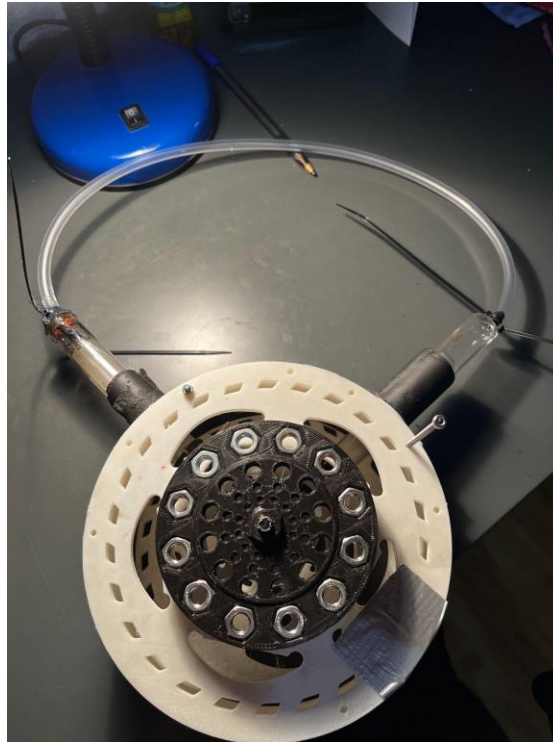


Motor Stirling



PARTICIPANTES:

Alex Hernández Antón

Héctor Ávila Sánchez

Alejandro Alonso de Haro

Michele Ambrosini

Alejandro Sánchez Jiménez

Ingeniería en Sistemas Industriales Universidad Europea de Madrid

Termodinámica y Transmisión del Calor

Introducción.

El proyecto tiene la finalidad de seguir profundizando en la Termodinámica y por ello vamos a diseñar y realizar un motor Stirling.

Objetivos.

1. Realizar el motor Stirling desde 0.
2. Funcionamiento correcto del motor.
3. Llevar el motor a los premios PBS.
4. Aprender y afianzar conceptos de la asignatura.

Lugar de la realización.

El proyecto es grupal y para realizarlo hemos quedado todos los miembros del grupo en la Universidad Europea y en casa de algunos participantes.

El trabajo tiene una parte de investigación propia realizada de manera individual.

Tipo de trabajo.

I. Grupal

Ensamblaje de las piezas y diseño de estas en SolidWorks, AutoCAD...

II. Individual

Investigación individual preliminar al desarrollo del proyecto.

Índice

1.	Robert Stirling.....	Pág. 3
2.	¿Qué es el motor stirling?.....	Pág. 5
3.	¿Por qué se creó?.....	Pág. 6
4.	Aplicaciones del motor.....	Pág. 7
5.	Ciclo Stirling y esquema del ciclo.....	Pág. 9
6.	Tipos de motor Stirling.....	Pág. 11
6.1.	Alfa.....	Pág. 11
6.2.	Beta.....	Pág. 12
6.3.	Gamma.....	Pág. 13
7.	Componentes.....	Pág. 14
8.	Ventajas del motor Stirling.....	Pág. 17
9.	Desventajas del motor Stirling.....	Pág. 19
10.	Cálculo del rendimiento y eficiencia del ciclo.....	Pág. 20
11.	Manufactura propia.....	Pág. 24
12.	Materiales.....	Pág. 31
13.	Problemas Encontrados.....	Pág. 32
14.	Mejoras.....	Pág.33
15.	modularidad del motor y su capacidad de actuar en línea.....	Pág.33
16.	Fotos de la reunión.....	Pág.35
17.	Conclusión.....	Pág. 37
18.	índice de ilustraciones.....	Pág.38
19.	Bibliografía.....	Pág.39

1. Robert Stirling.

Robert Stirling nació en Fata Fields en Escocia y fue uno de los ocho hijos de Patrick y Agnes. Robert Stirling era un ingeniero escocés, el cual tenía descendencia ingeniería por parte del padre y del abuelo; su abuelo fue famoso por la trilladora.



Ilustración 1: imagen de trilladora

Aunque Robert, como su padre y abuelo, tenía una inclinación por la ingeniería, comenzó estudiando en la Universidad de Edimburgo en 1805 con 15 años, estudiando teología para llegar a ser ministro.



Ilustración 2: Retrato de Robert Stirling

Su hermano James desempeñó un papel clave en la ingeniería de su hermano. Robert concluyó sus estudios en Edimburgo y los siguió en Glasgow en 1809. Tuvo una vuelta a la Universidad de Edimburgo para estudiar teología por última vez.

Robert tenía la licencia para predicar en iglesias escocesas. Fue tal su importancia que llegó a ser ministro de la parroquia de Kilmarnock

En julio de 1819 se casó y tuvo 7 hijos con Jane Rankine. Robert es considerado uno de los padres de los motores de aire caliente. Pocos antes de él se atrevieron a construirlo. (1699 Amontons fue el primero en construir un motor de aire caliente).

Amonton fue seguido por Cayley cuyo motor se basaba en cerrar el fuego y alimentarlo por aire bombeado manteniendo la combustión.

Stirling presentó su patente del motor en 1816. La diferencia con el de Cayle era que el fuego pasaba a través del horno y se agotaba y el de Stirling funcionaba en un circuito cerrado.

Stirling hizo 3 partes del motor mejorándolo donde le ayudó su hermano James. Pero definitivamente la patente del motor térmico fue 1840.

A pesar de que actualmente no tiene un uso en específico, su motor sigue llamando la atención a instituciones grandes como la Nasa.

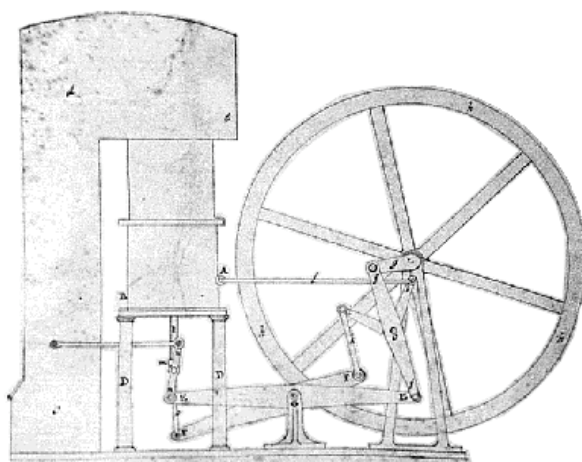


Ilustración 3: modelo antiguo de motor Stirling del 1816

2. ¿Qué es el motor Stirling?

Un motor Stirling alimenta un sistema con energía térmica y hace circular aire comprimido y soplado u otro gas (llamado fluido de trabajo) a varios niveles de temperatura, lo que da como resultado una conversión neta de energía térmica en energía mecánica. Es una máquina que puede realizar un trabajo térmico.

Básicamente, el ciclo de trabajo de un motor Stirling consta de cuatro etapas en las que el gas se comprime, calienta, expande y enfría de forma cíclica.

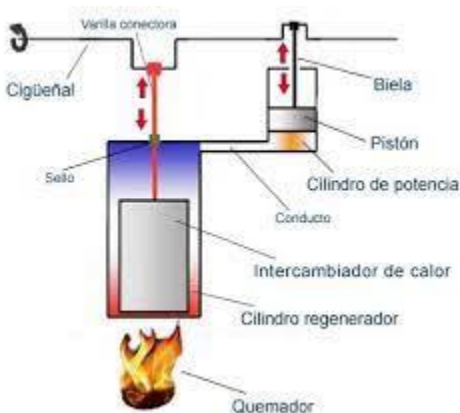


Ilustración 4: ejemplo y partes de un motor Stirling

Esta cadena de eventos provoca un cambio en la presión del gas que se convierte en trabajo útil. Este proceso de conversión de calor en trabajo convierte al motor Stirling en el único motor cuya eficiencia se acerca al máximo teórico (generando entre 200-500 watts de electricidad) definido por la eficiencia del llamado motor ideal de Carnot.

En la práctica, este rendimiento ideal no se puede lograr debido a pérdidas inevitables durante la operación. Dichas pérdidas serán las causantes de que este motor no sea tan utilizado como podría llegar a serlo.

3. ¿Por qué se creó?

¿Para qué se utilizan?

Los motores Stirling son dispositivos de conversión de energía que pueden utilizarse como motores de propulsión, motores de refrigeración o bombas de calor. Actualmente se utilizan comercialmente como sistemas de enfriamiento criogénico y se están desarrollando como motores automotrices silenciosos y de bajas emisiones.

Los motores Stirling tampoco utilizan explosiones como los motores de gasolina convencionales, por lo que son muy silenciosos. Si bien estos pueden parecer ventajas significativas sobre los motores convencionales, son menos prácticos en la mayoría de los vehículos porque requieren calor externo en lugar de calor interno.

Los motores Stirling se han utilizado para explotar la energía solar y para aplicaciones de biomasa. La aplicación más común de la energía solar es el sistema de generación de energía con paneles solares. Las centrales eléctricas de este tipo tienen un disco reflector de hasta 25 m de diámetro que concentra la energía solar en un absorbedor ubicado en el punto focal.

En submarinos, el motor Stirling es la base de la propulsión de algunos motores pues permite recargar las baterías a altas profundidades. Son extremadamente flexibles pudiéndose utilizar para cogeneración en invierno y como refrigeración en verano.

¿Por qué los motores Stirling no son populares?

Varias características clave hacen que los motores Stirling no sean adecuados para muchas aplicaciones, incluida la mayoría de los automóviles y camiones. El motor necesita tiempo para calentarse antes de que pueda producir potencia útil. El motor no puede cambiar la potencia rápidamente.

4. Aplicaciones del motor.

El motor Stirling tiene varias aplicaciones que se pueden dividir en tres tipos principales:

- Propulsión mecánica
- calefacción y refrigeración
- Sistemas de generación eléctrica

Como el motor Stirling es un motor térmico que funciona por compresión cíclica y expansión de aire o gas. Durante este ciclo se produce una conversión de calor a trabajo mecánico y si se hace al revés podríamos hablar de refrigerador o bomba de calor.

Generación de electricidad

- **Energía nuclear:** Reemplazar las turbinas de vapor por el motor Stirling; esto podría simplificar la planta, tener una mayor eficiencia y reducir los subproductos reactivos. Varios reactores usan líquidos como refrigerante; lo que conlleva a la necesidad de un intercambio de calor (sodio) y deriva en una reacción violenta con el agua. El motor Stirling elimina la necesidad de agua en cualquier ciclo. Por ello tendría un uso en regiones secas.



Ilustración 5: motor nuclear

Propulsión mecánica

- **Motores de bomba:** Se podría aplicar en bombas para mover fluidos como agua, aire y gas. Pudiéndose aplicar en una bomba agua centrífuga que funcione con un generador de 3kW.



Ilustración 6 bomba centrífuga

- **Vehículos eléctricos:** Los motores Stirling como parte de un sistema de accionamiento híbrido. En 2007 el proyecto Precer en Suecia anunció un prototipo de automóvil híbrido con combustible sólido y un motor Stirling.



Ilustración 7: ejemplo de coche eléctrico

5. Ciclo Stirling y esquema del ciclo.

El ciclo del motor Stirling consiste en:

- 1: Expansión a temperatura constante/**Expansión isotérmica**.

El espacio de expansión y el intercambio de calor se mantienen a una temperatura alta y constante donde el gas absorbe el calor de la fuente caliente.

- 2: Extracción a volumen constante/**Enfriamiento isocórico**.

El gas pasa por un refrigerador donde se enfría y contrae, transfiriendo su calor al regenerador para usarse en el siguiente ciclo.

- 3: Compresión a temperatura constante /**Compresión isotérmica**.

El espacio de compresión y el calor son sometidos a bajas temperaturas constantes. Lo que produce que el gas se comprime.

- 4: Adición de calor a volumen constante/**Calentamiento isocórico**.

El gas recoge el calor soltado en el paso 2, para después volver a expandirse.

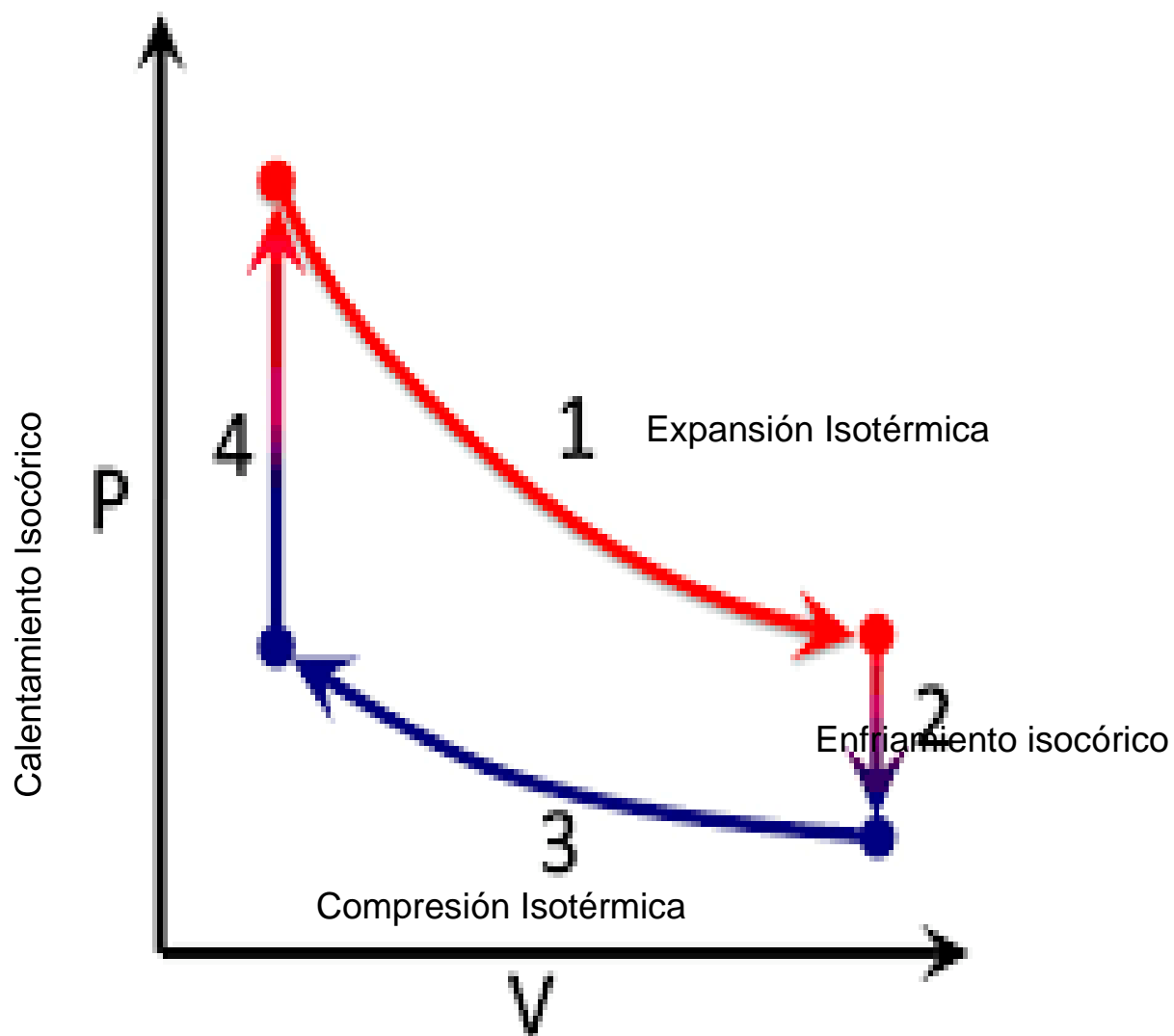


Ilustración 8: ciclo de stirling

6. Tipos de motor Stirling.

El motor Stirling es un mecanismo complejo del que, con el paso del tiempo, han surgido diferentes variaciones, tanto en el funcionamiento como en su diseño; manteniendo el mismo principio en común.

Todas estas variables se pueden considerar motores de combustión externa y de proceso adiabático, debido a que no necesita quemar combustible en su interior y no suministra calor al entorno.

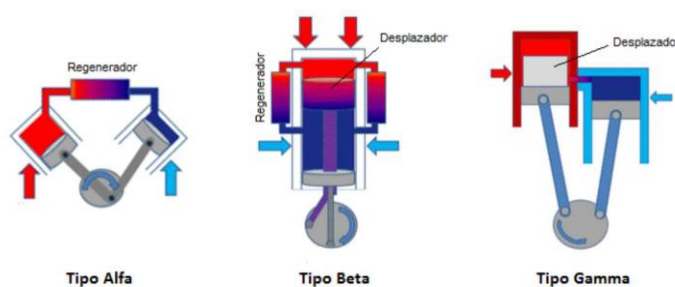


Ilustración 9: Stirling Motor, DocPlayer, 2020

Es por ello que encontramos tres tipos de motor Stirling: **alfa, beta y gamma**.

6.1. Motor Stirling Alfa.

Este motor fue diseñado por el americano Rider, el modelo presentado no hace uso de un desplazador, a diferencia del motor original patentado por Stirling.

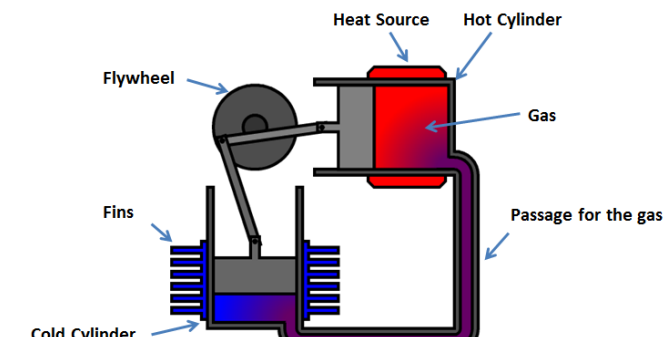


Ilustración 10: motor tipo Alpha Stirling Engine, Mechanical Booster, 2019.

El motor se basa en dos cilindros autónomos, conectados por una manguera en la que se sitúa el regenerador que almacena y cede el calor. En cada uno de los cilindros, encontramos un pistón que se mueve desfasado 90 grados respecto al otro pistón

Uno de los cilindros es calentado mediante una fuente de calor como puede ser un mechero de gas; y el otro cilindro es enfriado mediante un disipador conformado por aletas o agua.

El desfase entre los dos pistones permite que el aire en el interior de los cilindros y la manguera pase de un cilindro a otro; realizando el trabajo que permite el funcionamiento del motor, mediante el calentamiento y enfriamiento del aire interno del mecanismo.

En este modelo del motor Stirling, el pistón frío, es el único responsable de la compresión y descompresión del sistema. Por otro lado, el pistón caliente es el que se encarga de la producción del trabajo del propio motor.

6.2. *Motor Stirling Beta.*

Este otro modelo del motor Stirling es muy similar a la inicial; ya que encontramos el pistón de potencia y el desplazador de manera concéntrica y en el mismo cilindro.

El motor tipo beta del modelo Stirling es mono cilíndrico, es decir, consta de un solo cilindro, con una zona caliente y una zona fría.

Las zonas caliente y fría que presenta el modelo Beta se pueden conseguir de la misma forma que los demás modelos. Mediante una fuente de calor como un mechero de gas o alcohol; y la zona fría de la

misma forma puede ser conseguida empleando un disipador de aletas o agua.

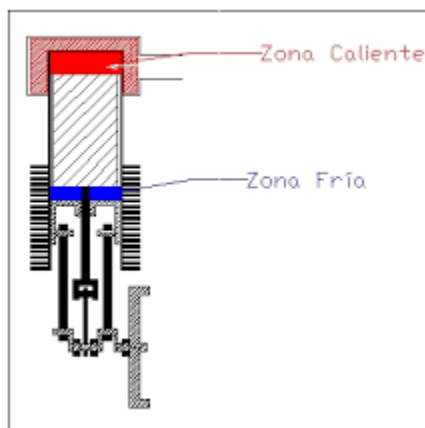


Ilustración 11: Beta Stirling Engine, Erenovable, 2020.

Empleando un cigüeñal, el movimiento del pistón y el desplazador están desfasados 90 grados uno respecto del otro, lo que permite que el motor funcione.

Desde un punto de vista termodinámico, es el motor más eficaz que encontramos dentro de las diferentes variables del motor Stirling.

Sin embargo, respecto a una vista constructiva, no es precisamente simple; ya que el pistón debe tener dos bielas y permitir el paso del vástago que transmite el movimiento al desplazador.

6.3. Motor Stirling Gamma.

Esta nueva variante del motor Stirling, es a su vez una variante del modelo Beta. Esto es debido a que mantiene su modelo de enfriamiento y calentamiento del fluido interno del mecanismo; es decir, se mantiene la forma en que se enfría y calienta el aire.

La diferencia entre el modelo Gamma y el modelo Beta es que la construcción de la variante Gamma es mucho más simple; ya que su funcionamiento es similar al de un motor de motocicleta.

Este modelo está conformado por dos cilindros separados, en los que, en uno se encuentra el desplazador y en otro se sitúa el pistón.

Al igual que en el modelo Alfa y Beta, en este modelo el pistón y el desplazador se mueven desfasados 90 grados uno respecto del otro, mediante un cigüeñal.

Desde el punto de vista termodinámico, es mucho menos eficaz que el modelo de tipo Beta; debido a que la expansión del trabajo se realiza totalmente a una temperatura inferior.

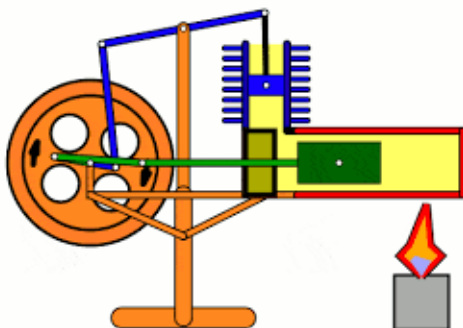
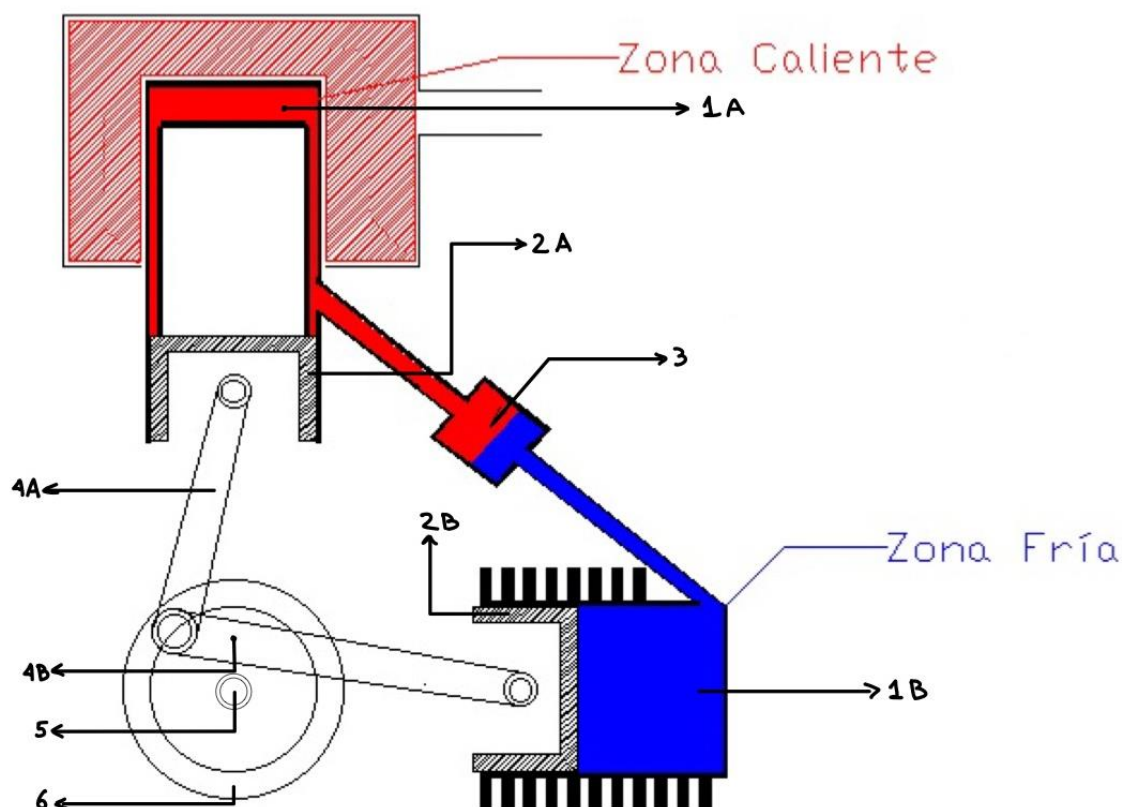


Ilustración 12: Gamma Stirling Engine, Monografías, 2020.

7. COMPONENTES

A pesar de que los componentes básicos de un motor Stirling suelen ser similares para todos los motores de este tipo, algunos componentes específicos pueden variar dependiendo de la versión que se analice. En este caso enlistamos los componentes que se han utilizado en el motor que hemos diseñado (tipo Alpha):



- **Componentes 1A, 1B:** Cilindros respectivos al foco caliente y al foco frío. Diseñados para que puedan transferir correctamente el calor. Dentro de estos cilindros es donde se produce la expansión y compresión de aire. Se han utilizado jeringas de vidrio debido a su buena conductividad térmica y a la geometría cilíndrica que presentan.
- **Componentes 2A, 2B:** Pistones respectivos al foco caliente y al foco frío. Se han utilizado los émbolos de las jeringas para que su diámetro interior coincida con el diámetro de los pistones. Estos componentes son los que ejercen presión sobre el aire dentro de los cilindros.
- **Componente 3:** Manguera de intercambio de calor: entre el aire caliente y el aire frío. Conecta el pistón asociado con el foco caliente al pistón asociado con el foco frío.

- **Componentes 4A, 4B:** Bielas de los pistones asociados al foco caliente y al foco frío respectivamente.
- **Componente 5:** Rodamiento que permite la rotación del volante de inercia (componente 6) de manera que se genere el menor trabajo posible debido al rozamiento entre componentes.
- **Componente 6:** Volante de inercia. Concéntrico al rodamiento y coincidente con las bielas 4A y 4B, es el que junto a aquellos otros componentes, transmite el trabajo generado en los pistones.

8. Ventajas del Motor de Stirling

- **Su buena reacción a bajas temperaturas:** Comienzan fácilmente, aunque lentamente, y requieren un calentamiento inicial. Funcionan mejor en temperaturas ambiente frías, a diferencia de los motores de combustión interna que arrancan fácilmente en temperaturas altas, pero tienen problemas para arrancar en temperaturas frías.

- **Su gran versatilidad:** Se pueden construir para una operación de propulsión silenciosa y sin aire en submarinos o en el espacio. Se pueden usar para bombear agua y se pueden usar como refrigerante para una fuente de enfriamiento (cuanto más fría esté el agua, mejor).

Son muy flexibles y se pueden utilizar para cogeneración en invierno y refrigeración en verano.

- **Alimentación:** Gracias a la versatilidad de las fuentes de energía disponibles para su funcionamiento, este motor sigue en investigación, ya que solo requiere una fuente de calor fuera de los cilindros, lo que permite el uso de varias fuentes de energía: calor solar, diferentes combustibles, el uso de biomasa, energía geotérmica, etc.

Por conveniencia: En la mayoría de los motores Stirling, los mecanismos y juntas están enfocados en frío, por lo que requieren menos lubricación y duran más que otros motores alternativos. Además, estos mecanismos son más sencillos que otras máquinas alternativas, no se requieren válvulas, se pueden simplificar los quemadores y en algunos casos la baja presión permite el uso de cilindros más livianos.

- **Sus características:** El motor Stirling es el único motor que puede acercarse al máximo rendimiento teórico de Carnot que realmente se logra en teoría, lo que lo convierte en la mejor opción en términos de rendimiento del motor térmico.
- **A nivel ambiental:** Se puede utilizar un proceso de combustión continua, reduciendo así la mayoría de las emisiones (óxidos de nitrógeno, hollín, hidrocarburos...).
- **Por razones de seguridad:** Un motor Stirling utiliza un fluido de trabajo monofásico que mantiene la presión interna cerca de la presión de diseño, lo que reduce el riesgo de explosión. Por el contrario, una máquina de vapor puede utilizar agua tanto en estado líquido como gaseoso, por lo que el fallo de una válvula puede provocar una explosión peligrosa.

9. Desventajas del Motor de Stirling

-Encendido lento: Un motor Stirling no arranca de inmediato, primero debe calentarse.

-Tamaño grande: Si el motor está funcionando con una pequeña diferencia de calor, serán muy grandes debido al intercambiador de calor. El aumento de la diferencia de temperatura o presión permite utilizar un motor más pequeño. Es difícil disipar el calor en piscinas frías porque el refrigerante se mantiene lo más frío posible para maximizar la eficiencia térmica. Esto aumenta el tamaño del radiador, dificultando un diseño compacto.

-Costes elevados: Los motores Stirling requieren intercambiadores de calor de entrada y salida que contenga un fluido de trabajo a alta temperatura y deben soportar la corrosión de la fuente de calor y la atmósfera. Esto requiere el uso de materiales claramente orientados a la máquina.

-Tipo de respuesta: Se utiliza mejor en aplicaciones que requieren una velocidad constante. Se requirió un diseño cuidadoso y mecanismos adicionales para regular el funcionamiento del motor Stirling. Esto generalmente se logra mediante el desplazamiento del motor o el volumen de fluido de trabajo. Esta característica es menos importante en el caso de motores eléctricos híbridos o generación de energía de carga base donde se requiere tal potencia constante.

-Uso de líquidos: Debido a su baja viscosidad, alto calor específico y conductividad térmica, el hidrógeno es un fluido de trabajo termodinámica e hidrodinámicamente excelente; sin embargo, sufre problemas de confinamiento y difusión a través de los metales y es inflamable. Comúnmente

se usa helio, que tiene propiedades similares al hidrógeno y es más seguro porque es inerte. Otra opción es usar aire comprimido. Esto supone un riesgo de explosión por la presencia de oxígeno, que es una alternativa a su eliminación por quema o uso de nitrógeno.

10. Cálculo del rendimiento y eficiencia del ciclo

Debido a que el motor Stirling intercambia temperaturas, más no masa, con el medio, podemos determinar que termodinámicamente es un sistema cerrado. Para poder conocer el rendimiento del motor, partiremos del primer principio de la termodinámica:

En un sistema cerrado, el cambio de energía del sistema será igual a la cantidad de energía transferida en trabajo o calor mediante la frontera.

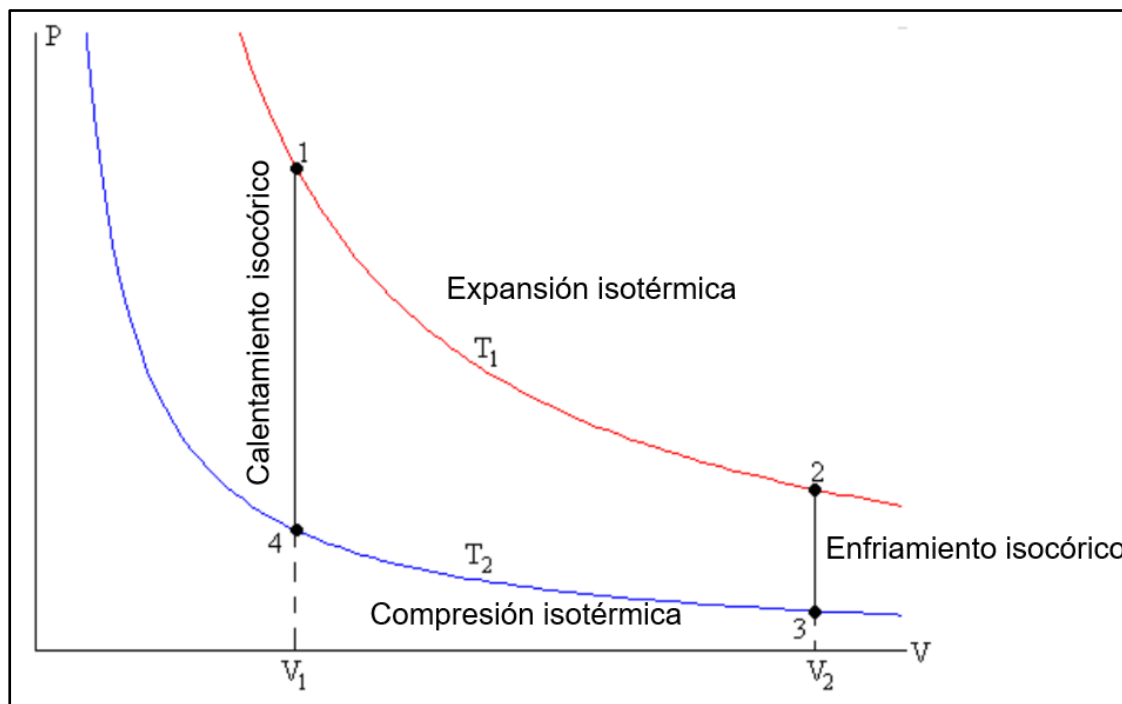


Ilustración 13 : ciclo rankine

En el proceso 1-2: Expansión isotérmica

El gas dentro de la cámara realiza un trabajo (W), por lo que, para conservarse a la misma temperatura, no variará su energía interna, por lo que tendrá que absorber la misma cantidad de energía en forma de calor (Q):

$$Q_1 = W_1 = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

Siendo la presión de un gas ideal: $P \cdot V = n \cdot R \cdot T_1$:

Ecuación 11.1:

$$\Rightarrow W_1 = \int_{V_1}^{V_2} \frac{n \cdot R \cdot T_1}{V} \cdot dV = n \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

En el proceso 2-3: Enfriamiento isocórico:

El gas no realiza ningún trabajo ($W_{23} = 0$) y cede su calor al entorno ($Q < 0$), por lo que su energía interna disminuirá:

Ecuación 11.2:

$$\Delta U_{23} = Q_{23} = n \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1) < 0$$

En el proceso 3-4: Compresión isotérmica

Ocurre un proceso similar al primero, pero de manera inversa: Se realiza un trabajo sobre el sistema ($W < 0$).

Ecuación 11.3:

$$W_{34} = - \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{n \cdot R \cdot T_2}{V} \cdot dV = -n \cdot R \cdot T_2 \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

En el proceso 4-1: Calentamiento isocórico:

El gas no realiza ningún trabajo ($W < 0$) y absorbe calor del entorno, por lo que su energía interna aumentará:

Ecuación 11.4:

$$\Delta U_{41} = Q_{41} = n \cdot c_v \cdot (T_1 - T_2)$$

Con las ecuaciones anteriores, podemos calcular el **intercambio total del calor** y el **trabajo total realizado** por el sistema.

En cuanto a la variación de la energía interna en un ciclo:

$$\Delta U_{sist.} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 = \Delta U_2 + \Delta U_4$$

Ecuación 11.5:

$$\Delta U_{sist.} = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1) + m \cdot c_v \cdot (T_1 - T_2) = 0$$

Como era de esperarse, podemos ver que la variación de energía interna del sistema en un ciclo es 0.

En cuanto al trabajo realizado por el sistema en un ciclo:

$$W_{sist.} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = W_1 + W_3$$

$$W_{sist.} = n \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - n \cdot R \cdot T_2 \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = n \cdot R \cdot (T_1 - T_2) \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Siendo $n = m/M$, El trabajo realizado por el sistema queda:

Ecuación 11.6:

$$W_{sist.} = \frac{m}{M} \cdot R \cdot (T_1 - T_2) \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$v_1 = 2.3 \text{ ml}$$

$$v_2 = 6.4 \text{ ml}$$

$$m = 0.00123 \text{ g}$$

$$M = 28,9645 \text{ kg-mol}$$

$$T_2 = 23^\circ\text{C} \quad T_1 = 150^\circ\text{C}$$

$$W_{\text{sist.}} = \frac{m}{M} \cdot R \cdot (T_1 - T_2) \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$W = 0.0459 \text{ J}$$

En cuanto a la eficiencia del ciclo, de la fórmula

$$\eta_{\text{max}} = 1 - \frac{T_{\text{foco frío}}}{T_{\text{foco caliente}}}$$

$$\eta = 1 - \frac{23 + 273}{150 + 273} = 0.3$$

$$\text{rendimiento} = 30\%$$

11. Manufactura propia.

Primera versión del motor:

Hemos decidido que el tipo de motor Stirling que vamos a diseñar y manufacturar es el tipo Alpha.

El diseño del motor lo hemos hecho en 3D con la herramienta de shapr3d.

El diseño es característico por su compactibilidad en comparación con el que se suele hacer.

Los materiales ideales para el motor son cobre para los cilindros, debido a su alta temperatura de fundición y elevada conductividad térmica, y aluminio para el resto de las piezas, por su bajo peso.

No obstante, hemos utilizado plástico impreso en 3D y cilindros de vidrio para ahorrar en costes.

Uno de los problemas principales que encontramos a la hora del diseño y la manufactura fue a la hora imprimir debido a que la impresora tiene unos rangos de tolerancia muy altos y tuvimos que ajustar el diseño acorde.

versión final del motor:

Tras probar y analizar el primer diseño llegamos a la conclusión que fabricarlo de metal sería muy costoso y laborioso por lo que rediseñamos el motor conservando su esencia de motor en L y conservando su tamaño reducido en comparación con otros motores similares.

Las diferencias claves entre este diseño y el anterior es que para los pistones utilizamos jeringas de cristal de 10ml y el resto del motor es plástico, mientras que el requería manufacturar cilindros y pistones de vidrio o de metal.

Al utilizar jeringas de cristal obtenemos una tolerancia entre pistón y cilindro muy baja y así evitamos fugas de una forma fácil y económica.

Lo aprendido en el primer diseño fue implementado en este último.

Fotografías de los diseños:

primera versión:

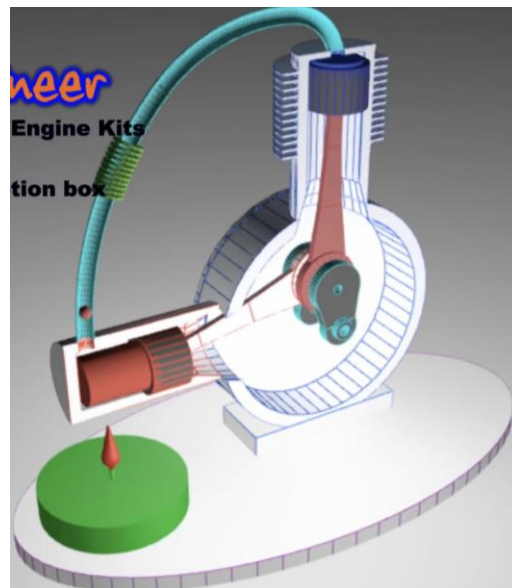
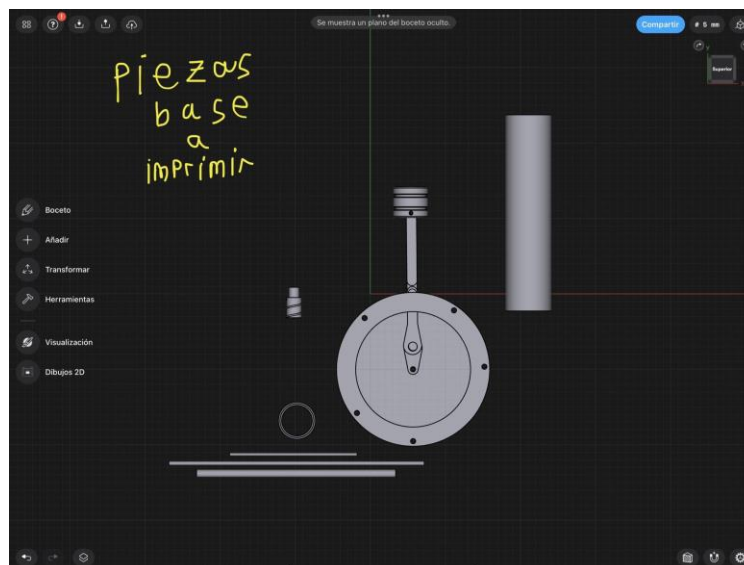
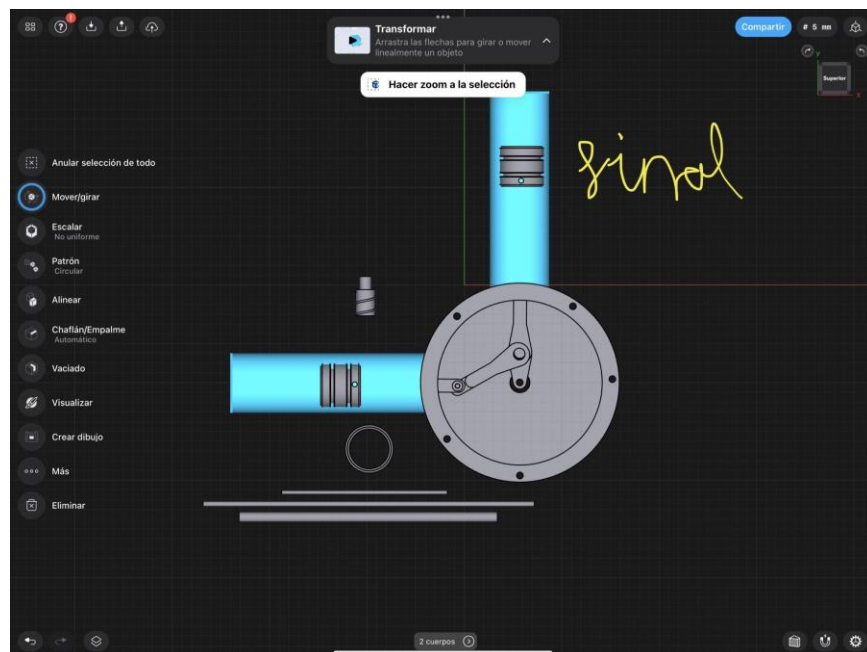


Ilustración 14: motor de referencia

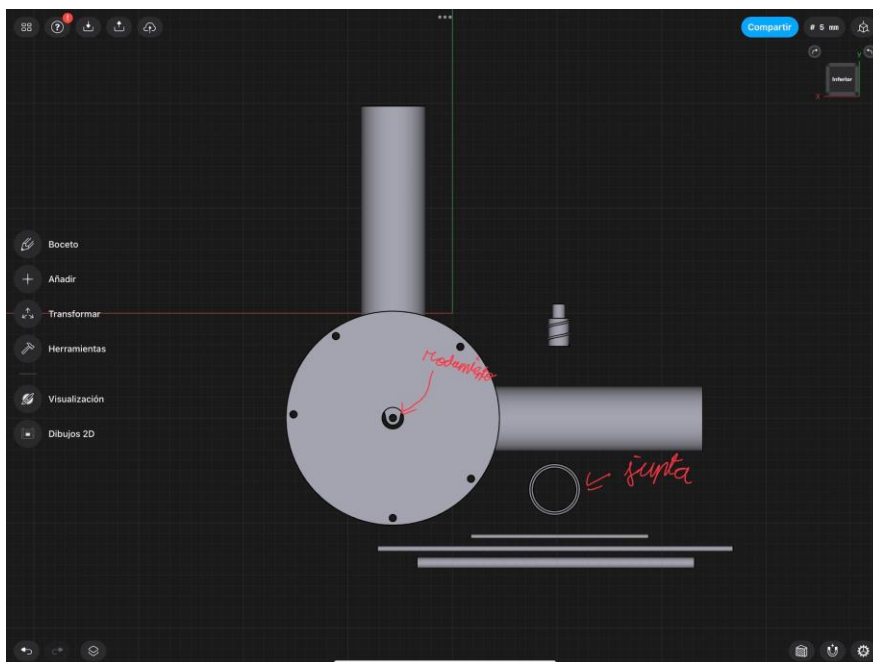
- Base de la que partimos para diseñar el motor.



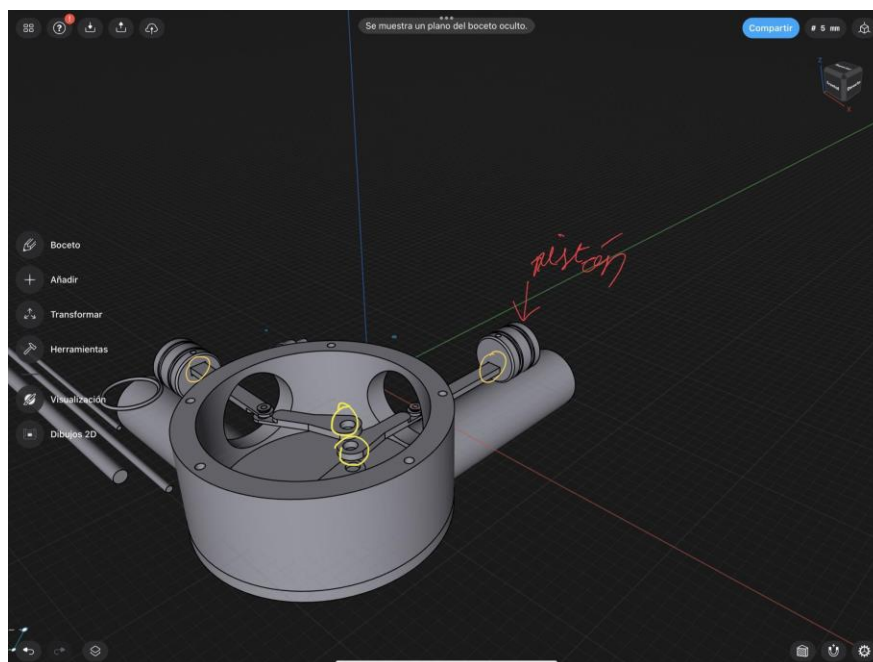
- Piezas a imprimir donde se pueden ver los pasadores que diseñamos para que el ensamblaje sea más sencillo.

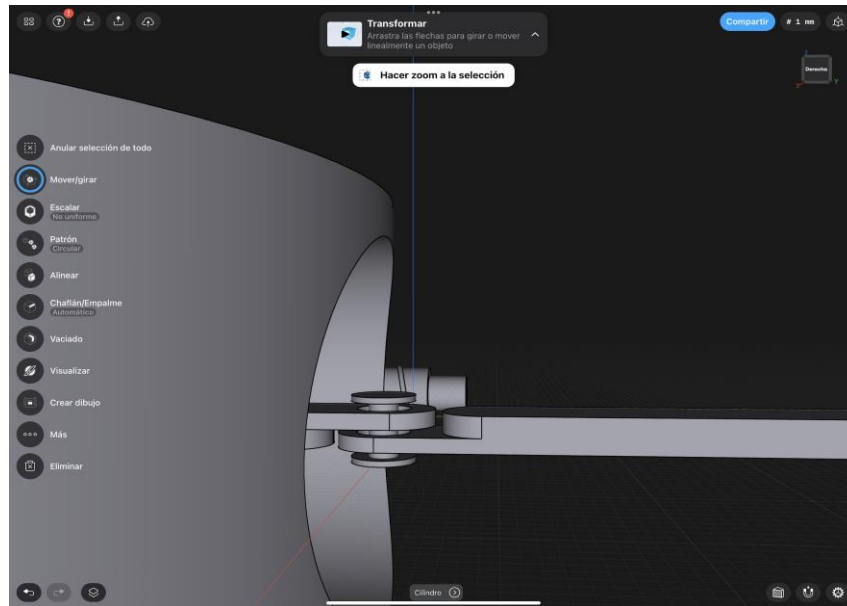


- Posición de los pistones.

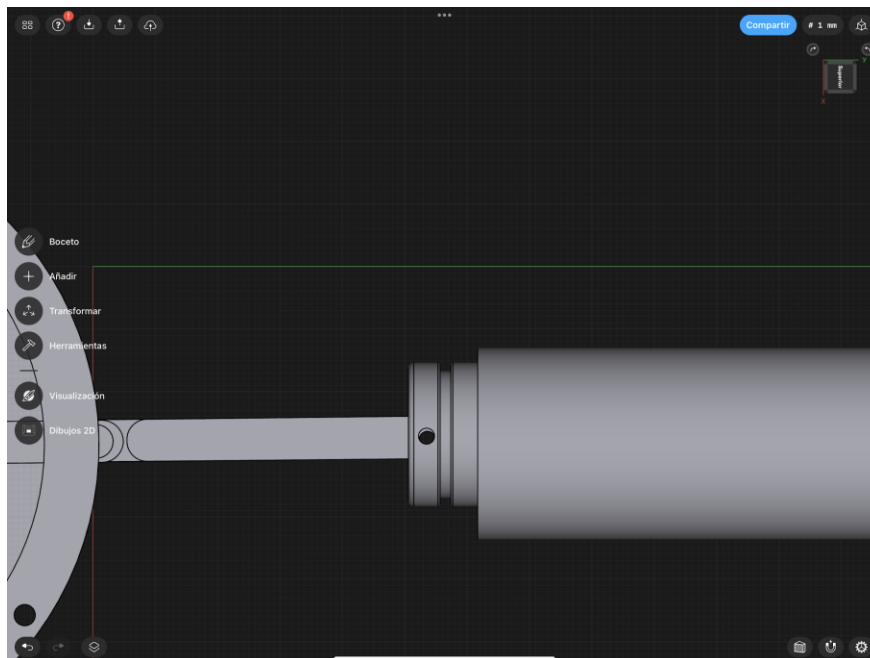


- Motor cerrado (visión exterior del motor terminado).



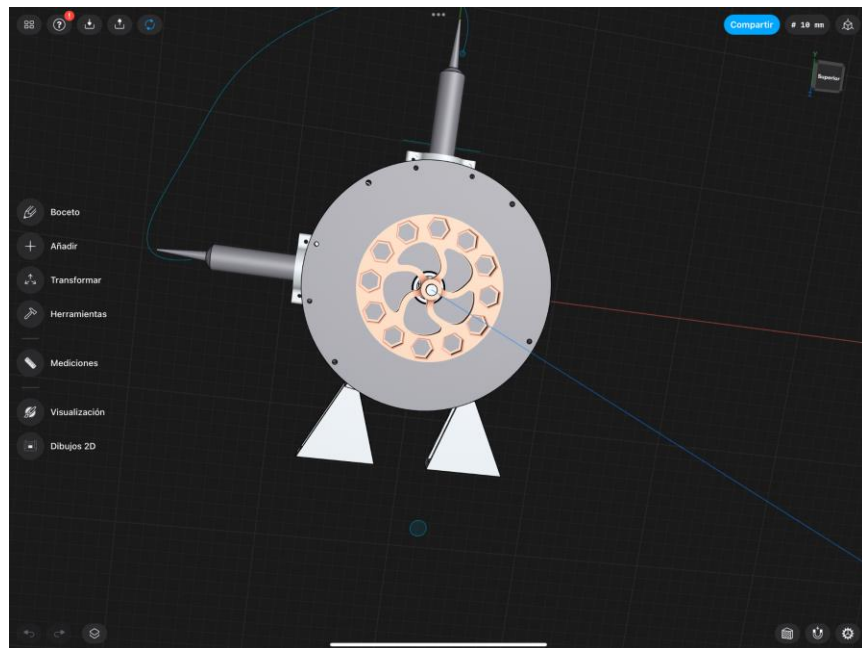


- Las bielas van encajadas en el pistón fuera del centro para poder ir una encima de otra.
- Unión de la biela articulada

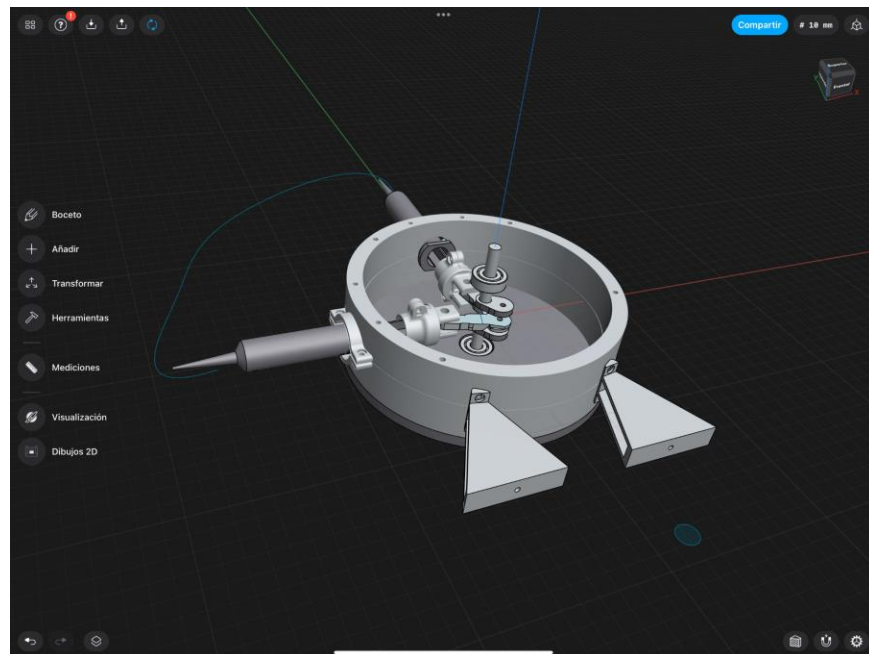


- El pistón y la biela tienen un agujero para poder ser ensamblados con facilidad

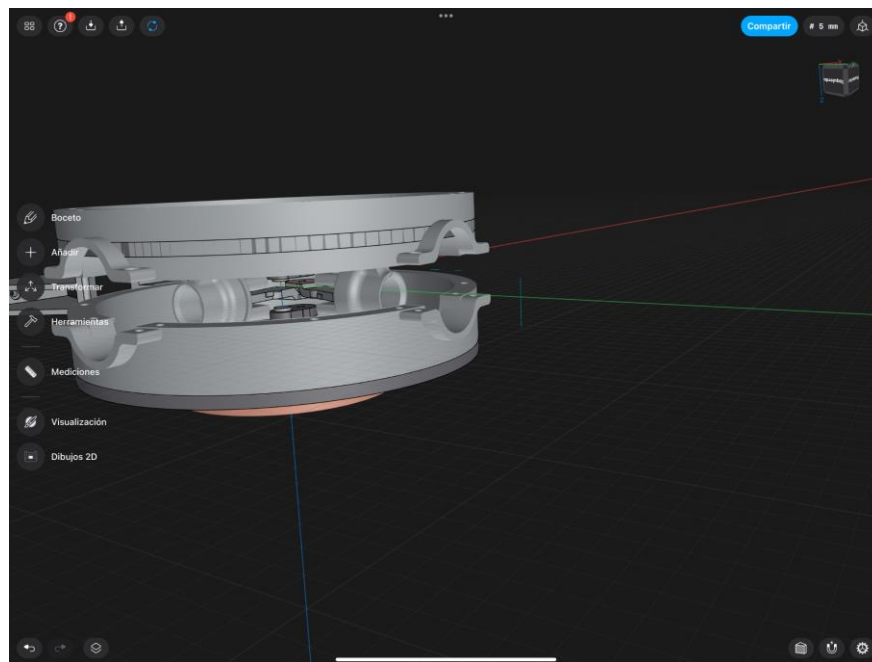
versión final:



- Ensamblaje de cómo se vería el motor una vez montado



- motor por dentro sin tapa con el mecanismo para transformar el movimiento lineal en rotacional.



- La caja del motor está dividida en dos partes para que esta caja sirva para hacer función de pinza para agarrar las jeringas.

12. MATERIALES Y HERRAMIENTAS

Para el proyecto hemos utilizado una diversidad de materiales:

- Para la caja de motor que hemos impreso en 3D usamos PLA.
- Tornillos M2.5 de longitud 30 mm y M3 de longitud 70mm.
- Tuercas de M2.5, M3 y M8.
- washers o Arandelas de 2.5.
- Jeringuillas de 10ml de vidrio.
- Hilo de cobre 2g.
- Manguera flexible de 5 mm de diámetro.
- Velas.
- Mechero.
- Cinta de sellado autoadhesiva 50 por 3 mm por 15M.L
- Lubricante aceite de motor 5:30.
- Generador eléctrico de microondas.
- Rodamientos 608 2RS.

Las herramientas utilizadas:

- Taladro.
- Destornillador.
- Alicates.
- Tijeras.
- Cúter.
- Impresora.
- Ordenadores.
- software CAD.

13. PROBLEMAS ENCONTRADOS

PROBLEMAS DE ANTES DEL MONTAJE FINAL

Los problemas que tuvimos ya los planteamos cuando iniciamos el trabajo por eso no nos sorprendieron y pudimos solucionarlos fácil.

Los problemas más importantes que tuvimos fueron:

-El trabajo constó de una parte de diseño en apps como SolidWorks, AutoCAD y Sharp 3D. En dicha parte tuvimos problemas de tolerancias y de impresión, lo que hizo que tuviésemos que estar imprimiendo durante dos semanas.

-Otro problema que tuvimos fue que el material al usar plástico se podría derretir al estar en constante contacto. Por ello tuvimos la idea de hacerlo de aluminio y cobre.

-Tuvimos problemas a la hora de llegar los materiales ya que necesitábamos que fuesen de una medida exacta para el perfecto acoplamiento con la caja de nuestro motor.

-Hubo algún problema con pequeñas fugas que pudimos arreglar con material aislante en las juntas.

PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO:

- El volante de inercia del motor tiene un peso superior a la fuerza que realiza el motor impidiendo el movimiento, enfriando el cilindro frío y calentando más el caliente para tener una mayor diferencia de temperatura, obtendremos más fuerza del motor y un mayor desplazamiento de los pintones.
- El eje de giro puede que siendo más pequeño favorezca el movimiento de los pistones.

- La manguera que une a los pistones no soporta la temperatura y se degrada, necesitamos una manguera con mayor resistencia al calor.

14.MEJORAS

El grupo del proyecto hemos decidido entre todos seguir con el trabajo todo el curso académico para poder presentarlo y ganar un PBS, para lo cual hemos pensado en una serie de mejoras que pensamos le daría un mejor funcionamiento al motor.

- Reemplazar los materiales de la caja del motor de PLA a Aluminio y cobre.
- Crear un motor en línea 4 cilindros para lo cual necesitamos hacer el mismo motor 4 veces y juntarlo.
- Para que nuestro motor no tuviera solo movimiento del pistón, nos interesa implementar un generador eléctrico, con lo cual el motor generaría electricidad que podría ser utilizada.
- Mejorar los cálculos del motor:
 - Eficiencia
 - Fuerza/torque/par
 - Potencia: Conociendo el tiempo en el que se realiza un ciclo
- Añadir un sistema de refrigeración en el foco frío para que se caliente más lentamente.

15.Modularidad del motor y su capacidad de actuar en línea

Gracias al peculiar diseño de nuestro motor uno es capaz de añadir uno detrás de otro y desfasando los en un ángulo de 90 grados conseguir un motor con un mayor número de cilindros como en los coches de hoy en día.

sin añadir ningún módulo adicional nuestro motor sería el equivalente a un I1 y añadiendo un segundo módulo obtendremos un I2 y así hasta llegar a su máxima eficacia en un I4, un motor a 4 tiempos con mayor estabilidad, torque y con la capacidad de obtener un mayor número de RPM.

Nuestro motor presenta una modularidad la cual otros no, se adapta a las necesidades.

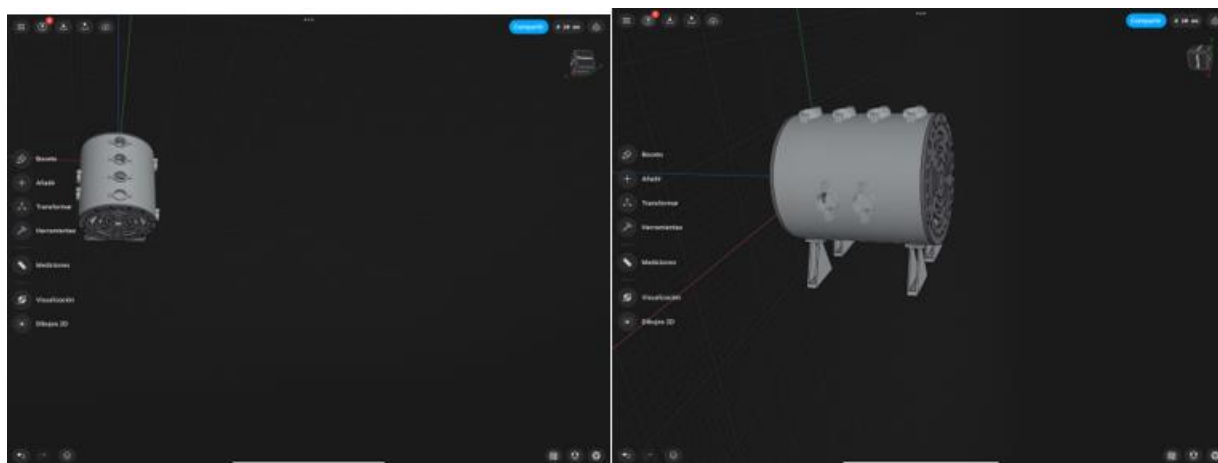


Ilustración 15: demostraciones del modularidad de nuestro motor y del motor en línea 4

16.FOTOS REUNIONES

Primer dia de llamada grupal para toma de contacto



Segunda videollamada



Tercera llamada



Primer dia de ensamblaje

Segundo dia de ensamblaje



Tercer día realizando cálculos y midiendo volúmenes y temperaturas...



17.CONCLUSIÓN

La conclusión del trabajo es que hemos afianzado los conocimientos del ciclo Stirling y hemos podido aplicar los principios de la termodinámica aprendidos en clases, en un ámbito práctico lo que hace que complementen nuestros conocimientos de ingeniería industrial.

Este proyecto nos ha supuesto un proceso eficaz para ampliar nuestra visión en el campo del diseño y del motor, en la investigación científica y en la organización de grupo

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: imagen de trilladora	3
Ilustración 2: Retrato de Robert Stirling	3
Ilustración 3: modelo antiguo de motor Stirling del 1816	4
Ilustración 4: ejemplo y partes de un motor Stirling.....	5
Ilustración 5: motor nuclear	8
Ilustración 6 bomba centrífuga	8
Ilustración 7: ejemplo de coche eléctrico.....	8
Ilustración 8: ciclo de stirling	10
Ilustración 9:Stirling Motor, DocPlayer, 2020	11
Ilustración 10: motor tipo Alpha Stirling Engine, Mechanical Booster, 2019.	11
Ilustración 11: Beta Stirling Engine, Erenovable, 2020.	13
Ilustración 12: Gamma Stirling Engine, Monografías, 2020.....	14
Ilustración 13 : ciclo rankine.....	20
Ilustración 14:motor de referencia	25
Ilustración 15: demostraciones del modularidad de nuestro motor y del motor en línea 4	34

BIBLIOGRAFÍA

MCNBiografias.com. (s. f.). *Stirling, Robert (1790-1878)* » *MCNBiografias.com*.
<https://www.mcnbiografias.com/app-bio/do/show?key=stirling-robert>

Ramal, A. (s. f.). *NEWALL, Robert Stirling*.

<https://forohistorico.coit.es/index.php/personajes/personajes-internacionales/item/newall-robert-stirling>

Eléctricos, H. Y. (2013, 3 mayo). *Stirling, un motor cuyo 'combustible' es sólo calor*. Híbridos y Eléctricos.

<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/stirling-un-motor-cuyo-combustible-es-solo-calor/20130226190646004970.html>

Stirling engine - Energy Education. (s. f.).

https://energyeducation.ca/encyclopedia/Stirling_engine

Eléctricos, H. Y. (2013, 3 mayo). *Stirling, un motor cuyo 'combustible' es sólo calor*. Híbridos y Eléctricos. <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/stirling-un-motor-cuyo-combustible-es-solo-calor/20130226190646004970.html>

Just a moment. . . (s. f.). <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/stirling-engines>

Planas, O. (2018, 7 mayo). *Aplicaciones del motor Stirling*. <https://demotor.net/motor-stirling/aplicaciones>

1979 DOE NASA AMC Spirit DL with a Stirling engine. (2021, 11 agosto). reddit.
https://www.reddit.com/r/WeirdWheels/comments/p22t61/1979_doe_nasa_amc_spirit_dl_with_a_stirling_engine/

Motor Stirling y sus aplicaciones. (s. f.). <http://www.physicspr.com/motorstirling.html>

Planas, O. (2020, 29 junio). *Motor Stirling.* <https://solar-energia.net/blog/motor-stirling>

Amaya, Á. P. (2018, 30 octubre). *Motor Stirling: El conjunto casero que revolucionó las mecánicas de combustión externa.* Autonocion.com. <https://www.autonocion.com/motor-stirling-conjunto-casero-funcionamiento/>

Duato, A. (2019, 25 enero). *Tipos de Motor Stirling / Blog SEAS.* Blog de SEAS.
https://www.seas.es/blog/disenio_mecanico/tipos-de-motor-stirling/

Mishra, P. (2018, 3 enero). *Alpha stirling engine main parts.* Mechanical Booster.
<https://www.mechanicalbooster.com/2018/01/stirling-engine-types-main-parts-working-application.html/alpha-stirling-engine-main-parts>

Wagner, L. (2022, 13 diciembre). *¿Cómo funciona un motor Stirling Alfa y regeneración?*
<https://manualdomotorstirling.blogspot.com/2014/09/como-funciona-un-motor-stirling-alfa-y.html>

Duato, A. (2019b, enero 28). *Ventajas y Desventajas de un Motor Stirling / Blog SEAS.* Blog de SEAS. https://www.seas.es/blog/disenio_mecanico/ventajas-y-desventajas-de-un-motor-stirling/

Planas, O. (2018a, marzo 21). *Ventajas y desventajas del motor Stirling.*
<https://demotor.net/motor-stirling/ventajas-desventajas>



**Universidad
Europea**