

## FICHA DE PROYECTO 2020

**TÍTOL:** Mesura del rendiment d'un motor tèrmic

**Centre:** IES Ausiàs March - Gandia

**Curs y Cicle (ESO/BAT/CFGM):** 1' BAT

**Categoria de concurs:** X FÍSICA (demos. i experiments)

**Nom del professor tutor 1:** Savall Alemany, Francisco

**Nom i cognoms dels participants (4 màxim)**

1. Almenar Lucio, Laia

3. López Ferrando, Gabriel

2. Garcia-Oliver Canet, Isabel

4. Sánchez Guamán, Coraima Elizabeth

### Resum breu del projecte i objectius

L'objectiu de la nostra investigació és mesurar el rendiment d'un motor tèrmic, concretament, d'un motor de Stirling escolar i plantejar modificacions que permeten millorar el rendiment. Per aconseguir-ho, hem emprat sensors electrònics i una placa arduino per a l'adquisició de mesures.

### Material i muntatge

Hem construït un motor de Stirling per a ús escolar seguint les indicacions de Boada (2017). Usem una xeringa de vidre subjectada amb dues brides a un cargol vertical incrustat en un tauler de fusta. Enganxem a la xeringa una placa metàl·lica sota la qual situem un sensor ultrasònic de posició que ens permetrà obtindre mesures de la posició de la placa. Dues plaques metàl·liques fixades a la fusta serveixen de suport a un tub d'assaig posicionat horitzontalment. Aquest tub d'assaig porta adaptat, aproximadament en el centre, un eix perpendicular metàl·lic al voltant del qual pot bascular. En l'interior del tub introduïm una quantitat variable de boles de vidre («caniques»). Tapem el tub amb un tap de goma que té dos orificis. A través d'un d'ells passem un tub de vidre que connecta amb la xeringa, formant un únic compartiment estanc (l'aire pot passar lliurement del tub d'assaig a la xeringa, però no pot entrar ni eixir aire). Dins del tub d'assaig s'ha posat, a més, llana metàl·lica que evitarà impactes entre les boles i el tub que el puguen fracturar. A través del segon orifici del tap de goma introduïm un sensor electrònic de pressió dins del tub d'assaig i segellem l'orifici amb cola tèrmica per mantindre l'estanquitat de tot el sistema. Tots els sensors es connecten a una placa arduino i aquesta es connecta a un ordinador. Un foguer d'etanol aportarà la calor necessària per fer funcionar el motor. En la figura 1 es pot veure una imatge del motor.

### Fonamentació: Principis físics involucrats i la seua relació amb aplicacions tecnològiques

El motor funciona mitjançant cicles d'escalfament i refredament del gas que conté. Inicialment es troba en la posició mostrada en la part esquerra de la figura 1. A mesura que escalfem l'extrem del tub d'assaig la temperatura del gas contingut en ell augmenta i això fa que augmente la pressió. A mesura que la pressió augmenta la xeringa es desplaça verticalment, produint un augment de volum. Quan el desplaçament és suficientment gran el tub d'assaig s'inclina cap al costat oposat (mostrat en la part central de la figura 1) i les boles cauen fins al fons del tub, desplaçant l'aire que ocupa aquesta posició cap al tap, on la temperatura és menor. L'aire, en la zona del tap, es refreda. Aquest refredament fa que la pressió disminuisca i que el motor recupere el volum original, tornant a inclinar-se cap a la posició mostrada en la part esquerra de la figura 1. Llavors les boles tornen a desplaçar l'aire cap a l'extrem calent del tub d'assaig, reiniciant el cicle.

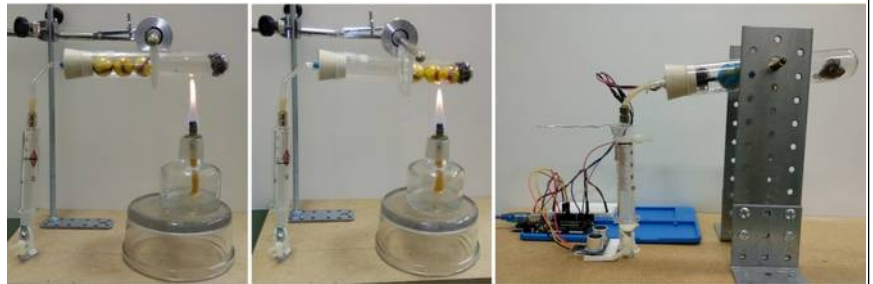


Figura 1: Motor de Stirling. En les imatges esquerra i central s'observa una versió simplificada del motor de Stirling emprat durant la investigació. En la imatge de la dreta es mostra el motor emprat. La diferència entre els dos motors és que el de la dreta té dos peus, la qual cosa millora l'estabilitat i elimina vibracions i rotacions indesitjades que poden arribar a bloquejar l'oscil·lació del motor. Així mateix, en la imatge de la dreta s'observa el muntatge electrònic que permet l'adquisició de mesures.

El rendiment del motor és la relació entre l'energia aportada al motor (en forma de calor) i el treball que fa el motor en un cicle complet ( $\epsilon = \frac{W}{Q}$ ). Per mesurar la calor aportada hem mesurat, usant una bàscula, la quantitat d'alcohol que es consumeix en el foguer durant dos minuts. A continuació, a partir de l'entalpia de combustió tabulada i de la riquesa del alcohol emprat (96%) hem calculat l'energia que aporta el foguer en aquest temps. Una proporció matemàtica senzilla ens ha permès calcular la calor aportada en el temps que dura un cicle del motor. Obtenim així el valor de Q per calcular el rendiment. El treball que fa el motor el determinem a partir del cicle de compressió i descompressió del gas que conté.

El treball que fa un gas quan canvia de volum es determina com  $W = p \Delta V$ . El sensor de pressió introduït en el tub ens

donarà lectures de la pressió del gas. Per mesurar l'increment de volum hem emprat el sensor de posició situat sota la xeringa: manualment hem mogut la xeringa fins la marca de 20 ml i hem anotat la posició de la placa que indicava el sensor de posició, a continuació hem desplaçat la xeringa fins a la marca de 30 ml i hem anotat de nou la posició que marcava en sensor, hem repetit les mesures per a 40 ml i 50 ml i, amb els resultats, hem pogut establir la relació entre la posició de la placa i el volum de l'aire de la xeringa. Mesurant posicions successives de la placa en intervals breus de temps hem pogut determinar la variació de volum que experimenta el gas a mesura que completa un cycle.

La placa arduino ha estat programada per fer les corresponents mesures de pressió i volum. Concretament, fa tantes mesures de pressió i volum com permeten les seues característiques tècniques (aproximadament una mesura cada 40 ms). Els resultats obtinguts han sigut traslladats a un full de càlcul per analitzar-los.

### Resultats

El mètode de mesura emprat genera una quantitat enorme de mesures, que per problemes d'espai no podem presentar en aquest document. Hem representat les mesures corresponents a un cycle complet en un diagrama pressió-volum (figura 2). S'hi pot observar que el cycle consta de 4 etapes: la primera etapa es pot identificar amb un augment de la pressió pràcticament a volum constant (corresponent a l'escalfament del gas), a continuació (2<sup>a</sup> etapa) es produeix un augment de volum pràcticament a pressió constant que es correspon amb l'elevació de la xeringa, seguidament (3<sup>a</sup> etapa) un descens de pressió (gairebé a volum constant) que està produït pel refredament del gas i finalment (4<sup>a</sup> etapa) el volum disminueix (la xeringa descendeix) tancant així el cycle. Les mesures fetes per la placa arduino permeten saber que el temps emprat pel motor en fer un cycle és de 1,012 segons.

Per determinar el treball hem aplicat l'expressió  $W=p\cdot\Delta V$  a cada parell de mesures consecutives, obtenint així el treball fet pel motor en cada interval de temps. El treball fet durant el cycle serà la suma del treball fet en cada interval. En tant que la pressió canvia al llarg de l'interval, hem usat el valor mitjà de la pressió durant l'interval. Per a l'interval que va de la primera a la segona mesura el treball és  $W_{12}=\frac{(p_1+p_2)}{2}\cdot(V_2-V_1)$ , i així successivament.

El treball que fa el gas durant un cycle és de 196,5 mbar·ml, corresponent a  $1,96\cdot 10^{-2}$  J. Aquest treball també es pot mesurar com l'àrea tancada pel cycle del motor en la gràfica P-V. Analitzant aquesta gràfica s'observa que l'àrea tancada es correspon aproximadament amb un rectangle de 3,5 ml de base i 60 mbar d'altura, al qual correspon una àrea de 210 mbar·ml, valor pròxim al que s'ha obtingut usant el procediment explicat en el paràgraf anterior.

Hem mesurat que el foguer d'alcohol consumeix 0,73 grams d'etanol en 2 minuts. Considerant que té una riquesa del 96% i que l'entalpia de combustió de l'etanol és de 1411 kJ/mol arribem a què el foguer aporta calor a un ritme de 179 J/s. La calor aportada al motor en el temps que dura un cycle (1,012 segons) és de 181,3 J.

El rendiment del motor s'obté calculant la relació entre l'energia aportada per la font de calor i el treball que el gas. Obtenim:

$$\varepsilon = \frac{1,96 \cdot 10^{-2}}{181,3} = 0,11 \cdot 10^{-3}$$

### Conclusions

El rendiment obtingut no és bo si el comparem amb el valor habitual dels motors de combustió (els motors tèrmics més comuns), que és d'aproximadament 0,4. El nostre motor aprofita molt poca de l'energia que aporta el foguer d'alcohol. No hem d'oblidar que el nostre motor és un model escolar, molt diferent als motors reals que usa la indústria o el transport. En aquests moments estem analitzant diverses modificacions que es poden fer al motor i que pensem que poden augmentar el rendiment. Concretament:

- Introduir algun element que permeta al tub d'assaig absorbir més calor del foguer.
- Modificar la quantitat de boles que hi ha en l'interior del tub d'assaig.

Algunes d'aquestes modificacions ja s'han portat a terme amb resultats satisfactoris. Esperem mostrar tots aquests resultats durant la fira.

### Bibliografia

- Boada, M. (2017). Motores mínimos (III), *Investigación y Ciencia*, n. 487.
- Cardono, J. y Zannin, M. (2019). Proposta experimental para análise das variáveis de estado dos gases com arduino. *Rev. Bras. Ensino Fis.* 41 (4), p. 20190028.
- Franco, A. El motor de Stirling, en Curso Interactivo de Física en Internet. [http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/\\_estadistica/termodinamica/stirling/stirling.html](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/_estadistica/termodinamica/stirling/stirling.html)
- Savall-Alemany, F; Esparza Garcia, M. et al. (2019). Indagando sobre motores en secundaria. *Alambique*, 96, p. 73.

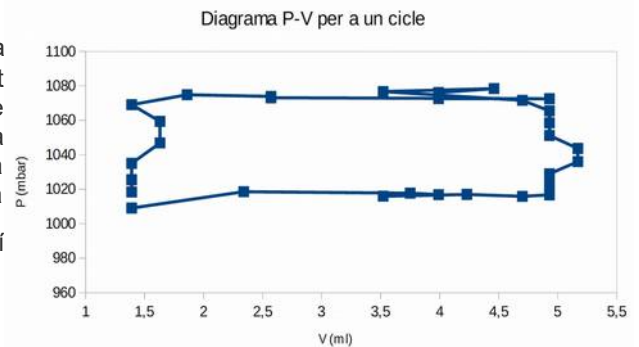


Figura 2: Diagrama P-V per a un cycle del motor de Stirling. S'observa una figura pràcticament rectangular, amb 4 etapes que podem descriure aproximadament com: augment de pressió a volum constant (escalfament), expansió a pressió constant, descens de pressió a volum constant (refredament) i compressió a pressió constant.