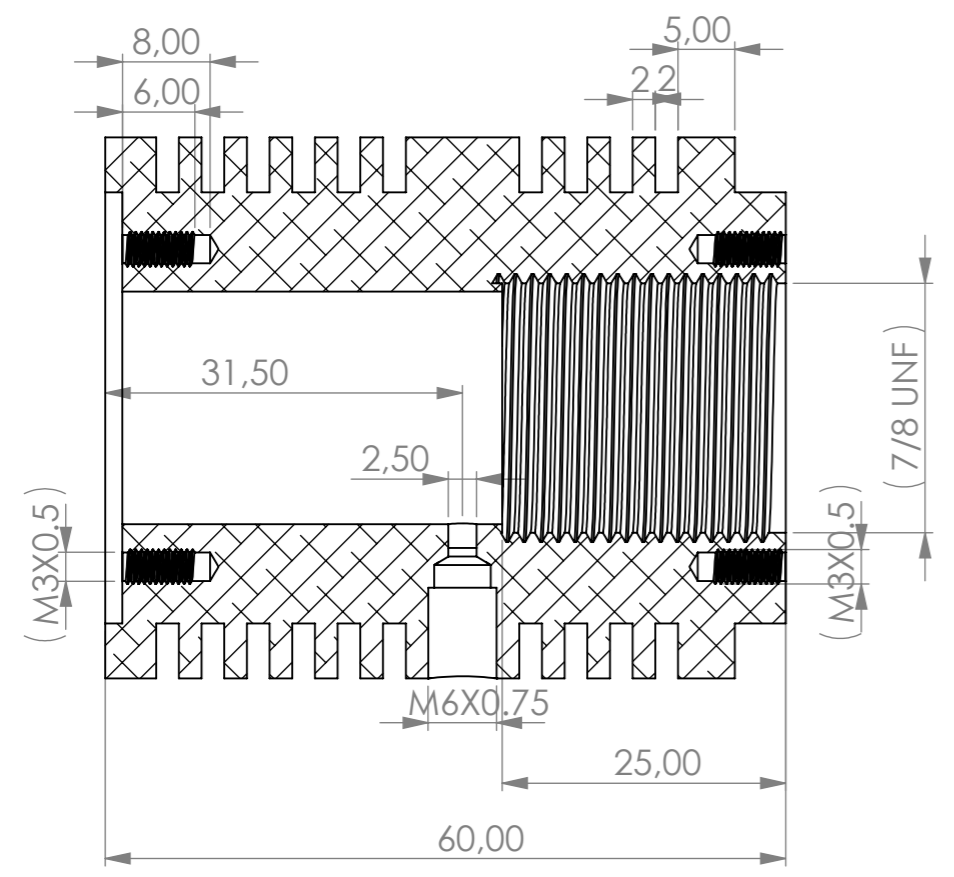
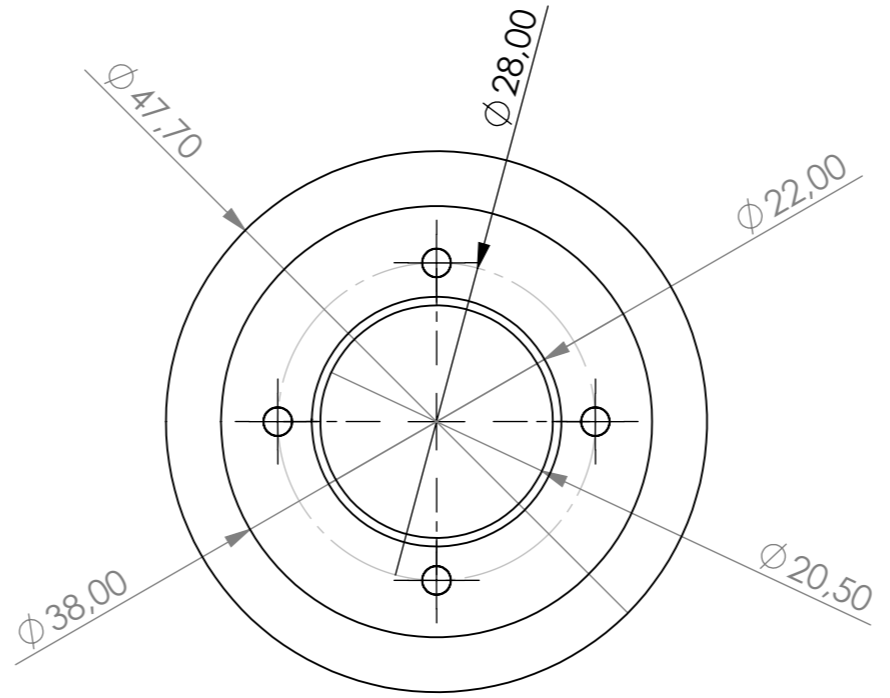
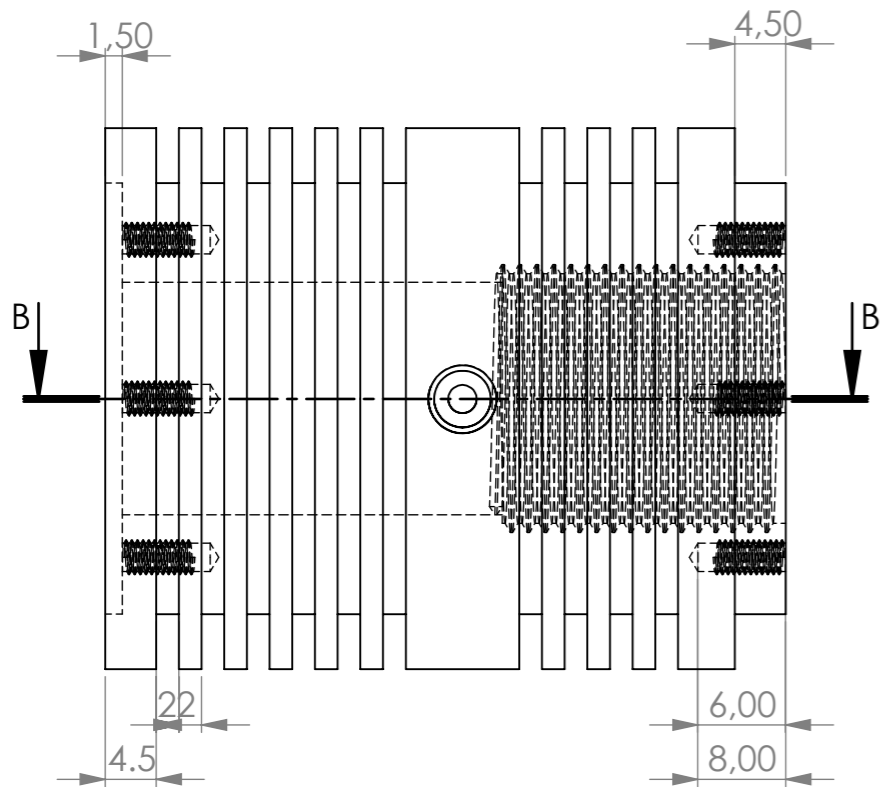
	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021
APROB.	A. MORALES	20/09/2021
		

CANTIDAD DE PIEZA: 1
MATERIAL: COBRE
PESO: 43 gr


NOMBRE DE LA PIEZA: CABEZA	A3
TITULO DEL PROYECTO: Motor stirling	
ESCALA: 1-1	HOJA 1 DE 1



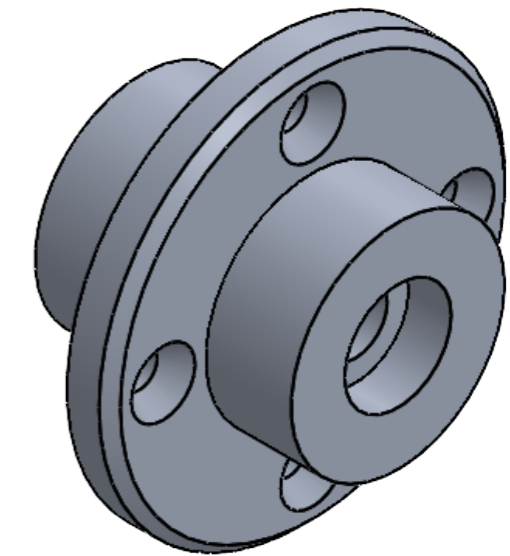
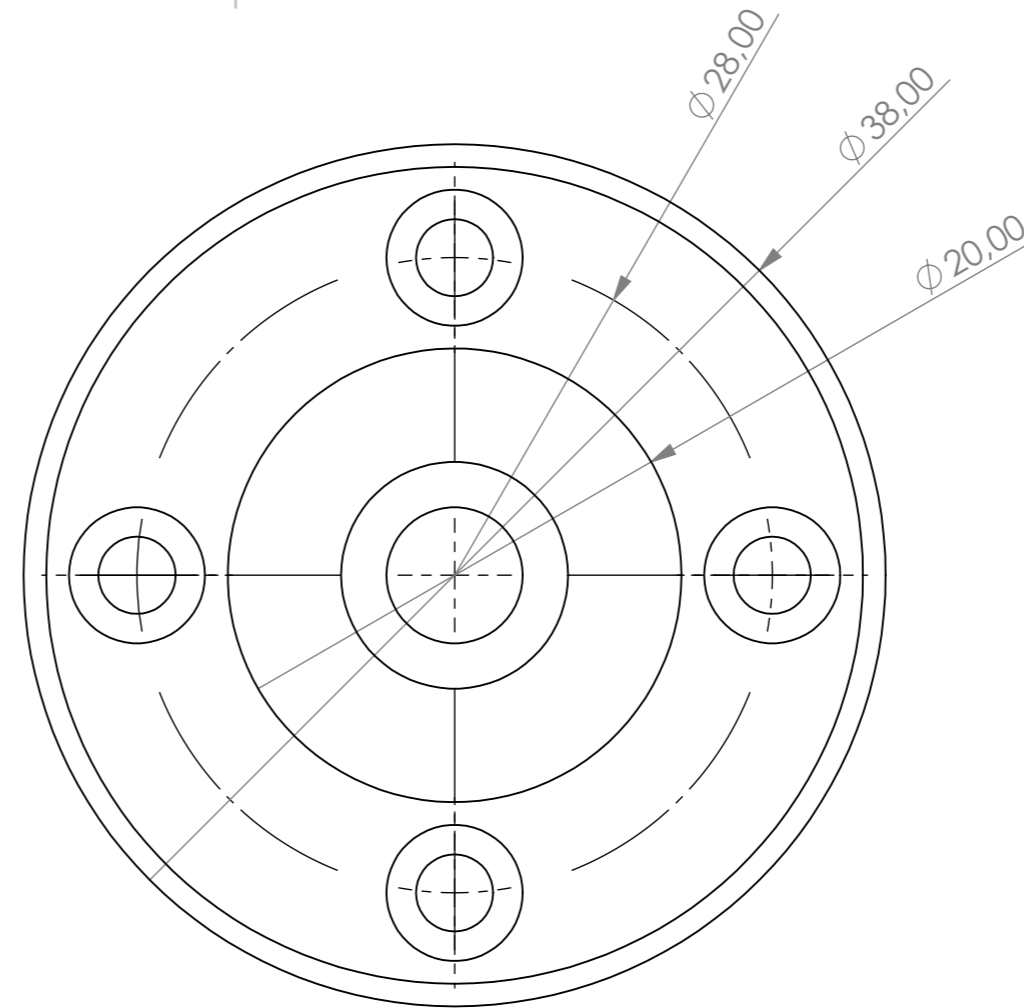
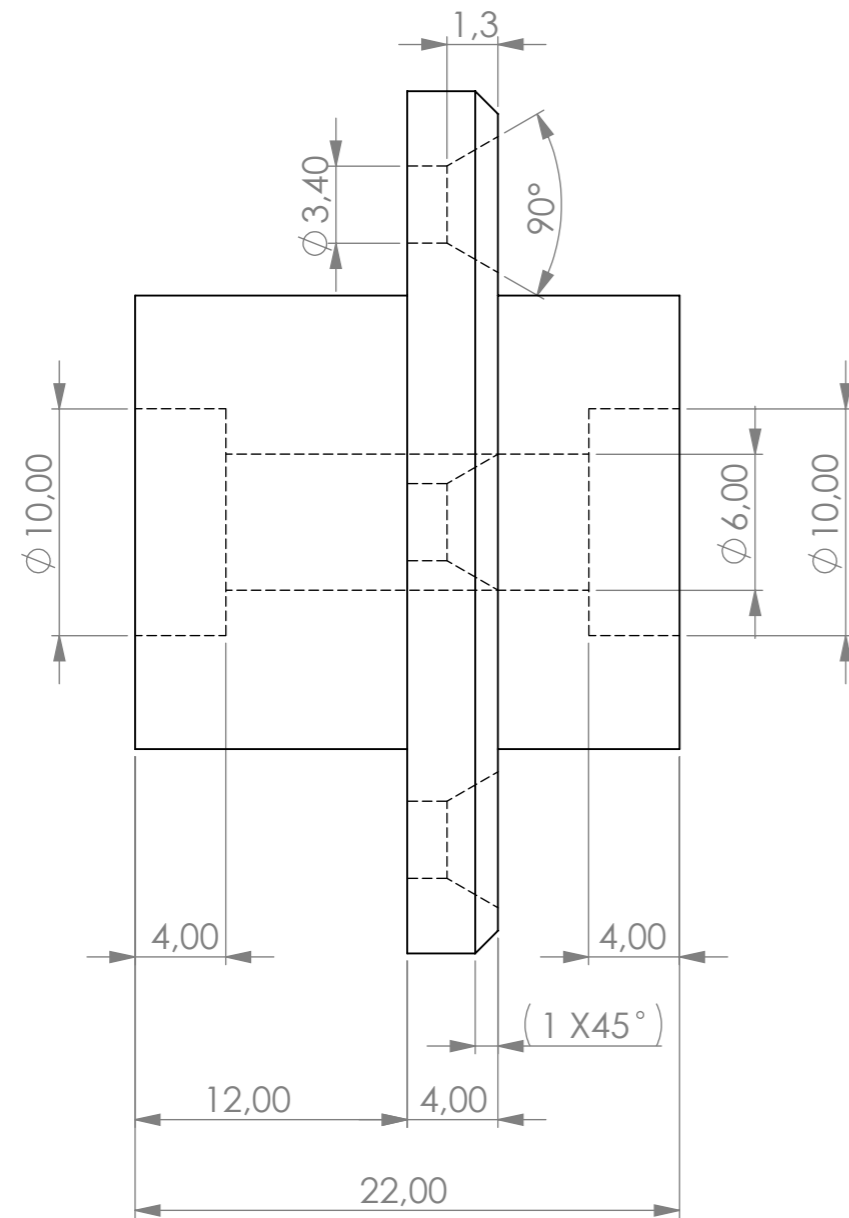
	NOMBRE	FECHA	cantidad de pieza: 1	TÍTULO:	
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		VASTAGO	
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021			
APROB.	A. MORALES	20/09/2021	MATERIAL:	TÍTULO DEL PROYECTO:	A3
			ACERO	Motor stirling	
			PESO: 22 gr	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1




B-B (1.5 : 1)

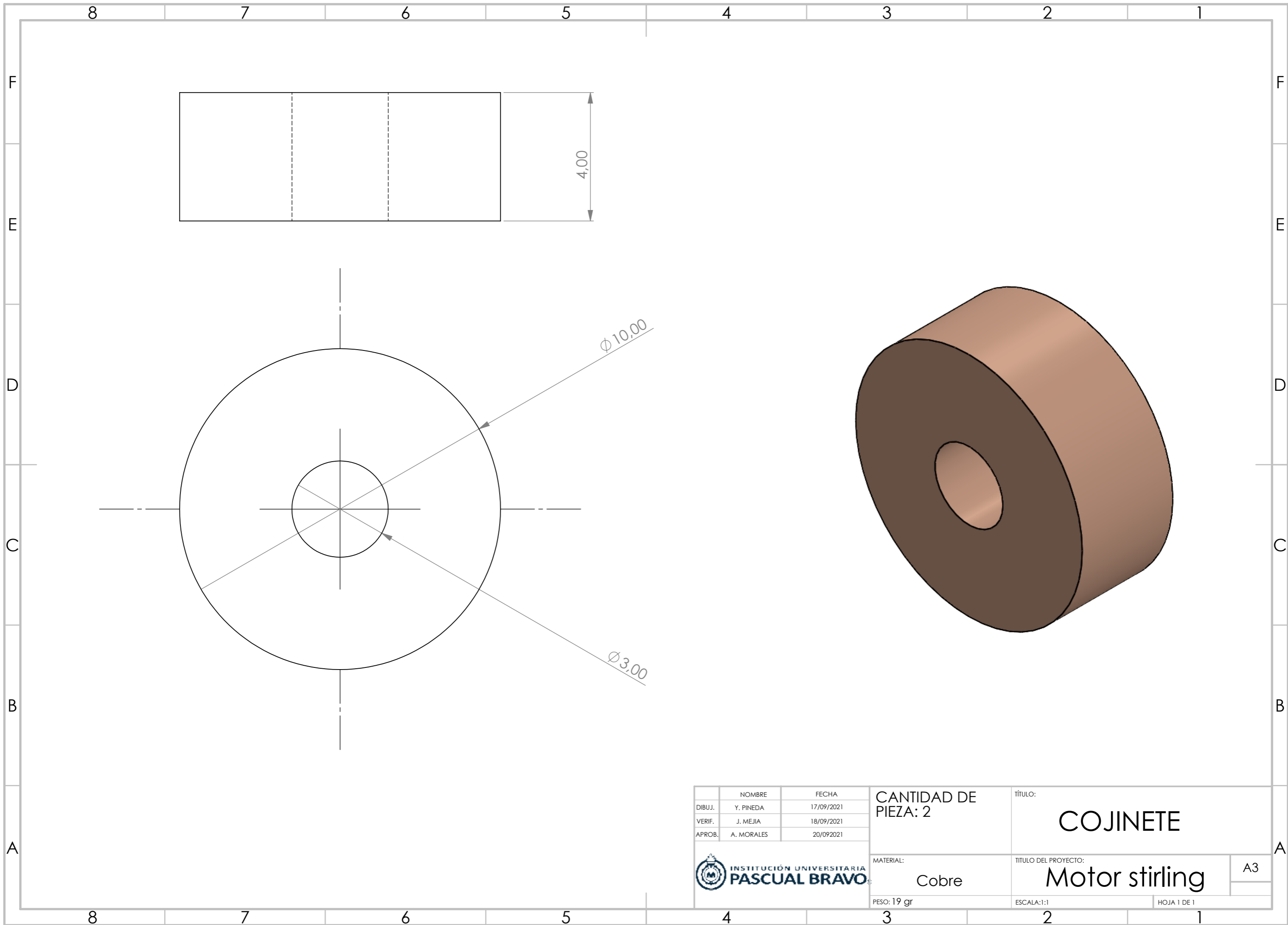
NOMBRE		FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 1	NOMBRE DE PIEZA:	
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		CILINDRO PRINCIPAL	
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021			
APROB.	A. MORALES	20/09/2021			
			MATERIAL:	TITULO DEL PROYECTO	
			Aluminio	Motor stirling	
			PESO: 45 gr	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1

A3



NOMBRE		FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 1	NOMBRE DE PIEZA:	
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		CULATA CILINDRO PRINCIPAL	
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021			
APROB.	A. MORALES	20/09/2021			
			MATERIAL:	TITULO DEL PROYECTO:	
			Aluminio	Motor stirling	
			PESO: 23 gr	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1

A3



	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021
APROB.	A. MORALES	20/09/2021

CANTIDAD DE PIEZA: 2

MATERIAL: Cobre

PESO: 19 gr

TÍTULO: COJINETE

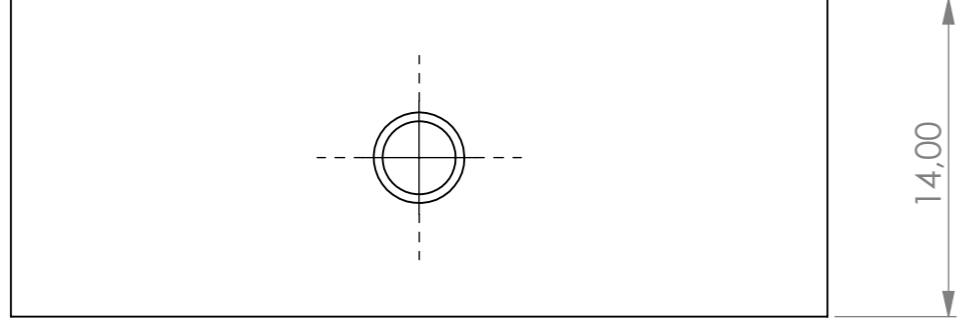
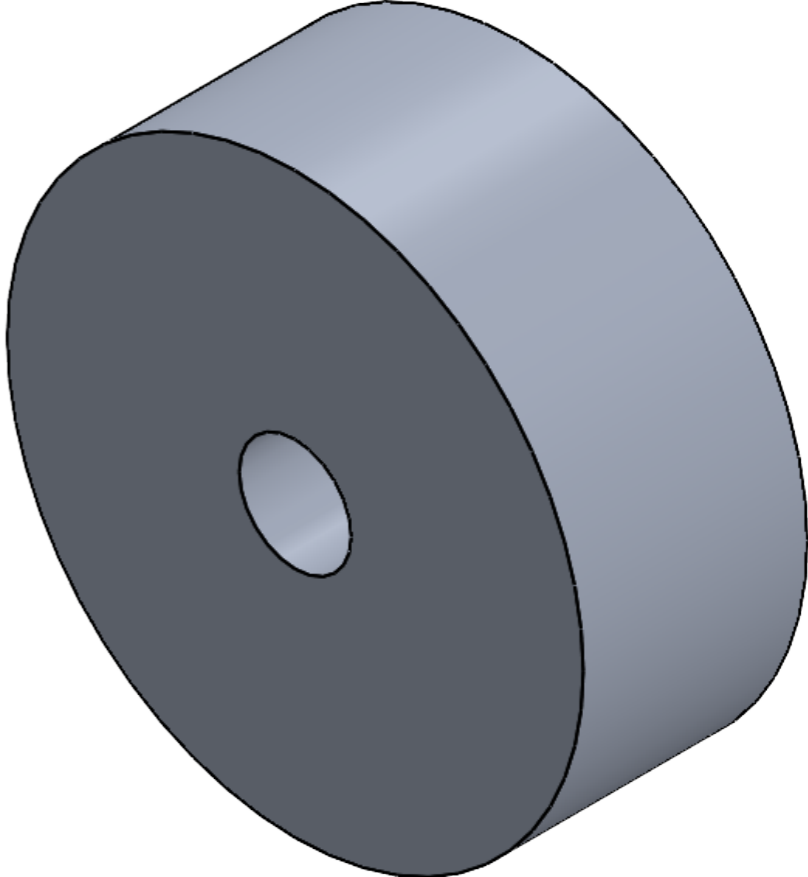
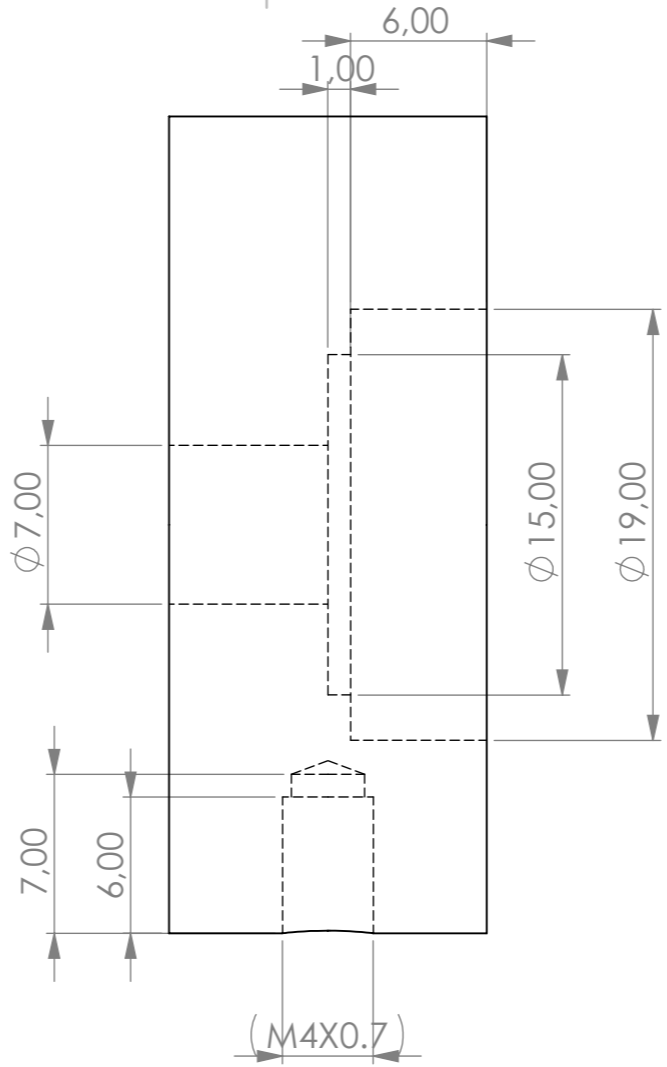
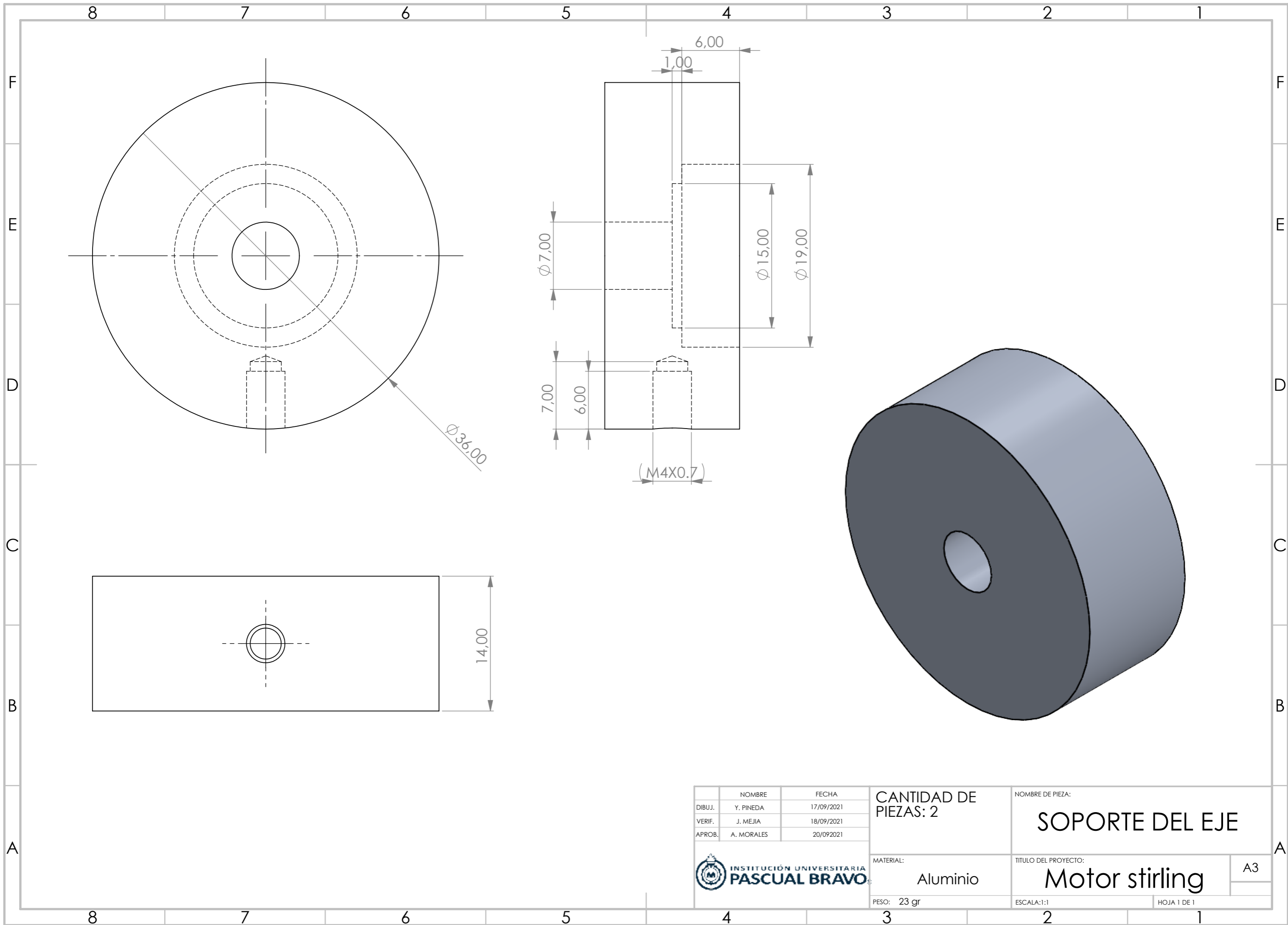
TÍTULO DEL PROYECTO: Motor stirling


ESCALA: 1:1

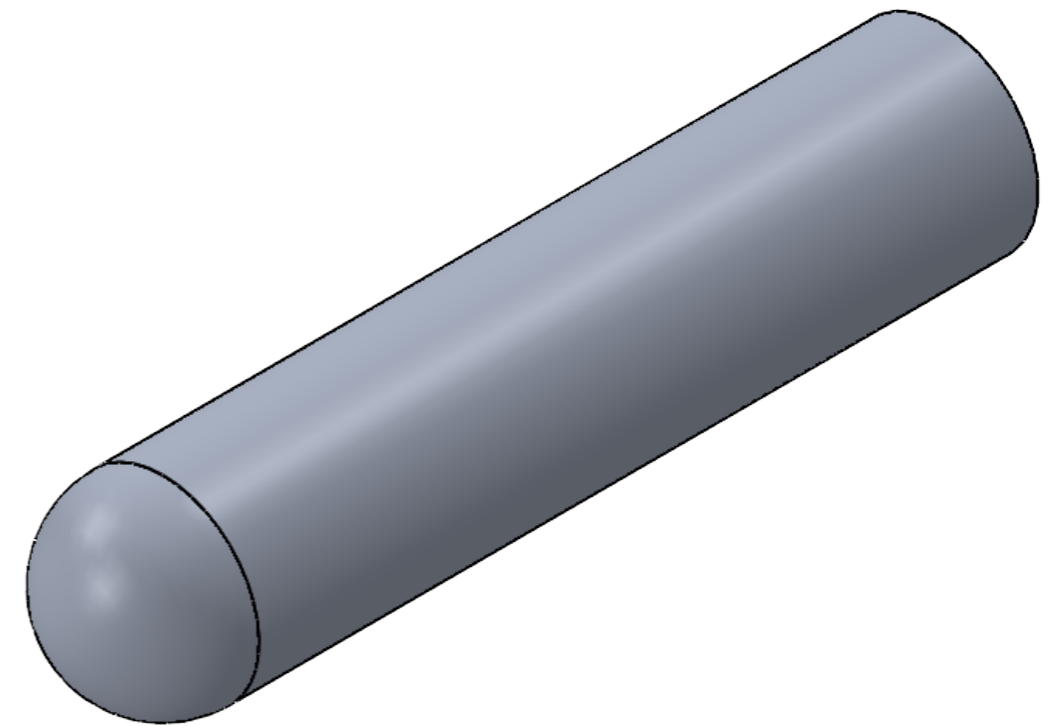
HOJA 1 DE 1




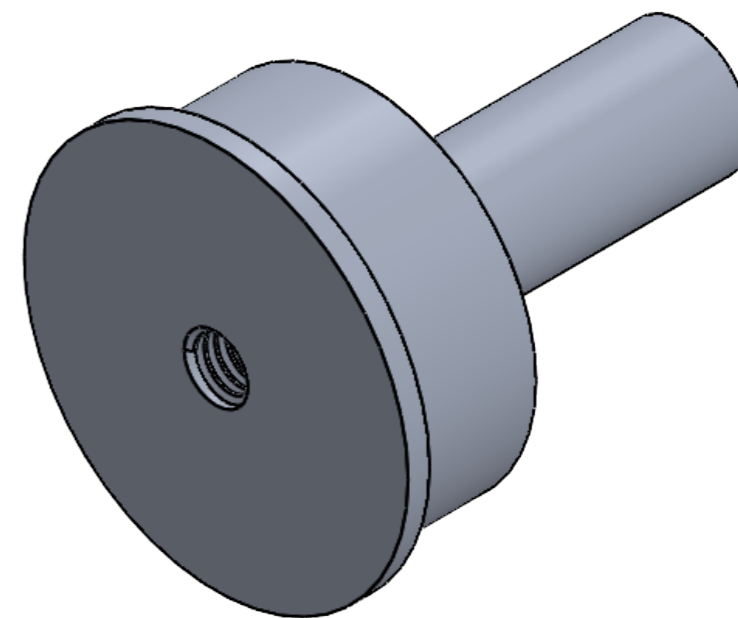
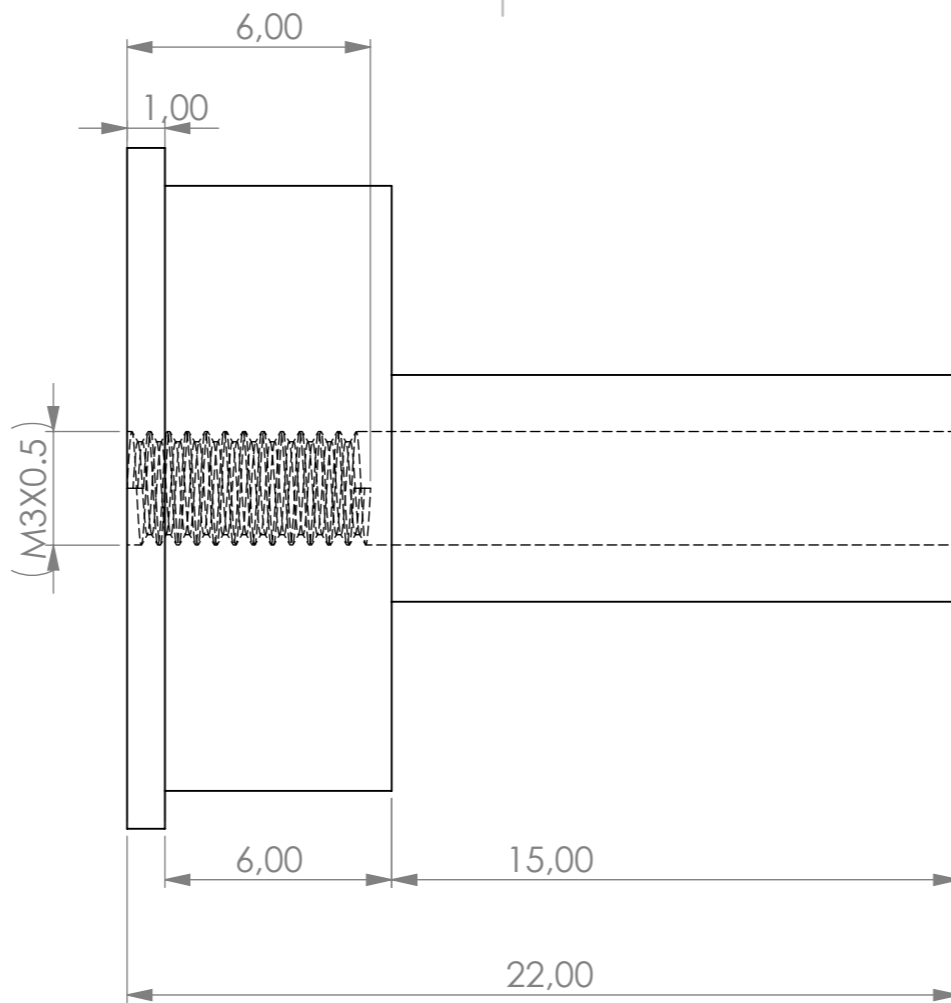
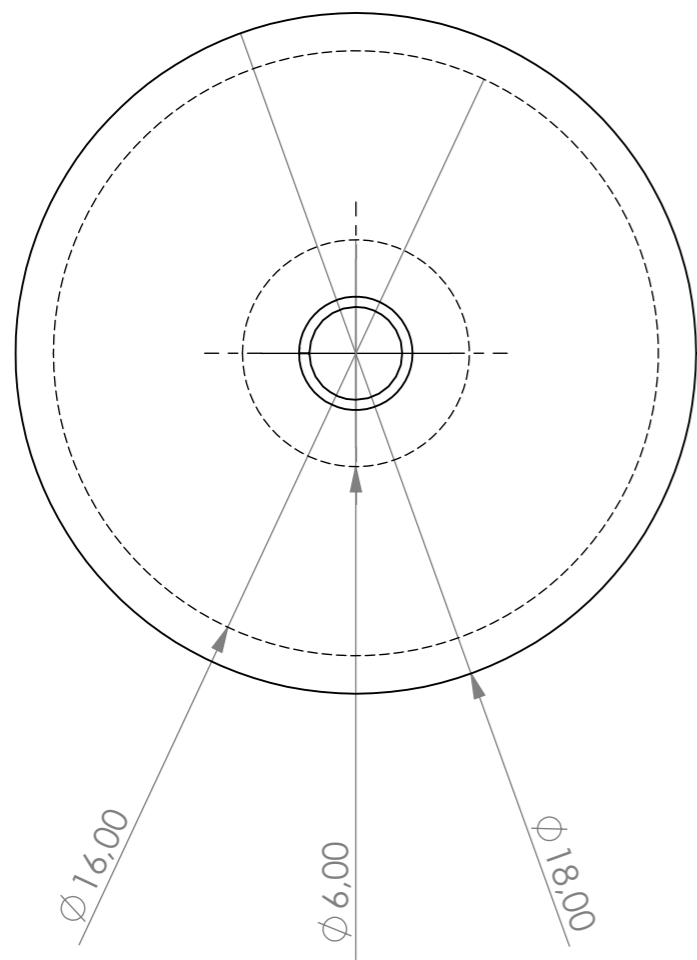
A3




	NOMBRE	FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 2	NOMBRE DE PIEZA:	
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		SOPORTE DEL EJE	
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021			
APROB.	A. MORALES	20/09/2021		TITULO DEL PROYECTO:	
			MATERIAL:	Aluminio	Motor stirling
			PESO: 23 gr	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1
					A3

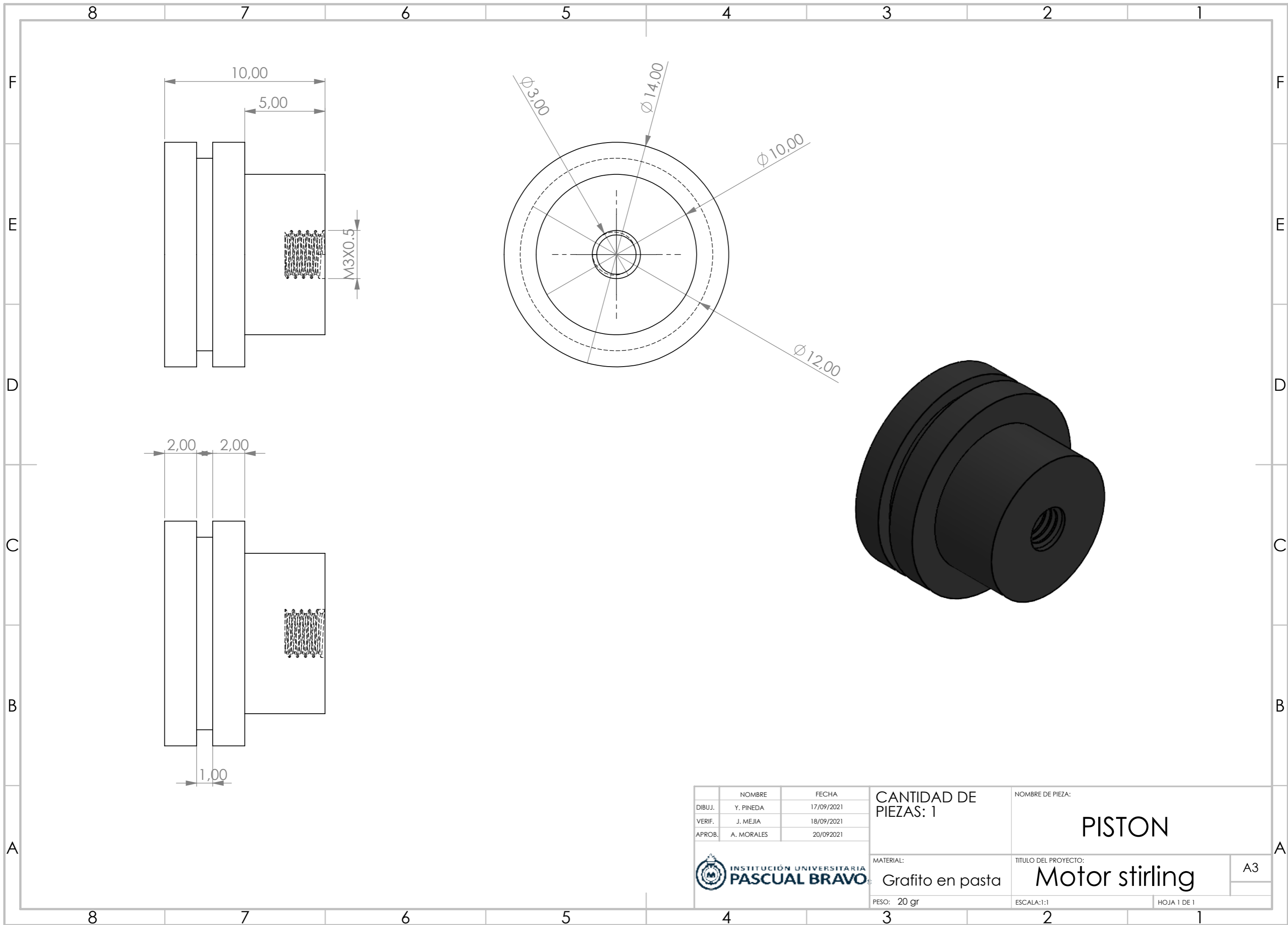


	NOMBRE	FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 1	NOMBRE DE PIEZA:		
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		EMBOLO PRINCIPAL		
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021				
APROB.	A. MORALES	20/09/2021		TITULO DEL PROYECTO:		
			MATERIAL:	Motor stirling		
			Aluminio	ESCALA: 1:1	A3	
			PESO: 15 gr	HOJA 1 DE 1		



NOMBRE		FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 1	NOMBRE DE PIEZA:	
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		TAPA EMBOLO	
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021			
APROB.	A. MORALES	20/09/2021			
			MATERIAL:	TITULO DEL PROYECTO:	
			Aluminio	Motor stirling	
PESO: 11 gr			ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1	

A3



	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021
APROB.	A. MORALES	20/09/2021

CANTIDAD DE PIEZAS: 1

NOMBRE DE PIEZA:
PISTON



MATERIAL:
Grafito en pasta

TITULO DEL PROYECTO:
Motor stirling

PESO: 20 gr

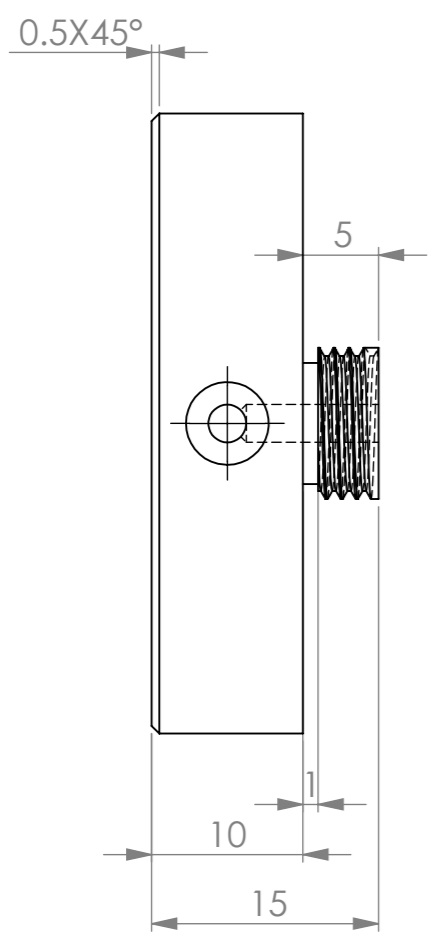
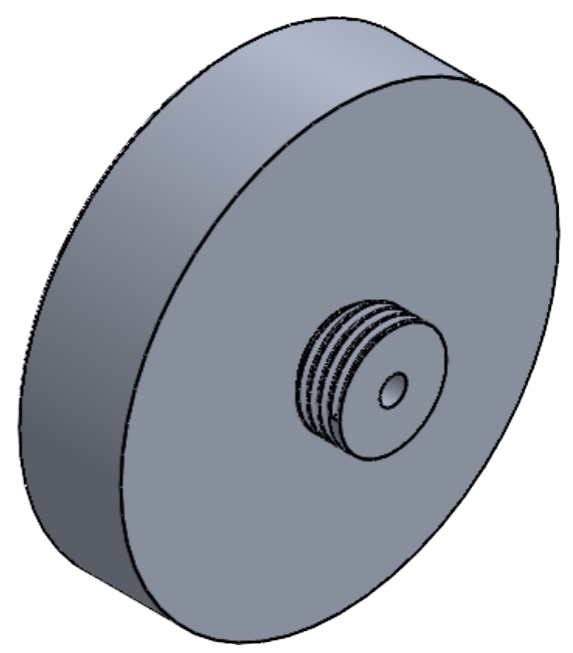
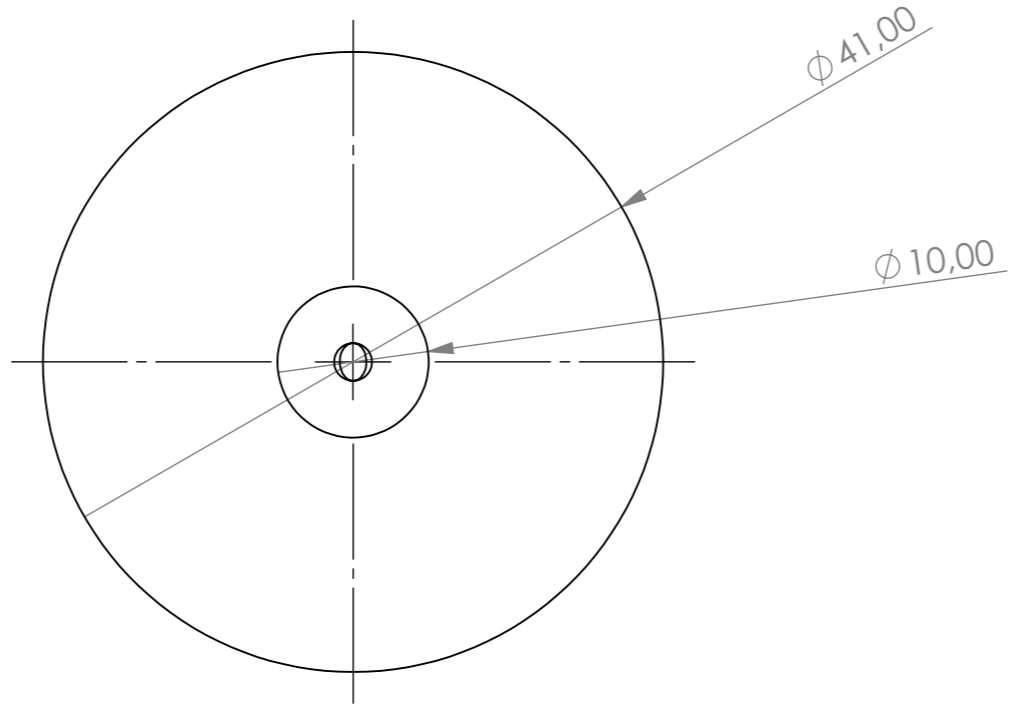
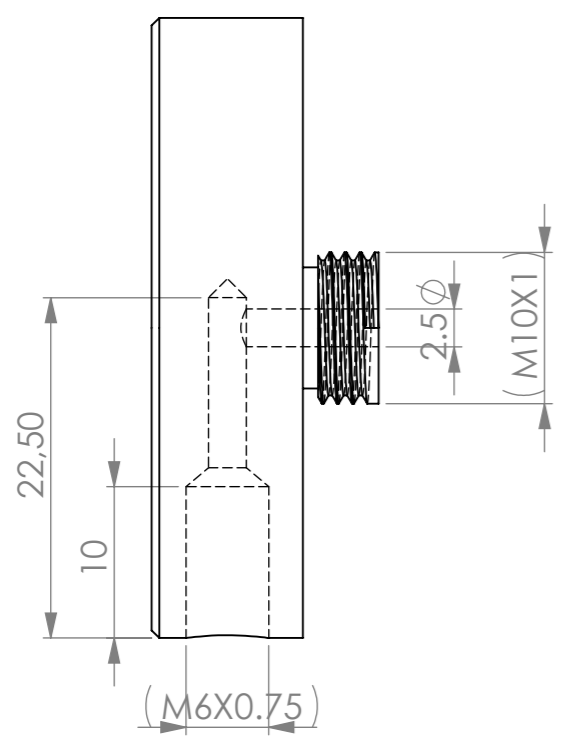
ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1

A3

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A



	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021
APROB.	A. MORALES	20/09/2021

CANTIDAD DE PIEZAS: 1

MATERIAL: Aluminio

PESO: 19 gr

NOMBRE DE PIEZA: CULATA CILINDRO SEC

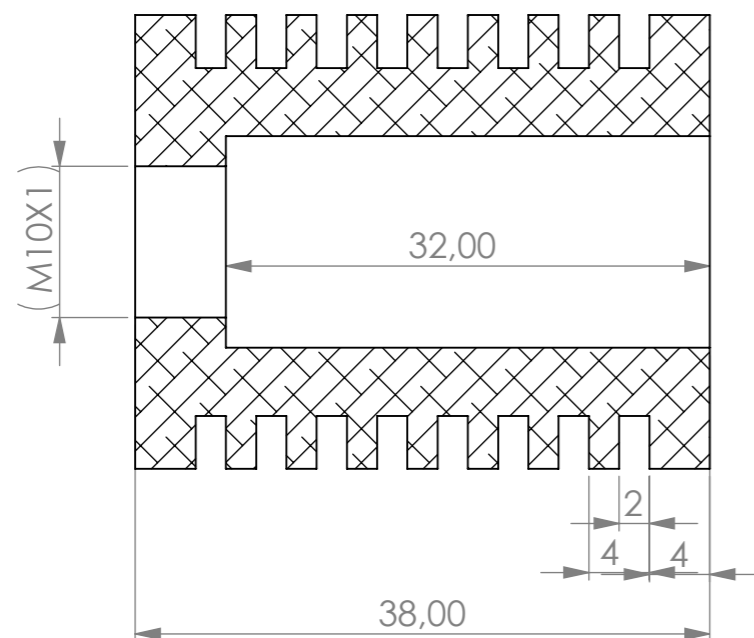
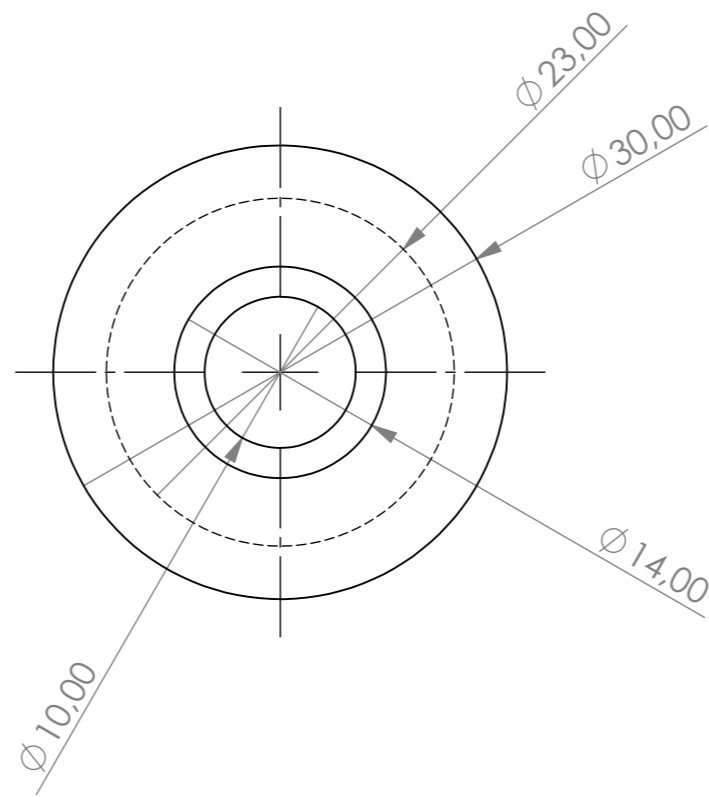
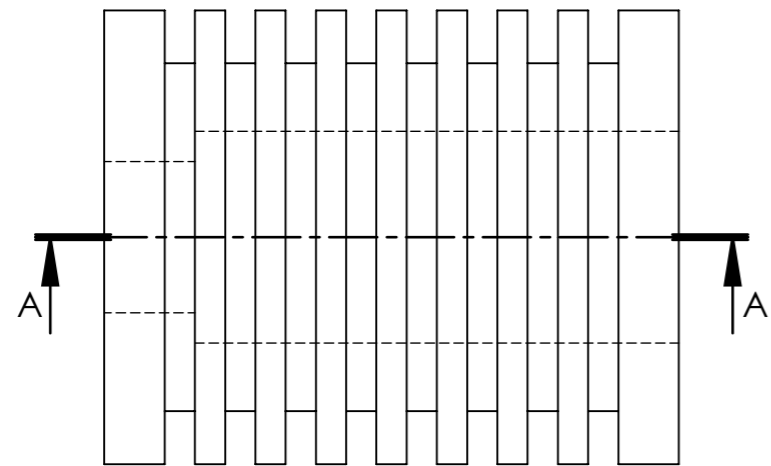
TITULO DEL PROYRCTO: Motor stirling

ESCALA: 1:1

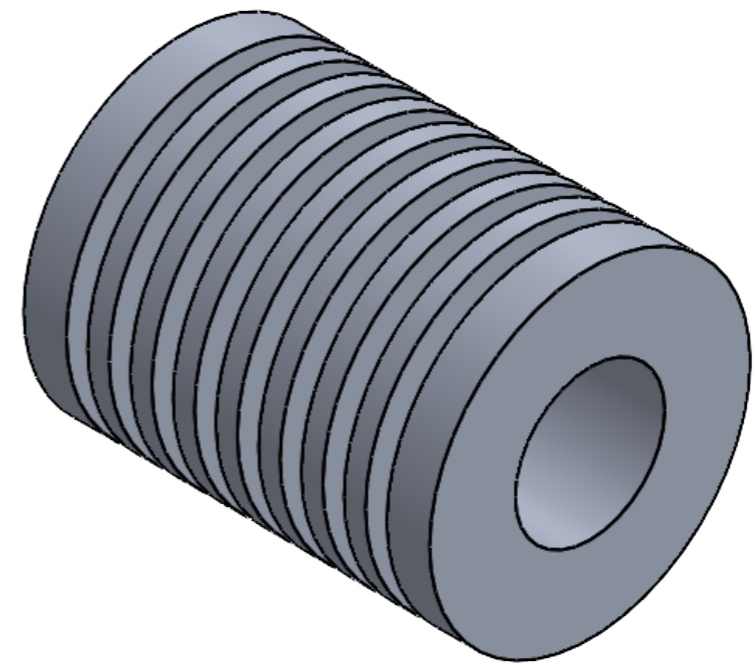
A3

HOJA 1 DE 1

8 7 6 5 4 3 2 1



A-A



	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021
APROB.	A. MORALES	20/09/2021



CANTIDAD DE
PIEZAS: 1

MATERIAL:
Aluminio

PESO: 32 gr

NOMBRE DE PIEZA:

CILINDRO SEC

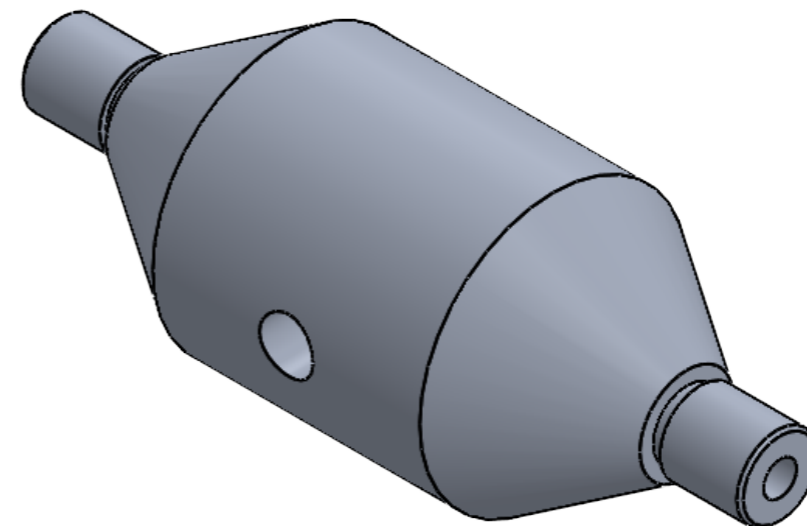
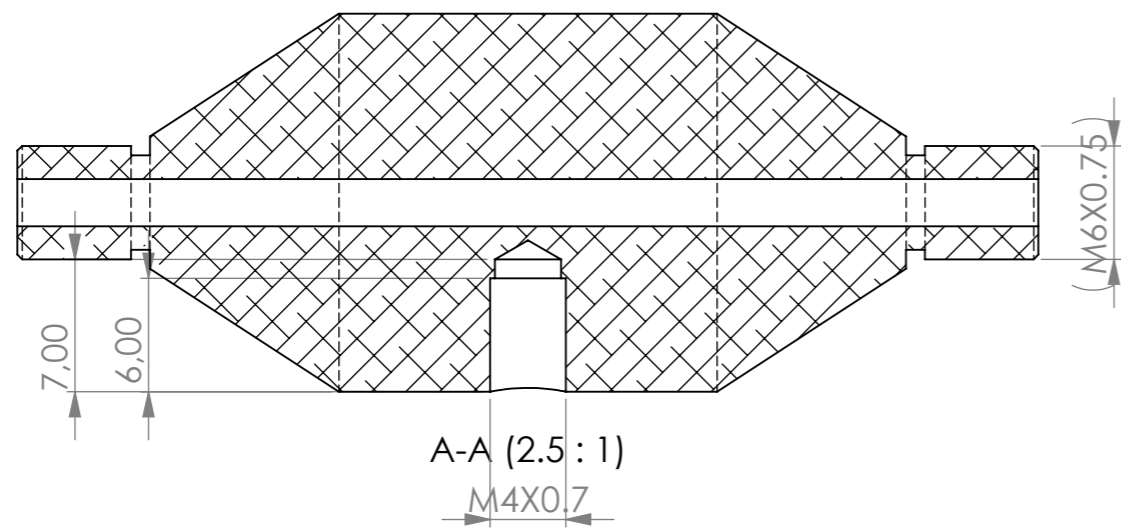
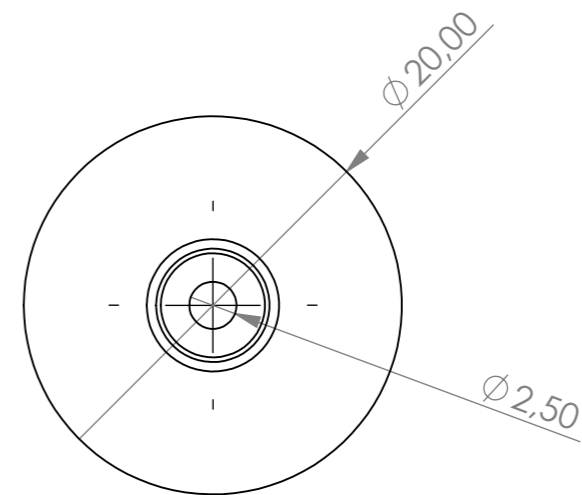
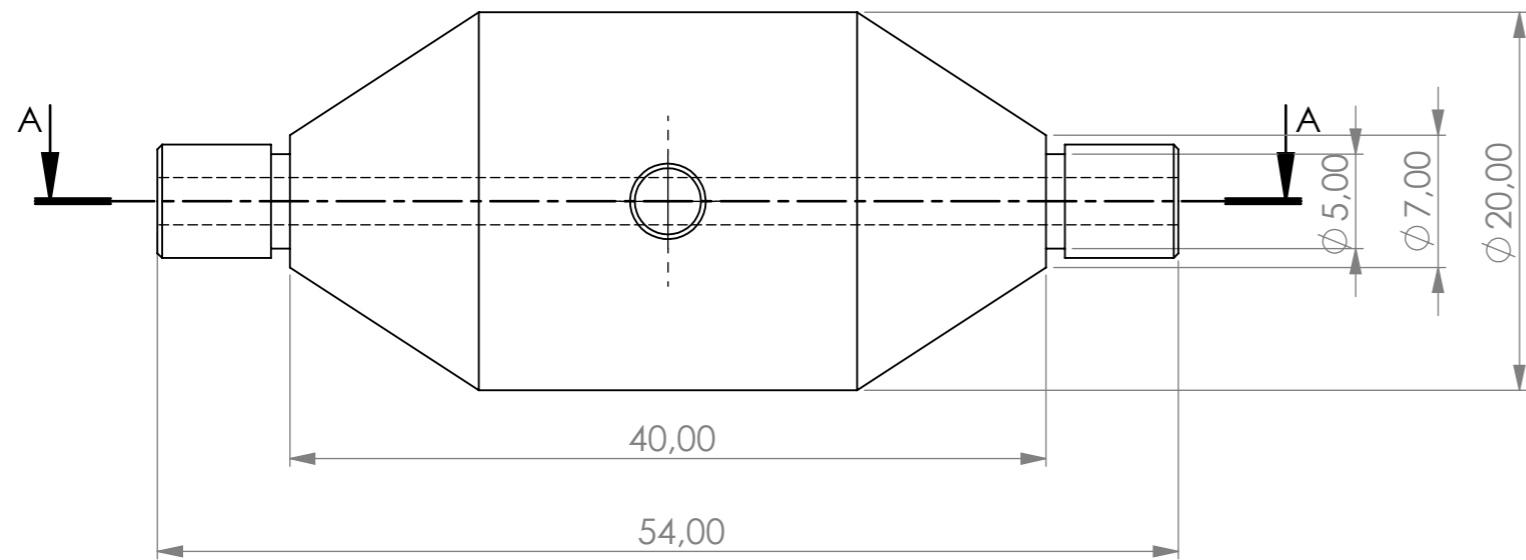
TITULO DE PIEZA:


Motor stirling

ESCALA: 1:1

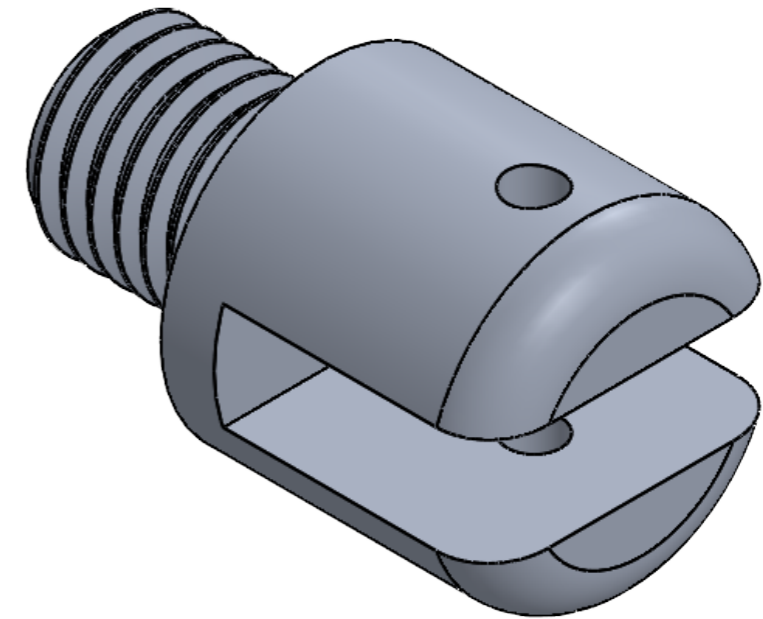
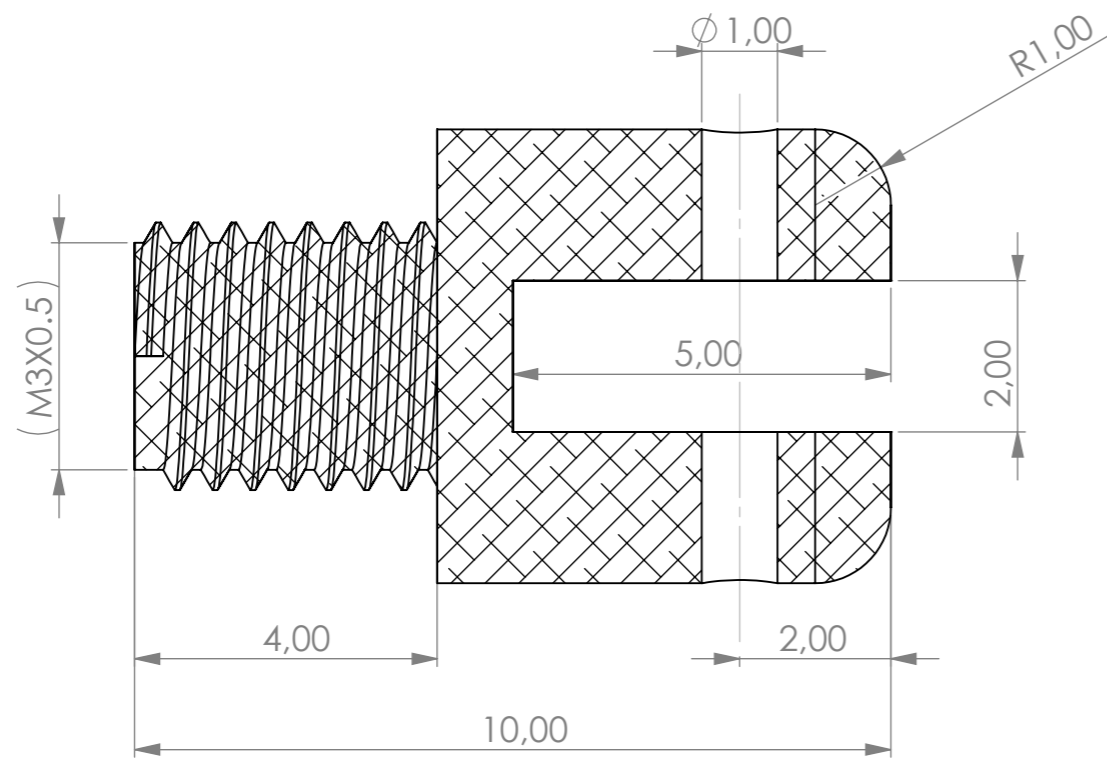
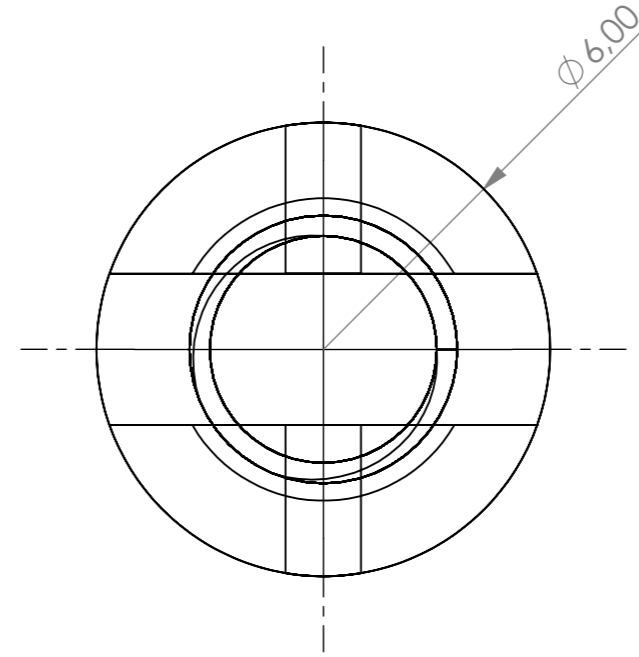
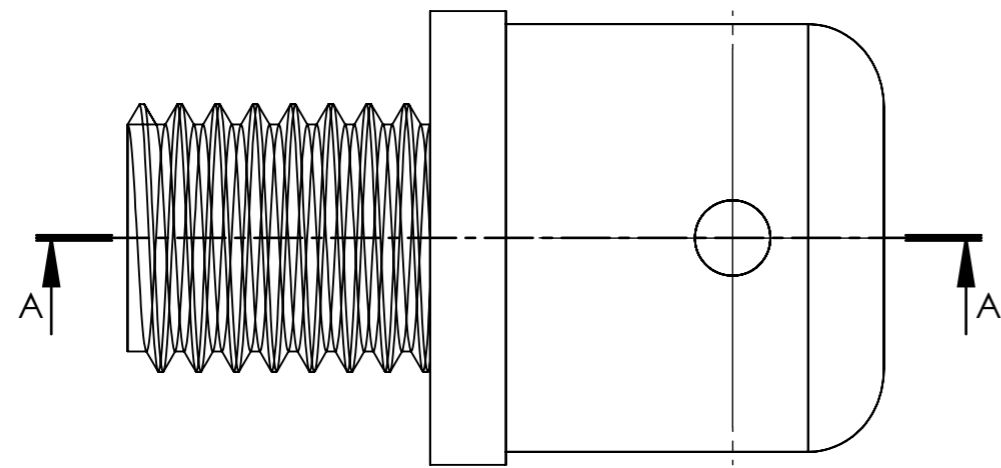
HOJA 1 DE 1

A3




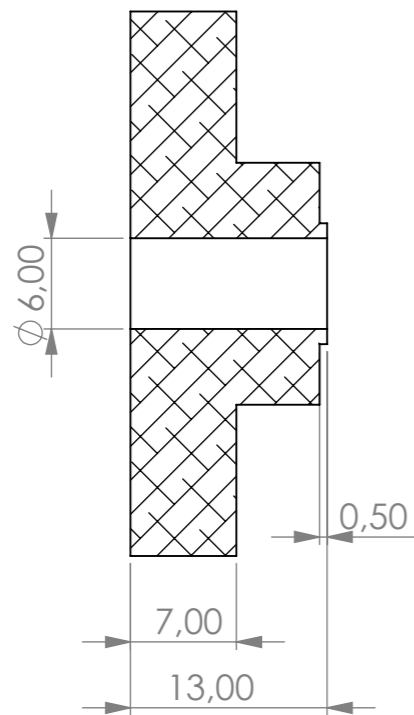
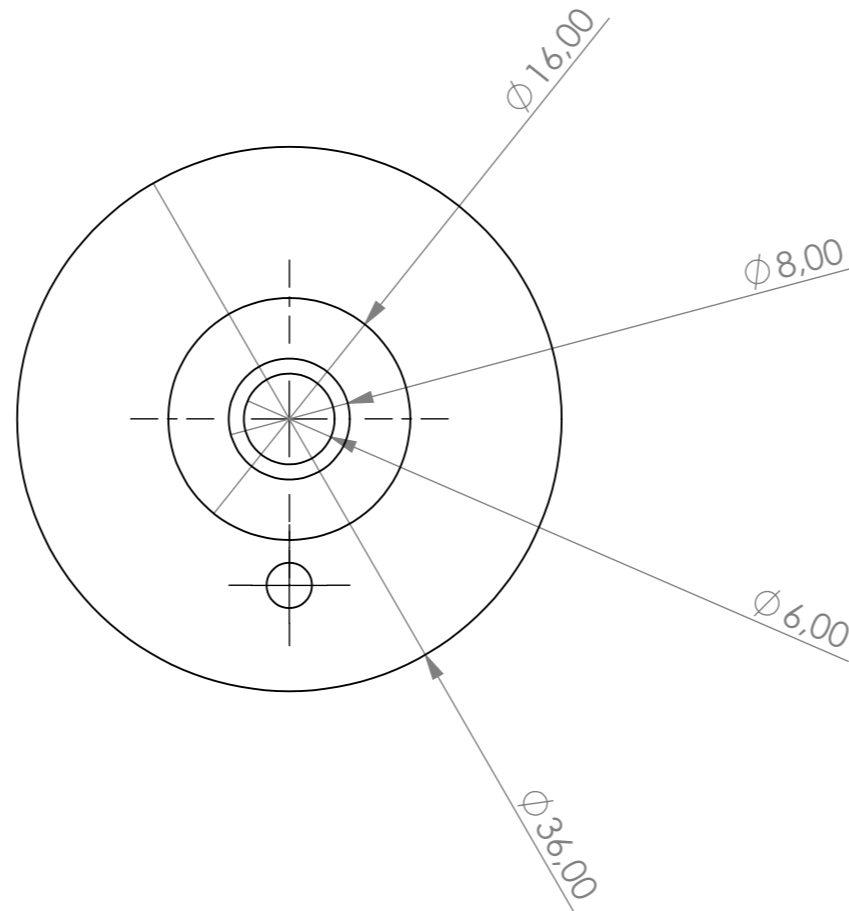
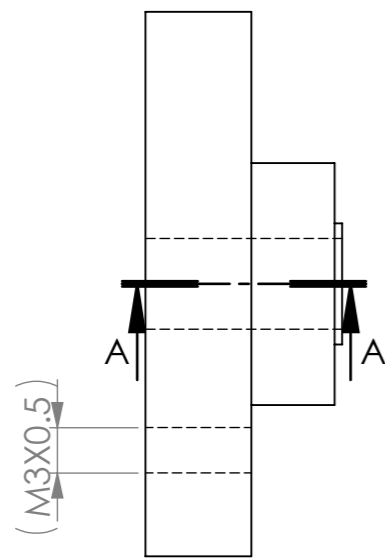
NOMBRE		FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 1	NOMBRE DE PIEZA:	
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		REGENERADOR	
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021			
APROB.	A. MORALES	20/09/2021	MATERIAL:	TITULO DEL PROYECTO:	
			Aluminio	Motor stirling	
			PESO: 26 gr	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1

A3

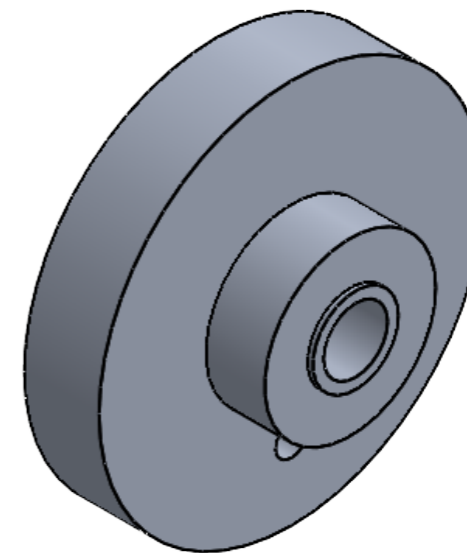


A-A

	NOMBRE	FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 1	NOMBRE DE PIEZA:	
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		ARTICULACIÓN	
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021			
APROB.	A. MORALES	20/09/2021		TITULO DEL PROYECTO:	
			MATERIAL:	Motor stirling	
			Aluminio	ESCALA:1:1	A3
			PESO: 13 gr	HOJA 1 DE 1	



A-A



	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021
APROB.	A. MORALES	20/09/2021



CANTIDAD DE PIEZAS: 2

MATERIAL:
Aluminio

PESO: 28 gr

NOMBRE DE PIEZA:

EXCENTRICA

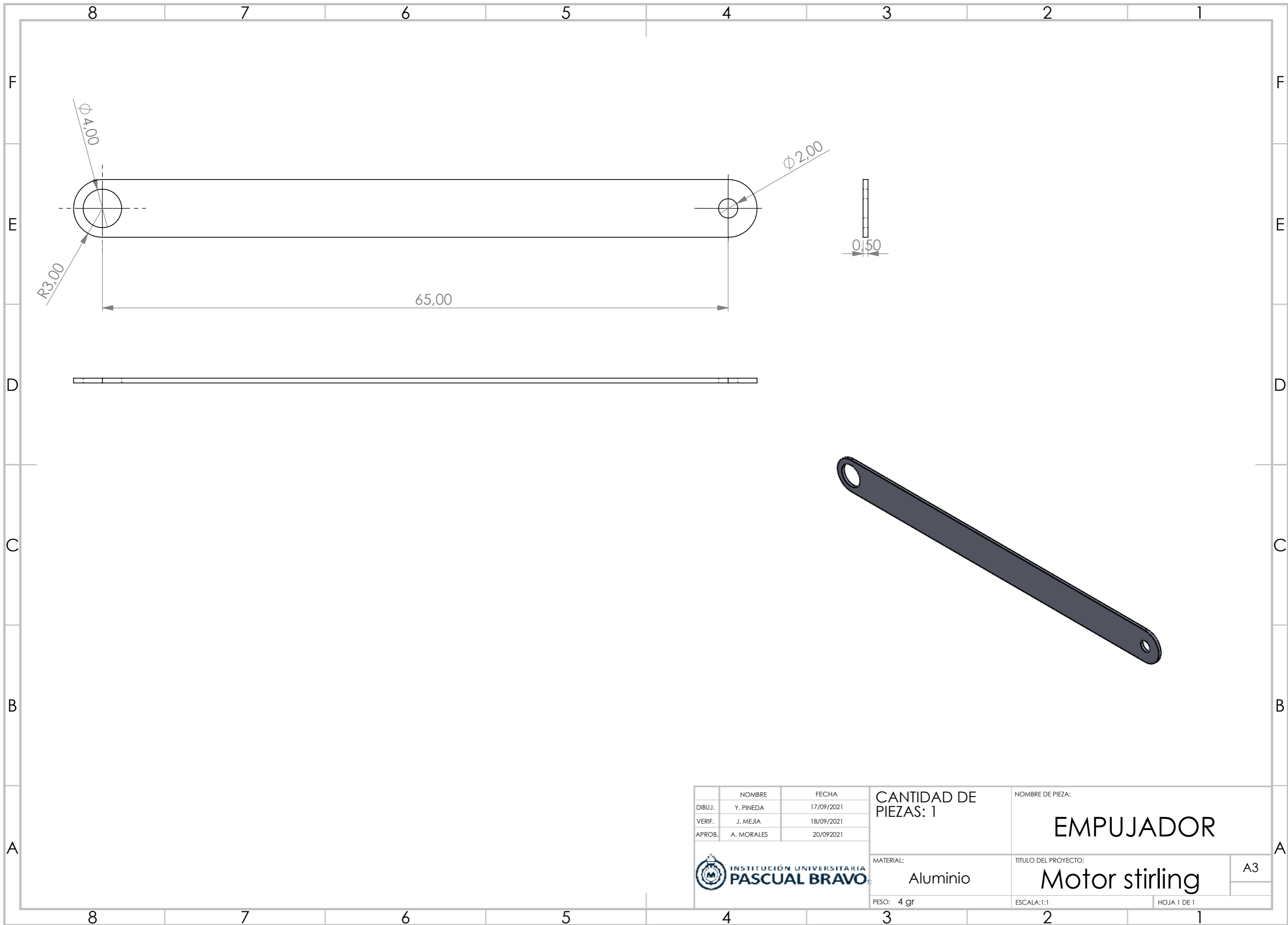
TITULO DEL PROYECTO

Motor stirling

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1

A3



	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021
APROB.	A. MORALES	20/09/2021



CANTIDAD DE PIEZAS: 1

MATERIAL: Aluminio

PESO: 4 gr

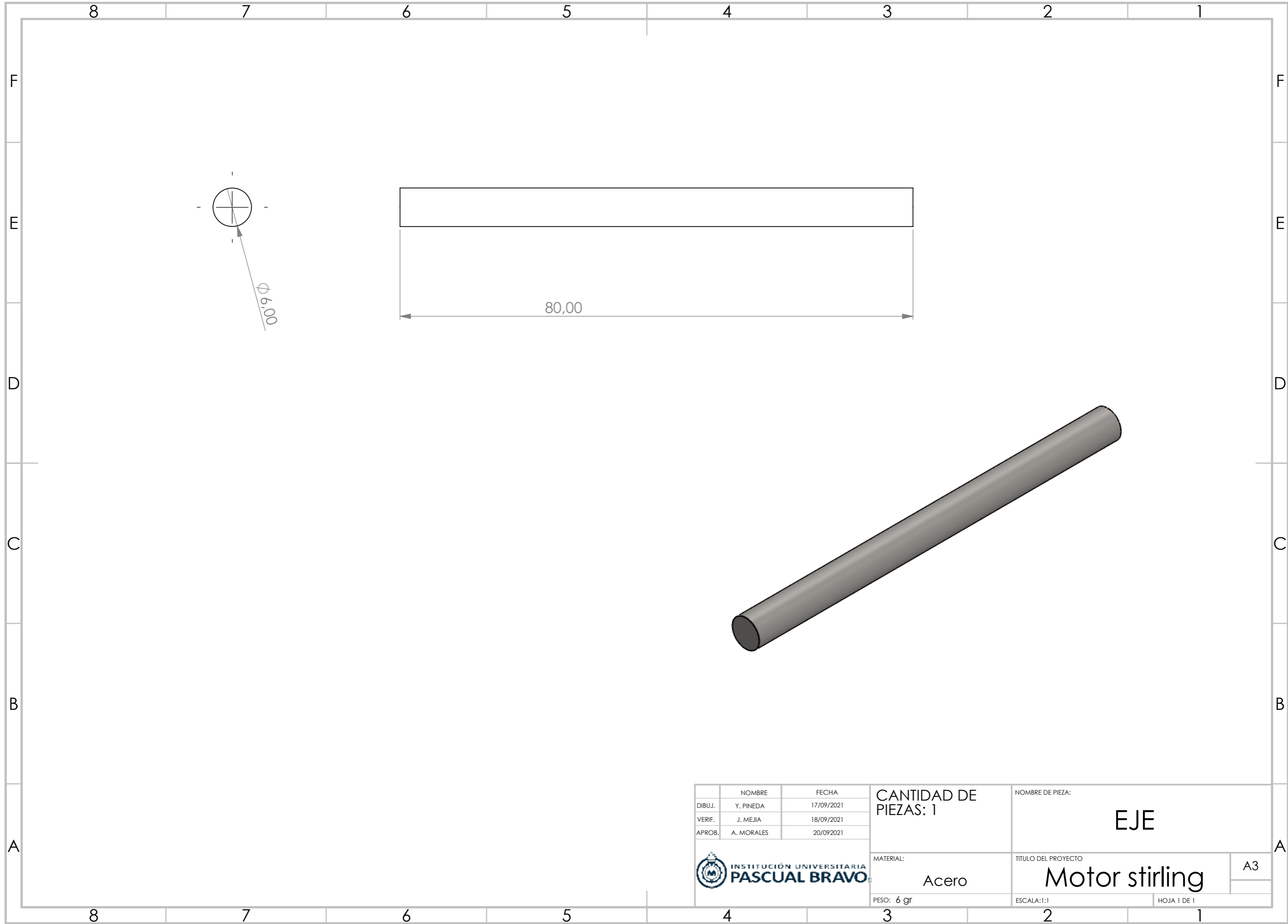
NOMBRE DE PIEZA:
EMPUJADOR


TITULO DEL PROYECTO:
Motor stirling

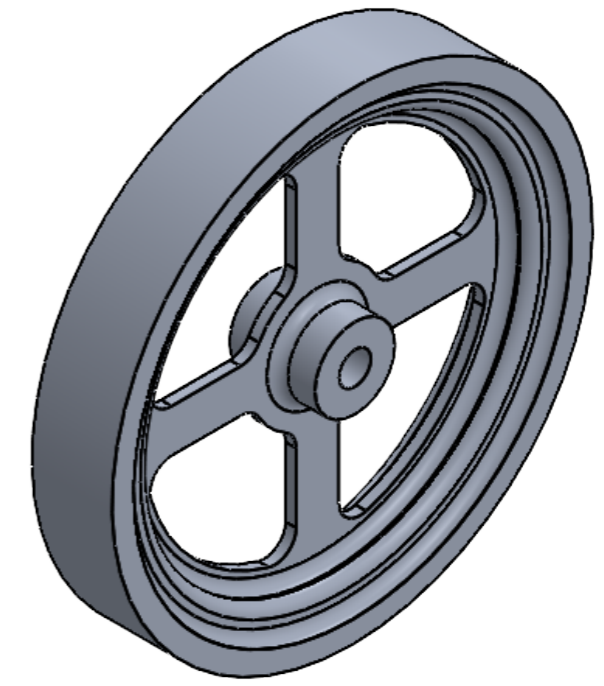
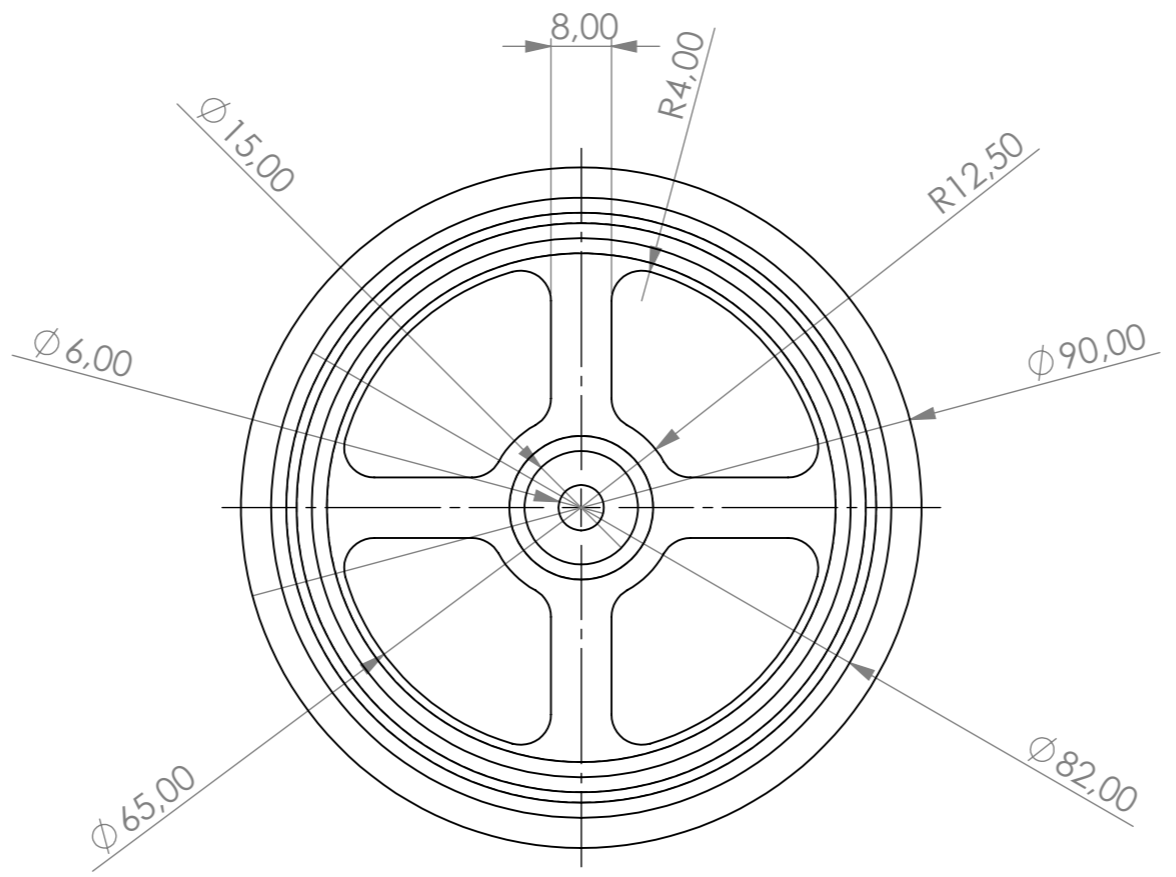
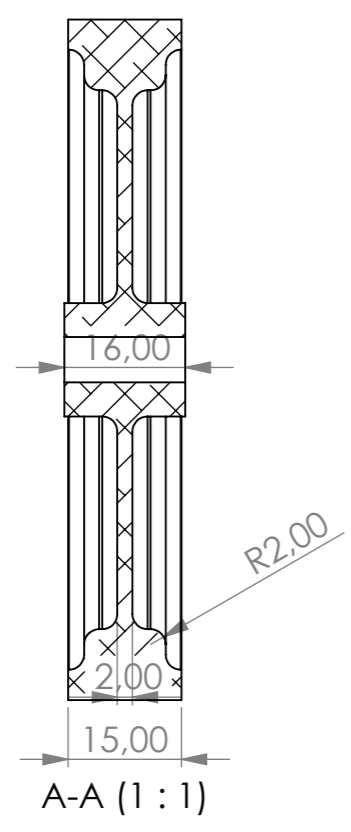
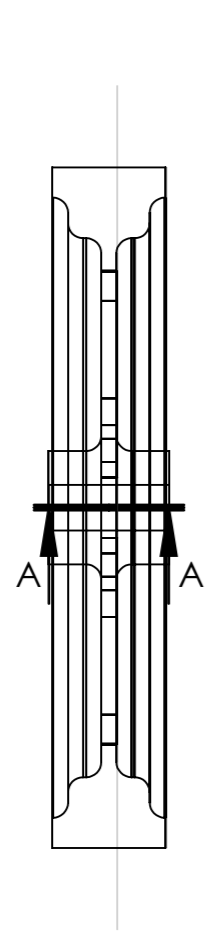
ESCALA: 1:1


A3

HOJA 1 DE 1



	NOMBRE	FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 1	NOMBRE DE PIEZA:	
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		EJE	
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021			
APROB.	A. MORALES	20/09/2021	MATERIAL:	TITULO DEL PROYECTO	A3
			Acero	Motor stirling	
			PESO: 6 gr	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1



NOMBRE		FECHA	CANTIDAD DE PIEZAS: 1	NOMBRE DE LA PIEZA:	
DIBUJ.	Y. PINEDA	17/09/2021		VOLANTE	
VERIF.	J. MEJIA	18/09/2021			
APROB.	A. MORALES	20/09/2021	MATERIAL:	TITULO DEL PROYECTO:	A3
			Aluminio	Motor stirling	
			PESO: 70 gr	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1