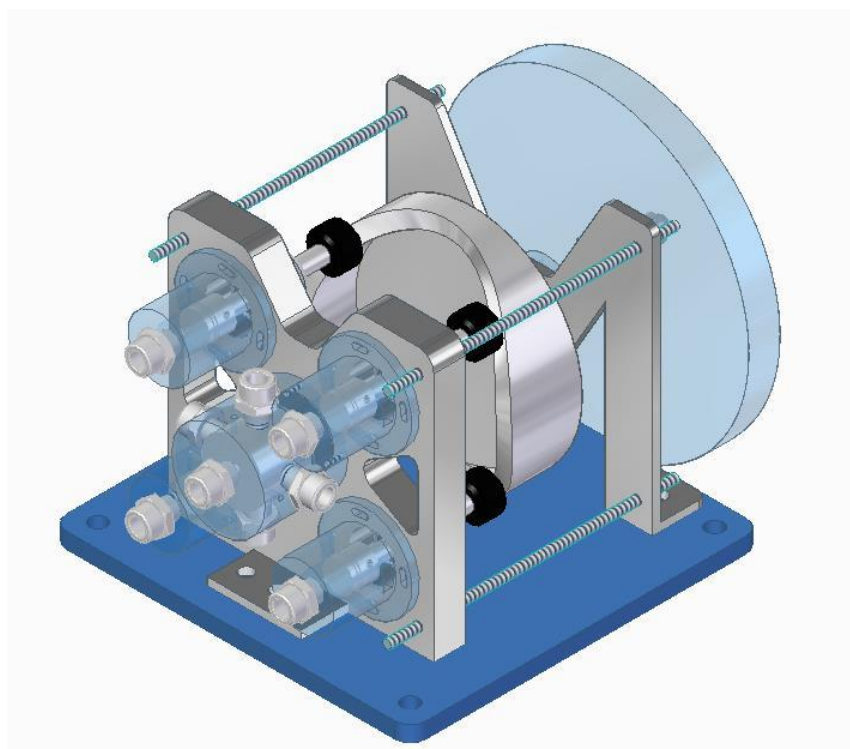


# INFORME FINAL

## MOTOR.OLA



Inés Gadea Errachidi	18122
Manuel Candalija Pontijas	19054
Esteban Labrador de Fuente	19192
Javier Barbero Angulo	19028
Alberto Martínez Mena	19238
Antonio Treilhou Yann-Baptiste	M23185



## Contenido

1. Introducción. ....	2
2. Proceso de fabricación. ....	3
2.1. Carcasa de la válvula.....	3
2.2. Cuerpo de la válvula.....	4
2.3. Cilindros.....	5
2.4. Pistones. ....	6
2.5. Bielas.....	6
2.6. Arandela de sujeción de los rodamientos lineales. ....	7
2.7. Soporte de las válvulas y los cilindros. ....	8
2.8. Brida de sujeción para la leva. ....	9
2.9. Leva.....	10
2.10. Eje. ....	11
2.11. Brida de sujeción del rodamiento. ....	11
2.12. Base del conjunto. ....	11
3. Montaje. ....	12
4. Diseño y fabricación del freno. ....	16
5. Sensores y uso de Arduino. ....	18
5.1. Sensor de par.....	18
5.2. Sistema contarrevoluciones.....	20
5.3. Sensor de proximidad.....	21
5.4. Programa de Arduino.....	22
6. Curvas características y datos obtenidos. ....	24
7. Posibles mejoras futuras.....	27
7.1. Mejor ajuste de la válvula.....	27
7.2. Todos los pistones del mismo tamaño.....	27
7.3. Accionamiento externo.....	27
8. Índice de figuras.....	28
9. Anexo 1. Pasos para la fabricación.....	29

## 1. Introducción.

El equipo Motorola ha seleccionado el proyecto para la asignatura de Ingenia MotorGEN 2022/23, cuyo propósito es desarrollar, construir y poner en funcionamiento un motor con una apariencia y un funcionamiento distintos a los mecanismos convencionales. En este contexto, Motorola se origina a partir del interés en aplicar aspectos innovadores de motores de combustión existentes en un expansor térmico junto al interés añadido de lograr su funcionamiento tras tres años consecutivos de intentos.

En relación con el modelo de referencia principal para este proyecto, este es el patentado por INNengine. Este modelo consiste en dos motores opuestos de dos tiempos con una disposición de 4 cilindros agrupados de dos en dos, ocupando un espacio de 500 cm<sup>3</sup>. Este diseño tiene la capacidad de lograr un rendimiento superior en un espacio reducido, proporcionando así una alta potencia específica. Además, se destaca por la mínima generación de vibraciones durante su funcionamiento.

En el anterior informe se desarrolló en detalle el diseño de concepto y el mecánico, obteniendo los siguientes parámetros característicos:

Parámetros técnicos	
Carrera	30 mm
Diámetro pistón	20 mm
Régimen de giro	600 rpm
Admisión	40% carrera
Escape	90% carrera

Admisión	
Aire	4 bar 150°C

## 2. Proceso de fabricación.

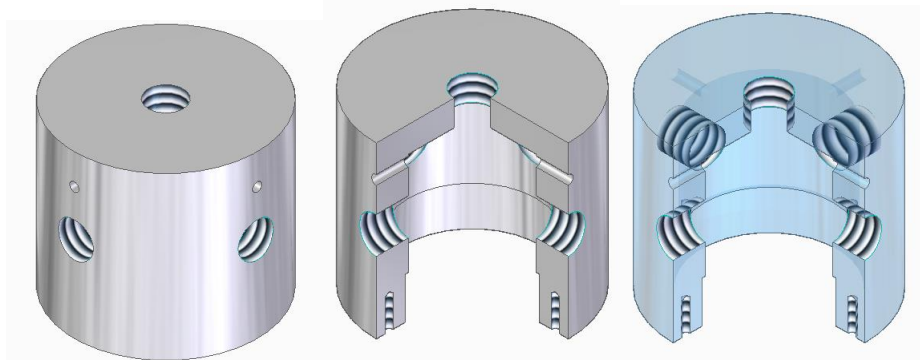
Para realizar la fabricación de forma eficaz primero se han organizado todos los procesos que serán necesarios por pieza, para poder ir avanzando en paralelo con las piezas que no necesiten la misma herramienta. En el Anexo 1 se adjunta la tabla empleada para indicar los pasos necesarios de fabricación para cada pieza.

La mayoría de las piezas se fabricarán usando el torno, con algún paso de mecanización en el taladro. Además se obtendrán dos piezas por fundición, el soporte de la válvula y los cilindros y la leva. Ambas se tendrán que mecanizar posteriormente, el soporte con la fresadora y la leva con el torno y lijando la superficie de rodadura.

Para describir el proceso de fabricación se seguirá el orden de descripción de los componentes del informe de diseño, no el orden de fabricación temporal.

### 2.1. Carcasa de la válvula.

Para fabricar la carcasa se parte de un tocho de aluminio de 60 mm de diámetro. Primero se corta un trozo de longitud superior a 53 mm para rectificar ambas caras y que queden perfectamente planas.



*Ilustración 1. Diseño original carcasa de la válvula*

A continuación, se pasa al torno, donde se realizará primero el rectificado de las caras y luego el vaciado interior de 40 mm de diámetro y de una profundidad de 45 mm, comprobando con la válvula ya realizada que encaja y se puede mover sin holguras, para evitar las posibles pérdidas de aire entre la válvula y la carcasa. Una vez finalizado este vaciado se pasa a hacer un rebaje de 42 mm de diámetro y 13 de profundidad en donde se alojará el rodamiento. Al igual que el paso anterior, se irá comprobando con el rodamiento para asegurar que entra ajustado.

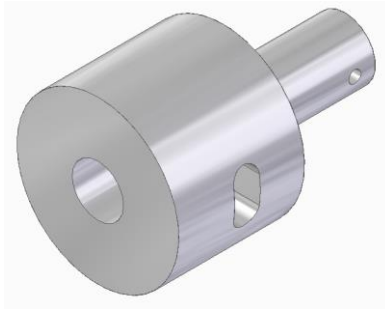
Los siguientes pasos se realizan con el taladro. Se hacen cuatro agujeros en la base del cilindro, en donde se roscarán tornillos de M3x10 mm, otros cuatro en la superficie lateral de la carcasa, donde irán roscados los racores de G1/4 para conectar la válvula con los cilindros, otros cuatro situados encima de los cuatro anteriores, de 3 mm de diámetro para evacuar las posibles fugas dentro de la válvula, y por último un taladro superior para posteriormente colocar un racor G1/4 que se conectara con la admisión.

Todas las roscas se realizarán manualmente con la herramienta adecuada para ello.

**Cambios y ajustes durante la fabricación:** durante el mecanizado en el torno, el primer vaciado se hizo con una profundidad mayor, por lo que el rebaje también se hizo con una profundidad algo mayor, para ajustar la posición del rodamiento correctamente.

## 2.2. Cuerpo de la válvula.

Para la válvula se parte de un tocho de 40 mm de diámetro del cual se cortará un trozo de 65 mm de longitud.



*Ilustración 2. Diseño original válvula*

Comenzando por los pasos de mecanizado en el torno, primero se rectifica la cara superior, que irá pegada a la parte superior de la carcasa, por donde entra el aire, por lo que es importante que quede plana. A continuación, se hará el rebaje de la parte inferior, hasta llegar a un diámetro de 15mm. Por último, se hará un vaciado en la parte de 15mm de diámetro de 10 mm de diámetro y 10 mm de profundidad, por donde se unirá la válvula al eje.

Una vez finalizado el mecanizado en el torno se pasa a la fresadora para hacer la chaveta en la cara lateral por la que saldrá el aire. Por último, con el taladro se hace el agujero superior de 13 mm de diámetro por donde entrará el aire y otro de 3 mm de diámetro en el otro extremo para poder sujetar el eje.

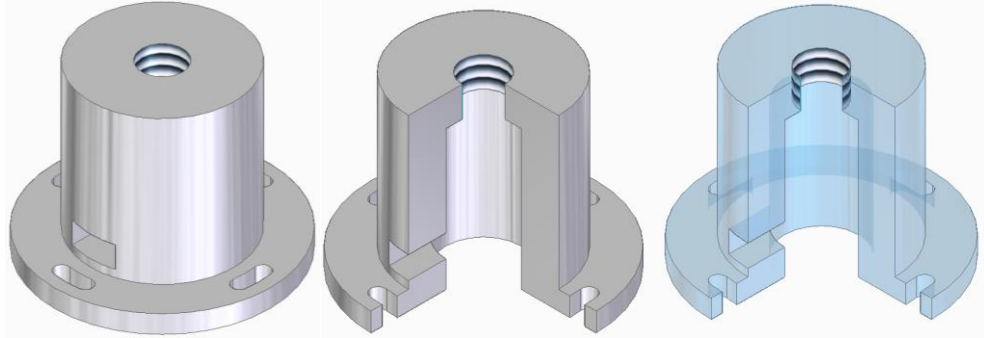
**Cambios y ajustes durante la fabricación:** esta pieza se ha fabricado acorde con los planos realizados sin necesidad de ningún cambio.



*Ilustración 3. Conjunto de la válvula con su rodamiento*

### 2.3. Cilindros.

Para los cuatro cilindros se parte de tochos de 60 mm de diámetro, para los cuales se partirán trozos de largo más de 45 mm de largo.



*Ilustración 4. Diseño original cilindro*

Primero, en el torno, se rectifican ambas caras, luego se hace el vaciado de 20 mm de diámetro y unos 37 mm de profundidad, se rebaja el lateral hasta un diámetro de 40 mm y por último se hace el agujero donde irá roscado el racor por el que entra aire al cilindro.

A continuación se pasa a la fresadora, donde se hará la lumbrera por donde escapará el aire. Por último se harán las cuatro ranuras, con una herramienta hecha por Juan Antonio, las cuales permitirán ajustar la posición del cilindro respecto a los taladros hechos en el soporte para la válvula y los cilindros.

La rosca del racor se realiza manualmente.

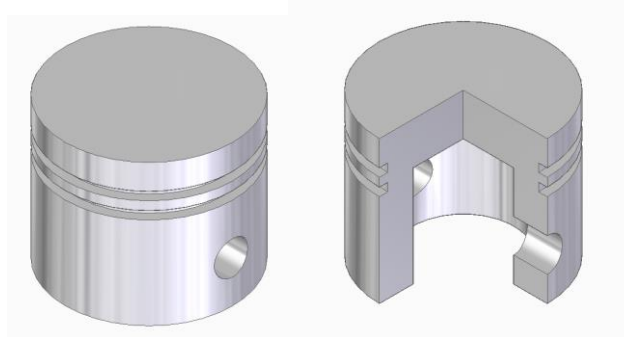
**Cambios y ajustes durante la fabricación:** como los pistones no son todos exactamente de 20 mm de diámetro, se irán mecanizando los cilindros probando que los pistones entran bien, y se irán asignado cada pistón a un cilindro, numerando cada uno.



*Ilustración 5. Cilindros*

## 2.4. Pistones.

Para los pistones se usarán tochos de diámetro 20 mm, y se cortará un trozo de unos 80 mm de largo, de forma que se irán cortando los pistones a medida que se van mecanizando.



*Ilustración 6. Diseño original pistones*

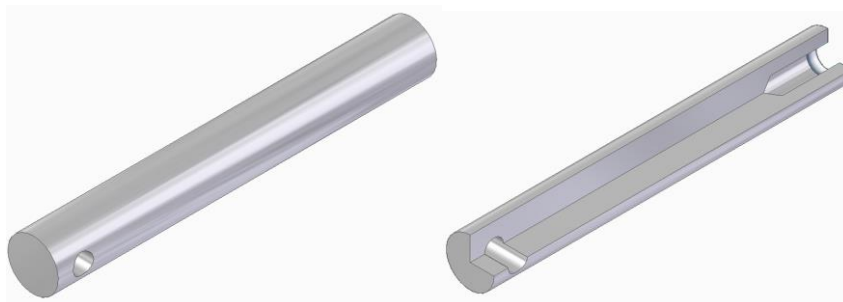
Primero se empieza a mecanizar el trozo cortado en el torno, haciendo una pasada para dejar lisa la superficie lateral, debido a esta pasada los pistones serán de un diámetro algo menos a los 20 mm originales. A continuación se hace el vaciado de 12 mm de diámetro y 12 de profundidad, y las ranuras laterales, que se harán en caso de querer usar anillos para sellar el cilindro. Por último se cortará el pistón del tocho.

Una vez terminados los pistones en el torno se pasa al taladro, donde se hace un agujero pasante de 4 mm de diámetro mediante el cual se unirá la cabeza con el cuerpo del pistón.

**Cambios y ajustes durante la fabricación:** con la herramienta disponible para hacer las ranuras solamente se pueden hacer de 2 mm de ancho, por lo que se harán de este ancho, en vez de 1 mm que es lo indicado en el plano.

## 2.5. Bielas.

Para el cuerpo de los pistones o bielas se empleará una barra de 10 mm de diámetro, y se cortarán cuatro trozos de 75 mm de largo.



*Ilustración 7. Diseño original biela*

Con el torno se hará el agujero correspondiente a la rosca con la que se unirán las bolas a los pistones, que será un agujero para M6 de unos 12 mm de profundidad como mínimo.

Por otro lado, con el taladro se hará un agujero pasante en el otro extremo de diámetro 4 mm, en el que irán los pasadores para unir las bielas con las cabezas de los pistones.



Por último, se hará manualmente la rosca de M6.

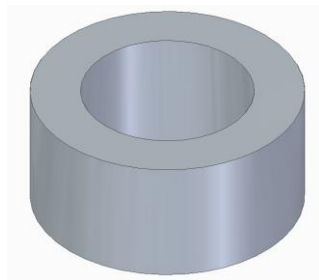
**Cambios y ajustes durante la fabricación:** en esta pieza no se han realizado cambios durante la presentación respecto a los planos.



*Ilustración 8. Conjunto pistón con rodamiento lineal y seguidor esférico*

## **2.6. Arandela de sujeción de los rodamientos lineales.**

Las arandelas se harán con tochos de 30 mm de diámetro, y para hacer las cuatro se cortará un trozo de longitud superior a 62mm.



*Ilustración 9. Diseño original arandela*

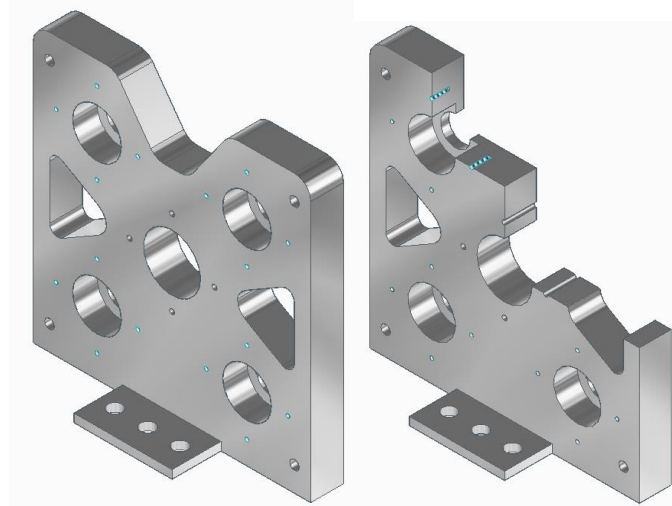
Las arandelas se mecanizarán todas a la vez en el trono. Primero se hará un agujero de 19 mm de diámetro de 62 mm de profundidad como mínimo, y luego se irá cortando a la longitud apropiada.

**Cambios y ajustes durante la fabricación:** al revisar el diseño final se vio que las arandelas se habían diseñado con un diámetro de 50 mm, y que era posible reducir este diámetro a 30, ahorrando así material.



## 2.7. Soporte de las válvulas y los cilindros.

Para fabricar esta base hará un modelo de madera para poder hacer el molde para la fundición. Esta base de madera será un cuadrado de 170 mm de lado, con los ángulos de salida apropiados.

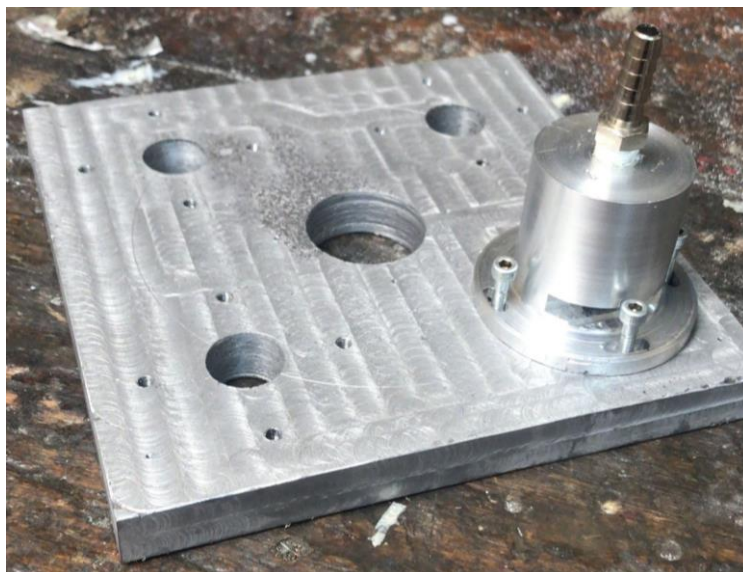


*Ilustración 10. Diseño original soporte*

Una vez se ha hecho la base de madera, se obtiene la pieza en fundición, la cual se mecanizará en la fresadora.

En la fresadora primero se harán un par de pasadas para dejar la superficie completamente plana y luego se harán todos huecos indicados en el plano, bien con la fresa o con el taladro.

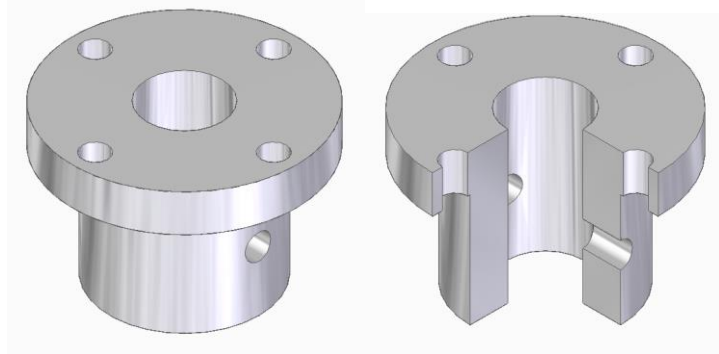
**Cambios y ajustes durante la fabricación:** al hacer el molde no se ha tenido en cuenta el material que se iba a comer al hacer el fresado, tras el cual se rebajan 4 mm de más. Esto se remediará usando una goma entre los cilindros y el soporte, que se explicará en el apartado de montaje. Además, los huecos que se habían pensado para aligerar la estructura no se han realizado ya que suponían muchas horas de trabajo.



*Ilustración 11. Soporte de los cilindros y la válvula*

## 2.8. Brida de sujeción para la leva.

Esta pieza unirá la leva con el eje, para lo cual se parte de un tocho de 60 mm de diámetro y 20 de longitud.



*Ilustración 12. Diseño original brida leva*

Se comienza mecanizando la pieza en el torno, primero haciendo un agujero pasante de 10 mm de diámetro y luego un rebaje de dicho agujero de 4 mm de profundidad hasta los 28 mm de diámetro. Por último, se rebaja el lateral desde los 60 mm de diámetro iniciales hasta 35 mm.

Luego se pasa al taladro, para hacer un agujero lateral donde irá roscado un tornillo M3 para ajustar la posición de la leva en el eje, y los cuatro agujeros en la base por donde se unirá a la leva.

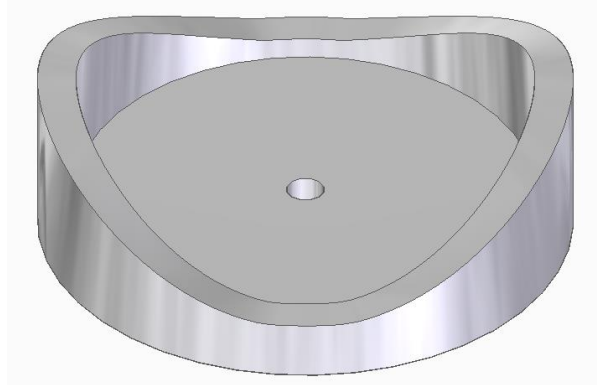
**Cambios y ajustes durante la fabricación:** revisando el conjunto se decidió cambiar el diseño ya que con un diámetro mayor de los tornillos que sujetaban la leva se consigue mayor estabilidad en el giro. Además, tras la fabricación de la leva, quedó un pequeño escalón en la superficie por donde se unen la leva y la brida, por lo que había que salvarlo, lo cual se hace con el rebaje de 4 mm.



*Ilustración 13. Brida leva*

## 2.9. Leva.

La leva también se ha fabricado por fundición, pero en este caso el molde se ha hecho a partir de un modelo 3D de la leva con los ángulos de salida.



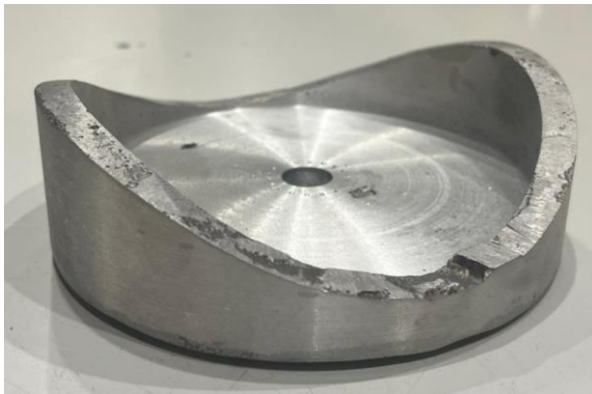
*Ilustración 14. Diseño original leva*

Una vez obtenida la pieza de fundición se hace un agujero pasante en el centro y se mecaniza la superficie lateral y la base en el torno. Por último, se lima a mano la superficie de rodadura hasta dejarla en buenas condiciones y se pule.

**Cambios y ajustes durante la fabricación:** el único cambio en la leva es el diámetro del agujero por el que pasa el eje que se ha tenido que hacer algo mayor para poder sujetar la leva en el torno.



*Ilustración 15. Leva salida de la fundición*



*Ilustración 16. Leva*

### **2.10. Eje.**

Para el eje se usará una barra de 10 mm de diámetro a la cual solo se le realizará un taladro de 3mm de diámetro en uno de sus extremos.

**Cambios y ajustes durante la fabricación:** los únicos cambios son que solamente se realiza un taladro, el freno y la brida de la leva se ajustarán haciendo presión con un tornillo, sin necesidad de realizar un taladro.

### **2.11. Brida de sujeción del rodamiento.**

Esta brida sujetará el rodamiento que une el segundo soporte con el eje. Para ello se parte de un tocho de 40 mm de diámetro y 12 mm de longitud.

En el torno se hará un taladro pasante de 20 mm de diámetro y luego se rebajará hasta un diámetro de 26 mm y una profundidad de 8 mm. Por último, se pasa al taladro donde se harán cuatro agujeros de 4 mm de diámetro.

**Cambios y ajustes durante la fabricación:** no se han realizado cambios en esta pieza respecto al diseño original.

### **2.12. Base del conjunto.**

Para la base del conjunto se usa un tablón de aglomerado, en el cuál se realizan todos los taladros necesarios para sujetar los dos soportes y para las cuatro patas.

Para obtener un acabado mejor se pintará de azul.



### 3. Montaje.

El primer paso del montaje es ensamblar los pistones, uniendo la cabeza con la biela mediante pasadores de expansión. Cada pistón llevará dos pasadores, que habrá que cortarlos ya que el pistón tiene un diámetro de 20 mm y los pasadores tienen una longitud de 12 mm. Esto se hará sujetando el pistón con una mordaza y cortando lo que sobresalga de los pasadores.



*Ilustración 17. Pistón con rodamiento lineal y seguidor esférico*

A continuación se colocan los rodamientos lineales en el soporte, colocando la arandela y usando circlips, dos por cada rodamiento. Luego se colocan los pistones en su posición, situando las bielas en los rodamientos lineales, y por último se roscan los seguidores de bolas por el otro extremo.

El siguiente paso sería atornillar los cilindros, pero dado que se han comido 4 mm de más de la base, se ha tenido que poner una goma entre los cilindros y el soporte para remediarlo.



*Ilustración 18. Goma entre el cilindro y el soporte*

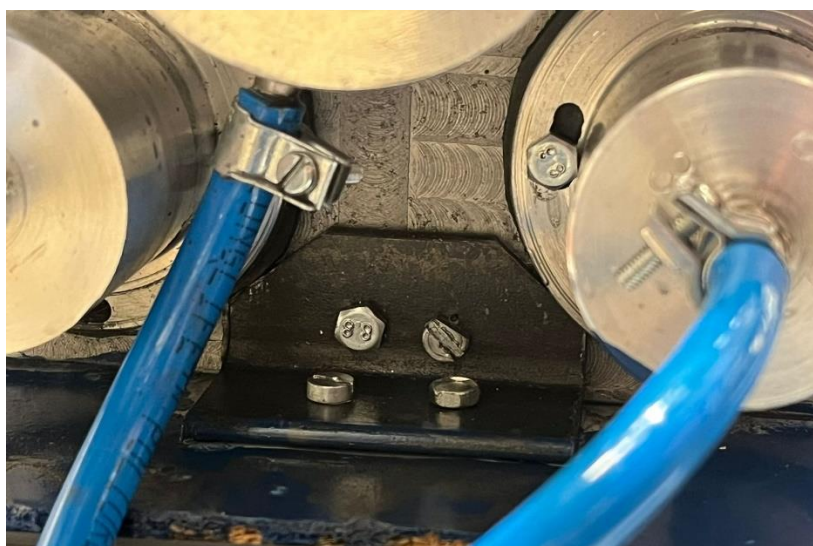
Una vez recortada la goma, se sitúan los cilindros, atendiendo a que correspondan los pistones con el cilindro asignado durante la fabricación. En cada cilindro se pondrá un racor usando teflón.

Con los cilindros colocados se pasa al montaje de la válvula. Primero se sitúa el cuerpo de la válvula dentro de la carcasa, y luego el rodamiento. Dado que el espacio para el rodamiento se ha hecho muy ajustado, el rodamiento se ha tenido que meter a martillazos. Una vez situado el rodamiento se colocan los cinco racores, volviendo a usar teflón. Y por último se atornilla la válvula al soporte.



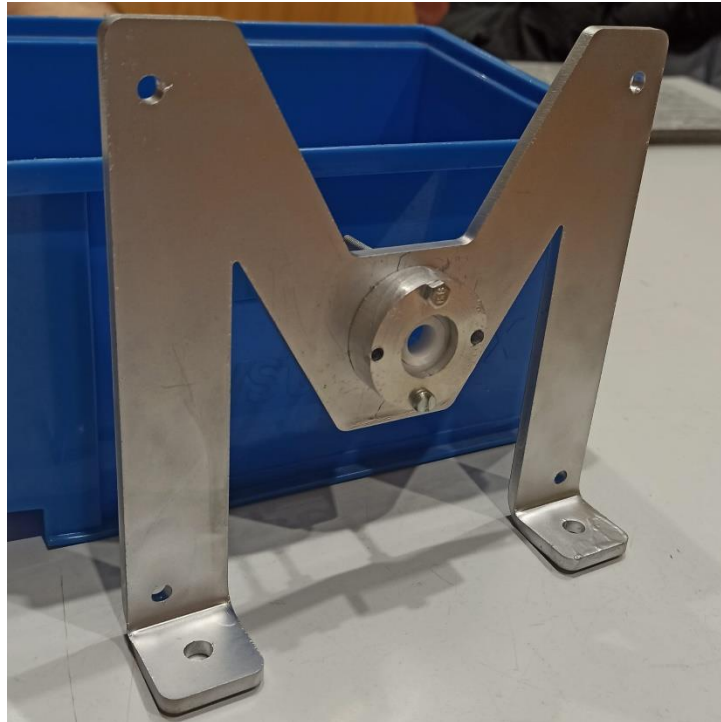
*Ilustración 19. Conjunto de válvula y los cilindros montado*

Con la válvula y los cilindros montados sobre el soporte se atornilla el soporte a la base del conjunto mediante dos pletinas en L.



*Ilustración 20. Pletina entre el soporte y la base*

El segundo soporte con forma de M, que se ha pedido por corte láser, tiene un rodamiento para sujetar el eje, por lo que se sitúa el rodamiento en la brida correspondiente y se atornilla al soporte. Este soporte también va atornillado a la base.



*Ilustración 21. Soporte en M con rodamiento y brida*

Posteriormente se atornilla la brida de la leva a ella, se sitúa en el eje y se une el eje a la válvula. Para finalizar se conectan los racores de la válvula con los del cilindro mediante tubos y abrazaderas.

Al poner el expansor en funcionamiento se observó que algunas arandelas que sujetaban los rodamientos lineales de los pistones se movían mucho, por lo que se recortó unas arandelas de una lata de Coca Cola para fijarlos. Con este apaño han quedado completamente fijas.



*Ilustración 22. Ajuste con arandela de Coca Cola*



El montaje final quedaría de la siguiente forma:



*Ilustración 23. Montaje final*

## 4. Diseño y fabricación del freno.

La medida del par efectivo desarrollado por el expansor es muy útil para analizar como de correcto ha sido el diseño y al mismo tiempo para estudiar el efecto de posibles mejoras que se pretendan implantar. Además, conociendo los datos de par efectivo y régimen de giro se obtiene la curva característica del expansor, la cual es imprescindible para estudiar las posibles aplicaciones del modelo fabricado.

Con el objetivo comentado de medir el par de giro se ha construido un freno tipo *Prony*. Este modelo de freno por fricción de una correa de cuero es muy útil ya que el par de frenado ejercido por la correa es muy pequeño y se puede conseguir variar adecuadamente la fuerza de frenado para obtener datos válidos a distintos regímenes de giro. El funcionamiento del freno es simple, la tensión que se crea en la correa debido a la fricción se mide mediante una célula de carga conectada al soporte de la correa, conociendo esta fuerza y la longitud del brazo de palanca que provoca el soporte de la correa se obtiene el par efectivo en el eje del motor. Para regular la tensión que ejerce la correa sobre el disco se dispone de un tornillo para tensar la correa.

En la siguiente imagen se observan los componentes principales del freno.

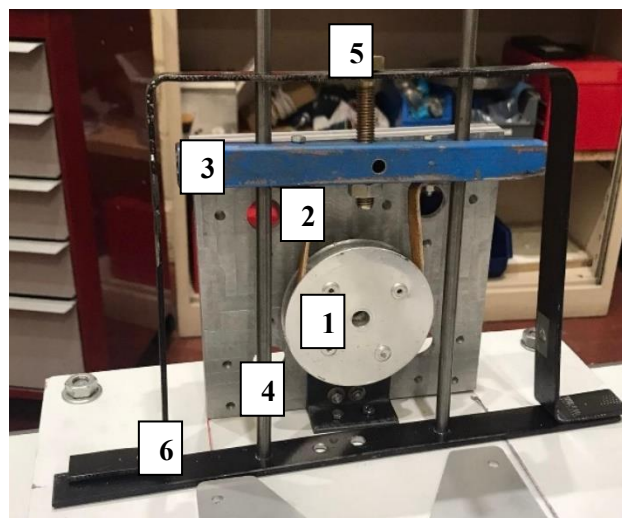


Figura 1: Freno Prony fabricado.

Los principales componentes del freno se detallan a continuación.

- 1- **Tambor frenado:** consiste en un cilindro de aluminio acoplado al eje del motor sobre el que fricciona la correa de cuero. Su función es la de elemento de fricción junto con la correa. Lleva dos chapas circulares a los lados de un diámetro ligeramente mayor, cuya función es mantener la correa dentro de la superficie de fricción.
- 2- **Correa de fricción:** es una correa de cuero cuya función es la de elemento de fricción junto con el tambor de frenado.
- 3- **Soporte de la correa:** es un tubo de acero de 20x20x1,5 mm cuya función es sujetar la correa y tirar de ella cuando se active el freno. También lleva acoplado el tirante de la célula de carga.
- 4- **Guías:** son dos barras de acero de 10mm de diámetro cuya función es asegurar que el movimiento del soporte de la correa sea completamente vertical para evitar errores de medida.



- 5- **Tensor:** es un tornillo cuya función es variar la posición del soporte de la correa para ejercer mayor o menor tensión sobre la correa, es decir, es el regulador de la fuerza de frenado ejercida.
- 6- **Estructura:** es una pletina de acero de 20 mm de ancho plegada y soldada. Su función es integrar todos los elementos de manera que queden correctamente alineados.

## 5. Sensores y uso de Arduino.

Una vez montado el motor y funcionando es interesante saber cómo es su funcionamiento. Mediante el empleo de un circuito electrónico que se explicará a continuación es posible medir el par y medir las revoluciones por minuto, consiguiendo de esta manera los parámetros mas fundamentales del funcionamiento del motor construido.

### 5.1. Sensor de par

Para poder medir el par de frenado fue necesario emplear una celda de carga y un transmisor HX711. Esta celda de carga es un transductor que al estar sometido a un esfuerzo (flexión) lo convierte en una magnitud eléctrica proporcional a dicha carga.



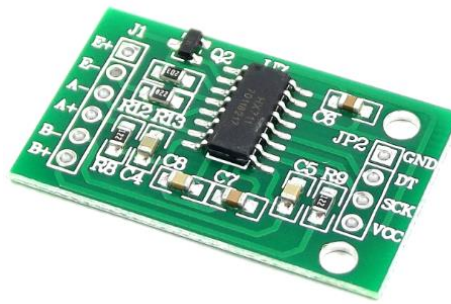
*Ilustración 24: Celda de carga*

Por tanto, al unir la celda con la barra que se encarga de tensar el freno, cuando esta se desplace, se producirá un esfuerzo de flexión en la célula y se podrá registrar la señal generada, pudiendo obtener así las curvas de par del motor.



*Ilustración 25: Unión celda de carga con la barra tensora del freno*

El transmisor HX711 se encarga de la lectura del puente Wheatstone formado por la celda de carga, convirtiendo la lectura analógica a digital gracias a su conversor A/D interno.

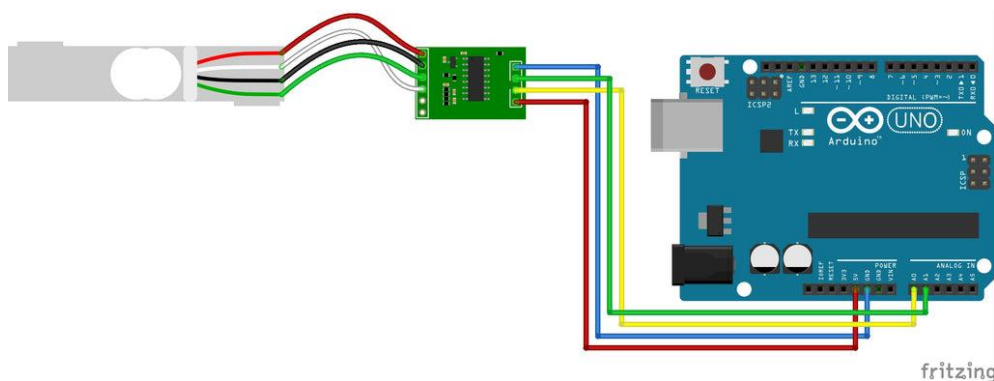


*Ilustración 26: Transmisor HX711*

La celda de carga cuenta con cuatro cables; el rojo, conectado al pin E+ del transmisor, el Negro conectado al pin E-, el verde, conectado al pin A- y el blanco, conectado al pin A+.

Además, el transmisor cuenta con otros 4 pines que son con los que se conecta a la placa Arduino. El pin DT, que es el de datos, el SCK, que es la señal de reloj, la alimentación VCC y la conexión a tierra GND.

El esquema de conexión es el siguiente:



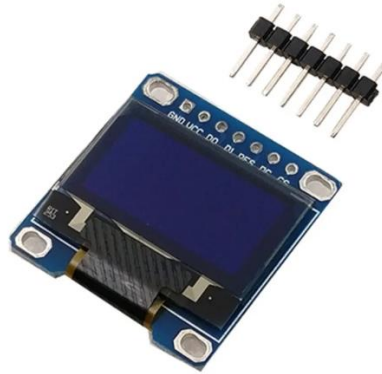
*Ilustración 27: Esquema de conexión*

Una vez se han hecho las conexiones, se programa un sencillo código en Arduino que permite la obtención de los datos.

Los aspectos más relevantes del código son los siguientes:

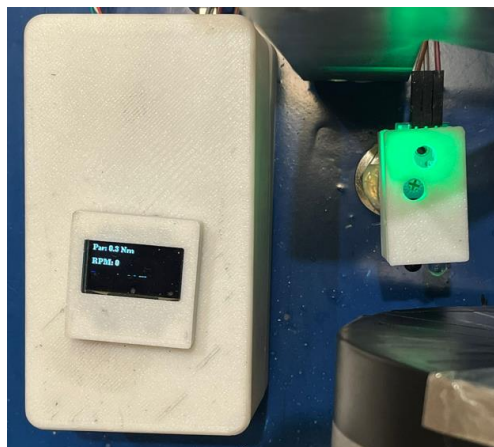
- Incluir la librería HX711.h
- Definir qué pines serán los pines DT y CLK.
- Definir las variables empleadas, como el peso y el factor de calibración.
- Programar un bucle que lea el peso promedio de varias lecturas.
- Transformar la lectura de peso en gramos, a par (Nm) multiplicando por la gravedad y por la longitud del brazo.
- Imprimir por pantalla los resultados

Para la visualización de los valores de revoluciones por minuto y par de freno, se empleó un módulo de pantalla OLED de 0,96 pulgadas que iba alojada en una carcasa impresa en 3D.



*Ilustración 28: Módulo de pantalla*

De igual forma, tanto la propia Arduino Mega 2560 empleada como el sensor de velocidad estaban alojados en sus respectivas carcasas.



*Ilustración 29: Pantalla, placa Arduino y cuentarrevoluciones alojados en sus carcasas*

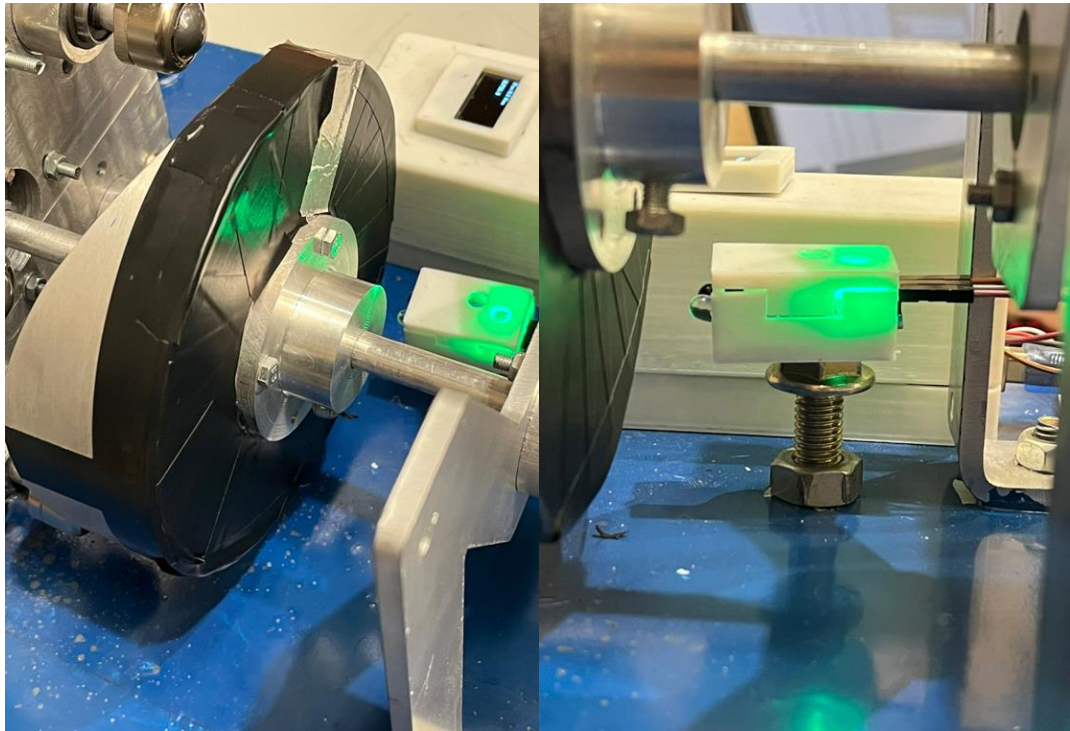
Cabe destacar que en el código se debe incluir la salida de los datos tanto por el módulo como por la pantalla del ordenador, con el fin de poder recoger los datos impresos en una hoja de Excel de forma automática.

## **5.2. Sistema cuentarrevoluciones**

A continuación, se explicará las partes del circuito que nos permiten obtener las revoluciones por minuto a las que gira el motor. Mediante un sensor de proximidad y un elemento reflectante que gira con la leva es posible contar las revoluciones del motor a través de un programa de Arduino.

En la siguiente imagen se muestra el posicionamiento y montaje del sistema cuentarrevoluciones:

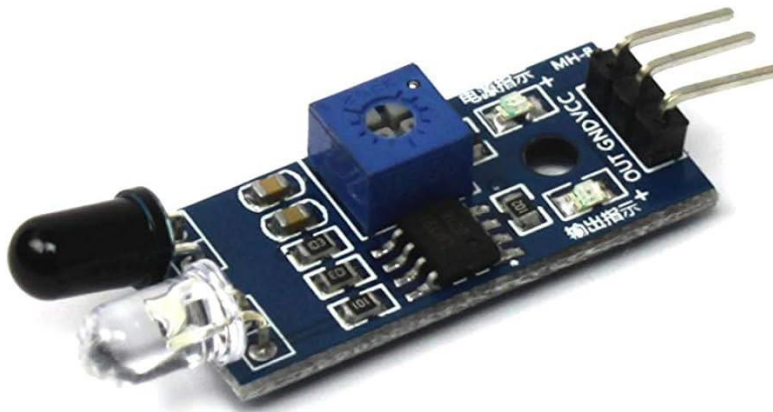




*Ilustración 30: Posicionamiento y montaje del sistema contarrevoluciones*

### **5.3. Sensor de proximidad**

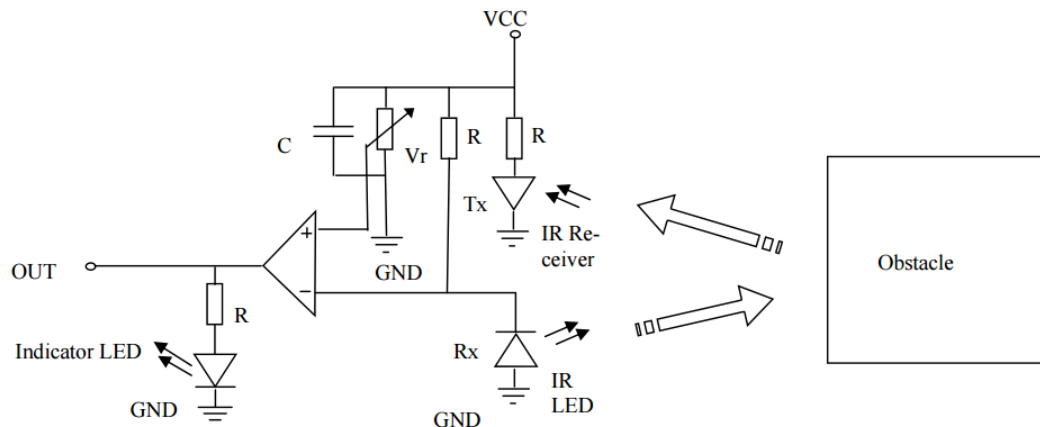
Para poder contar las revoluciones del motor construido se ha utilizado el sensor MH Sensor Series Flying Fish, el cual es un sensor de proximidad, con una placa Arduino.



*Ilustración 31: MH Sensor Series Flying Fish*

Para comprender el circuito es fundamental conocer cómo funciona este sensor. En la siguiente figura se muestra el circuito esquemático del sensor. Este sensor de proximidad está constituido por un par emisor IR y receptor IR que a través de un circuito con un comparador hacen que se encienda un LED cuando tiene un obstáculo en cerca.





*Ilustración 32: Circuito esquemático del sensor MH Sensor Series Flying Fish*

El funcionamiento es el siguiente: La salida del receptor IR se pone baja cuando recibe una señal IR. Por lo tanto, el pin de salida está normalmente bajo porque, aunque el LED IR está transmitiendo continuamente, al no haber un obstáculo, no se refleja nada de vuelta al receptor IR. El LED indicador está apagado. Cuando se encuentra un obstáculo, la salida del receptor IR se pone baja, la señal IR se refleja desde la superficie del obstáculo. Esto hace que la salida del comparador se ponga baja. Esta salida está conectada al cátodo del LED, que entonces se enciende.

Este sensor cuenta además con un potenciómetro que, al girarlo, permite ajustar la sensibilidad del sensor IR. En el punto en el que la sensibilidad del receptor es máxima, también lo es su distancia de detección. Si se necesita reducir la distancia de detección, es decir, la sensibilidad del receptor, se puede girar el potenciómetro en sentido antihorario desde este punto.

La sensibilidad ajustada de los sensores está limitada a su entorno. Una vez ajustados para un entorno específico, funcionarán perfectamente mientras las condiciones de iluminación IR en esa región se mantengan casi constantes. Esto causó problemas durante el trabajo, porque aunque el circuito estaba ya montado y el programa de Arduino programado y ambas eran congruentes y se veía que estaban bien luego no funcionaba y no contaba correctamente las revoluciones. Al ajustar la sensibilidad a una adecuada sensibilidad para el entorno del Laboratorio de Motores Térmicos ya empezó a contar las revoluciones con precisión.

#### 5.4. Programa de Arduino

El programa realizado hace 2 funciones conjuntamente, mide el par y cuenta revoluciones. Lo más importante del programa para el conteo de revoluciones es lo siguiente:

En la siguiente figura se muestra una parte. Aquí, cada 5 segundos se muestra por pantalla el valor actualizado de las revoluciones (rpm). La variable revolutions guarda el número de veces que el LED del sensor se ha encendido y, por tanto, ha contado una vuelta. La operación que se realiza es para pasar del número de vueltas contadas en el intervalo de 5s a las revoluciones por minuto del motor.

```
if (millis() - timeold >= 5000) {
    float rpm = (float)revolutions * 60000.0 / (millis() - timeold);
```

*Ilustración 33: Parte del programa donde se pasa de revolutions a rpm*

Al terminar cada ciclo se actualizan las variables de esta manera.

```
timeold = millis();  
revolutions = 0;  
}
```

*Ilustración 34: Reinicio de variables para comenzar siguiente ciclo de conteo*

En la siguiente figura se muestra una interrupción que es la que cuenta las vueltas. Hay que remarcar que el condicional es para que en la misma vuelta no cuente varias revoluciones, para que cuente tienen que pasar 50 ms desde la última vez que contó.

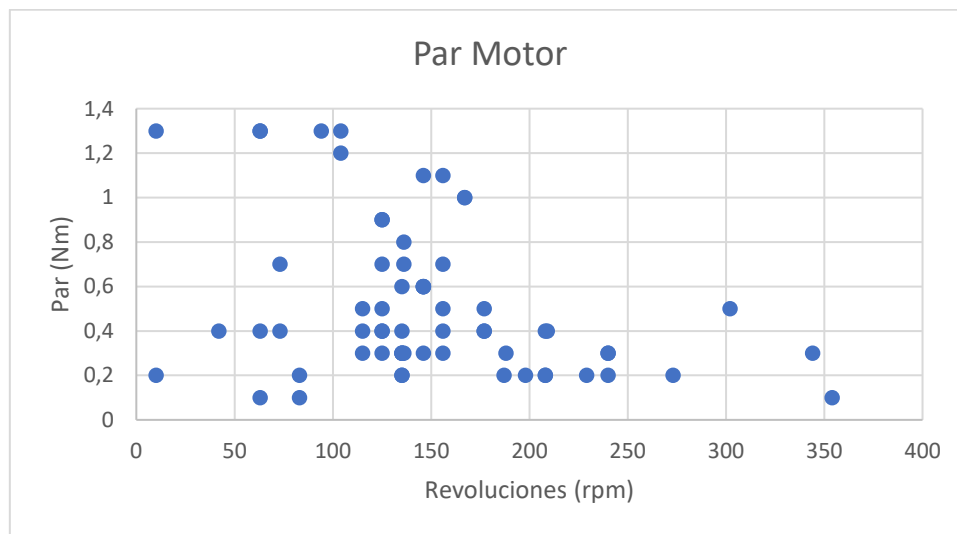
```
void countRevolutions() {  
  if (millis() - timeold1 >= 50) {  
    revolutions++;  
    timeold1 = millis();  
  }  
}
```

*Ilustración 35: Interrupción para contar revoluciones*

## 6. Curvas características y datos obtenidos.

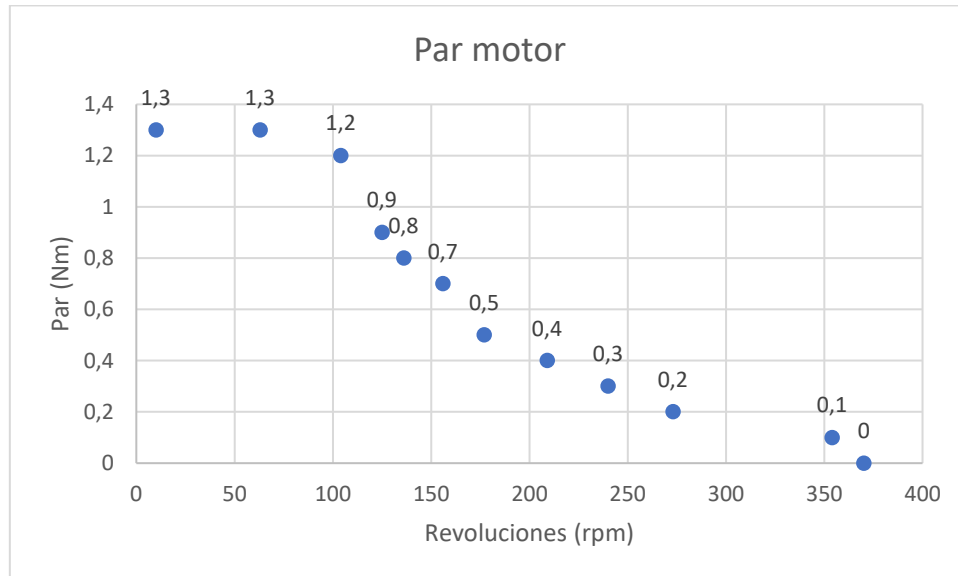
Para la obtención de las diferentes curvas características del expansor se llevaron a cabo distintos ensayos. Los ensayos fueron los siguientes; A par constante, incrementar las revoluciones. Y, por otro lado, a revoluciones constantes, ir aplicando cada vez más par. Las variaciones de par o de revoluciones debían ser como mínimo cada 5 segundos, puesto que la frecuencia del display de datos es cada 5 segundos (en los que realiza una media de los datos tomados en todo ese tiempo para tener una mayor precisión).

El resultado de los ensayos es la siguiente nube de puntos:



Como se puede observar, salvo algunos puntos que se consideran errores debido al equipo electrónico, sí que existe una tendencia clara de disminución del par al aumentar las revoluciones. Esto coincide exactamente con la tendencia esperada. No obstante, tanto el par como las revoluciones máximos difieren notablemente de las de diseño. Esto último se debe a las fugas de aire que tiene el sistema.

Realizando una regresión de los datos, quedan los siguientes puntos, que son los que mejor definen la función real:



El par máximo como se puede observar es 1.3 Nm (frente a los 2,2 Nm de diseño) y las revoluciones máximas son de aproximadamente 354 rpm (frente a las 600 rpm de diseño).

Si unimos los puntos como una función continua, quedaría el siguiente gráfico:



Por último, como potencia de diseño se tenían unos 50 W. Si realizamos el gráfico de potencia en fusión de las revoluciones (haciendo el producto de revoluciones por par en cada revolución) quedaría el siguiente gráfico:



La tendencia descrita por el expansor en cuanto a la potencia es la prevista en el diseño, alcanzando un máximo (que coincide con el de máximo rendimiento) a unas revoluciones poco mayores a 100 rpm, y disminuyendo a partir de ahí según se aumentaban las revoluciones. Al igual que ocurría con el par y revoluciones máximas, la potencia máxima también difiere de la de diseño (en este caso a razón de un cuarto debido a que tanto el par como las revoluciones obtenidos son mas o menos la mitad de las de diseño).

## 7. Posibles mejoras futuras.

### 7.1. *Mejor ajuste de la válvula*

Uno de los parámetros críticos del diseño del expansor es el ajuste de la válvula con su carcasa. Años anteriores uno de los problemas del diseño era este, el ajuste. Al tener un diámetro notablemente menor que el de la carcasa se producen fugas de aire que circulan a través de los cilindros hasta llegar a los pistones. Es por ello por lo que en anteriores diseños se daba la situación en la que al introducir aire empujaban los cuatro pistones al mismo tiempo. Este año se solucionó dicha deficiencia introduciendo cuatro pequeños agujeros (antes de los agujeros de los pistones), por los que se expulsaría el aire fugado.

Si bien esta solución ha permitido el funcionamiento del expansor, las fugas de aire al exterior son demasiado grandes. Por ello como una posible mejora para el año que viene sería conseguir una tolerancia suficiente en el ajuste como para minimizar lo máximo posible las fugas.

### 7.2. *Todos los pistones del mismo tamaño*

Durante la fabricación de los cilindros, hubo un imprevisto. El agujero interior de uno de los cilindros, por donde circula el pistón, se mecanizó en 22 mm en vez de los 20 mm diseñados. Debido a ello, se decidió mecanizar de nuevo la cabeza de uno de los pistones, esta vez con un diámetro de 22 mm. Se decidió así puesto que el sobrecoste era menor de esta forma que de haber vuelto a mecanizar el cilindro por completo ajustando a los 20 mm.

No se ha calculado la posible influencia de este hecho, pero, se estima que al ser un espacio mayor la cámara de ese pistón, esta reclame más aire en detrimento de su par (el pistón que a la vez que él, se encuentra en admisión).

Con todo lo expuesto una nueva mejora sería que todos los pistones tuvieran el mismo diámetro para que todos demandasen la misma cantidad de aire.

### 7.3. *Accionamiento externo*

Actualmente el accionamiento del motor se realiza de manera puramente manual, concretamente con la mano haciendo girar la leva. Si bien es una técnica eficaz, una posible mejora sería la implementación de un sistema de arranque que no involucre la mano de uno de los miembros del equipo. El equipo Nockerad propuso e implementó un arranque mediante un mecanismo de arranque de motosierra. Se piensa que incorporar este mecanismo sería viable, pero habría que introducir una nueva pieza unida al eje en la zona central.

## 8. Índice de figuras.

Ilustración 1. Diseño original carcasa de la válvula .....	3
Ilustración 2. Diseño original válvula .....	4
Ilustración 3. Conjunto de la válvula con su rodamiento .....	4
Ilustración 4. Diseño original cilindro.....	5
Ilustración 5. Cilindros.....	5
Ilustración 6. Diseño original pistones.....	6
Ilustración 7. Diseño original biela .....	6
Ilustración 8. Conjunto pistón con rodamiento lineal y seguidor esférico .....	7
Ilustración 9. Diseño original arandela .....	7
Ilustración 10. Diseño original soporte .....	8
Ilustración 11. Soporte de los cilindros y la válvula .....	8
Ilustración 12. Diseño original brida leva .....	9
Ilustración 13. Brida leva .....	9
Ilustración 14. Diseño original leva .....	10
Ilustración 15. Leva salida de la fundición.....	10
Ilustración 16. Leva.....	11
Ilustración 17. Pistón con rodamiento lineal y seguidor esférico.....	12
Ilustración 18. Goma entre el cilindro y el soporte .....	12
Ilustración 19. Conjunto de válvula y los cilindros montado.....	13
Ilustración 20. Pletina entre el soporte y la base .....	13
Ilustración 21. Soporte en M con rodamiento y brida.....	14
Ilustración 22. Ajuste con arandela de Coca Cola.....	14
Ilustración 23. Montaje final .....	15
Ilustración 24: Celda de carga .....	18
Ilustración 25: Unión celda de carga con la barra tensora del freno .....	18
Ilustración 26: Transmisor HX711 .....	19
Ilustración 27: Esquema de conexión.....	19
Ilustración 28: Módulo de pantalla.....	20
Ilustración 29: Pantalla, placa Arduino y cuentarrevoluciones alojados en sus carcasas.....	20
Ilustración 30: Posicionamiento y montaje del sistema cuentarrevoluciones .....	21
Ilustración : MH Sensor Series Flying Fish .....	21
Ilustración : Circuito esquemático del sensor MH Sensor Series Flying Fish .....	22
Ilustración : Parte del programa donde se pasa de revolutions a rpm .....	22
Ilustración : Reinicio de variables para comenzar siguiente ciclo de conteo .....	23
Ilustración : Interrupción para contar revoluciones.....	23



## 9. Anexo 1. Pasos para la fabricación.

	Arandela (4x)	Casquillo rodamiento	Válvula	Brida eje-Leva	Carcasa válvula	Carcasa Cilindros (4x)	
1	Agujero profundidad de <b>35 mm</b> primero de D=4 mm, luego 8, 12, 15 (con taladro)	Agujero <b>15 mm</b> de profundidad de <b>D=20 mm</b> , primero de 4 mm, luego de 8, 12, 15	Partiendo de D=40 mm se reduce hasta <b>D=15 mm</b> una longitud de <b>30 mm</b>	Se parte de D=40 mm y se redonde hasta <b>D=16mm</b> una longitud de <b>15 mm</b>	Agujero interior de <b>45 mm</b> de profundidad y <b>D= 40mm</b> , partiendo de 4 mm y luego 8, 12...	Se parte de D=60 mm y se reduce hasta <b>D=40 mm</b> con una longitud de <b>40 mm</b>	TORNO
2	Aumentar el agujero a <b>D=19 mm</b> con herramienta, corte interior	Aumentar el agujero a <b>D=20 mm</b> con herramienta, corte interior	Agujero por el D=40 mm de <b>D=12,7 mm</b> hasta profundidad de <b>17 mm</b>	Se realiza un agujero pasante de <b>D=10 mm</b> , partiendo de D=4mm y luego 8 mm, por último 10 mm	Agrandar el agujero de D=40 mm hasta <b>42 mm</b> una profundidad de <b>13 mm</b>	Agujero de <b>D=20 mm</b> de profundidad <b>37 mm</b> partiendo de 4 mm y luego 8, 12, 15 mm	TALADRO
3	Corte de longitud de <b>16 mm</b> aprox	Aumentar el agujero a <b>D=26 mm</b> con herramienta, corte interior con una profundidad de <b>8 mm</b>	Agujero por el D=15 mm de <b>D=10 mm</b> hasta profundidad de <b>10 mm</b>	Se practican 4 taladros de <b>D=3,4 mm</b> en un <b>D=24 mm</b> a 90º en el D=40 mm	Realizar agujeros pasantes de <b>D=11,44 mm</b> para la inserción de los machones con roscas de <b>G1/4</b>	Se ensancha el agujero de 15 mm con herramienta de corte interior hasta los <b>20 mm</b>	SIERRA
4	Refrentado de las caras para dejar la pieza a longitud de <b>14 mm</b> y lisas	Corte de la pieza de <b>15 mm</b> de longitud	Chaveta pasante de <b>R=3,2 mm</b> y <b>L=6,65 mm</b> en el D=40 mm a una distancia de <b>17 mm</b> de la sección exterior	Se realiza un agujero pasante de <b>D=3,4 mm</b> en el D=16mm, a una distancia de <b>8 mm</b> de la cara exterior	Agujeros a lo largo de un <b>D=52 mm</b> en la cara inferior de <b>M3</b> y <b>10 mm</b> de profundidad	Agujero para la rosca de <b>D=G1/4 mm</b>	HERRAMIENTA DE ROSCAS
5		Refrentado de las caras para dejar la pieza a longitud de <b>12 mm</b> y lisas	Agujero pasante de <b>D=3 mm</b> en el D=10 mm a una distancia de <b>5 mm</b> de la cara		Agujeros pasantes de <b>D=3 mm</b>	Chavetas a lo largo del D= 60 mm siguiendo un <b>D=50 mm</b>	
6		Se practican 4 taladros de <b>D=4 mm</b> en un <b>D=33 mm</b> a 90º			Realizar las roscas de M3 y G1/4	Chaveta rectangular de <b>6*12 mm</b> a una distancia de la cara inferior de <b>7 mm</b>	
7						Realizar la rosca superior	