

Treball de recerca: àrea de tecnologia

# Construcció d'una nevera basada en l'efecte Peltier

*César Diéguez Álvarez*  
Professor tutor: *Jorge Orts González*

*IES Príncipe de Viana*  
*Febrer 2000*

Aquest treball ha estat distingit amb el 3r premi José Cantero  
de la fundació EPSON en la seva 1a edició (juny 2000)

# Índex

	Pàgines
1. Introducció	2
2. Plantejament del problema i cerca de solucions	3
2.1. El sistema refrigerador	3
2.2. Els recipients i el material aïllant	4
2.3. Fred per un costat, calor per l'altre	7
2.4. La unió dels tres elements	7
2.5. La subjecció dels elements a les capsas	8
3. Disseny	9
4. Construcció	11
5. Experiències	15
6. Conclusions	18
7. Bibliografia	20
8. Annex	21

## 1. Introducció

Inicialment no tenia gaire clar de quina àrea escolliria el treball de recerca. Tenia pensades tres possibilitats:

- àrea de música: a més dels estudis de batxillerat també estudio música al Conservatori (CSMMB). Un possible treball seria la interpretació d'una obra al piano i la realització d'una exhaustiva anàlisi formal tot comparant les partitures de diverses editorials i veure les analogies i les diferències.

- àrea de física: investigar el tema de moviment vibratori harmònic simple i la seva aplicació a les cordes d'un piano i l'explicació teòrica i pràctica del funcionament.

- àrea de tecnologia: disseny i construcció d'una nevera portàtil basada en l'efecte Peltier.

El principal motiu de l'elecció de l'àrea de tecnologia ha estat el plantejament d'un repte personal. Si hagués escollit qualsevol de les altres dues opcions que m'havia plantejat hauria estat més fàcil (sobretot amb la primera).

La realització del treball de recerca és important per introduir-nos en el món de la investigació seriosament. Ens serveix als estudiants preuniversitaris de preparació per a la fase següent: l'ensenyament superior.

En la pròxima etapa haurem de fer el projecte de fi de carrera i ara aprendrem els passos que cal seguir en qualsevol tema que sigui objecte d'investigació.

El procediment seguit per dur a terme aquest projecte l'exposem a la següent relació:

- recerca d'informació: enciclopèdies, biblioteques, Internet.
- elecció del material: caps per a l'estructura, material aïllant, aparells electrònics i elements de connexió.
- construcció.

- comprovació del funcionament.

- redacció del treball amb l'estructuració que es pot veure a l'índex.

## 2. Plantejament del problema i cerca de solucions

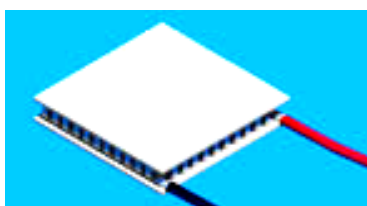
Volem construir una nevera de mides i pes reduïts perquè sigui fàcil de transportar. Nosaltres no volem refredar sinó únicament mantenir el fred d'allò que introduïm a l'interior del dispositiu.

### 2.1. El sistema refrigerador

Pel nostre objectiu ens basarem en la termoelectricitat en comptes d'emprar el sistema de refrigeració típic d'una nevera convencional. Utilitzarem un dels efectes termoelectrics: l'efecte Peltier.

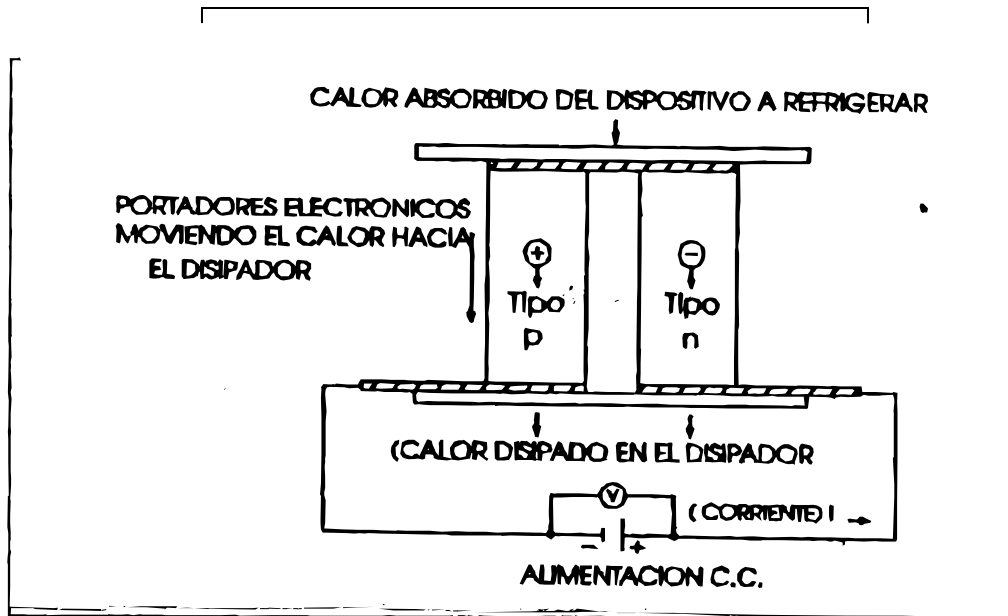
Veurem tot seguit els avantatges i els inconvenients d'ambdós sistemes:

	Avantatges	Inconvenients
La cèl·lula Peltier	- la seva mida reduïda - el baix preu	- consumeix molt i té un rendiment baix
Nevera convencional	- s'aconsegueix refredar realment - baix consum	- és massa gran - preu elevat



L'efecte Peltier és un fenomen que va ser descobert per Jean Charles Athanase Peltier el 1834. Va observar que en la unió de dos metalls diferents que condueixen un petit corrent, la temperatura augmenta o disminueix en funció de la direcció d'aquest corrent. En aquest cas són dos semiconductors, un de tipus P i l'altre de tipus N. Els materials amb que està construït són el bismut i el tel·luri. L'efecte Peltier és l'invers de l'efecte Seebeck. Aquest és un altre fenomen termoelectric que havia estat descobert abans (el 1821) per Thomas Johann Seebeck. Consisteix en la generació d'una

$fem^1$  entre dos metalls diferents units o soldats quan hi ha una diferència de temperatura entre ells.

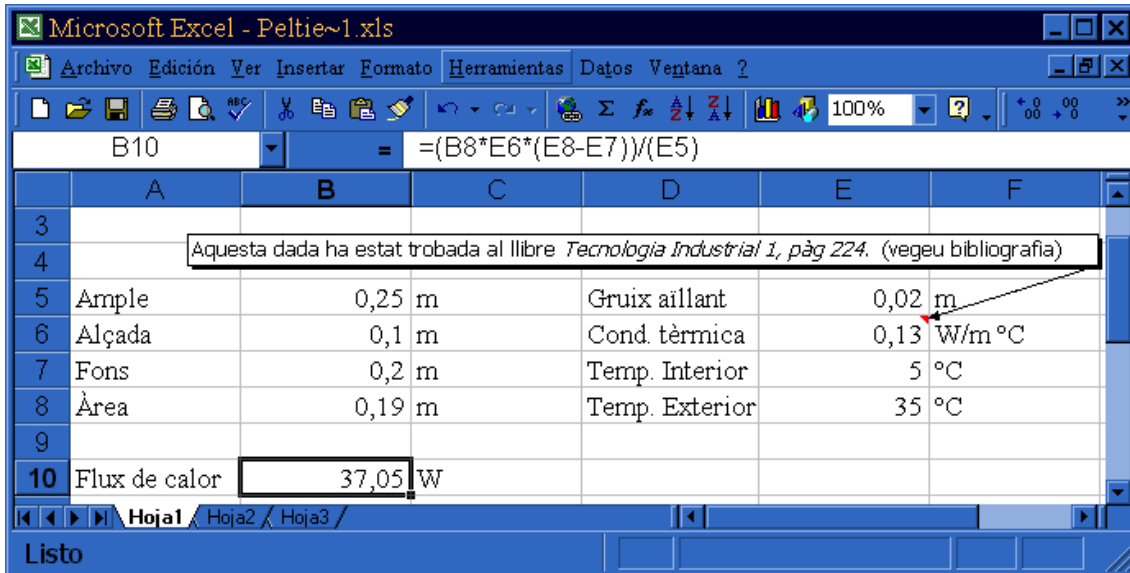


Un cop s'ha fixat el dispositiu que utilitzarem per refrigerar el sistema, ens hem de qüestionar com han de ser les capses: quines mides tindran, de quin material seran i per què.

## 2.2. Els recipients i el material aïllant

Inicialment havíem considerat que les mides fossin les que s'indiquen al quadre següent<sup>1</sup>:

<sup>1</sup> Força electromotriu. Es pot anomenar també diferència de potencial o tensió i sempre és entre dos punts. La diferència de potencial és  $V(+)-V(-)$  entenent  $V(+)$  com el potencial més gran i  $V(-)$  com el més petit.



Després vam pensar en prendre mides dels possibles aliments que podríem posar a dins de la nostra nevera<sup>2</sup>:

	Brick petit	Brick gran	Entrepà de Bimbo	Llauna de refresc
Ample	4,54	9,58	10	Ø 6,2
Alçada	11,64	17	2	11,21
Fons	3,58	6	10	_____

A partir d'aquestes mesures hem optimitzat les de les capsas:

<sup>2</sup> Mides en cm.



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F
3						
4						
5	Ample	0,25 m		Gruix aïllant	0,02 m	
6	Alçada	0,12 m		Cond. tèrmica	0,13 W/m °C	
7	Fons	0,15 m		Temp. interior	15 °C	
8	Àrea	0,171 m		Temp. Exterior	35 °C	
9						
10	Flux de calor	22,23				

The formula bar shows the calculation for cell B10:  $= (B8 * E6 * (E8 - E7)) / (E5)$

Basant-nos en aquestes grandàries n'hem cercat unes de mides semblants. No cal dir que al mercat no es troben unes capsas ideals però s'ha procurat al màxim que s'apropessin als nostres interessos.

S'ha de dir que hem tingut molta sort a l'hora de cercar la capsa exterior. Ja tenia les tanques i una nansa per facilitar-ne el transport. Les tanques van a pressió, fet que ajuda a evitar pèrdues.

En cas de no portar les tanques, hauríem d'haver considerat com ho fariem per tapar-ho.

Tampoc no hem volgut ser tan agosarats amb el gradient de temperatura<sup>3</sup>. Aquestes són les capsas que hem trobat:

<sup>3</sup> És la diferència que hi ha entre la temperatura exterior i l'interior.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F
3						
4						
5	Ample	0,27 m		Gruix aïllant	0,02 m	
6	Alçada	0,173 m		Cond. tèrmica	0,037 W/m °C	
7	Fons	0,118 m		Temp. Interior	15 °C	
8	Àrea	0,197968 m		Temp. Exterior	25 °C	
9						
10	Flux de calor	3,662408 W				

The formula bar shows:  $=2*(B5*B6+B6*B7+B5*B7)$

Cal observar que la conductivitat tèrmica del material aïllant ha canviat en aquest darrer quadre. Aquesta nova dada ha estat trobada en unes fotocòpies obtingudes en una de les botigues visitades:

Conductivitats tèrmiques d'alguns materials:

Material	Conductivitat tèrmica (w/m°C)
Alumini	205
Coure	386
Or	315
<b><i>Poliestirè</i></b>	<b><i>0.037</i></b>
Poliuretà	0.039

S'ha de tenir en compte que hem utilitzat poliestirè expandit (EPS) i no poliestirè (PS). Aquesta diferència implica que la conductivitat tèrmica de 0.037 w/m°C és superior a la que en realitat té el nostre material.

### 2.3. Fred per un costat, calor per l'altre

A la taula anterior es pot veure com la conductivitat tèrmica de l'alumini és bastant elevada. Per aquest motiu l'hem utilitzat per obtenir una superfície freda més gran de la que ofereix la cèl·lula Peltier. Encara seria millor utilitzar coure perquè, com es pot veure, té una conductivitat més elevada. Però el coure no l'hem pogut trobar tan gruixut com el que necessitem (ens fa falta un gruix de 0.6-0.8 cm). Hem aconseguit un tros d'alumini de 0.7 cm de gruix i de 5.1×5.1 cm.

Per un costat posem una peça d'alumini per tenir més superfície freda, però per l'altre, cal dissipar la calor. Per fer-ho hem considerat que ens seria suficient amb un dispositiu dissipador-ventilador. Com que les mides d'aquest dispositiu per a un microprocessador Pentium són similars a les de la cèl·lula Peltier, l'hem seleccionat per al nostre projecte. A més, el preu d'aquest aparell és baix.



Podem veure a les taules del full de càlcul que apareix l'expressió "flux de calor". Aquest flux és la quantitat de calor que s'ha d'extreure de l'interior del recipient. L'expressió que el determina és donada per la llei de Fourier  $Q = k A \cdot T/L$  d'on:

- $k$  és un coeficient que depèn de la natura del cos i de la seva temperatura (conductivitat tèrmica).
- $A$  és l'àrea de les superfícies perpendiculars al flux de calor (en el nostre cas la superfície de la capsa interior).
- $T$  és la diferència entre les temperatures exterior i interior.
- $L$  és la distància entre la superfície de la capsa exterior que rep l'escalfor de fora i l'interior (per nosaltres aquesta distància és el gruix de l'aïllant).

## 2.4. La unió dels tres elements

Les superfícies que hem d'unir: la del dissipador, la Peltier i el tros d'alumini no són completament llises. Aquest fet implica que la junció entre elles no és bona. Queden intersticis en els quals hi ha aire. Per aquest motiu utilitzarem silicona conductora per fer les unions. D'aquesta manera eliminem la possibilitat que hi hagi aire (que és un bon aïllant i per tant és just el que no ens cal en aquest indret) i millorem la transferència de temperatura entre les diferents parts.

S'ha de tenir en consideració que la silicona conductora no enganxa els elements entre ells i tampoc no s'asseca.

## **2.5. La subjecció dels elements a les capsos**

Inicialment havíem pensat que uns cargols de niló ens ajudarien a apropar les capsos. Una altra opció a considerar és la possibilitat d'utilitzar fil de niló. Una tercera hipòtesi és emprar fil de coure.

La solució que hem triat ha estat la darrera. El motiu de la nostra elecció és que ja disposàvem al laboratori de fil de coure. Aquest però té un desavantatge: el coure és un bon conductor tèrmic i per tant posa en contacte la calor del dissipador amb la peça d'alumini. Però, atès que la secció del fil és petita (fet que ens ajuda a doblegar-lo i manejar-lo segons ens convingui), la transmissió de calor a l'interior serà ínfima i, per tant, menyspreable.

### 3. Disseny

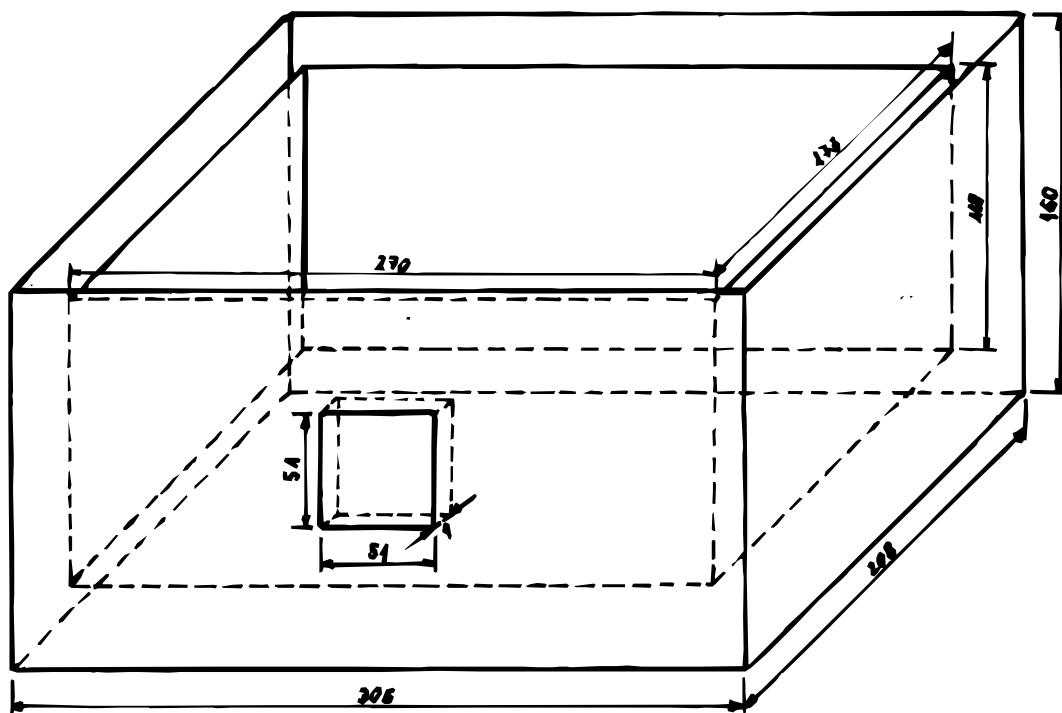
Ara que ja hem seleccionat els materials i dispositius que emprarem hem de procedir a la seva ubicació. Hem de decidir on posarem la cèl·lula Peltier, l'element fonamental de tot el treball.


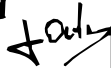
Hem pensat situar la cèl·lula Peltier al costat ample de les capsas. Si ho féssim a l'altre, la distància entre l'element refrigerador i la part més allunyada de la capsa seria major. Llavors seria més difícil la uniformitat del fred a l'interior del recipient.

La distribució de l'aïllant no ha pogut ser uniforme per la qüestió del muntatge de "l'entrepà" alumini-Peltier-dissipador. El gruix d'aquest no era suficient com per poder aconseguir la uniformitat per tots els costats.

Per veure gràficament la distribució que hem decidit, ho representarem en un plànol.

El plànol el farem a escala 1:3. Vegeu-lo a la pàgina següent.



	<b>Data</b>	<b>Nom</b>	 	<b>IES Príncipe de Viana</b> <b>Departament Tecnologia</b>
Di. ier t	20.3.00	César D.		
Comprovat	20.3.00	César D.		
Avaluat	22.3.00	J. Orts		
<b>Escala</b> <b>1:3</b>	<b>NEVERA. EFECTE PELTIER</b>			<b>2000 - 01A</b>
				<b>Substitueix: 2000 - 01</b>
				<b>Substitueix per:</b>

## 4. Construcció

Un cop hem aconseguit les dues capsas, hem de procedir a la seva mecanització. Aquesta la realitzarem consegüentment amb el disseny abans exposat.

Per suposat aquesta és la part del treball més manual. En alguns moments cal tenir molta paciència i no atabalar-se ni voler fer les coses ràpidament.

Explicarem tota aquesta fase a través d'un quadre explicatiu.

Tasca	Material	Eines	Temps
Tallar a la mida necessària l'EPS	L'EPS	Tallador de l'EPS <sup>II</sup>	30'
Mesurar i assenyalar la posició del forats del ventilador i la peça d'alumini	Les capsas	Regle i escaire metàl·lics de precisió, punta de marcar	15'
Fer aquestes obertures a les capsas i polir amb les llimes	Les capsas	Pirogravador <sup>III</sup> , les llimes	45'
Mesurar i assenyalar els forats dels cables	Les capsas	Escaire metàl·lic de precisió, punta de marcar	5'
Fer els forats pels cables de la Peltier, la NTC <sup>4</sup> i el fil de coure	Les capsas	Dremel <sup>IV</sup> amb broques de 2 mm de Ø	10'
Polir els cantells de la peça d'alumini	L'alumini	Dremel amb una punta abrasiva	5'
Posar la silicona conductora a les superfícies que estan en contacte de l'alumini, la Peltier i el dissipador	L'alumini, la Peltier i el dissipador-ventilador. El tub de silicona conductora		10'

<sup>4</sup> Vegeu l'explicació a l'apartat d'experiències.

Pelar totes les puntes dels cables per a la seva connexió i retorçar els fils perquè no en quedi cap que pugui fer falsos contactes	Els cables	Pelador de cables	10'
Estanyar els cables de la Peltier i el ventilador	Estany, la Peltier i el ventilador	Soldador	15'
Subjectar els tres elements al seu lloc.	El fil de coure, els tres elements		20'
Unir amb estany les potes de la NTC i els cables amb connector de barana	Estany, la NTC i els cables amb connector de barana	Soldador	10'
Escalfar el plàstic termoretràctil que abans de soldar havíem passat per les potes de la NTC	Els trossos de plàstic termoretràctil	Soldador	10'
Subjectar la NTC i posar-li silicona	La silicona i pegament ràpid		10'
Col·locar els cables de la Peltier i el ventilador dins d'una regleta	La regleta	Un tornavís	5'
Col·locar els cables de connexió amb les fonts a la regleta per fer els contactes amb els d'abans	Els cables de connexió i la regleta	Un tornavís	5'
Etiquetar els cables de connexió per distingir-los fàcilment	Els cables de connexió, etiquetes	Rotuladors de colors vermell i negre	15'
Temps total necessari			3h 40'



A continuació veiem el resultat dels processos anteriors en unes fotografies que hem pres amb una cambra fotogràfica digital. Després de fer-les les hem passat a l'ordinador.

La primera mostra una vista general de tota la capsa i la segona, el ventilador en funcionament. Si ens fixem en aquesta, podrem entreveure la placa d'alumini. Les altres dues mostren una vista general amb les fonts d'alimentació i la capsa tancada amb una sonda de temperatura.



El pressupost necessari per fer aquest projecte és el següent:

<b>Material</b>	<b>Preu</b>
Capsa gran	895
Capsa petita	730
Peça d'alumini	150
Pegament instantani	450
Cèl·lula Peltier	6051
Dissipador-ventilador Pentium	1000
Mà d'obra (3h 40' · 3000 pts/h)	11000
Total	20276

S'ha d'afegir que no hem tingut en compte per aquest pressupost l'import de l'EPS, dels cables, de la regleta, del termoretràctil, ni de la NTC encara que no apujarien gaire el preu final del projecte.

## 5. Experiències

Per tal de comprovar el funcionament de la nevera cal realitzar experiències a partir de les quals n'extraurem unes conclusions.

Hem considerat necessari per realitzar aquesta fase de la investigació col·locar una NTC en contacte amb l'alumini. Aquesta ens farà de sensor i ens indicarà si l'interior s'està refredant o si, en cas contrari, s'escalfa a causa d'una deficiència de dissipació.

La NTC (*Negative Temperature Coefficient*) és una resistència variable no lineal que depèn de la temperatura. El fet que depengui d'un coeficient de temperatura negatiu comporta que la seva variació sigui:

- si la temperatura augmenta, el valor de la resistència disminueix.
- si la temperatura disminueix, el valor de la resistència augmenta.

La nostra NTC té un valor nominal de  $100\text{ k}\Omega$  a una temperatura de  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . En la següent fotografia se'n pot veure la ubicació:



A continuació mostrarem en una taula les experiències realitzades. En totes elles el ventilador funciona a 12V i 0.08A (calor generat per *efecte Joule*<sup>V</sup>: 0.96J).

*Dia 1*

<b>Hora</b>	<b>R(k• )</b>	<b>Talumini (°C)</b>	<b>Tambient (°C)</b>	<b>V Peltier (V)</b>	<b>I Peltier (A)</b>
	124.7	21.2	21.2	0	0
15:48	151 (±1)	18	21.5	3.1	1
Hem hagut de canviar de sonda de temperatura perquè s'ha quedat sense pila. Hem d'afegir que amb aquesta I s'escalfa i per tant hem tornat a 1A. Ha trigat 14'30'' en assolir la temperatura d'abans.					2
16:05	151 (±1)	18	21.2	3.1	1.00
Ens hem tornat a quedar sense sonda de temperatura i aquest cop no n'hi ha cap altre. En pròximes experiències haurem de tenir en compte com estan les bateries que les alimenten.					
16:20	155 (±1)	?	?	3.1	0.99
S'escalfa. Tornem a 1A.				4.8	1.49
16:39	151 (±1)	?	?	3.1	1
Desconnectem la Peltier. Deixem el ventilador funcionant. És possible que la Tambient hagi baixat perquè fa estona que no hi entra el sol al laboratori.					
16:55	122 (±1)	?	?	0	0
Desconnectem el ventilador					
16:59	120 (±1)	?	?	0	0

Aquestes proves les hem realitzat a la tarda com es pot veure a la relació d'hores.

## Dia 2

Hora	R(k• )	Talumini (°C)	Tambient (°C)	V Peltier (V)	I Peltier (A)
Comencem amb la capsa oberta					
13:55	140	20.8	20.8	0	0
14:00	150.5	18.0	21.0	3.1	1.00
Tapem les capses. No mesurem la temperatura de l'alumini sinó la de l'aire de l'interior. Hem canviat la sonda de temperatura ambient. Per comprovar si funciona igual que la d'abans hem ficat totes dues en aigua i hem vist que la nova sonda marca 1.2 °C més que la primera. Les mesures que fem a partir d'ara s'han de baixar per aquest motiu 1.2 °C per poder comparar-les amb les altres.					
14:11	155.5	20.5	21.8 (20.6)	3.0	0.98
14:17	155.6	20.6	22.3 (21.1)	3.0	0.98
14:21	156.0	20.6	22.4 (21.2)	3.0	0.98
14:25	155.8	20.7	22.5 (21.3)	3.0	0.98
A partir d'ara les capses estaran obertes. Ja no mesurarem la temperatura interior sinó la de la peça d'alumini.					
	155.6	16.5	22.5 (21.3)	3.0	0.98
Hem desconnectat la Peltier.					
	130		22.5 (21.3)	0	0

Tot seguit veurem un dels moments de les proves realitzades aquest segon dia:



## 6. Conclusions

Després de les experiències realitzades veiem que el resultat no és el que esperàvem. En un principi crèiem que el conjunt dissipador–ventilador ens seria suficient per extreure la calor del sistema però s’ha demostrat el contrari.

Havent vist les carències del nostre sistema caldria continuar el mètode de projectes amb una nova recerca de solucions, nous dissenys i noves proves fins que s’aconseguís un dispositiu òptim.

Algunes millores serien:

- perfeccionar el conjunt dissipador–ventilador posant un dissipador més gran i un millor ventilador.
- ajustar les mides dels forats pels cables al mínim possible.
- fer les obertures per al dissipador i la peça d’alumini més ajustades.
- segellar tots els forats amb silicona aïllant.
- emprar fil de niló en comptes de fil de coure.
- millorar la capa d’aïllament de poliestirè expandit

Si canviem el dissipador i el ventilador aquests tindrien un preu de 440 i 1000 pts. Respectivament. En comparació amb el pressupost anterior el cost final només es veuria incrementat en 440 pts.

Aquest treball m’ha ajudat a veure d’altra manera el mètode de projectes i també a ser més precís, exhaustiu i rigorós a l’hora de treballar.

He trobat dificultats a l’hora de cercar informació sobre l’efecte Peltier. Només n’he trobat d’una manera prou àmplia a Internet i en anglès. També he tingut dificultats per trobar les capses de mides semblants a les que havíem calculat.

Considero que seria millor repartir el treball de recerca als dos cursos que dura el batxillerat. Es podria treure un dels crèdits d'educació física del primer any i passar-lo al segon (l'exercici físic és imprescindible per un bon rendiment intel·lectual i és millor repartir-lo que no fer-ho tot un any i l'altre res). D'aquesta manera seria possible fer un crèdit del treball de recerca a primer i l'altre, a segon. L'elaboració del conjunt del treball amb més temps suposaria una maduració més profunda de les idees que es tracten.

## 7. Bibliografia

- AAVV: *Gran Enciclopèdia Catalana*, Enciclopèdia Catalana. Barcelona. 1990.
- JOSEPH i GUAL, Joan: *Tecnologia industrial 1*. McGraw-Hill. Madrid. 1998.
- Fotocòpies rebudes a la classe d'electrònica. Barcelona. 1999.
- D'Internet:

<http://www.electracool.com/basics.htm>

<http://www.electracool.com/moduleworking.htm>

<http://www.thermoelectric.com/pg06.htm>

<http://melcor.com/prodinfo.htm>

<http://destechinc.com/english/te1.htm>

<http://www.noahprecision.com/techpubs.htm>



## 8. Annex

---

<sup>I</sup> Com podeu veure hem utilitzat el full de càlcul Microsoft Excel. Aquest ens ha facilitat fer les estimacions de la potència necessària de la cèl·lula Peltier en funció dels paràmetres de la llei de Fourier anteriorment comentada.

<sup>II</sup> És una eina que consisteix en un arc de plàstic que té un fil en lloc d'una serra. Quan es prem un gallet s'escalfa el fil per efecte Joule. Com que el poliestirè expandit és un material termoplàstic quan l'escalfem s'estova ràpidament i es talla.

<sup>III</sup> Aquesta eina no està dissenyada per ser utilitzada per tallar plàstic. La seva funció és *gravar* la fusta *cremant-la* superficialment. El temps necessari per aquesta fase de la construcció s'ha vist incrementat pel temps que triga en escalfar-se la punta. També perquè calia treure el plàstic fos que s'acumulava en poc temps a la punta. A més s'ha de tenir en compte que els forats s'havien de fer amb cura procurant ser el màxim de precisos.

<sup>IV</sup> El Dremel és un aparell multiús format per un motor giratori al qual se li poden posar estris diferents: broques, ceràmiques abrasives per polir, discs per tallar...

<sup>V</sup> L'efecte Joule és un escalfament que experimenten tots els conductors en ésser recorreguts per un corrent. És degut al fregament dels electrons lliures amb els àtoms i els altres electrons. La quantitat de calor produïda és donada per la llei de Joule:

$Q = I^2 \cdot R \cdot t$ , d'on  $I^2$  és el corrent al quadrat,  $R$  la resistència del conductor i  $t$  el temps.