

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol: Disseny d'un dispositiu d'obtenció d'electricitat a partir de materials reciclats

Document 1: Memòria i Annexos

Alumne: Lluís Camps Salom

Director/Tutor: Lino Montoro Moreno

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Màquines i Motors Tèrmics

Convocatòria (mes/any): Setembre del 2018

INDEX

1. INTRODUCCIÓ	1
1.1. Antecedents	1
1.2. Objecte	1
1.3. Abast	1
2. ACCÉS A LA ELECTRICITAT I AIGUA POTABLE	2
2.1. Accés a la electricitat	2
2.2. Accés a l'aigua	2
3. CONCEPTES TEÒRICS	3
3.1. Termoelectricitat	3
3.1.1 Efecte Seebeck	3
3.1.2 Efecte Peltier	3
3.1.3 Efecte Thomson	4
3.2 EFECTE JOULE	4
3.3 TRANSFERÈNCIA DE CALOR	5
4. DISSENY PROTOTIP	7
4.1. Anàlisi dels materials disponibles	7
4.2. Consideracions	8
4.3. Resultat final	9
4.4. Simulació i experimentació	9
5. DISSENY DEFINITIU	10
5.1. Material alternatiu i renderització	10
5.2. Simulació	11
5.3. Muntatge	15
5.4. Proves experimentals	17
5.4.1. Disposició de les sondes de T^a	17
5.5. Obtenció de resultats	20
5.6. Segona versió del disseny definitiu	26
5.6.1. Prova experimental amb la segona versió del prototip	26
6. RESUM DEL PRESSUPOST	28
7. CONCLUSIONS I MILLORES	29
8. RELACIÓ DE DOCUMENTS	30
9. BIBLIOGRAFIA	31
ANNEXOS	32

A. ESPECIFICACIONS MÒDUL PELTIER	33
B. SEMICONDUCTORS	34
C. ESTUDI DE MERCAT	35
D. PROPIETATS DE L'ALUMINI	37
E. INFORMACIÓ ARDUINO	38
F. RESULTATS DEL LABORATORI PER COMPROVAR EFICIÈNCIA DEL DISPOSITIU	39

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Antecedents

És innegable la importància de la electricitat avui dia. Així i tot, una gran part de la població encara no disposa de petits corrents, que per exemple es podrien fer servir per guardar aliments per a que tinguin una major duració. O en els pitjors dels casos, en moltes zones no disposen de corrent per poder potabilitzar l'aigua, de la qual han de buscar a kilòmetres cada dia de la seva pròpia casa. La existència d'un petit motor que alimentés un procés de filtratge ajudaria a aquestes zones amb dificultat per accedir a l'aigua potable. També existeix la problemàtica de que l'energia solar no és sempre una opció. Aquí és on se'ns va ocórrer la idea d'utilitzar l'efecte termoelèctric, ja que no necessita presència de sol per generar voltatge.

Les cèl·lules Peltier són molt utilitzades en les plaques base dels ordinadors d'escriptori, o també per refrigerar les ampolles de vi. Es tracta d'un entramat de metalls semiconductors que al subministrar-li voltatge es refreda una cara i es calenta l'altre. Tenen la peculiaritat que aquest procés és reversible. Per tant si se li aplica calor per un costat i fred per l'altre es podria treure un voltatge, tot depenent de les característiques de la cèl·lula en si.

1.2. Objecte

L'objectiu d'aquest projecte és dissenyar un dispositiu que aprofitant alguna font de calor residual, ja sigui un foc després de cuinar per exemple, sigui capaç d'escalfar una cara de la cèl·lula i mantenir freda a l'altre. Seguidament es comprovaria experimentalment al laboratori que dona un voltatge suficient per poder posar-li un petit motor de corrent continu. El disseny del dispositiu està pensat per a que es faci amb materials reciclats, ja sigui amb material domèstic o material que deixaríem a les deixalleries especials, com per exemple ordinadors. La idea del projecte no és establir un model patró i poder-lo fer en tirades llargues, sinó una solució que sigui un prototip real que doni voltatge.

1.3. Abast

L'abast del projecte consistirà primer de tot, la explicació sobre la transferència de calor i el fenomen termodinàmic. Seguidament s'explicarà el funcionament de les cèl·lules Peltier que s'utilitzaran en el disseny.

Una vegada presentat el primer disseny per a la construcció, es procedirà a fer un anàlisi tèrmic amb el software ANSYS per corroborar que els dissipadors utilitzats són correctes. El darrer pas de tots serà l'experimental, utilitzant sensors de temperatura i connexions electròniques senzilles es podria saber quin voltatge genera en cada moment depenent del temps i de la temperatura.

2. ACCÉS A LA ELECTRICITAT I AIGUA POTABLE

2.1. Accés a la electricitat

Com podem veure a la Figura 1, són moltes zones del món en les que no només tenen escassetat de electricitat, sinó que també escasseja molt un element indispensable com l'aigua potable.

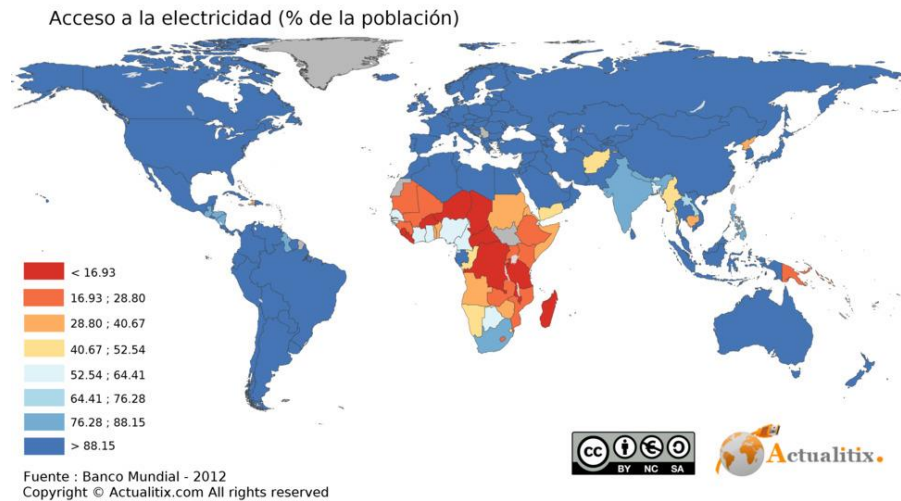


Figura 1: Accés a la electricitat segons el Banc Mundial.

2.2. Accés a l'aigua

Com podem veure en els dos mapes, grans zones de la Àfrica subsahariana tenen escassetat de recursos hídrics.

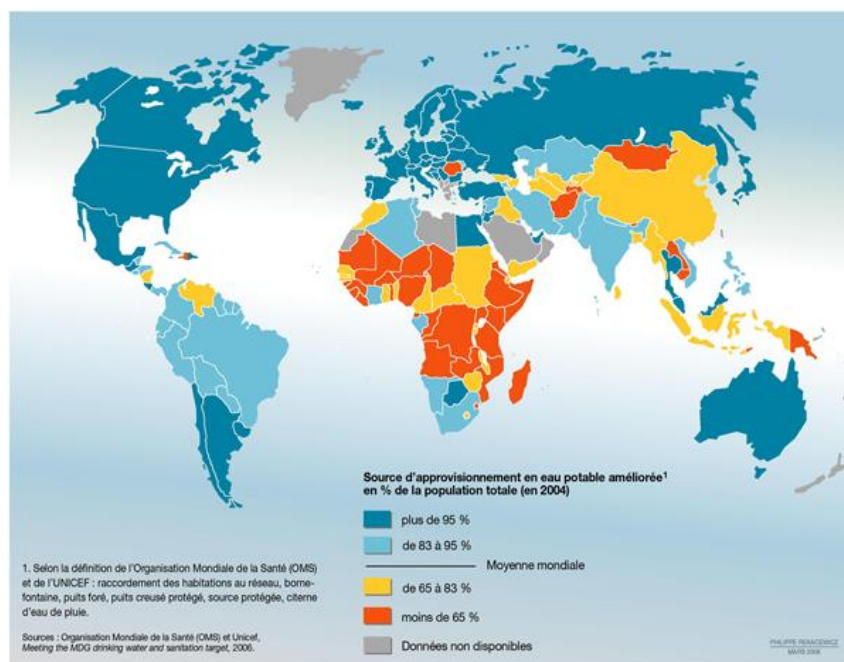


Figura 2: Accés a l'aigua potable.

Dispositius com el que es descriuen en el present projecte no solucionarien el problema de la mala gestió hídrica o elèctrica, però donaria una idea de com poder ajudar a persones que ho necessitin en els països més necessitats.

3. CONCEPTES TEÒRICS

3.1. Termoelectricitat

La termoelectricitat engloba tres fenòmens: efecte Seebeck, efecte Thomson i l'efecte Peltier. Tots ells estan relacionats entre sí, però primer anem a veure en què consisteix en termes més generals.

La termoelectricitat converteix corrent elèctric en un flux de calor o fred. També és reversible: aportant-li una diferència de temperatura es podria aconseguir treure un petit corrent. Tot això ho aconseguim mitjançant cap part mòbil ni gasos. Això es degut a la participació dels metalls semiconductors. Un metall semiconductor és un metall que canvia la seva resistència al aplicar-li calor. Anem a veure els efectes cadascun per separat.

3.1.1 Efecte Seebeck

L'efecte Seebeck deu el nom al seu descobridor, Thomas Johann Seebeck, Metge i investigador físic nascut a Estònia l'any 1770. El 1821 va descobrir el primer fenomen termoelèctric. Va adonar-se'n que quan feia una connexió de dos metalls diferents a diferent temperatura, aquests donaven un petit voltatge. Els materials utilitzats eren semiconductors. Actualment és utilitzat per aparells de mesura, anomenats termoparells.

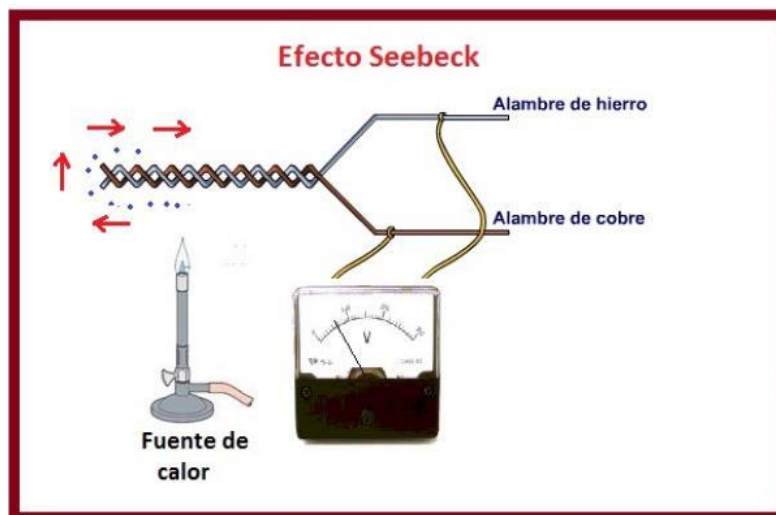


Figura 3: Efecte Seebeck

3.1.2 Efecte Peltier

Aquí tenim l'efecte oposat del efecte Seebeck. Uns anys més tard del descobriment de Seebeck, es va trobar que sotmetent a un corrent elèctric a dos metalls diferents apareix una

diferència de temperatura. El descobriment el va realitzar Jean Charles Peltier, físic francès nascut a l'any 1785.

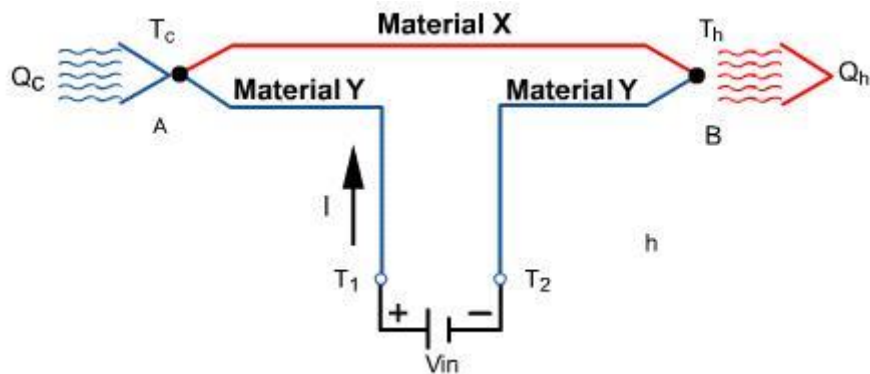


Figura 4: Efecte Peltier

3.1.3 Efecte Thomson

Vint anys més tard del darrer descobriment d'un efecte termoelèctric, el senyor Thomson va desenvolupar explicacions més detallades sobre els efectes Peltier i Seebeck, descrivint la relació termodinàmica entre els dos. En aquest estudi, Thomson va preveure la existència d'un tercer efecte termoelèctric, conegut com efecte Thomson, en el que s'absorbeix o emet calor quan un corrent recorre un material en el qual existeix un gradient de temperatures. En aquest cas, la quantitat associada és proporcional a els dos, el gradient tèrmic i la corrent circulant, a través del coeficient Thomson.

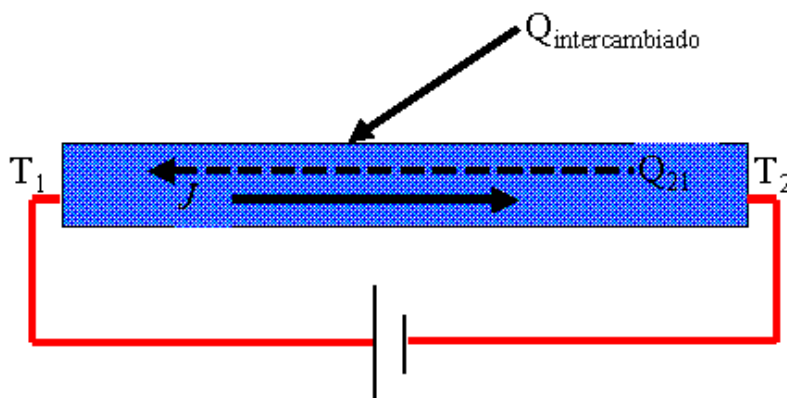


Figura 5: Efecte Thomson

3.2 EFECTE JOULE

També conegut per la llei de Joule, l'efecte Joule consisteix en la presència de calor al llarg d'un conductor pel qual hi circula corrent elèctric. Va ser descobert aquest fenomen pels xocs que produeixen els electrons que mou la electricitat amb els àtoms del conductor. No és un efecte reversible, i està considerat l'efecte més perjudicial a l'hora de transportar la electricitat. El calor generat pel conductor és proporcional per la resistivitat del conductor i del quadrat de la intensitat del corrent.

3.3 TRANSFERÈNCIA DE CALOR

És important pel desenvolupament d'aquest projecte tenir molt clars el conceptes termodinàmics que hi podrien intervenir.

El pas d'energia tèrmica d'un cos a un altre se li coneix com transferència de calor, i segons el medi té noms diferents: pot ser conducció, convecció o radiació. Per la segona llei de la termodinàmica, que explica part dels intercanvis de calor, entenem que sempre es busca l'equilibri tèrmic, per tant ha d'haver-hi un pas d'un cos a un altre. Aquest ho farà sempre des de el més calent cap al més fred.

3.3.1 Conducció

L'intercanvi de calor més habitual entre sòlids. Es produeix del més calent cap al més fred, degut al contacte entre les superfícies. Evidentment, com més superfície de contacte, més transferència de calor. L'altre magnitud que determina la capacitat de conduir la calor és la conductivitat tèrmica, pròpia de cada material. Com també pot ser lògic, la conductivitat tèrmica és major als sòlids que en els gasos i líquids.

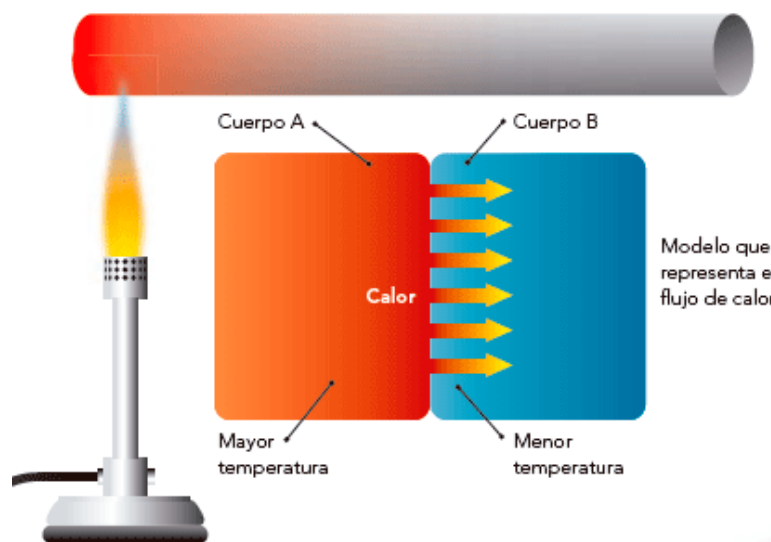


Figura 6: Conducció de calor

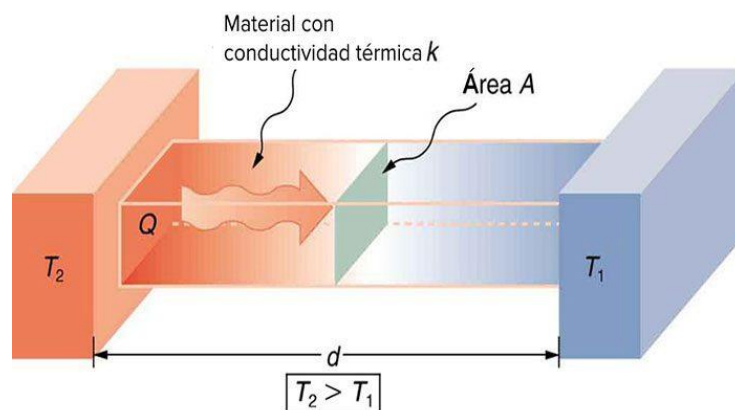


Figura 7: Conductivitat tèrmica

3.3.2 Convecció

Per la presència d'un mateix fluid (ja pot ser líquid o gas) amb regions de diferents temperatures, això produeix el moviment del propi fluid. Quan hi ha aire calent, aquest pujarà per tenir una densitat més baixa que la resta dels gasos voltants. Fenomen que artificialment s'utilitza per treure calor a objectes que ens interessi, per exemple per refredar els microprocessadors dels ordinadors (que s'escalfen pel seu treball) s'utilitza la convecció forçada per treure-li calor.

3.3.3. Radiació

Únic terme de la transferència de calor que no necessita d'un medi per propagar-se. La radiació pot ser emesa ja sigui per un sòlid, líquid o gas. Per tant, aquesta forma de propagació del calor es pot donar perfectament al buit, i dependrà de l'energia interna del cos que propagui la calor.

3.4. Cel·la Peltier

3.4.1. Descripció

La cel·la Peltier és un dispositiu termoelèctric que podria englobar els fenòmens termoelèctrics descrits anteriorment. En aplicar-li corrent, farà que una cara es s'escalfi i l'altre es refredi. També funciona inversament. En tenir una cara amb calor i a l'altre mantenir-la freda, i tenir les connexions electròniques ben fetes, dona un voltatge proporcional a la seva potència. També s'ha de tenir en compte que l'efecte Joule també apareix, per tant afecta al rendiment global.

Aquests dispositius són més utilitzats avui dia pel seu baix cost i inexistència de parts mòbils. S'utilitzen per refrigerar les plaques base dels ordinadors d'escriptori (aprofitant el calor que emeten, ajuden a refrigerar els microprocessadors); també s'utilitzen per refrigerar les neveres petites especialitzades per vins. S'ha estudiat també aquesta tecnologia per reaprofitar l'energia d'alguns sistemes d'escapament de la combustió. I com a tecnologia més puntera, hi ha sondes espacials que s'envien més lluny de Mart que utilitzen mòduls com aquest, però de molta més potència. Tenen com a combustible una font de fissió d'isòtops i així poder viatjar més lluny de on la energia solar no és suficient.

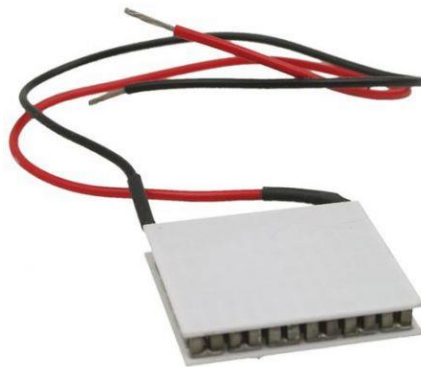


Figura 8: cèl·lula Peltier

3.4.2. Funcionament

Les cel·les Peltier tenen internament metalls semiconductors connectats en sèrie. Les "potes" termoelèctriques estan tèrmicament en paral·lel i elèctricament en sèrie (utilitzant coure). Hi ha dos tipus diferents de metalls semiconductors a dintre. Aquests materials tenen la propietat de ser bons conductors de la electricitat i molt dolents de la calor. Als extrems de les superfícies grans de les cel·les hi trobem unes plaques ceràmiques que protegeixen el dispositiu de la resta del medi de les interaccions elèctriques (ceràmica és aïllant elèctric).

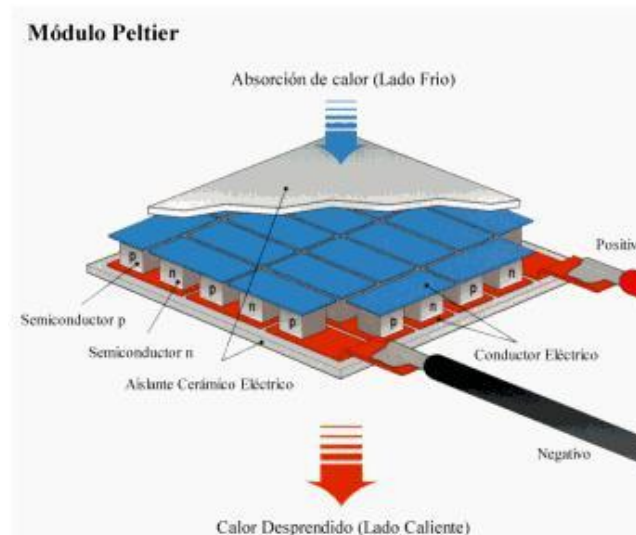


Figura 9: semiconductors a dintre del mòdul

En el present treball s'ha utilitzat el model de mòdul termoelèctric TEC1-12706. S'adjunta informació tècnica del fabricant en els annexos, així com una descripció molt més detallada de com funcionen els materials semiconductors.

4. DISSENY PROTOTIP

A continuació s'exposarà el procés que seguirà aquest projecte per arribar a un disseny funcional. Ens fixarem també en els dissenys disponibles en el mercat de tecnologies similars (veure annex Estudi de mercat).

El primer de tot que es farà, una vegada assolits tots els conceptes teòrics, és la cerca de materials de rebuig i fer una valoració de què es podria aprofitar. El següent pas seria dissenyar un primer prototip seguint la geometria que ens donen els elements reciclats. A continuació, utilitzaríem un software de simulació tèrmica per comprovar que el disseny té sentit i si funcionaria virtualment. El darrer pas de tots és el de l'experimentació al laboratori i confirmar que el disseny sigui funcional i ens ajudaria per detectar certes millores. Com a última instància es podria reconstruir el model per a tenir uns acabats més acurats i tenir resultats més fidedignes a la simulació.

4.1. Anàlisi dels materials disponibles

En primer lloc, s'ha pensat en materials metàl·lics fàcils de trobar a casa, per així donar resistència estructural i tèrmica. Els elements elegits per fer un primer disseny són:

- Com a estructura principal, una caixa de galetes de llautó, que es pot trobar a qualsevol supermercat.



Figura 10 : Caixa de galetes de llautó

- Dissipadors d'ordinador de sobretaula. Molt útils per la seva composició d'alumini, material molt conductor tèrmic, molt necessari en aquest projecte.



Figura 11: Materials de rebuig d'un equip informàtic de sobretaula

4.2. Consideracions

Primer de tot, s'ha procedit al disseny d'un prototip realitzat amb el software SOLIDWORKS. En aquest cas, s'ha optat per tenir una volum tancat per tenir la sensació de cambra calenta. En aquest espai és on es disposaria la font de calor, ja sigui reaprofitant algun procés o encendre intencionadament algun recurs per poder aportar energia calorífica. A dintre de la cambra, es trobaran els dissipadors calents, els encarregats de captar la calor de dintre la cambra i passar-la a la cara calenta de les cel·les de Peltier. Aquestes estan en contacte amb la superfície inferior dels dissipadors, utilitzant pasta tèrmica.

Per a la cara freda, també s'utilitzaran dissipadors, la diferència és que aquests es fixaran a l'aire lliure. Simplement estaran subjectes per assegurar l'estabilitat de l'estructura i de forma que els cables elèctrics no interfereixin amb cap zona de perill.

En l'estudi haurem de tenir en compte unes quantes limitacions. Primer de tot saber que les cel·les tenen un rendiment baix, i més si s'utilitzen per treure electricitat (efecte Seebeck). L'altre punt a tenir molt en compte forma part de l'estructura i muntatge utilitzats. Les cel·les tenen un gruix de només 4 mil·límetres. Per tant és important que el calor no traspassi més enllà dels dissipadors calents, ja que sinó perjudicaria els dissipadors de la part freda. Un muntatge estanc permetria que això no tingués lloc.

4.3. Resultat final

Utilitzant la caixa de galetes es va arribar a un primer prototip. Aquest va ser el disseny pensat:

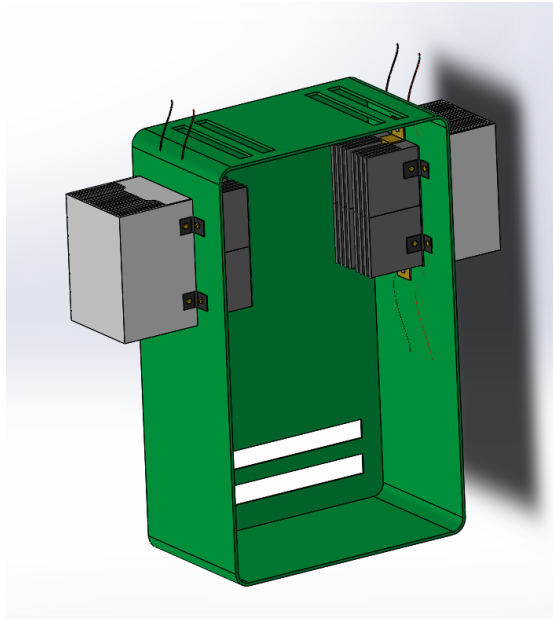


Figura 12: Primer disseny del prototip

En la imatge falta la tapa frontal que no s'ha introduït per poder observar l'interior. Com podem observar, es farien uns forats a la part inferior i superior, entenent que el moviment de l'aire entraria pels primers i sortiria pels segons. S'ha fet simètric per intentar donar estabilitat i facilitar les tasques de simulació.

4.4. Simulació i experimentació

La simulació es va portar a terme i va sortir correcte, utilitzant simetries i les condicions més reals possibles. No s'exposen aquí per els motius que segueixen.

Experimentalment es van fer unes primeres proves per demostrar la viabilitat del disseny prototip i es van donar una sèrie d'inconvenients.

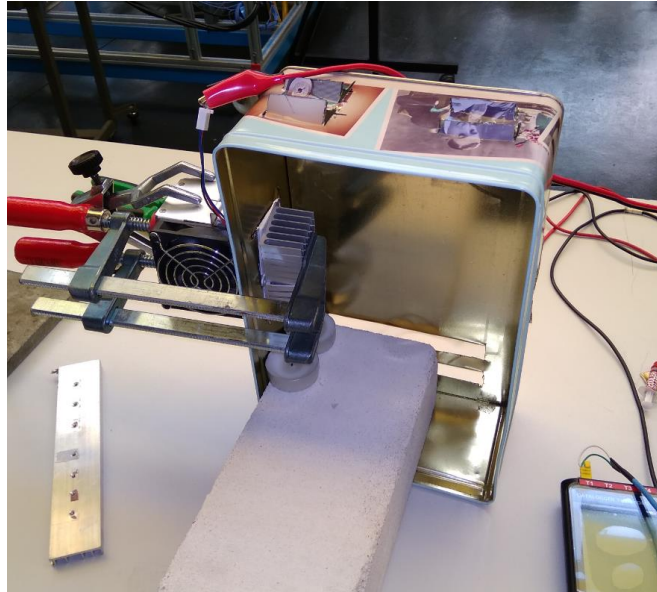


Figura 13: Experimentació primer disseny

Problemes donats en el cas del Disseny 1:

- A l'hora de mecanitzar la caixa, era fàcil tenir moltes imperfeccions per la mal-leabilitat del material.
- Tenia una conductivitat tèrmica bastant alta. Presentava poca resistència donat a que tenia una gruix molt petit.
- La forma esvelta de la caixa feia que s'haguessin d'afegir a posteriori alguns elements que contrarestessin les batudes.

5. DISSENY DEFINITIU

Pels motius anteriorment exposats, es procedeix a millorar el que seria la caixa externa i també els respectius dissipadors. No s'aprofiten els mateixos ja que la geometria serà diferent i s'intentaran escollir els més adients per la configuració.

5.1. Material alternatiu i renderització

El material trobat per fer-lo més robust ha estat una font d'alimentació d'ordinador de sobretaula.



Figura 14: Font d'alimentació 240 Volts per a ordinador

Amb aquest disseny utilitzant aquest nou element, s'intentarà donar solució als problemes abans esmentats.



Figura 15: Renderitzat del disseny del dispositiu

5.2. Simulació

Per realitzar la simulació de les parts del projecte s'ha utilitzat l'ANSYS Workbench. Algunes parts de la construcció s'han limitat al disseny més senzill possible donat que només disposava d'una versió del software acadèmic i té moltes funcions restringides.

El procés de simulació plantejat ha estat el donat pel mateix Workbench en quan a opcions del programa: començant per la geometria, el mallat, la configuració, la solució i els resultats.

Geometria

La geometria, tot i tenir la disponibilitat de realitzar-ho amb la interfície interna que et dona Workbench, he preferit fer-ho amb SOLIDWORKS per costum de software. Ho he transportat amb un arxiu de format IGES/STEP. Per a la simulació d'aire calent que es necessitaria a la cambra calenta es simularà com uns cilindres a l'ANSYS, simulant les espelmes de parafina que posteriorment es faran servir a l'experimentació.

Mallat

El mallat és aquella part on es calcula el que seran properament els resultats finals. És la divisió amb moltes petites parts i on se li aplicaran les condicions de contorn, forces, etc. Per a calcular els esforços estructurals o tèrmics que pugui patir. Evidentment, a les zones on ens interessa tenir més cura amb els resultats o tenir més proximitat a la realitat, farem el mallat més exacte. A les altres zones s'utilitzarà un mallat més gran ja que si el féssim més petit i tan precís com altres zones, implicaria molt de temps de càlcul i tampoc és tan necessari.

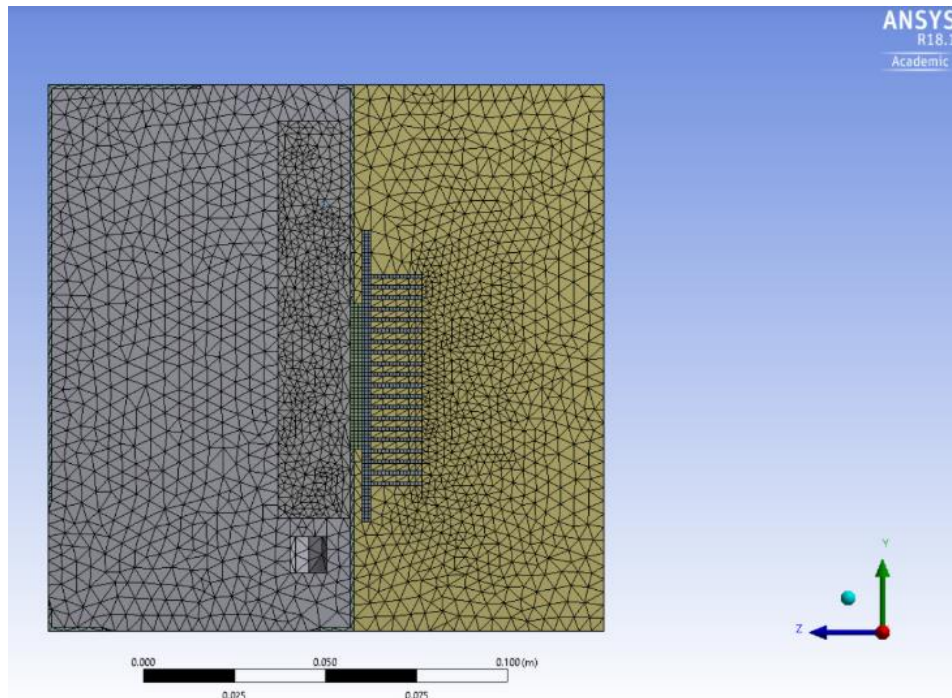


Figura 16: Mallat del dispositiu

En ser una llicència educativa, ANSYS ens dóna la opció de màxim 500.000 nodes. Aquests nodes són els responsables del mallat i de la divisió en moltes petites parts de l'objecte a estudiar.

Configuració

En aquest apartat és on s'introdueixen les condicions de contorn i les característiques de l'entorn.

En el present cas d'estudi, hem de tenir en compte que treballem amb alumini (dissipadors) i aire sobretot. Després de definir les entrades i sortides de l'aire, s'ha posat les temperatures més o menys aproximades del que podria ser real a l'interior de la cambra calenta. Ens fixem sobretot en que la part superior dels dissipadors calents estan ben definits, que és on es trobarà la cara calenta de la cel·la Peltier.

Solució

Després de definir tota la geometria i dir quines seran les seves condicions per experimentar-ho virtualment, assignem el número mínim i màxim d'iteracions i l'error residual.

A continuació s'exposen les imatges del software.

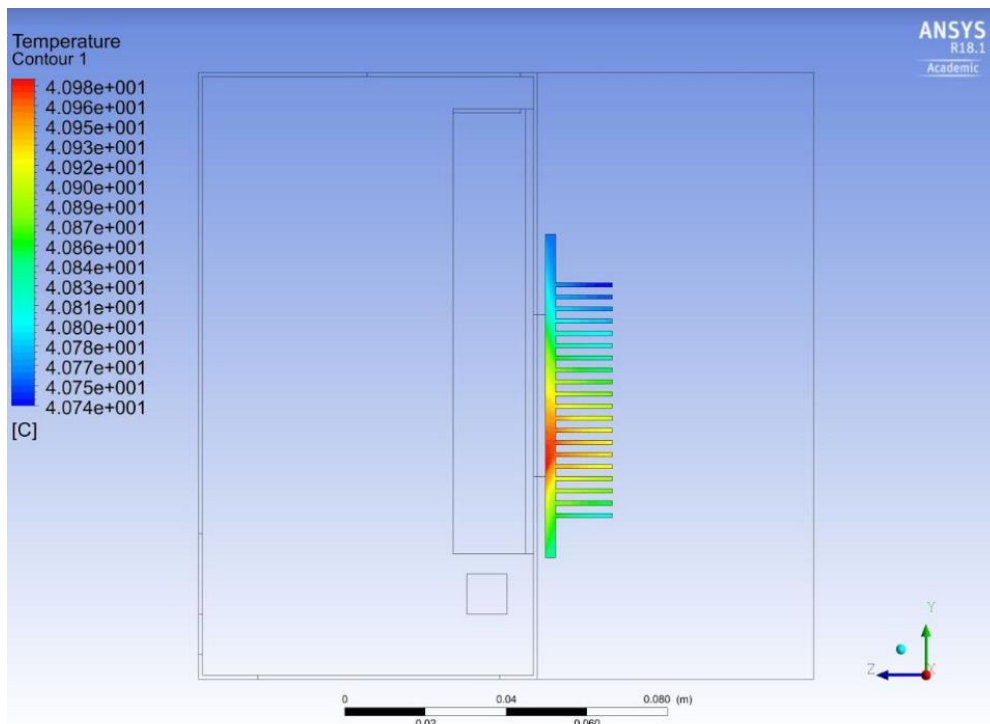


Figura 17: Resultat dissipació calor dissipador exterior.

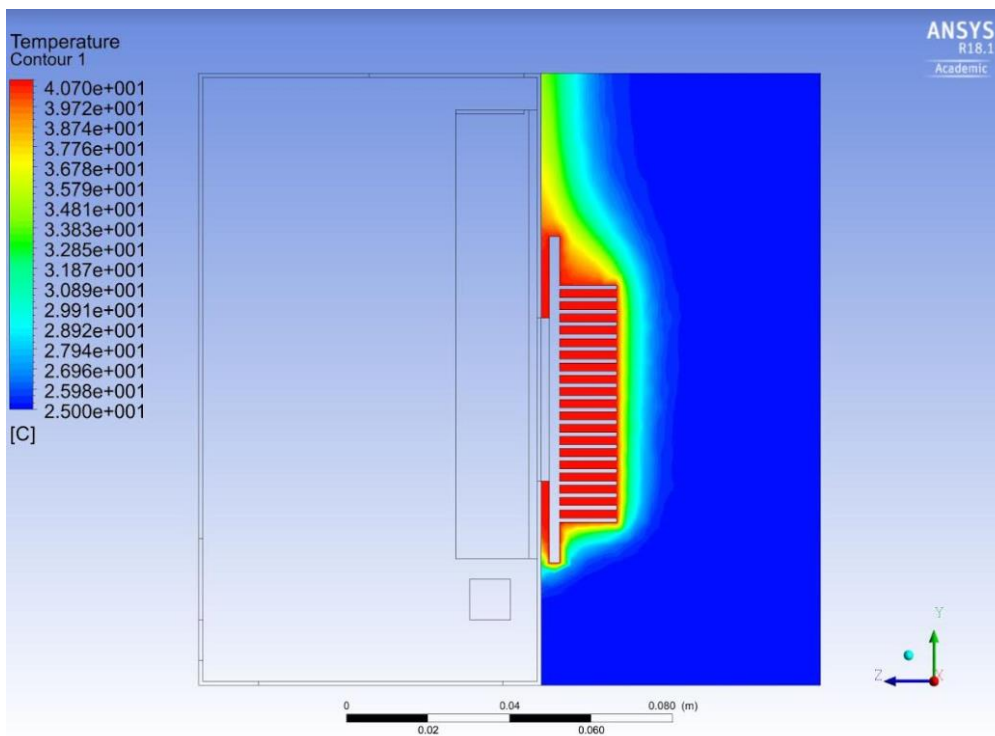


Figura 18: Resultat T^a aire envoltant dissipador exterior.

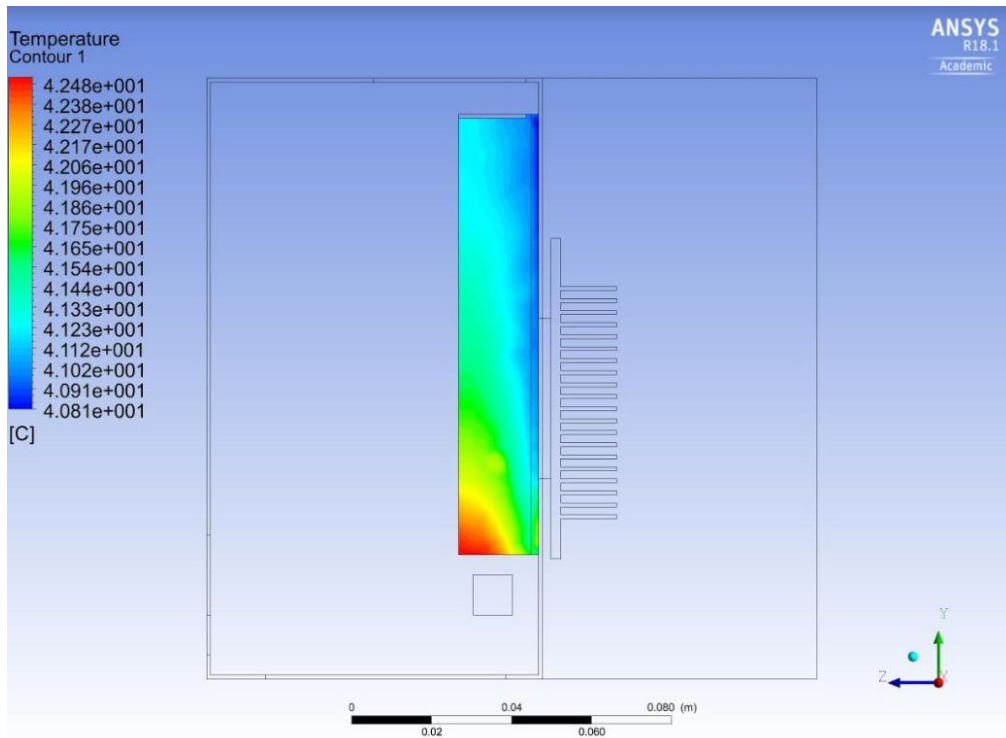


Figura 19: Resultat T^a dissipador interior.

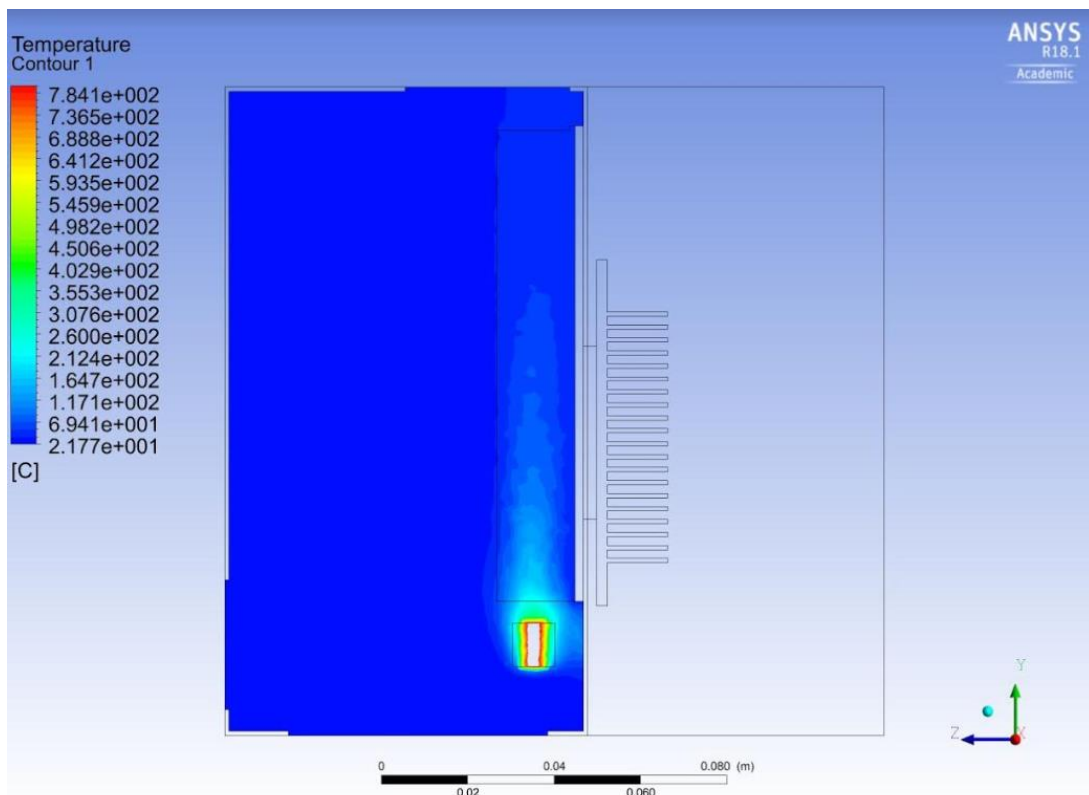


Figura 20: Resultat T^a aire cambra calenta.

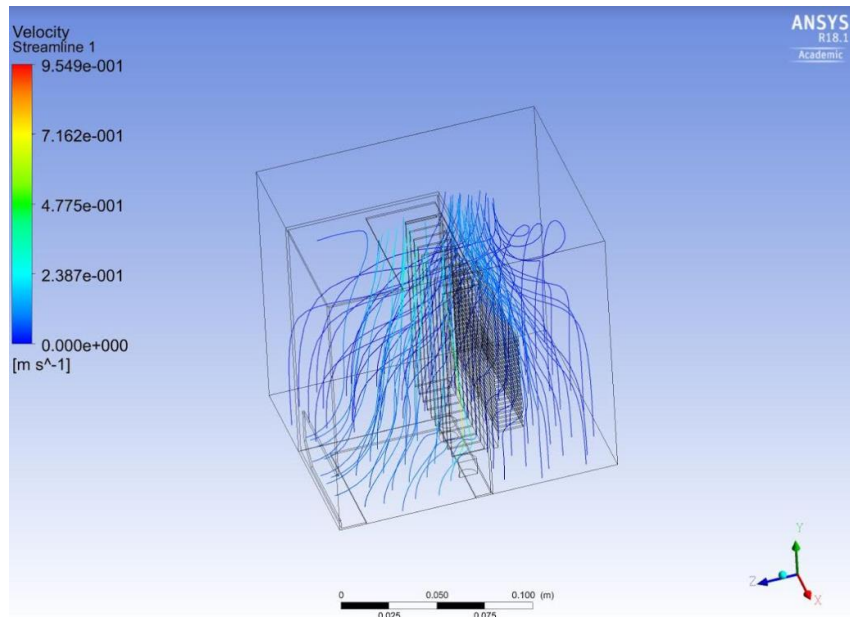


Figura 21: Resultat flux aire.

En la última imatge podem apreciar les entrades d'aire per la part frontal i com surten amb més velocitat per la part posterior, això es deu al escalfament dels gasos interns.

Posteriorment s'utilitzarà aquest resultat per comparar-ho amb el cas real que es portarà a terme al laboratori.

5.3. Muntatge

El procés de muntatge és relativament senzill. Seguint les pautes que marca el disseny del prototip, es fa el forat pels diferents mòduls a la caixa principal amb una serra de calar especialment per tallar alumini o acer prim. A continuació es marquen en els dissipadors tant exteriors com interiors els forats per on passaran els cargols passants. Ho fem amb una broca de M3.



Figura 22: Serra de calar mentre forada la obertura per els mòduls.



Figura 23: berbiquí pneumàtic per foradar la caixa principal.

Prèviament a muntar-ho tot amb els mòduls termoelèctrics, comprovem que els dissipadors interiors i exteriors encaixen i poden passar els cargols de M3 i estar alineats. És important que quedin alineats ja que no hi poden haver espais entre ells. El fet d'haver-hi espais faria que part de la calor entraria a la cara freda i contaminaria la zona errònia.

Els mòduls termoelèctrics han de portar pasta tèrmica. Es posa una bola de volum similar a un cigronet a les dues cares del mòdul. S'ha d'escampar amb una espàtula per tota la cara fins que quedi completament coberta i repartida uniformement.

Tornem a desmuntar-ho i procedim a muntar-ho amb els mòduls.

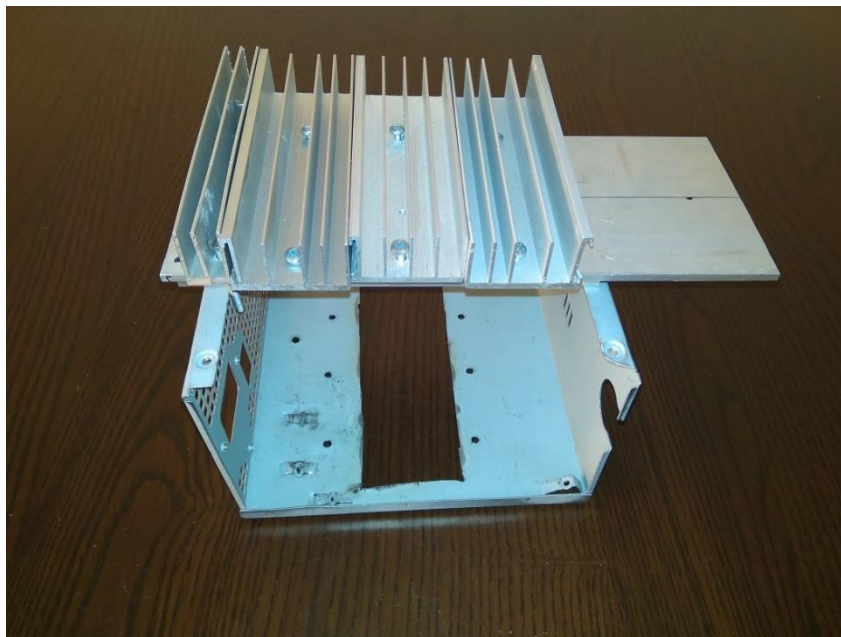


Figura 24: Pre-muntatge dels dissipadors interiors i exterior



Figura 25: Pre-muntatge dels dissipadors interiors i exterior. Perspectiva dissipador exterior

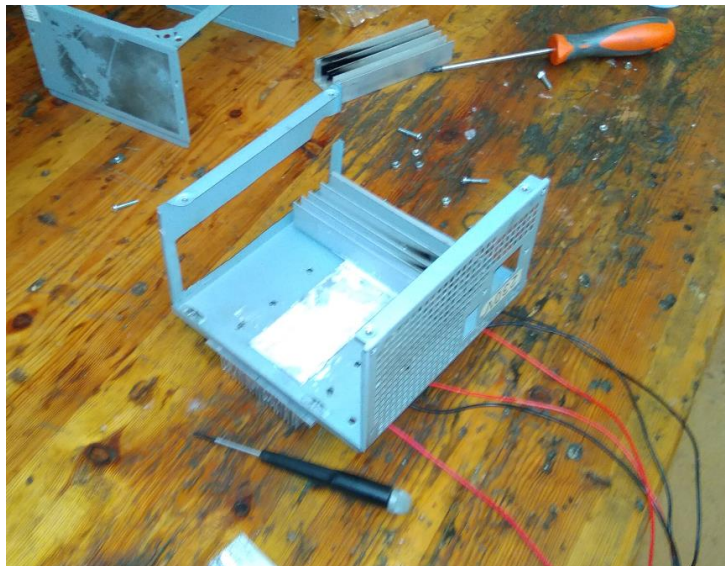


Figura 26: Pas entremig del muntatge. Ja s'han col·locat els mòduls amb la pasta.

5.4. Proves experimentals

5.4.1. Disposició de les sondes de T^a

En el laboratori, una vegada muntat el dispositiu, s'ha estudiat amb sondes de temperatura el seu rendiment. Per a simular la font de calor s'han utilitzat tres veles de parafina. El seu poder calorífic podria substituir qualsevol de les fonts presents als països del tercer món on es podria utilitzar aquesta tecnologia.

La primera prova experimental s'ha fet sense la tapa frontal muntada per poder facilitar la col·locació de les sondes de temperatura. Per substituir l'efecte que faria, s'han introduït unes tires d'alumini per cobrir la part frontal i evitar l'escapament de gasos calents.

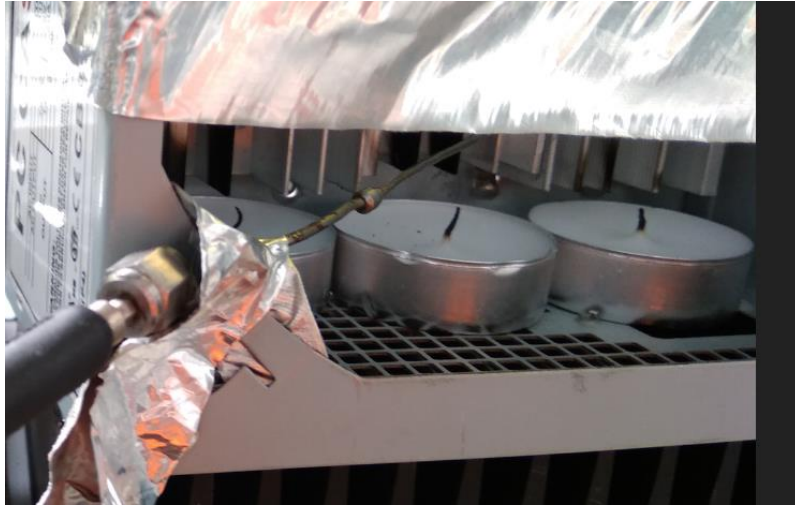


Figura 27: Posició de la sonda de temperatura per veure la T^a flama.



Figura 28: Posició de les veles de parafina.

Aquesta primera experimentació era només per comprovar la funcionalitat dels dissipadors de calor, elements clau en el muntatge. L'estudi en principi s'ha fet pensant en la convecció natural que hi tindria, donat que tenir convecció forçada seria afegir més potència al sistema.

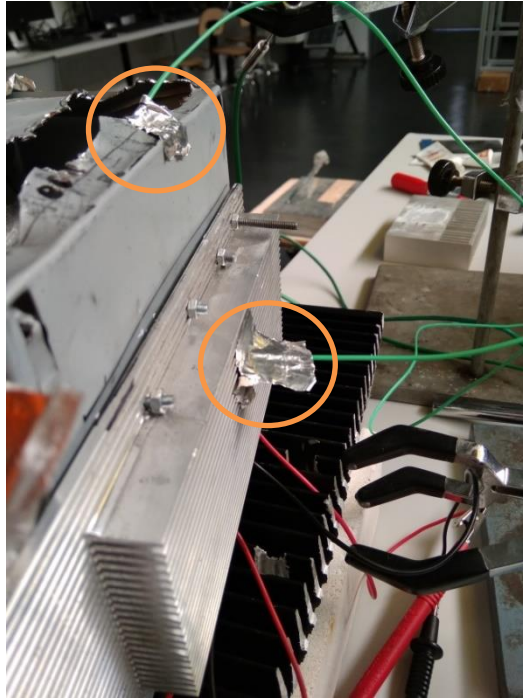


Figura 29: Posició de la sonda de T^a de sortida de fums (superior) i del dissipador exterior (inferior).

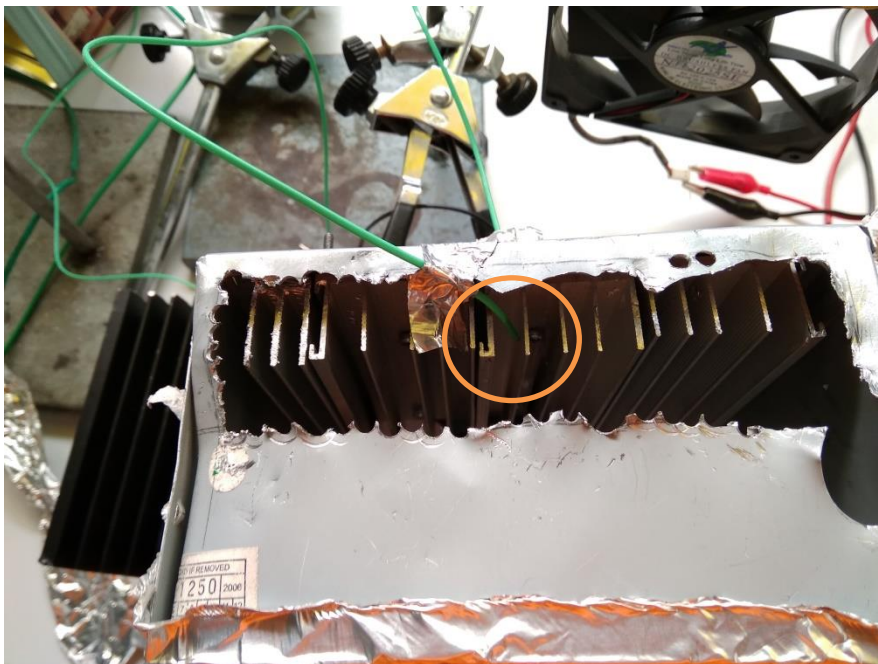


Figura 30: Vista en planta de la sonda de T^a de fums

Els dissipadors utilitzats són d'elements informàtics de rebuig, no s'han escollit degudament per fer el projecte, per tant tenen geometries variades, per realitzar els càlculs s'han aproximat a una geometria més senzilla.

Per saber la temperatura mitjana de cada dissipador, utilitzarem les fórmules de la transferència de calor per convecció. Si tenim la temperatura del fluid, la potència de la cel·la Peltier en la superfície del dissipador, i el coeficient de convecció (s'ha de calcular) podem trobar la temperatura de la superfície.

5.5. Obtenció de resultats

Per obtenir resultats em utilitzat dues metodologies diferents: una utilitzant el software de l'aparell de mesura que teníem disponible al laboratori d'energies (DATA LOGGER THERMOMETER SE-520), i l'altre utilitzant l'arduino UNO. Per a l'Arduino s'ha utilitzat una sonda de termocupla per a l'obtenció de dades. S'ha fet un pont de Wheatson com es mostra a la imatge per connectar-ho i amb l'ordinador s'han extret les dades. En l'annex es dóna més informació sobre la utilització de l'Arduino, descrivint el port sèrie utilitzat, entrades analògiques i la programació de software necessària.



Figura 31: termòmetre DATA LOGGER de quatre canals.

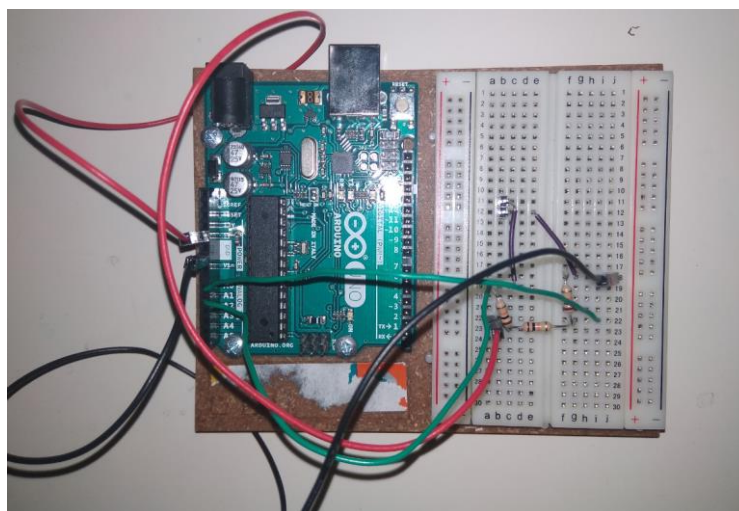


Figura 32: Arduino UNO amb pont de Wheatstone.

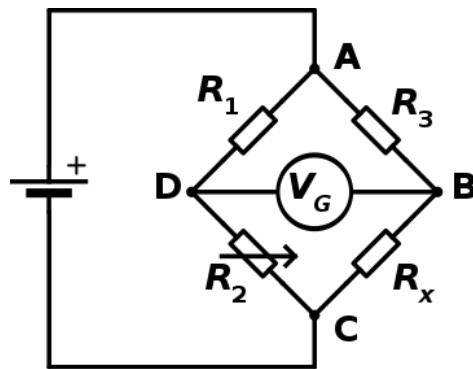


Figura 33: Esquema electrònic del pont de Wheatstone amb connexió de sonda de T° .

A continuació es farà una comparació dels resultats obtinguts. En primer cas es va fer l'obtenció de dades simplement encenent les espelmes i mesurant el voltatge i totes les temperatures.

Per saber si es podria extreure més energia amb un punt òptim més alt, es va fer una segona obtenció de dades utilitzant convecció forçada al dissipador exterior. Es va fer servir un ventilador d'ordinador alimentat per una font d'alimentació. A la imatge inferior veiem que es va subjectar el ventilador amb uns peus i pinces.

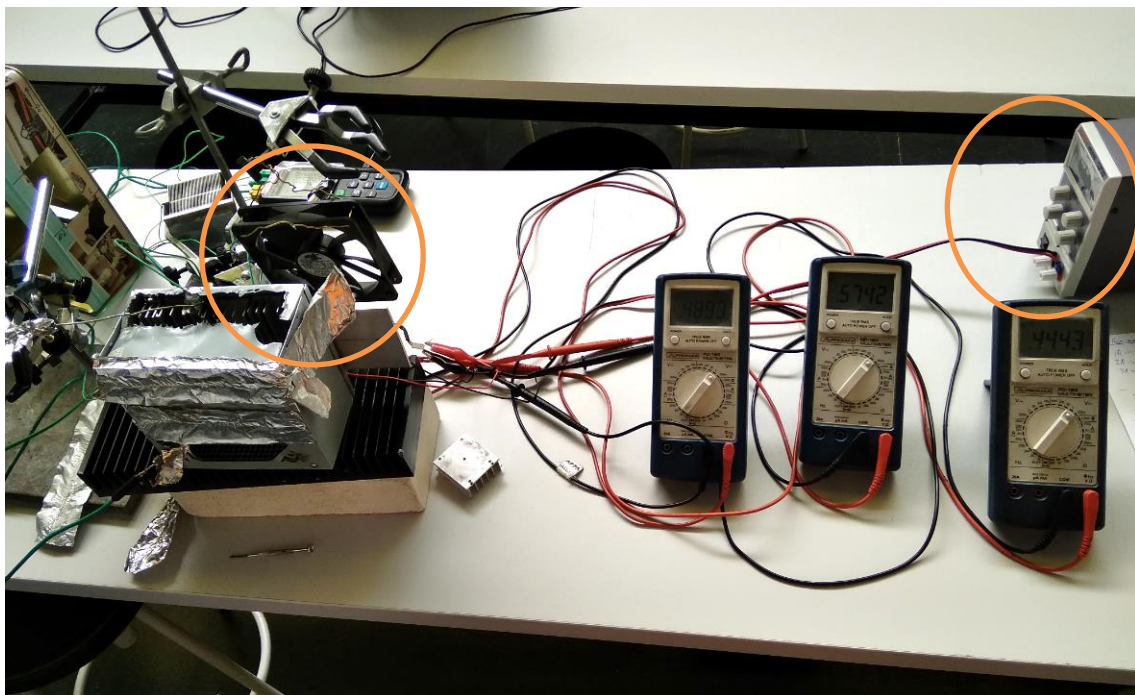


Figura 34: Situació de l'experiment amb convecció forçada.

Els resultats s'exposen a continuació. Totes les taules amb les dades de temperatura i voltatge es troben a l'annex.

Serà necessari utilitzar un poc del propi voltatge extret per introduir-hi algun element per tenir convecció forçada i fer el dispositiu més potent?

Els experiments s'han fet en dos dies consecutius per poder realitzar-lo a la mateixa hora i disposar de la mateixa temperatura ambiental. Les sondes de temperatura agafaven dades cada segon, mentre que cada mig minut s'anotaven els valors del voltatge. Es varen pesar les espelmes en començar i acabar els experiments, per després fer els càlculs corresponents amb el seu poder calorífic i extreure'n l'eficiència (veure l'annex F: càlculs).

Comparació T^a fums sortida

La primera gràfica correspon a l'experiment realitzat amb convecció natural:

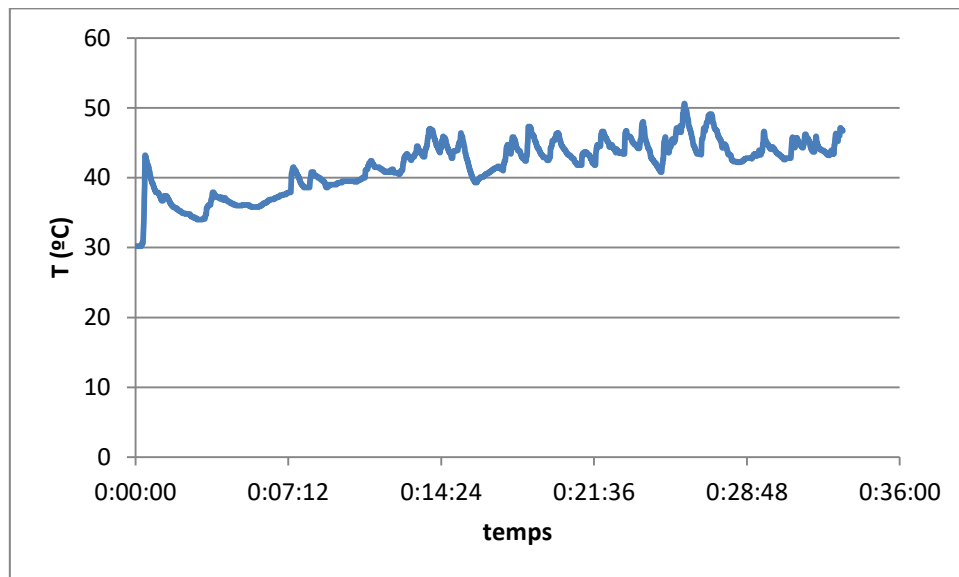


Figura 35: Experiment realitzat amb convecció natural. Sonda fums sortida

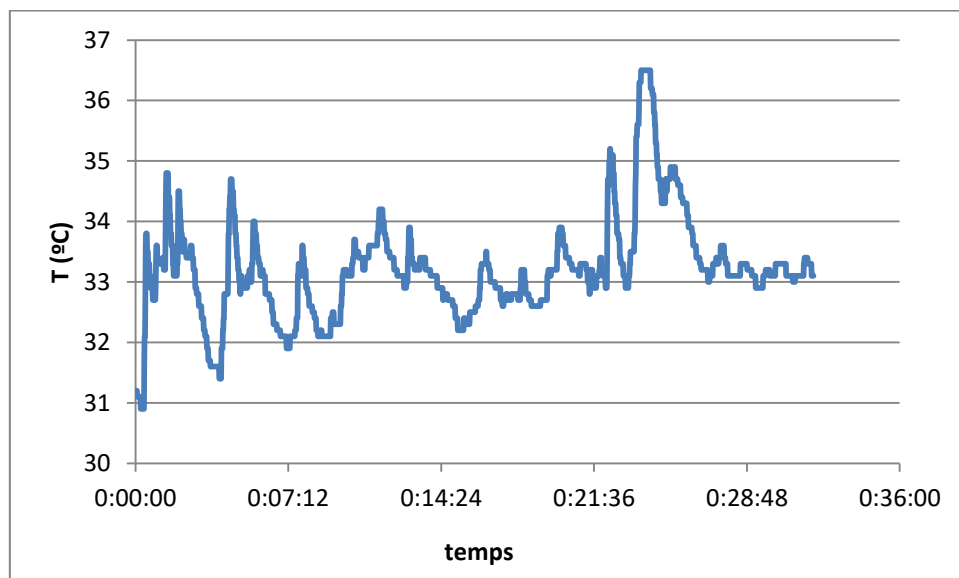


Figura 36: Experiment realitzat amb convecció forçada. Sonda fums sortida

Com veiem, la T^a dels fums de sortida és més baixa pel cas de l'experiment amb convecció forçada. Això es pot deure a recirculacions d'aire del ventilador que afecten la cambra calenta.

Comparació Tª flama

De nou podem comparar en la primera gràfica l'experiment amb convecció natural i la següent utilitzant el ventilador.

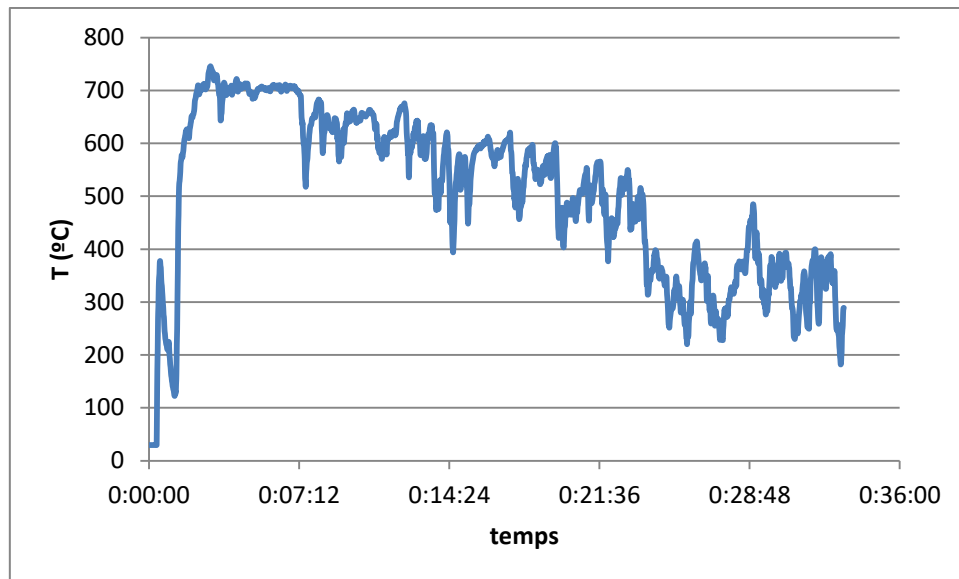


Figura 36: Experiment realitzat amb convecció natural. Temperatura de flama

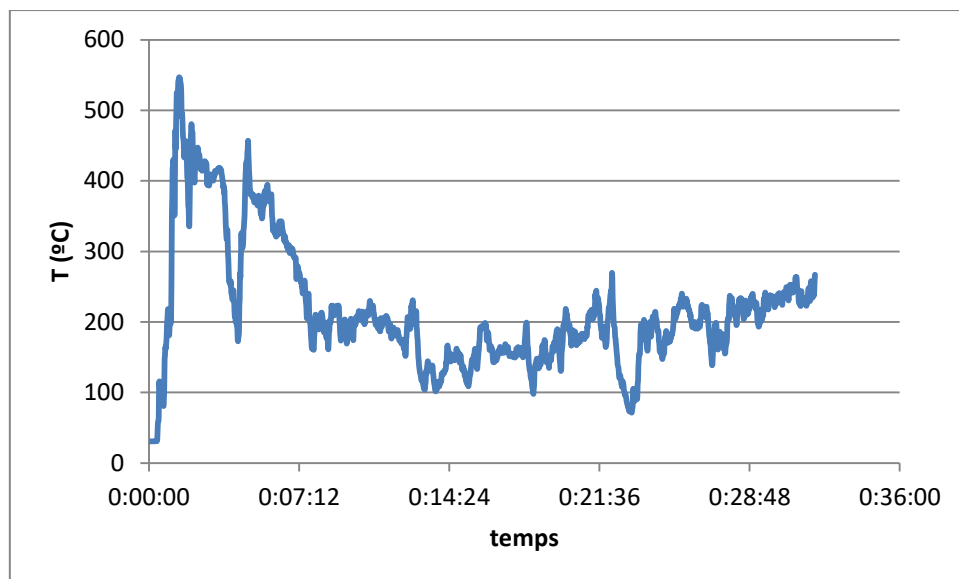
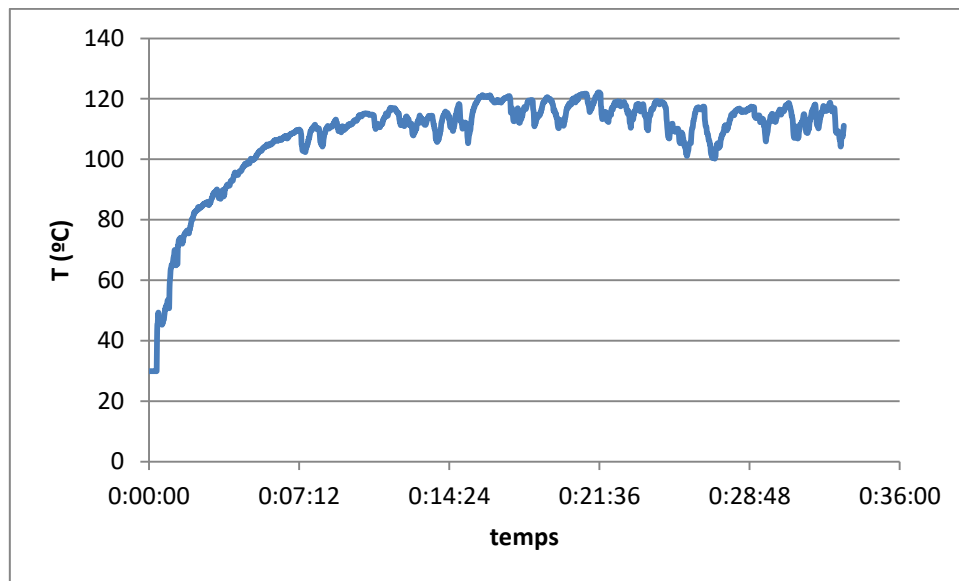
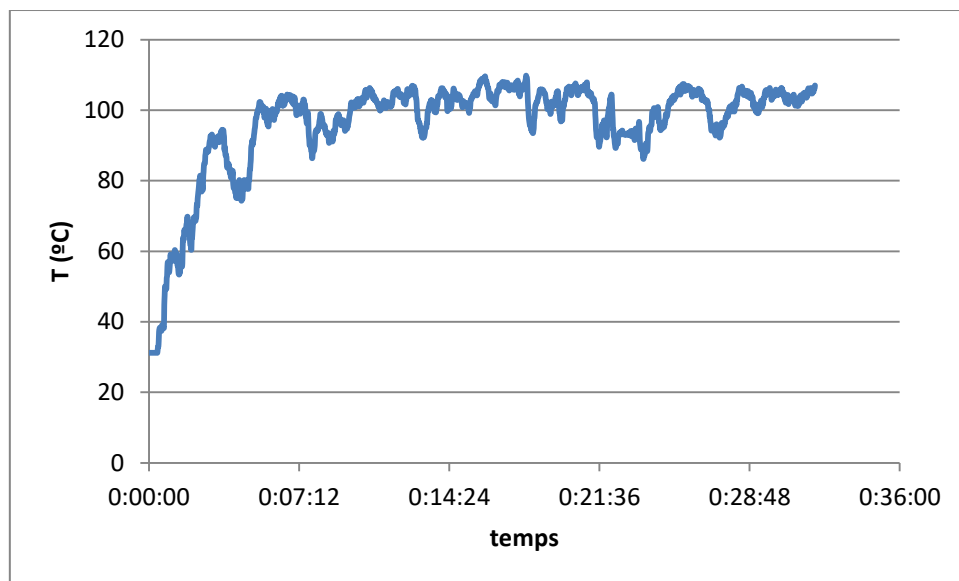


Figura 37: Experiment realitzat amb convecció forçada. Temperatura de flama

En aquest cas ens queda més clar el motiu pel qual els fums sortien amb una temperatura menor. La temperatura de la flama és considerablement menor quan hi tenim convecció forçada, per tant d'alguna forma l'aire forçat entra per l'obertura inferior i fa variar la flama de les espelmes.

Comparació T^a dissipador interior**Figura 38:** Experiment realitzat amb convecció natural. Temperatura dissipador interior**Figura 39:** Experiment realitzat amb convecció forçada. Temperatura dissipador exterior

En comparar les gràfiques de la temperatura del dissipador intern, veiem que quan s'estabilitza al cap d'uns minuts, la temperatura mitja és uns 20 graus més elevat quan tenim convecció natural. Això té rellevància sempre i quan ho comparem amb els respectius dissipadors exteriors.

Comparació Tª dissipador exterior

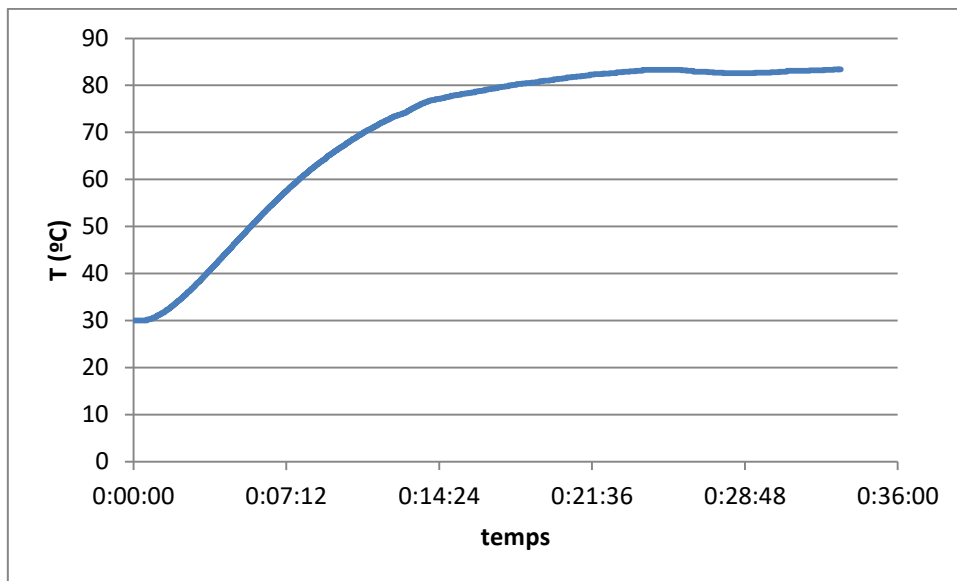


Figura 40: Experiment realitzat amb convecció natural. Temperatura dissipador exterior

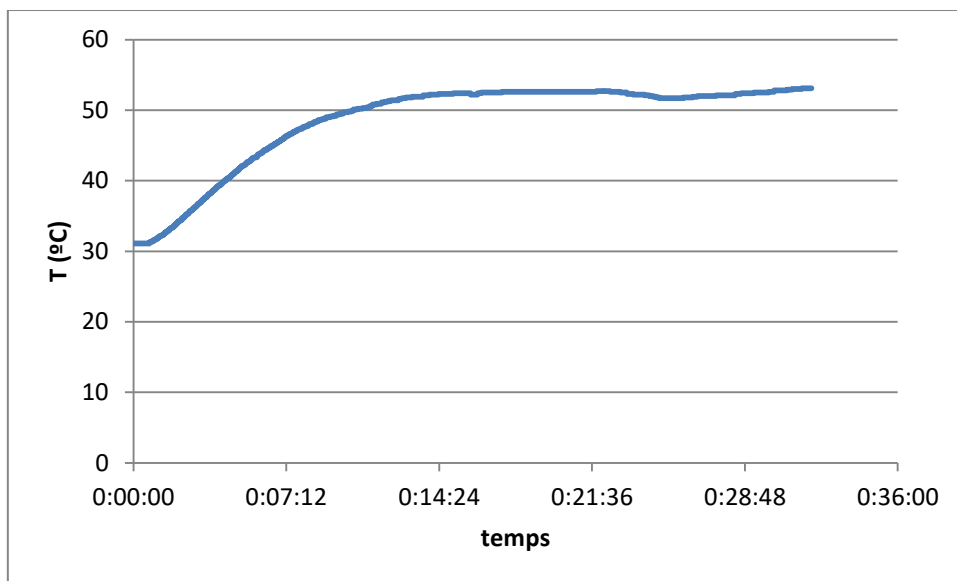


Figura 41: Experiment realitzat amb convecció forçada. Temperatura dissipador exterior

La discussió de l'eficàcia del dissipador extern és el que ens determinarà si cal introduir-hi convecció forçada o no. En el cas de no engegar el ventilador, s'estabilitza a una temperatura entre els 80 i els 85 °C. En forçar aire, aquesta baixa fins els 50-55°C. Es pot dir que la baixada és considerable, ja que 30 graus és bastant. Però recordem que els mòduls funcionen segons el seu diferencial de temperatures de la cara calenta i freda.

Primeres conclusions després dels experiments

La utilització del ventilador per disposar de convecció forçada ens fa baixar la temperatura a la cambra calenta (sigui pels motius que sigui) uns 20 graus de mitja. Mentrestant a la cara freda, ens la baixa una mitja de 30 graus. Per tant disposem d'un guany de 10 °C de temperatura pel

diferencial que podria aprofitar els mòduls. Calculant l'energia que es necessita per només encendre el ventilador ja podem extreure la conclusió de que no és més eficient amb convecció forçada. Tots els càlculs d'eficiència els trobem al Annex F: Càlculs.

5.6. Segona versió del disseny definitiu

Totes les proves experimentals s'han fet fins ara amb la primera versió del disseny definitiu. Per donar un millor resultat estètic, s'ha realitzat la segona versió del prototip. Aquest ja disposa de la tapa frontal instal·lada, i d'uns talls realitzats amb més cura per l'experiència que ens ha donat la primera versió.

La tapa frontal s'ha construït utilitzant una altra font d'alimentació. D'aquesta forma ens assegurem l'amplada i aprofitem alguns forats que s'utilitzaran per fixar-ho a l'estructura principal.

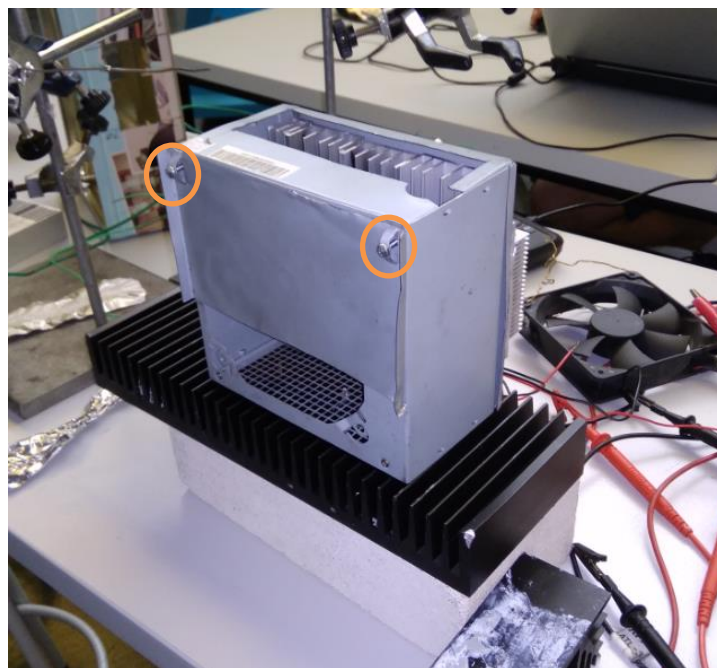


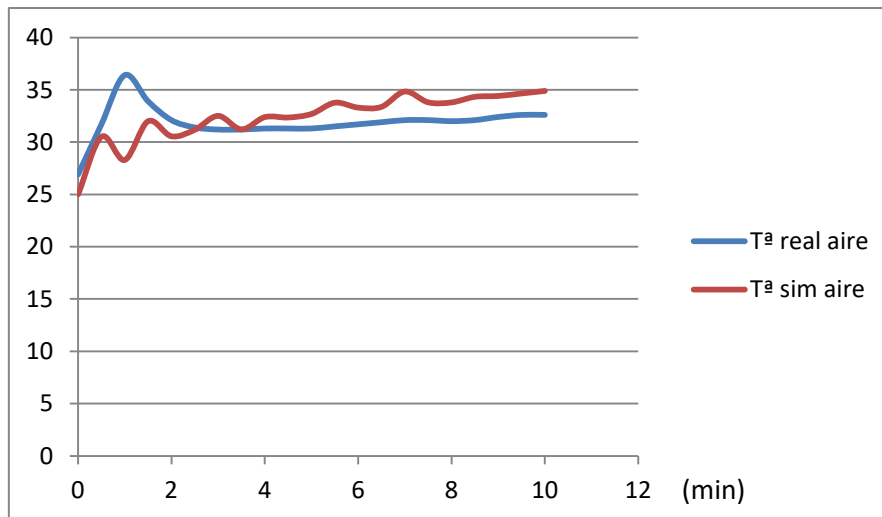
Figura 42: Resultat final després de muntar-ho tot.

5.6.1. Prova experimental amb la segona versió del prototip

Una vegada construït el que és el dispositiu definitiu, s'ha tornat a experimentar per comprovar l'eficiència. Com ja havíem demostrat en la primera versió d'aquest disseny, aconseguim un punt òptim sense connectar-hi cap ventilador, cosa que ja havíem observat en els dissenys presentats a l'estudi de mercat.

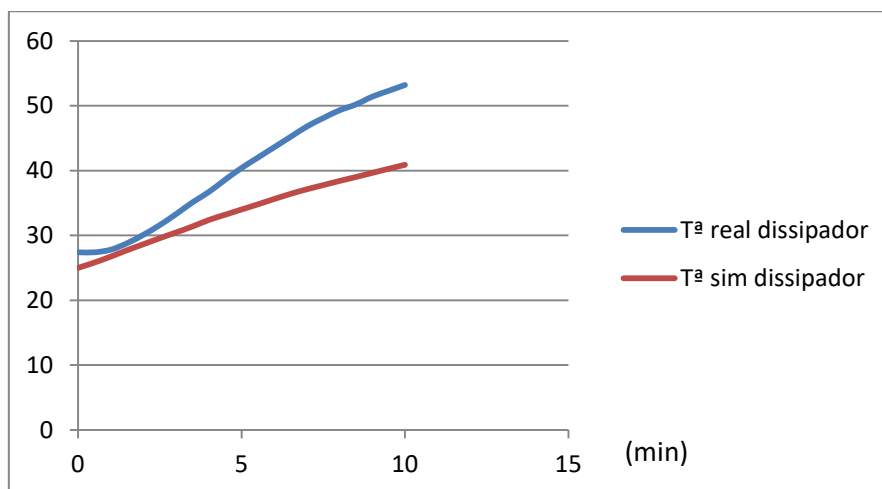
5.6.2. Comparació simulació-experimentació

A continuació s'exposen els resultats de la darrera prova experimental comparant-los amb la simulació.



Taula 43: Comparació Tª de l'aire en simulació i en la realitat.

Veiem per la taula de sobre que la temperatura és gairebé la mateixa. Les variacions del principi de la real es pot donar per alteracions de la flama, cosa que en la simulació no ocorre ja que es suposa que és més constant i sense tenir errors ambientals.



Taula 44: Comparació Tª dissipador en simulació i en la realitat.

Per comprovar la veracitat de les simulacions també hem comprovat el dissipador extern. Podem observar que la tendència alcista és igual per als dos casos. La diferència recau en la Tª assolida, uns 10 graus superior en la realitat. Si ho tenim en compte en els càlculs no presenta cap problema. De totes formes, visualment ja s'entén el comportament del material i la conducció de calor sobre l'alumini.

6. RESUM DEL PRESSUPOST

El cost total del dispositiu és de **QUARANTA UN EUROS AMB CINQUANTA-SET CÈNTIMS.**

Preu total = 41.57 €

7. CONCLUSIONS I MILLORES

Una vegada finalitzat el projecte amb les respectives fases experimentals i simulades, podem extreure les següents conclusions:

- S'ha pogut demostrar el funcionament dels mòduls termoelèctrics i aprofitar-los per generar petits voltatges.
- El rendiment que donava era suficient per fer córrer un motor de corrent continu que pogués, per exemple, depurar aigua i potabilitzar-la.
- La utilització de materials reciclats i el disseny en si, donen la possibilitat de produir el dispositiu a un preu molt assequible.

També s'han estudiat les possibles millores que podrien aplicar-se:

- La possibilitat d'un disseny més eficient
- En quan a la producció del dispositiu, seria convenient que es pogués produir en massa, per a que cada unitat tingués un preu més reduït.
- Pel funcionament òptim, seria molt convenient algun sistema de recirculació d'aire, o alguna ajuda externa al dispositiu per ajudar a refredar la part freda. Això ja podria ser utilitzar corrents d'aire naturals (per exemple utilitzant efecte Venturi), o idear una altre geometria en què el dissipador exterior estigués en contacte amb aigua. Això faria que la transferència de calor fos major i el rendiment pujaria considerablement.

8. RELACIÓ DE DOCUMENTS

Els documents que formen part d'aquest treball són:

Document número 1 - Memòria i annexos

Document número 2 - Plànols

Document número 3 - Plec de condicions

Document número 4 - Estat d'amidaments

Document número 5 - Pressupost

9. BIBLIOGRAFIA

Llibres:

1. HOGAN, YANG, FUNAHASHI, TRITT. Thermoelectric Power generation. A publication of the materials research society, 2008.
2. INCROPERA, DEWIT, BERGMAN, LAVINE. Fundamentals of Heat and Mass transfer. Published by Wiley IndiaPvtLtd. Sisena edició 2010

Webs:

3. www.arduino.cc
4. www.ansys.com
5. www.xataka.com

Articles:

6. XU XU, STEVEN VAN DESSEL, ACHILLE MESSAC. Study of performance of thermoelectric modules for use in Active Building Envelopes. 2007
7. ARANGUREN, ASTRAIN, RODRIGUEZ, MARTINEZ. Experimental investigation of the applicability of a thermoelectric generator to recover waste heat from a combustion chamber. 2015

ANNEXOS

A. ESPECIFICACIONS MÒDUL PELTIER

A continuació es mostra la informació que dóna el fabricant per als mòduls:



Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd.

**Thermoelectric
Cooler**

TEC1-12706

Performance Specifications

Hot Side Temperature (°C)	25°C	50°C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (°C)	66	75
I _{max} (Amps)	6.4	6.4
V _{max} (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30

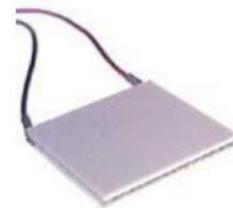


Figura 45: Informació tècnica cèl·lula Peltier.

B. SEMICONDUCTORS

Com la mateixa paraula indica, no són ni aïllants ni conductors. Només es comporten en un dels dos estats anteriorment comentats quan es donen les condicions adients per a que ocorri tal efecte. Per exemple amb la temperatura, a partir d'uns certs graus es comporten com conductors, i si la temperatura és molt baixa, només actuen com a aïllants.

Altres factors que poden influir en la conductivitat dels semiconductors són la pressió, presència d'un camp magnètic o elèctric o radiació incidint sobre el semiconductor.

Depenent de la puresa, hi ha dos tipus de semiconductors: intrínsec o extrínsec.

El funcionament a nivell atòmic és senzill. Els semiconductors de tipus N tenen un electró de més, i els de tipus P tenen un electró de menys (en principi haurien de ser 4). Quan el material es calenta i passa a ser conductor, aquests electrons es mouen de la part on sobren a la part d'on hi manquen. Aquest moviment d'electrons és el que fa la creació d'electricitat.

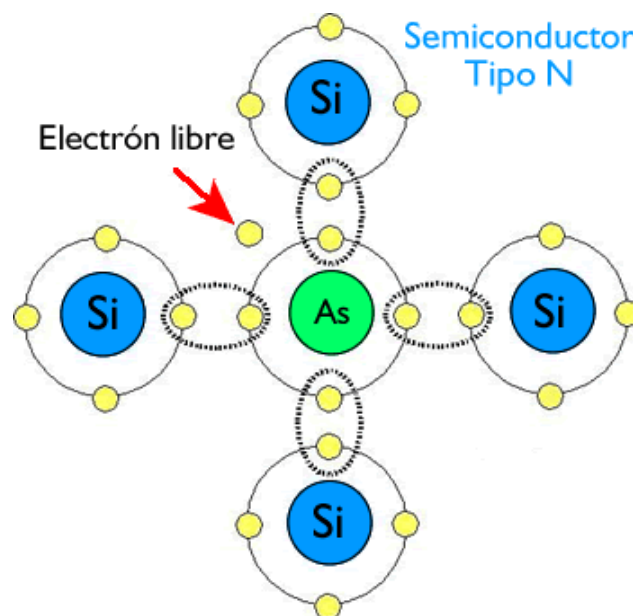


Figura 46: Disposició atòmica dels àtoms i els respectius enllaços.

C. ESTUDI DE MERCAT

A continuació s'exposen els productes que es poden trobar al mercat avui dia. La gran majoria d'ells van començar com a projectes en plataformes de llançament de productes o incubadores que van sortir amb èxit segons el seu finançament. Tot i que no són articles de primera necessitat i es podria descriure més com un "gadget" funcional, tenen com a gran inconvenient el preu. Aquest ronda els 100 euros per article, cosa que dificulta molt la comercialització en massa. Veiem uns quants exemples:

The POWERPOT 10: 10-Watt Portable Thermoelectric Generator



Figura 47: POWERPOT 10.

The tPOD1- thermoelectric Power On Demand



Figura 48: tPOD1.

Lumir C:



Figura 49: Lumir C.

D. PROPIETATS DE L'ALUMINI

Aquest metall posseeix una combinació de propietats molt útil per a l'enginyeria mecànica, per exemple la baixa densitat (2700 kg/m^3) i la seva alta resistència a la corrosió. Mitjançant aliatges adequats es pot augmentar sensiblement la seva resistència mecànica (fins als 690 MPa). És bon conductor de la electricitat i sobretot del calor, es mecanitza amb facilitat i és relativament econòmic.

Estructura	Símbolo	Al	
	Número atómico	13	
	Peso atómico	26.98154	u.m.a
	Volumen atómico	$9.996 \cdot 10^{-6}$	$\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
	Estr. cristalina	FCC	A1
	Densidad empaquetamiento	74	%
	N. de coordinación	12	
	Parámetro de red	0.40496	nm
	Distancia interatómica mínima	0.28635	nm
Propiedades	Densidad	2.6989	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
	Módulo de Young	66.6	GPa o $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$
	Resistencia a tracción	230-570	MPa
	Límite elástico	215-505	MPa
	% Elongación	10-25	%
	Coefficiente de expansión entre 20°C y 100°C	1.85	%
	Módulo de Poisson	0.35	
	Tª de Fusión	660.2	°C
	Calor latente de fusión	390	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
	Energía de activación para la autodifusión	120	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
	Conductividad eléctrica	37.67	$\text{m} \cdot \Omega^{-1} \cdot \text{mm}^{-2}$
	Conductividad térmica	235	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
	Tensión superficial (660°)	0.86	$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$
	Viscosidad (700°)	1.1	$\text{mN} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$
	Calor de combustión	31	$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Figura 50: Propietats de l'alumini.

E. INFORMACIÓ ARDUINO

A continuació es mostra el codi utilitzat per realitzar les mesures amb Arduino:

```

sketch_sep19a §
int const a = A0;
int const b = A1;
int v1 ;
int v2;
int vf;

void setup () {

  pinMode (a, INPUT);
  pinMode (b,INPUT);
  Serial.begin (9600);
}

void loop () {

  v1 = analogRead (a) ;
  v2 = analogRead (b) ;
  vf = v2 - v1 ;
  Serial.println (vf);

}

```

Figura 51: Codi utilitzat en Arduino per l'extracció de dades .

El primer que s'ha de fer és introduir unes constants per relacionar-les amb les entrades analògiques del termoaparell. És un aparell que utilitza la diferència de dos voltatges per saber la T^a , per tant ha d'haver-hi dos entrades. Les altres variables són creades per guardar valors a dintre i utilitzar-les per més tard plotejar-ho.

En la part del SETUP s'ha de definir la configuració, quines variables són INPUTS. En la part del LOOP és on es llegeix i es fa la diferència de potencials. Amb les respectives conversions de milivolts a $^{\circ}C$, sabem la temperatura dels fums calents.

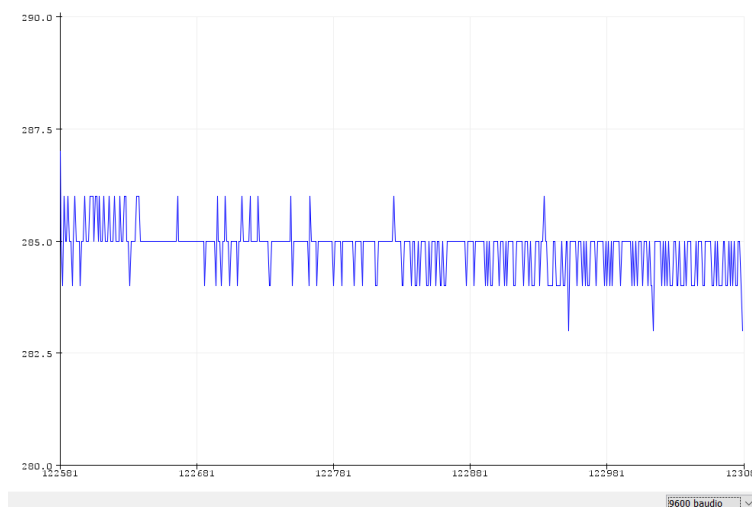


Figura 52: Imatge del Serial Plotter donat per Arduino.

F. RESULTATS DEL LABORATORI PER COMPROVAR EFICIÈNCIA DEL DISPOSITIU

Experiment A

Anomenem experiment A a la primera prova sense ventilador. Comença a les 9:42, les 20 primeres mostres es prenen en un interval de mig minut cadascun. A partir de la mostra 20 s'han pres mostres cada 5 minuts.

MOSTRA	MÒDUL 1	MÒDUL 2	MÒDUL 3
1	0.162	0.284	0.364
2	0.2726	0.4225	0.3515
3	0.3775	0.5428	0.4077
4	0.4465	0.6512	0.4765
5	0.5115	0.6733	0.5602
6	0.55	0.7232	0.6022
7	0.5804	0.7516	0.6405
8	0.6010	0.7718	0.6732
9	0.6146	0.7890	0.6957
10	0.6222	0.7940	0.7098
11	0.6300	0.7958	0.7178
12	0.6344	0.7945	0.7203
13	0.6381	0.7895	0.7206
14	0.6322	0.7854	0.6987
15	0.6234	0.7799	0.6896
16	0.6175	0.7693	0.6644
17	0.6077	0.7614	0.6643
18	0.6000	0.7400	0.6428
19	0.5966	0.7326	0.6466
20	0.5848	0.7159	0.6361
21	0.4957	0.6026	0.4833
22	0.4780	0.5682	0.4313
23	0.4649	0.5626	0.4114
24	0.4182	0.5083	0.3964
25	0.4430	0.5380	0.4079

Taula 1: Dades de l'experiment A.

Temps total en combustió: 35 minuts (0.5833 hores), l'experiment acaba a les 10:46 am.

Voltatge mig (V)	0.528112	0.673896	0.576512
------------------	----------	----------	----------

Taula 2: Mitjana de voltatge en experiment A.

I (mA)	3.88	101.8	49.43
--------	------	-------	-------

Taula 3: Mitjana d'intensitat en experiment A.

Energia (Wh)	$1.19529 \cdot 10^{-3}$	0.04	0.01662
--------------	-------------------------	------	---------

Taula 4: càlcul d'energia produïda pels mòduls.

Total Energia extreta del experiment A → 0.05782 Wh

Experiment B

Segona prova, aquesta vegada amb convecció forçada. El ventilador connectat a la font d'alimentació "refresca" el dissipador extern.

MOSTRA	MÒDUL 1	MÒDUL 2	MÒDUL 3
1	0.39	0.47	0.3558
2	0.4465	0.5372	0.4058
3	0.4992	0.5844	0.4451
4	0.5561	0.6397	0.4779
5	0.6146	0.6951	0.4877
6	0.6477	0.7359	0.5137
7	0.6580	0.7396	0.5734
8	0.6789	0.7598	0.6003
9	0.7071	0.7840	0.6210
10	0.7241	0.8060	0.6557
11	0.7349	0.8177	0.6771
12	0.7447	0.8460	0.6842
13	0.7492	0.8590	0.6832
14	0.7549	0.8650	0.6889
15	0.7585	0.8717	0.6821
16	0.7596	0.8651	0.6875
17	0.7737	0.8740	0.7444
18	0.7745	0.8789	0.7404
19	0.7778	0.8827	0.7635
20	0.7801	0.8928	0.7828
21	0.7695	0.8674	0.7516
22	0.7333	0.8460	0.7213
23	0.7396	0.8538	0.7604
24	0.7670	0.8677	0.8167

Taula 5: Dades de l'experiment B.

L'experiment ha durat com l'anterior, 35 minuts.

Voltatge mig (V)	0.6891458	0.784979167	0.638354167
------------------	-----------	-------------	-------------

Taula 6: Mitjana de voltatge en experiment B.

Intensitat (mA)	12.23	148.03	76.9
-----------------	-------	--------	------

Taula 7: Mitjana d'intensitat en experiment B.

Energia (Wh)	$4.9162 \cdot 10^{-3}$	0.06778	0.02863
--------------	------------------------	---------	---------

Taula 8: càlcul d'energia produïda pels mòduls.

Total Energia extreta del experiment B → 0.10133 Wh

Estudi de les veles de parafina

En la Taula 9 es mostra el gramatge de les veles de parafina abans i després de la combustió. La parafina té un poder calorífic de 42 KJ/gr. Sabent això, la quantitat de temps que ha estat cremant i també la diferència de masses, podem saber el poder calorífic aprofitat pels mòduls termoelèctrics i saber la eficiència respecte les veles de parafina.

VELA	ABANS (gr)	DESPRÉS (gr)	Diferència (gr)
1A	11.82	10.661	1.159
2A	12.05	10.71	1.34
3A	12.10	10.77	1.33
1B	12.59	11.5	1.09
2B	12.10	10.85	1.25
3B	11.77	10.49	1.28

Taula 9: Gramatge de les veles de parafina.

A continuació s'exposen els càlculs per saber el rendiment. El primer pas és saber els kJ que s'han després.

$$\text{gramatge} \times \text{poder calorífic} = \text{kJ en el període de temps d'experimentació}$$

Es calcula en els dos casos (A i B) la quantitat de Joules que s'han després en cada experiment.

Experiment A

$$1. \quad 1.159 \text{ gr} \times 42 \frac{\text{kJ}}{\text{gr}} = 48.678 \text{ kJ}$$

$$2. \quad 1.34 \text{ gr} \times 42 \frac{\text{kJ}}{\text{gr}} = 56.28 \text{ kJ}$$

$$3. \quad 1.33 \text{ gr} \times 42 \frac{\text{kJ}}{\text{gr}} = 55.86 \text{ kJ}$$

$$\text{Total} = 48.678 + 56.28 + 55.86 = 160.818 \text{ kJ}$$

Experiment B

$$1. \quad 1.09 \text{ gr} \times 42 \frac{\text{kJ}}{\text{gr}} = 45.78 \text{ kJ}$$

$$2. \quad 1.25 \text{ gr} \times 42 \frac{\text{kJ}}{\text{gr}} = 52.5 \text{ kJ}$$

$$3. \quad 1.28 \text{ gr} \times 42 \frac{\text{kJ}}{\text{gr}} = 53.76 \text{ kJ}$$

$$\text{Total} = 45.78 + 52.5 + 53.76 = 152.04 \text{ kJ}$$

Podem veure que en convecció forçada, com ja havíem vist la T^o de flama era inferior que en convecció natural, també ha tingut una menor reducció de gramatge. Això dona com a resultat menys kJ de calor transferida de la vela de parafina a la cambra calenta de gasos.

conversió kJ a Wh:

$$1 \text{ kJ} = 0.2777778 \text{ Wh}$$

$$\textit{Experiment A} \rightarrow 160.818 \text{ kJ} = 44.672 \text{ Wh}$$

$$\textit{Experiment B} \rightarrow 152.04 \text{ kJ} = 42.233 \text{ Wh}$$

Això són els Watts-hora que teòricament ha traspasat la combustió de les veles de parafina a la cambra calenta. Si els comparem amb els Watts hora que realment han generat els mòduls podem veure l'eficiència real i treure conclusions.

$$\textit{Total Energia extreta pels mòduls del experiment A} \rightarrow 0.05782 \text{ Wh}$$

$$\textit{Total Energia extreta pels mòduls del experiment B} \rightarrow 0.10133 \text{ Wh}$$

Eficiència experiment A

$$\frac{0.05782 \text{ Wh}}{44.672 \text{ Wh}} \times 100 = 0.129 \%$$

Eficiència experiment B

$$\frac{0.10133 \text{ Wh}}{42.233 \text{ Wh}} \times 100 = 0.24 \%$$

Com podem veure, la eficiència puja gairebé el doble amb convecció forçada. Pot semblar un gran increment, però s'ha de tenir en compte que s'han utilitzat 0.175 Wh per poder utilitzar el ventilador (connectat a 6 Volts i a 0.05 Ampers durant el temps de l'experiment).

$$6 \text{ V} \times 0.05 \text{ A} \times 0.5833 \text{ hores} = 0.175 \text{ Wh}$$