



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria  
de Manresa



Treball de Final de Grau

# GENERADOR D'ENERGÍA ELÈCTRICA A PARTIR DEL CALOR CORPORAL

Grau en Enginyeria Electrònica  
Industrial i Automàtica

Curs 16/17

Autor: Ismael Cañadas Sánchez

Directora: Immaculada Martínez

Data: 12/05/2017.

Localitat: Manresa (Barcelona)

## RESUM

Aquest projecte pretén estudiar i desenvolupar el disseny i implementació d'un generador de voltatge a partir de la calor que desprèn l'ésser humà i aprofitar-la per a carregar dispositius com mòbils, smartphones, tabletas, carregadors portàtils o qualsevol dispositiu que pugui suportar una tensió de 5V i un corrent d' 1A.

Per a la realització del projecte es va fer un estudi específic sobre la termoelectricitat (ja que és la branca física principal del projecte), elèctric i electrònic (per tal de realitzar el muntatge simulat per ordinador del circuit en concret abans d'escollir els components necessaris pel muntatge físic).

Al projecte hi ha la descripció del muntatge simulat per ordinador, utilitzant el programa Multisim i separat en diferents etapes. Dintre d'aquest apartat hi apareixen càlculs elèctrics necessaris per entendre els circuits. I també hi ha el muntatge físic on es mostren les imatges (reals i no simulades) del circuits i les diferents comprovacions de voltatges i valors que han de sortir per etapa.

Per finalitzar el projecte es mostra un apartat pressupostari per tal de saber quin ha sigut el cost de tot el material en conjunt, un apartat d'estalvi energètic per saber quin es el consum diari, mensual i anual d'un smartphone o tableta i extreure conclusions d'aquesta, una altra d'idees i propòsits pel futur si el projecte es segueix treballant i les conclusions finals del projecte.

## ABSTRACT

This project aims to study and develop the design and implementation of a voltage generator from the heat that human being generate and use it to charge devices such as mobile phones, smartphones, tablets, portable chargers or any device that can handle a voltage of 5V and a current of 1A.

For the performance of the project, was done a specific study of the thermoelectricity (because is the main physical branch of the project), of electrical and electronic equipment (to make the computer simulated assembling circuit before choosing the specific components for the physical assembly).

There is a description in the project of the computer simulated assembling, using the Multisim program and separated in several stages. Within this section there are calculations necessary to understand the electrical circuits. And there is also the physical set, showing images (real, not simulated) of the different circuits and voltage checks and values that should go out of every stage.

At the end of the project, appears a budget section in order to know what was the cost of the material used, a section for energy saving to know which is the daily, monthly and annual consumption of smartphones or tablets and extract conclusions of it, other ideas and goals for the future if the project is still working and the final conclusions of the project.

## ÍNDIX

1.	INTRODUCCIÓ AL PROJECTE.....	5
2.	INTRODUCCIÓ A LA TERMOELECTRICITAT .....	7
2.1.	L'Efecte Seebeck.....	8
2.1.1.	Esquema general i deducció de la fórmula .....	8
2.1.2.	El termoparell i altres aplicacions .....	9
2.1.3.	Tipus de termoparells.....	10
2.1.4.	Nocions a tenir en compte .....	13
2.2.	L'Efecte Peltier .....	15
2.2.1.	Esquema general i deducció de la fórmula .....	15
2.3.	L'Efecte Thomson .....	17
2.3.1.	Esquema general i deducció de la fórmula .....	17
2.4.	L'Efecte Joule.....	18
2.4.1.	Esquema general i deducció de la fórmula .....	18
2.5.	Efecte de la conducció interna .....	20
3.	FORMES DE TRANSFERÈNCIA DE CALOR.....	21
3.1.	Transferència de calor per convecció .....	21
3.2.	Transferència de calor per conducció .....	22
3.3.	Transferència de calor per radiació.....	24
4.	SIMULACIÓ PER MULTISIM DEL CIRCUIT A DUR A TERME.....	25
4.1.	Etapa de generació d'energia elèctrica de molt baixa tensió ( $\approx 300\text{mV}$ ) .....	25
4.1.1.	Material necessari .....	25
4.1.2.	Explicació (resumida o teòrica) de l'etapa .....	25
4.2.	Etapa d'amplificació i filtratge del senyal generat anteriorment .....	25
4.2.1.	Material necessari .....	25
4.2.2.	Explicació (resumida o teòrica) de l'etapa .....	26
4.2.3.	Simulació en Multisim.....	26
4.2.4.	Funció dels components.....	26
4.3.	Etapa de generació d'energia elèctrica de baixa tensió (5V, 1A).....	27
4.3.1.	Material necessari .....	27
4.3.2.	Explicació (resumida o teòrica) de l'etapa .....	27
4.3.3.	Simulació en Multisim.....	27
4.3.4.	Funció dels components.....	27
4.3.5.	Observacions .....	28
5.	MUNTATGE DELS CIRCUITS SIMULATS I COMPROBACIÓ.....	31

5.1.	Comprovació empírica del voltatge d'una Cèl·lula Peltier .....	31
5.2.	Comprovació de l'etapa 2 amb FAE .....	33
5.3.	Comprovació de l'etapa 3 amb FAE .....	35
5.4.	Comprovació de les etapes 2 i 3 amb FAE.....	37
5.5.	Comprovació del circuit total .....	38
6.	PRESSUPOST .....	40
7.	ESTALVI ENERGÈTIC.....	41
8.	IDEES I PROPOSTES.....	43
9.	CONCLUSIONS .....	44
10.	BIBLIOGRAFIA .....	46

## 1. INTRODUCCIÓ AL PROJECTE

La preocupació, cada vegada més alta, dels països amb major poder sobre el planeta i els seus governs pel desenvolupament sostenible de les seves tecnologies en relació amb el medi ambient, i encara més important, la publicitat destructiva dels medis de comunicació sobre els efectes nocius dels gasos contaminats d'efecte hivernacle emesos a l'atmosfera per l'ésser humà; estan fent que, totes les empreses tecnològiques fabricant d'aparells que son nocius pel medi ambient, es vegin obligades a adoptar mesures per parar aquest fet, desenvolupant amb això, noves tecnologies aplicables als seus productes o serveis que aconseguixin reduir considerablement el nivell de contaminació mundial.

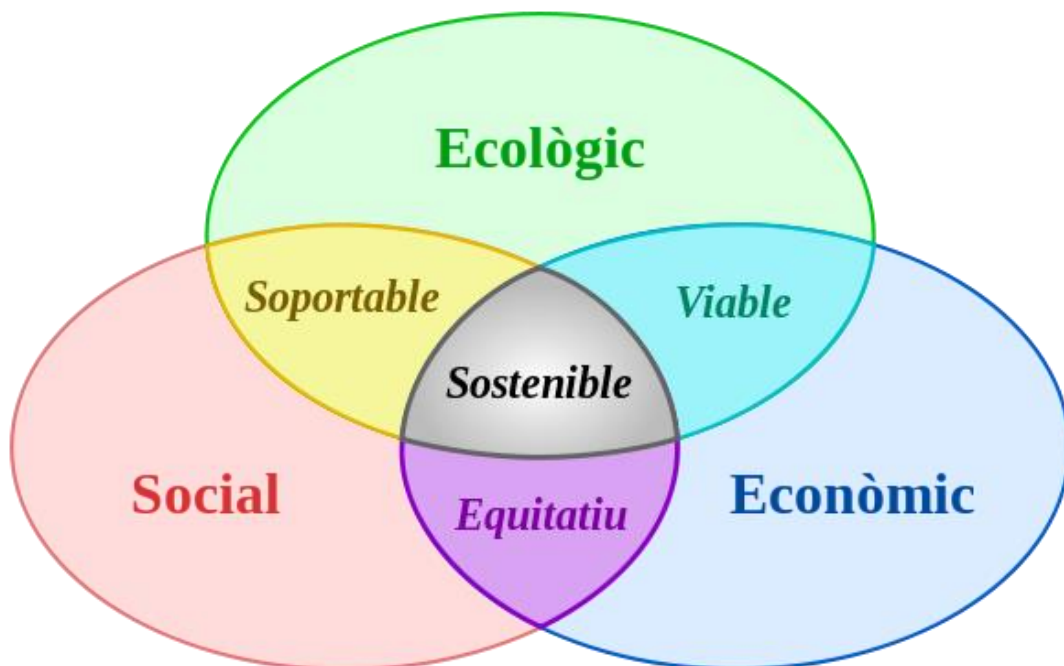


Figura 0. Esquema global per aconseguir un desenvolupament sostenible

Existeixen varis exemple d'això, tals com:

- L'instal·lació de cel·les fotovoltaïques a empreses amb un consum elevat d'energia.
- La venda de cotxes híbrids (combustible i electricitat) o totalment elèctrics, que emeten menys gasos contaminants a l'atmosfera.
- La recent creació d'equips electrònics ecològics dissenyats per consumir els recursos mínims i no contaminar.
- El desenvolupament sostenible d'energies alternatives als combustibles fòssils.
- I un llarg etcètera.

Un dels principals contaminants que existeixen avui dia són els produïts pels combustibles fòssils (com el gas o el petroli) tals com les emissions de gasos tòxics pel medi ambient, la contribució al efecte hivernacle que provoca el desglaçament dels pols, entre altres greus problemes que hi ha avui dia. Altres dels problemes principals són, el dany irreparable a tot tipus d'ecosistemes, ja que amb el canvi climàtic que sofrim gracies a l'emissió d'aquests gasos, els ecosistemes es van perdent o perjudicant, fent que cada cop sigui més difícil i sostenible la vida per a qualsevol ésser viu d'aquest planeta, i sobretot, la desforestació descontrolada i permanent que s'està sofrint a zones amb una immensa extinció de vida animal i vegetal, fet que ha costat l'extinció de una infinitat d'espècies animals i vegetals.

Actualment, es busca el desenvolupament sostenible de noves tecnologies capaces de generar l'energia necessària i suficient per abastir el món, i les més importants avui dia són les anomenades energies renovables, com l'eòlica o la solar, les quals han tingut un gran increment al seu ús i investigació degut a que amb aquestes s'aconsegueix una emissió menor de gasos nocius per l'atmosfera i a la seva vegada és una manera econòmica i sostenible del desenvolupament energètic mundial.

La motivació d'aquest treball ha sigut en gran part degut a tot el que s'ha dit anteriorment, les empreses, els governs o institucions busquen cada cop més la utilització de les energies renovables o d'aquelles que tinguin una generació baixa o nul·la de pol·lució per a l'atmosfera.

Una altra motivació per a fer el projecte és que, com la compra de dispositius smartphones, tabletas o d'altres dispositius portàtils és cada cop major, es va pensar que la gent necessitaria un medi per poder carregar el seu mòbil (per exemple, quan aquests no estiguessin a casa o quan no trobessin cap endoll on connectar el seu dispositiu al carrer, etc) sense haver de preocupar-se abans de carregar un carregador portàtil, encara que també està pensat per a carregar aquests o, en general, qualsevol dispositiu que pugui suportar 5V i 1A com es podrà veure al projecte.

## 2. INTRODUCCIÓ A LA TERMoeLECTRICITAT

La termoelectricitat es la part de la física que tracta els fenòmens de producció d'energia elèctrica per l'acció del calor i viceversa.

Aquesta part de la ciència estudia els efectes relatius a la generació de calor en la unió de dos conductors (o semiconductors) diferents quan circula una corrent a través d'ells o l'efecte contrari, la generació d'una corrent elèctrica en un conductor quan està sotmès a un gradient de temperatura.

Tradicionalment, el terme termoelectricitat o també anomenat efecte termoelèctric avarca tres efectes identificats separadament: l'efecte Seebeck, l'efecte Peltier i l'efecte Thomson.

Aquest treball es basarà principalment en els dos primers efectes citats anteriorment, però també es detallarà l'explicació de l'efecte Thomson ja que també forma part de la termoelectricitat, i de l'efecte Joule.

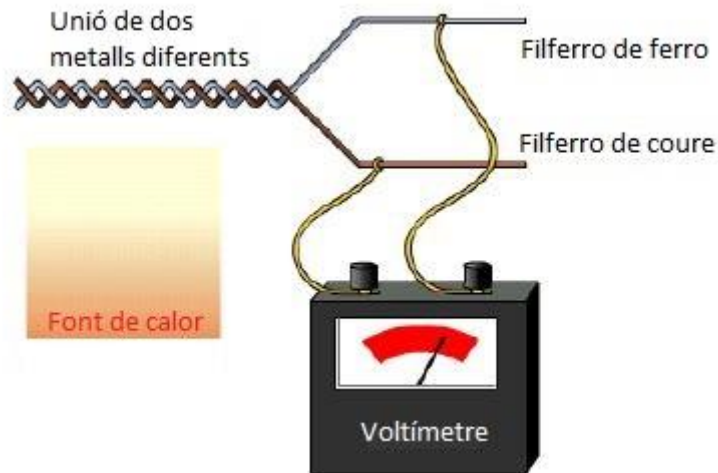


Figura 1. Esquema simple del efecte termoelèctric



## 2.1. L'Efecte Seebeck

Aquest efecte va ser el primer en ser descobert, de la mà del metge i inventor físic estonià-alemany Thomas Johann Seebeck que, com es pot apreciar, dóna nom al efecte termoelèctric.

El descobridor de tal efecte però, no va començar a interessar-se per la relació entre l'electricitat i la calor fins a principis de l'any 1820. L'any 1821, soldant dos filferros de metalls diferents (coure i bismut) fent un llaç va descobrir accidentalment que al escalfar un filferro a alta temperatura i mentre l'altre es mantenia a baixa temperatura, es produïa un camp magnètic. Per aquell temps, Seebeck no creia o no va divulgar que un corrent elèctric era generat quan el calor s'aplicava a la soldadura dels dos metalls, en canvi, va utilitzar el terme termo-magnetisme per referir-se al seu descobriment.

Actualment es coneix com efecte Peltier-Seebeck o efecte termoelèctric i es la base del funcionament dels termoparells.



Figura 2. Thomas Johann Seebeck

### 2.1.1. Esquema general i deducció de la fórmula

L'esquema general o principi de funcionament que presenta l'efecte Seebeck es mostra a la següent imatge:

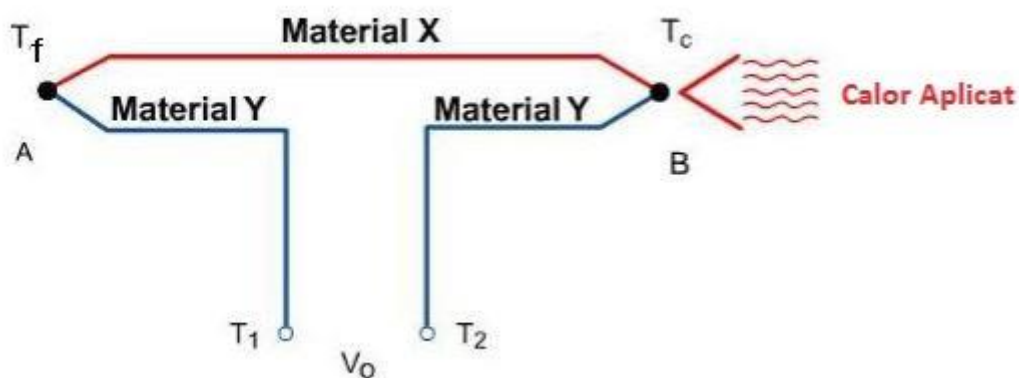


Figura 3. Esquema del efecte Seebeck

Del qual es pot extreure la següent relació:

$$V_o = V_{AB} = \alpha_{xy} \cdot (T_c - T_f)$$

On:

- $V_o = V_{AB}$  : Voltatge a la sortida, expressat en Volts [V]
- $\alpha_{xy}$  : Coeficient de Seebeck entre els materials x i y, expressats en [V/K]
- $T_c$  : Temperatura calenta de la unió, expressada en Kelvin [K]
- $T_f$  : Temperatura freda de la unió, expressada en Kelvin [K]

El coeficient de Seebeck es defineix com la variació del voltatge en funció d'una diferència de temperatura entre dos conductors o semiconductors:

$$\alpha_{xy} = \frac{\partial V_o}{\partial T} = \frac{\partial V_{AB}}{\partial T} = \frac{(V_A - V_B)}{(T_f - T_c)}$$










### 2.1.2. El termoparell i altres aplicacions

Aquest descobriment s'ha aprofitat per la fabricació de sensors de temperatura, coneguts com a termoparells. Mantenint una de les dos soldadures entre els dos materials a una temperatura controlada i relativament freda, i utilitzant l'altre punt d'unió dels dos materials com a detector de temperatura d'interès, creem una diferència de potencial mesurable entre els punts A i B, en relació amb la diferència de temperatura entre les unions dels dos materials.

Existeixen diferents models de termoparells depenent dels materials que componen les seves unions. D'aquesta manera, les combinacions de Crom-Alumini, Crom-Constantà ( $\text{Cu}_{55}\text{Ni}_{45}$ ), Ferro-Constantà (Aliatge  $\text{Cu}_{55}\text{Ni}_{45}$ ), entre d'altres tipus de combinacions. Segons el rang de temperatura a mesurar, la precisió, i altres condicions s'escollirà un o altre.

### 2.1.3. Tipus de termoparells

A continuació, es mostrarà una taula amb els termoparells més comuns, la seva composició i el seu rang de temperatura entre el que pot operar el termoparell, així com el codi de color pel qual es poden identificar aquests termoparells.

Tipo termopar		Metales	Rango temperatura
B		+ Platino – 30% Rodio - Platino – 6% Rodio	0 ÷ 1700 °C
C		+ Tungsteno – 5% Renio - Tungsteno – 26% Renio	0 ÷ 2320 °C
E		+ Níquel – Cromo - Cobre – Níquel	-200 ÷ 900 °C
J		+ Hierro - Cobre - Níquel	0 ÷ 750 °C
K		+ Níquel – Cromo - Níquel - Aluminio	-200 ÷ 1250 °C
N		+ Níquel – 14,2% Cromo – 1,4% Silicio - Níquel – 4,4% Silicio – 0,1% Magnesio	-200 ÷ 1250 °C
R		+ Platino – 13% Rodio - Platino	0 ÷ 1450 °C
S		+ Platino – 10% Rodio - Platino	0 ÷ 1450 °C
T		+ Cobre - Cobre - Níquel	-200 ÷ 350 °C

Taula 1. Diferents tipus i materials amb els que es fabriquen els termoparells

**Tipus B (Platí - Rodi / Pt - Rh):** Adequat per a la mesura d'altres temperatures (superiors a 1800°C). Generalment, presenten el mateix resultat a 0°C i 42°C, degut a la seva corba de Temperatura/Voltatge.

**Tipus C (Tungstè - Reni / W - Re):**

**Tipus E (Crom - Constantà / Cr - Cu<sub>55</sub>Ni<sub>45</sub>):** No son magnètics gràcies a la seva sensibilitat, son ideals per a usos a baixes temperatures, en l'àmbit criogènic. Tenen una sensibilitat de ≈68μV/°C.

**Tipus J (Ferro - Constantà / Fe - Cu<sub>55</sub>Ni<sub>45</sub>):** Degut al seu rang limitat, es menys popular que el tipus K. Son ideals per usar en equips vells que no acceptin l'ús de termoparells més moderns.

No es pot utilitzar a temperatures superiors a 760°C ja que a partir d'aquesta temperatura, aproximadament, sorgeix una descalibració permanent degut a una transformació magnètica. El seu rang de temperatura és de -40°C a +750°C i la seva sensibilitat es de  $\approx 52 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .

**Tipus K (Cromel - Alumel /  $\text{Ni}_{90}\text{Cr}_{10}$  -  $\text{Ni}_{95}\text{Al}_2\text{Mn}_2\text{Si}_1$ ):** Té una alta varietat d'aplicacions, està disponible a baix cost i en una varietat de sondes. Tenen un rang de temperatura de -200°C a +1372°C, una sensibilitat  $\approx 41 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  i una bona resistència a l'oxidació.

**Tipus N (Nicrosil – Nisil /  $\text{Ni}_{84}\text{Cr}_{14}\text{Si}_2$  –  $\text{Ni}_{95}\text{Si}_5$ ):** Es adequat per a la mesura d' altes temperatures gràcies a la seva elevada estabilitat i resistència a l'oxidació a altes temperatures, i no necessita platí (al contrari que als de tipus B, R i S) que son més cars i tenen una sensibilitat molt baixa ( $\approx 10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ), encara que aquests son més estables. Generalment, son utilitzats per a mesurar temperatures superiors a 300°C.

**Tipus R (Platí – Rodi / Pt - Rh):** Adequat per a la mesura de temperatures de fins a 1300°C. La seva baixa sensibilitat ( $\approx 10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) i el seu elevat cost, fan que no sigui gaire atractiu per a la seva compra.

**Tipus S (Platí – Rodi / Pt - Rh):** Ideal per a mesurar temperatures de fins a 1300°C, però tenen baixa sensibilitat, fet que el converteix en un instrument no adequat per a ús general, però gràcies a la seva elevada estabilitat, es utilitzat per a la calibració universal del punt de fusió de l'or (1064'43°C).

**Tipus T (Coure – Constantà / Cu -  $\text{Cu}_{55}\text{Ni}_{45}$ ):** És el més estable per a temperatures criogèniques. Tenen un rang de temperatura de -200 a +350°C i tenen un comportament excel·lent (baixa tolerància) dintre del seu rang de temperatura.

El termoparell és el sensor de temperatura més utilitzat comercialment, ja que son dispositius molt robustos, tenen bona precisió (si no es volen mesurar variacions a escales petites), es pot utilitzar en grans intervals de temperatura, tenen una ràpida resposta i un cost reduït en comparació amb altres sensors.

2.1.3.1. Propietats i gràfiques dels diferents termoparells

Designació ANSI	Composició	Margen habitual	mV/margen
B	Pt (6%)/Rodio-Pt (30%)/Rodio	38 a 1800 °C	13.6
C	W (5%)/Renio-w (26%)/Renio	0 a 2300 °C	37.0
E	Cromel-Constantan	0 a 982 °C	75.0
J	Hierro-Constantan	-184 a 760 °C	50.0
K	Cromel-Alumel	-184 a 1260 °C	56.0
R	Pt (13%)/Rodio-Pt	0 a 1593 °C	18.7
S	Pt (10%)/Rodio-Pt	0 a 1538 °C	16.0
T	Cobre-Constantan	-184 a 400 °C	26.0

Taula 2. Propietats termoelèctriques de diferents termoparells

Seguidament, es mostrarà una gràfica Voltatge – Temperatura (V-T) dels diferents tipus de Termoparells per així poder observar el seu rang de temperatura en que el termoparell pot operar i el diferencial de potencial que produeix entre aquests rangs de temperatura.

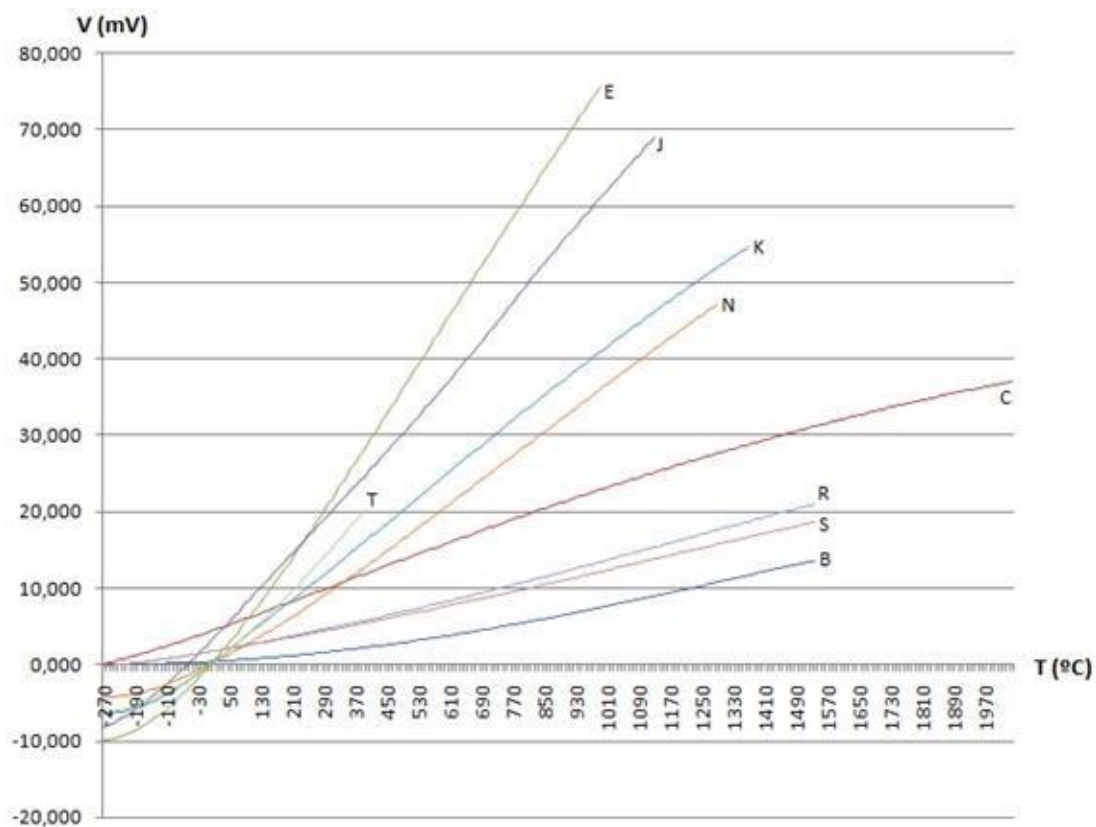


Figura 4. Gràfica V-T dels diferents tipus de Termoparell

A la figura 5 es pot apreciar que, per cada tipus de termoparell existeixen diferents comportaments, pel que el seu ús depèn del lloc i condicions del mateix on es procuri utilitzar el termoparell. També es pot apreciar que a partir dels 150°C aproximadament, cada termoparell presenta una linealitat la qual es manté casi constant. A temperatures més baixes de 150°C s’ha de fer una aproximació polinòmica dels valor de la tensió.

Tipo de unión	Resistencia a atmósferas oxidantes	Resistencia a atmósferas reductoras	Resistencia al azufre	Tipo de protección
<b>B R S</b>	muy buena	Pobre		tubo cerámica
<b>K</b>	buena o muy buena	Pobre	le afecta el azufre	
<b>J</b>	buena < 400° pobre > 700°	Buena < 400°		usarlo en atmósfera seca
<b>T</b>	buena	Buena		
<b>E</b>	buena	Pobre	mala	

Taula 3. Propietats de diferents termoparells en condicions adverses

### 2.1.4. Nocions a tenir en compte

Es pot deduir de la definició del efecte Seebeck, que no es pot mesurar directament la tensió als extrems dels materials ja que al connectar el voltímetre a aquests, estem creant dos noves unions al circuit. Aquestes dos noves unions, generalment de coure, i la temperatura a la seva unió amb els dos extrems del termoparell fan que variï la tensió mesurada pel voltímetre.

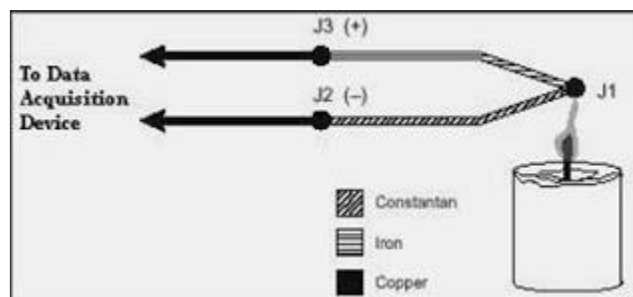


Figura 5. Termoparell tipus J on les sortides dels terminals J2 i J3 van a un dispositiu d'adquisició de dades

Aquí es pot apreciar que el voltatge mesurat per un sistema d'adquisició de dades depèn únicament del tipus de termoparell i la temperatura de la unió freda. El voltatge mesurat es independent de la compensació dels cables de mesura i de les unions en fred, J2 i J3. Així doncs, la tensió que ens interessa, que es la tensió just abans d'entrar en contacte el termoparell amb el coure, es veu afectada per les tensions formades per J2 i J3. Per poder obtenir un càlcul correcte de la tensió del termoparell, es necessari conèixer la relació entre els materials i la temperatura a la que estan exposats.

Al ficar qualsevol tipus de cable dins del circuit d'un termoparell no es té efecte a la sortida, sempre i quan ambdós terminals del cable estiguin a la mateixa temperatura, es a dir, siguin isotèrmics.

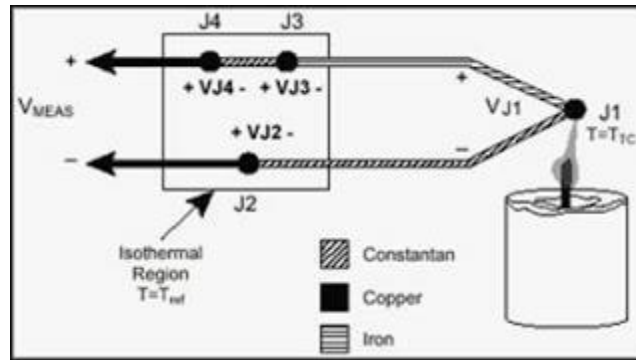


Figura 6. Inserció d'un cable extra a la regió isotèrmica d'un termoparell tipus J

Assumint que les unions J3 i J4 estan a la mateixa temperatura, això indica que el circuit de la Figura 7 és elèctricament equivalent al circuit de la Figura 6. Per tant, qualsevol resultat pres des de el circuit de la Figura 7 també aplica per al circuit vist a la Figura 6.

D'aquesta manera, s'obté la següent relació:

$$V_f = V_{J1}(T_{TC}) + V_{J3}(T_{ref})$$

L'eliminació de la tensió obtinguda a J3 es pot adquirir ja sigui per una compensació feta per software o per hardware:

- La compensació realitzada per software es pot obtenir fent una mesura de la temperatura isotèrmica de referència a la que se sotmet J3, a partir de termistors, i a la seva vegada fent el càlcul de la tensió extra que existeix pel contacte amb el coure mitjançant un microcontrolador per restar-la al resultat final.
- La compensació realitzada per hardware s'efectua mitjançant una font de tensió contrària a la tensió  $V_{J3}$  encara que resulta ser un mètode poc pràctic i molt costós.

## 2.2. L'Efecte Peltier

L'any 1834, el físic Jean Charles Athanase Peltier, al realitzar una de les seves investigacions sobre l'electricitat, va descobrir que si es fa circular un corrent elèctric per dos metalls diferents soldats en forma de llaç, en les seves unions es genera o absorbeix calor, depenent del sentit que tingui aquest corrent elèctric. A aquest experiment se li va donar posteriorment el nom d'efecte Peltier, i com es pot apreciar, aquest efecte es totalment oposat al efecte Seebeck, anteriorment explicat.



Figura 7. Jean Charles Peltier

### 2.2.1. Esquema general i deducció de la fórmula

L'esquema general o principi de funcionament que presenta l'efecte Peltier es mostra a la següent imatge:

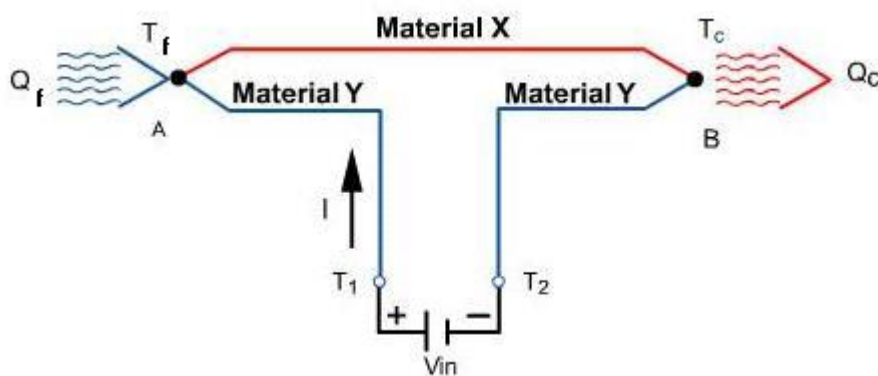


Figura 8. Esquema del efecte Peltier

A la Figura 8, es pot apreciar que si se li aplica una tensió  $V_{in}$ , per la que es fa circular un corrent a través del circuit, s'obté que al terminal A s'absorbeix calor mentre que al terminal B es desprèn calor. Si la polaritat de la Font s'inverteix, el terminal que absorbia calor passa a desprendre'l i viceversa.



La potencia absorbida o generada gràcies al efecte Peltier es pot expressar de la següent forma:

$$Q = Q_{abs} = Q_{gen} = \pi_{xy} \cdot I = (\pi_y - \pi_x) \cdot I$$

On:

- $Q$ : Potència calorífica absorbida o generada per l'efecte Peltier, expressats en [W]
- $I$ : Corrent que circula per les unions, expressada en Amperes [A]
- $\pi_x$ : Coeficient de Peltier del material X, expressat en Volts [V]
- $\pi_y$ : Coeficient de Peltier del material Y, expressat en Volts [V]
- $\pi_{xy}$ : Coeficient de Peltier entre la unió dels dos materials, expressat en Volts [V]

Així doncs, el coeficient de Peltier existent a la unió es pot deduir com la potencia generada o absorbida per aquesta unió depenent del corrent elèctric que passi a través d'aquesta mateixa:

$$\pi_{xy} = \frac{Q}{I}$$

Aquest mateix efecte es produeix també a les soldadures dels semiconductors dopats, tant positivament (Tipus P) com negativament (Tipus N).

### 2.3. L'Efecte Thomson

Al 1851, el físic anglès William Thomson, posteriorment conegut com Lord Kelvin, va demostrar que tant els efectes Seebeck com els efectes Peltier estaven relacionats entre sí, així va descobrir l'efecte Thomson.

L'efecte Thomson diu que si un material està sotmès a un gradient de temperatura i se li sotmet a un corrent intern, aquest material intercanvia calor amb el medi exterior generant-lo o absorbint-lo. Aquest efecte es pot fer amb un sol material sense la necessitat de la soldadura de dos materials diferents en comparació amb els efectes de Seebeck i Peltier, els quals com s'ha explicat als apartats anteriors, si requereixen una soldadura de 2 materials diferents.

Aquest físic també va descobrir el 0 absolut i va ser el creador de l'escala Kelvin de temperatura.

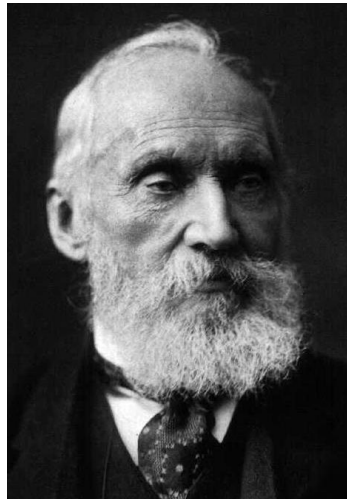


Figura 9. William Thomson

#### 2.3.1. Esquema general i deducció de la fórmula

La potència calorífica produïda o absorbida per l'efecte Thomson s'expressa de la següent manera:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \tau \cdot I \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

On:

- $\frac{\partial Q}{\partial x}$  : Potència calorífica absorbida o generada per segment de material, expressat en [W/m]
- $\frac{\partial T}{\partial x}$  : Gradient de temperatura, expressat en [K/m]
- $I$  : Intensitat de corrent elèctrica que circula pel conductor, expressat en Ampères [A]
- $\tau$  : Coeficient de Thomson del conductor, expressat en [W/K·A]

Els coeficients tant de Seebeck, Peltier i Thomson tenen una relació expressada de la següent forma:

$$\pi_{ab} = \alpha_{ab} \cdot T \rightarrow \tau_a - \tau_b = T \cdot \frac{\partial \alpha_{ab}}{\partial T}$$

## 2.4. L'Efecte Joule

Respecte a aquest treball, també cap destacar i tenir en compte l'efecte Joule, ja que els seus efectes son oposats o contraris als efectes d'absorció calòrica dels efectes explicats anteriorment.

Joule va estudiar aquest efecte quasi una dècada després de que Thomson trobés la relació entre els efectes de Seebeck i Peltier, i va descobrir que si circula un corrent elèctric a través d'un material, degut al moviment dels electrons, part de l'energia cinètica d'aquests es transforma en calor al xocar amb els altres àtoms. Això vols dir que, qualsevol material pel que circuli un corrent provocarà, depenent del tipus de material, de la seva resistivitat i de la quantitat de corrent que passi a través d'aquest, s'escalfi més o menys.



Figura 10. James Prescott Joule

### 2.4.1. Esquema general i deducció de la fórmula

Segons l'explicació al apartat anterior, l'expressió quedaria de la següent manera:

$$Q_J = \rho \cdot J^2 = E \cdot J$$

On:

- $Q_J$ : Potència calorífica generada per unitat de volum degut al efecte Joule, expressat en  $[W/m^3]$
- $\rho$ : Resistivitat elèctrica del conductor, expressat en  $[\Omega \cdot m]$
- $J$ : Densitat de corrent elèctrica que circula pel conductor, expressat en  $[A/m^2]$

- $E$ : Camp elèctric del material, expressat en [V/m]

L'efecte Joule actua en oposició al efecte Peltier i provoca una reducció total del refrigeració disponible. Al contrari que als anteriors efectes, l'efecte Joule no es un efecte reversible.

## 2.5. Efecte de la conducció interna

Aquest efecte es podria considerar termodinàmic, però es un efecte que apareix als dispositius termoelèctrics i que actua en contra de la refrigeració.

L'efecte de la conducció interna consisteix en la conducció de la calor degut al xoc dels àtoms amb els àtoms veïns i al intercanvi dels electrons exteriors del àtom. Aquesta conducció s'expressa mitjançant la següent expressió:

$$W = \frac{\lambda \cdot A \cdot (\Delta T)}{d} = \frac{\lambda \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{d}$$

On:

- $W$ : Calor emès per unitat de temps, expressat en Watts [W] o [J/s]
- $\lambda$ : Conductivitat tèrmica del material, expressat en [W/K·m] o [J/m·s·K]
- $A$ : Àrea de secció perpendicular al pas de la calor, expressat en metres quadrats[m<sup>2</sup>]
- $\Delta T$ : Increment o diferencia de temperatura, expressat en Kelvin [K]
- $d$ : Distància entre la cara freda i la cara calenta del dispositiu termoelèctric, expressat en metres [m]

### 3. FORMES DE TRANSFERÈNCIA DE CALOR

Una vegada mostrats els efectes termoelèctrics en el que es basa el projecte, es important entendre quins son els diferents mètodes de transmissió de calor que existeixen, ja que aquest influiran en les diferents formes d'aprofitament que poden tenir els generadors termoelèctrics.

La transferència de calor es la transmissió d'energia tèrmica entre dos cossos sense importar el seu estat (sòlid, líquid o gasós). Quan dos cossos estan en contacte, aquests mateixos, busquen l'equilibri tèrmic, ja que el calor es transfereix del cos que té la temperatura més alta a la que té la temperatura més baixa. També existeix un paràmetre a tenir en compte que revela quina serà la velocitat de transferència tèrmica entre dos cossos, aquest paràmetre es conegut com la conductivitat tèrmica, el qual està present a tots els materials.

Existeixen tres modes de transferència de calor:

- Per Convecció.
- Per Conducció.
- Per Radiació.

#### 3.1. Transferència de calor per convecció

Aquest tipus de transferència de calor es dóna mitjançant el moviment d'una massa fluïda, com ho son l'aire o l'aigua. Quan aquests dos augmenten de temperatura gracies a una font de calor, aquests es mouen cap al exterior, portant amb ell l'energia. La convecció per sobre d'una superfície calenta succeeix perquè quan s'escalfa l'aire en contacte amb aquesta superfície s'expandeix, perd densitat i s'eleva. Del mateix mode, l'aigua calenta es menys densa que l'aigua calenta perquè l'aigua calenta s'eleva originant corrents de convecció que transporten energia.

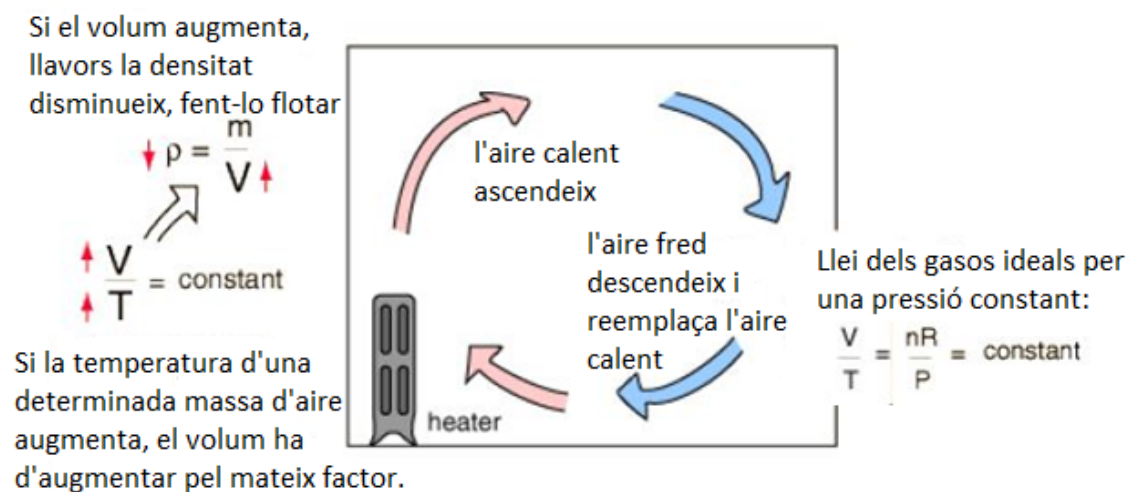


Figura 11. Esquema general de transferència de calor del aire

La convecció també pot provocar la circulació d'un líquid, com es pot comprobar a la figura 12, on es mostra el que passa quan s'escalfa una olla plena d'aigua.

L'aigua calenta s'expandeix i es fa més lleugera, mentre que l'aigua més freda es queda més a prop de la superfície, més densa i on descendeix. Ambdós moviments es forma un patró de circulació, encara que no es del tot ideal com suggereix la figura 12.

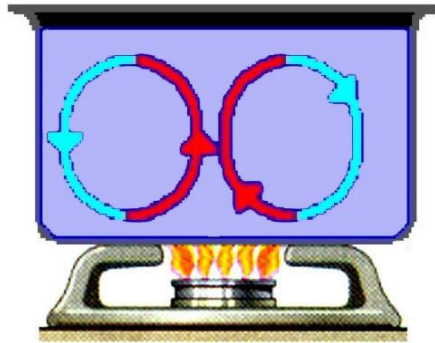


Figura 12. Fluxe de transferència de calor d'un líquid a una olla

Matemàticament, aquest efecte es representa de la següent manera:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_{inf})$$

On:

- $\frac{\partial Q}{\partial t}$ : Calor transferida respecte el temps, expressat en [W·K] o [J·K/s]
- $h$ : Coeficient de convecció, expressat en [W/m<sup>2</sup>]
- $A_s$ : Àrea del cos en contacte amb el fluid, expressat en [m<sup>2</sup>]
- $T_s$ : Temperatura de la superfície del cos, expressat en [K]
- $T_{inf}$ : Temperatura del fluid lluny del cos, expressat en [K]

### 3.2. Transferència de calor per conducció

La conducció es produeix generalment en sòlids, ja que per a que això succeeixi es necessari que estiguin en contacte constant els àtoms del material, i la manera on estiguin més a prop els àtoms d'un material es en estat sòlid. En líquids i gasos, degut a que els àtoms es troben separats en comparació amb els sòlids, la conducció esdevé pràcticament nul·la.

Els millors conductors de calor que existeixen son els metalls, gràcies a la quantitat d'electrons en moviment lliure i la xarxa cristal·lina que tenen. Així com existeix aquest tipus de materials, també n'hi ha d'altres que son totalment oposats, es a dir, que son conductors de calor dolents o també coneguts com a aïllants tèrmics.

La capacitat per a conduir el calor d'un material està parametritzada mitjançant el paràmetre de conductivitat tèrmica,  $\lambda$ . De tal manera que s'obté la figura següent:

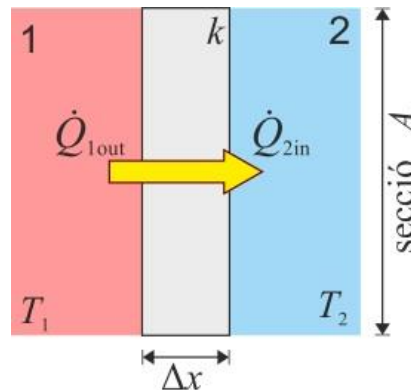


Figura 13. Flux de calor per medi de la conducció

De la figura 16, es pot deduir la relació entre la conducció del calor i el paràmetre de la conductivitat tèrmica ( $\lambda$ ) respecte a la superfície de contacte:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial t} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad \rightarrow \quad \lambda = -\frac{\partial Q_s}{\partial t} \cdot \frac{\partial x}{\partial T} \cdot A^{-1}$$

On:

- $\lambda$ : Paràmetre de conductivitat tèrmica, expressat en [W/m·K] o [J/s·m·K]
- $\frac{\partial Q_s}{\partial t}$ : Quantitat d'energia calorífica per unitat de temps, expressat en [J·K/s]
- $\frac{\partial T}{\partial x}$ : Quantitat de temperatura per amplada del material, expressat en [K/m]
- $A$ : Àrea del material, expressat en metres quadrats [m<sup>2</sup>]

Mentre sigui major el valor del paràmetre de conducció tèrmica ( $\lambda$ ) d'un material, això significarà que aquest tindrà major facilitat en transmetre el calor d'una zona a una altra, com per exemple el coure ( $\lambda=372\sim 385$ ). Els materials que tenen un  $\lambda$  baixa, se'ls denomina com a aïllants tèrmics, com ho es la fibra de vidre ( $\lambda=0.03\sim 0.07$ ), entre d'altres.

Degut a que la conductivitat tèrmica es un paràmetre que varia segons la temperatura a la que es realitzin les mesures, normalment s'utilitzen 300K (25°C) com a temperatura estàndard.



### 3.3. Transferència de calor per radiació

La radiació es la transferència de calor produïda gràcies a les ones electromagnètiques. Tot tipus de materials generen i absorbeixen en major o menor mesura la radiació electromagnètica, d'aquesta forma, el generador termoelèctric podrà estar sotmès a fonts de radiació de molts tipus, com pot ser la llum d'una bombeta, la llum solar, entre d'altres, depenent del model i del emplaçament on es trobi.

Degut a la dificultat de calcular i controlar totes les radiacions incidents que el generador pot rebre, es desestimarà l'efecte d'aquestes, ja que a la mateixa vegada, les plaques termoelèctriques son incapaces d'aprofitar el calor per radiació directament, així doncs, es basaran els càlculs principalment en les temperatures promig que existeixin als diferents emplaçaments pel seu aprofitament mitjançant el generador termoelèctric o a la temperatura, gràcies a estar exposat a la radiació solar o altres efectes de radiació que pugui aconseguir el material que estigui afectant a les cèl·lules termoelèctriques.

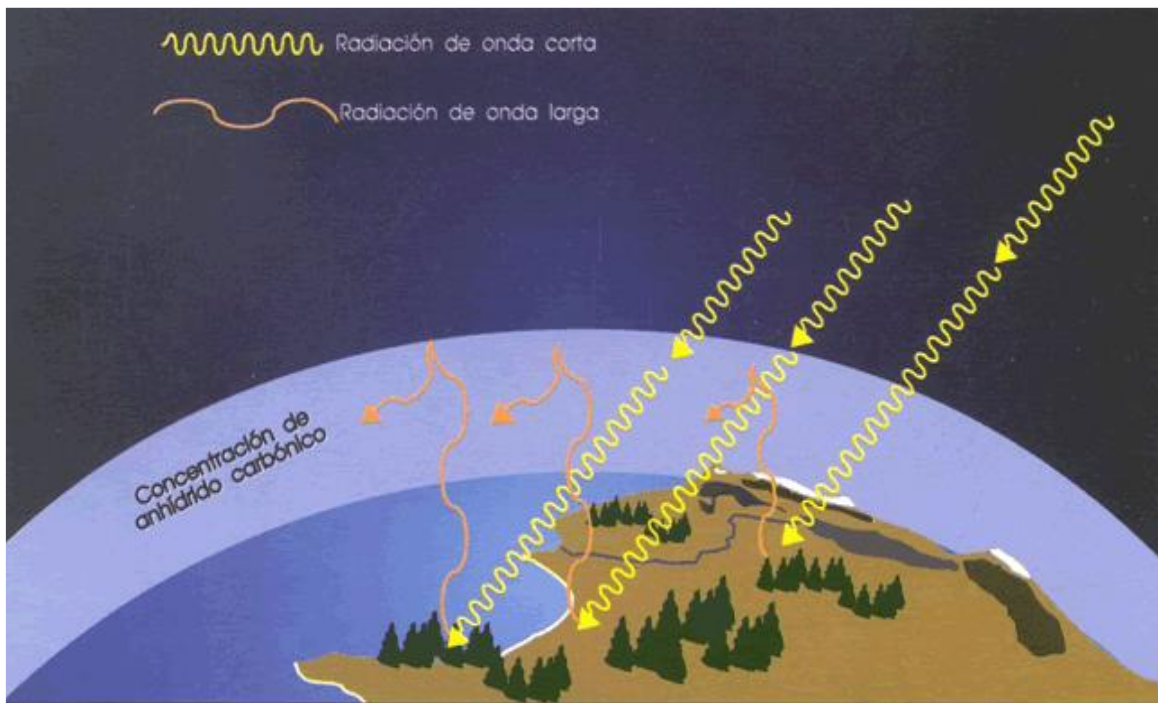


Figura 14. Exemple de radiació sobre la Terra

## 4. SIMULACIÓ PER MULTISIM DEL CIRCUIT A DUR A TERME

Per tal d'amenitzar el treball i facilitar la simulació del circuit, s'ha dividit el circuit en 3 etapes:

**Etapa 1)** Generació d'energia elèctrica de molt baixa tensió ( $\approx 300\text{mV}$ ), a partir de la diferència de tensió entre el la temperatura corporal i la temperatura ambient.

**Etapa 2)** Amplificació i filtratge del senyal generat a l'etapa anterior.

**Etapa 3)** Etapa de generació d'energia elèctrica de baixa tensió (5V, 1A).

Seguidament, s'explicaran els processos/passos que es segueix, la utilitat de cada component a totes les etapes per tal de acomplir la seva funció particular, entre d'altres apartats.

### 4.1. Etapa de generació d'energia elèctrica de molt baixa tensió ( $\approx 300\text{mV}$ )

#### 4.1.1. Material necessari

En aquest cas:

- Cèl·lula Peltier, encara que es pot utilitzar un termoparell o 'termocouple'.

#### 4.1.2. Explicació (resumida o teòrica) de l'etapa

Primerament, s'aplicarà el calor corporal, que es genera constantment a una temperatura aproximada de  $36,5^{\circ}\text{C}$ , fent contacte a la cara calenta de la cèl·lula Peltier.

Seguidament, deixem l'altre cara al aire lliure per a que assoleixi la temperatura ambient (aquesta no es una temperatura constant, però la temperatura ambient mitja està estipulada en  $20^{\circ}\text{C}$ ).

Com a últim punt, havent fet el que s'ha dit anteriorment es generaria una petita diferència de potencial o tensió a partir d'aquest diferencial de temperatura, com ja s'ha explicat al apartat 2.

### 4.2. Etapa d'amplificació i filtratge del senyal generat anteriorment

#### 4.2.1. Material necessari

- Resistències de valors diferents
- Condensadors de valors diferents
- OPAMPS (LM324N)
- Díodes 1N4007
- Tensió d'alimentació per l' OPAMP (5V)
- Tensió inicial procedent de la cèl·lula Peltier

#### 4.2.2. Explicació (resumida o teòrica) de l'etapa

El senyal de molt baixa tensió ( $\approx 300\text{mV}$ ) procedent de la cèl·lula Peltier s'amplifica fins a uns  $6'5\text{V} - 7'5\text{V}$  i es filtra a partir del circuit que es veurà al apartat posterior.

#### 4.2.3. Simulació en Multisim

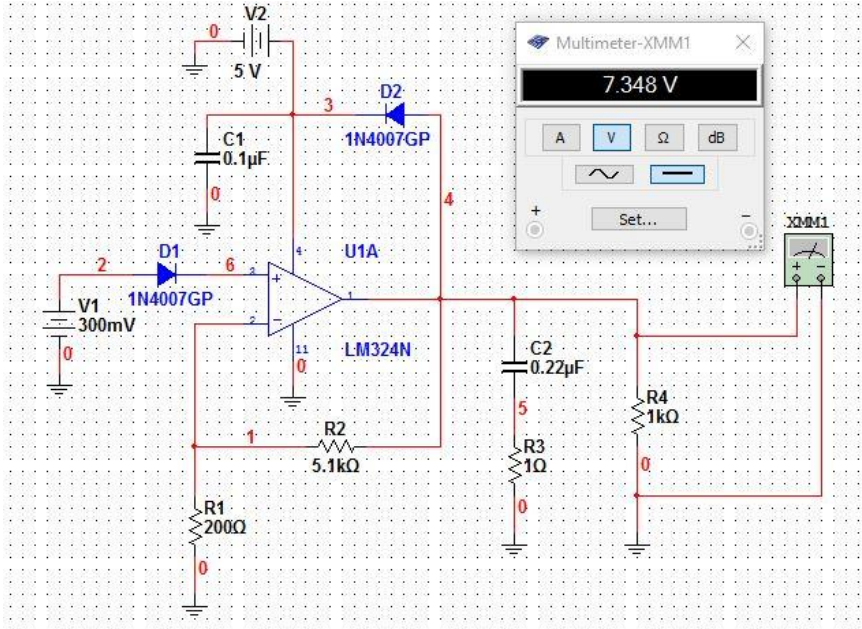


Figura 15. Simulació per Multisim de l'etapa d'amplificació i filtratge

#### 4.2.4. Funció dels components

**V1:** És la tensió generada a partir del Efecte termoelèctric de la/les cèl·lula/es de Peltier, per tenir una referència, es dirà que es genera una tensió aproximada de  $300\text{mV}$ , però pot ser una altra tensió. Al programa de simulació Multisim s'ha posat aquesta xifra de  $300\text{mV}$  ja que es una tensió mitjana aproximada del que genera la cèl·lula Peltier amb la diferencia de temperatura dita anteriorment. S'ha d'incorporar un díode  $1\text{N}4007$  (D5) per tal de que el circuit només actuï en una direcció i no a la inversa.

**V2:** Tensió d'alimentació pels OPAMP's.

**R1/R2:** Resistències d'amplificació, depenent del seu valor amplifiquen més o menys el senyal que es vol generar ja que segueixen la següent formula:

$$V_o = V_1 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - V_{D2} = 0.3 \cdot \left(1 + \frac{5100}{200}\right) - 0.6 = 7.35\text{V}$$

En aquest cas amplifica  $\times 25$  aproximadament, però no es gaire recomanat utilitzar un OPAMP per a una amplificació tan gran, per això s'utilitzaran dos OPAMPS que amplifiquin  $\times 12$ .

**R4:** Resistència de càrrega per tal de que el voltatge arribi a la següent etapa.

**D1/D2:** Aquests díodes serveixen com a rectificadors del senyal i per dirigir el flux d'electrons en una sola direcció.

**C1:** Actua com a condensador de desacoblament.

**C2:** Aquest condensador filtra el senyal per a que la tensió d'alimentació al OPAMP no tingui arrissat.

**XMM1:** Tensió de sortida de l' OPAMP a partir del multímetre virtual del programa Multisim. El valor per XMM1 es de  $\approx 7'5V$ .

### 4.3. Etapa de generació d'energia elèctrica de baixa tensió (5V, 1A)

#### 4.3.1. Material necessari

- Regulador de tensió L7805
- Resistències de valors diferents
- Condensadors de valors diferents
- LED vermell
- Tensió amplificada ( $6'5V - 7'5V$ )

#### 4.3.2. Explicació (resumida o teòrica) de l'etapa

S'envia la tensió amplificada a un circuit on hi es inclòs el regulador de tensió LM1086, que serveix per limitar la tensió a 5V i 1A, que son els valors elèctrics per a carregar Smartphones, Powerbanks, i d'altres dispositius electrònics de baixa tensió.

#### 4.3.3. Simulació en Multisim

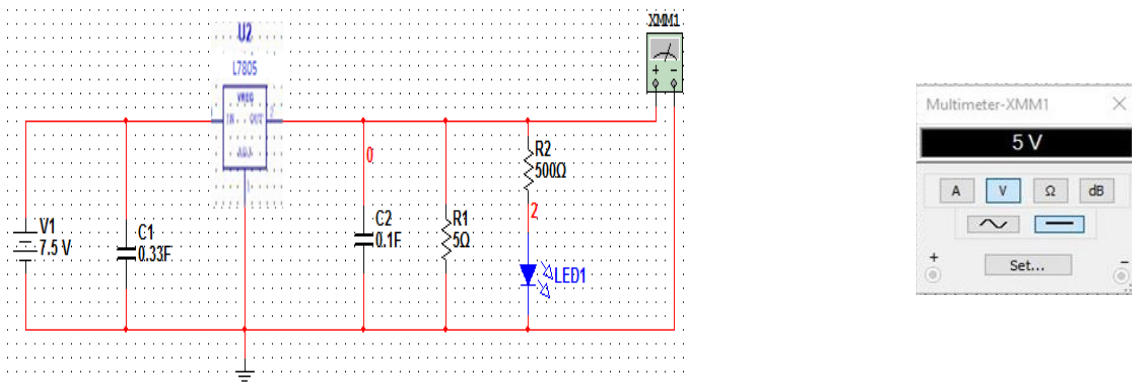


Figura 16. Simulació per Multisim de l'etapa de generació d'energia elèctrica de baixa tensió

#### 4.3.4. Funció dels components

**V1:** És el voltatge de sortida del circuit de l'etapa 2 (XMM2) i el voltatge d'entrada pel regulador de tensió LM1086.

**LED1:** El díode LED està instal·lat com a indicador de que s'està carregant algun dispositiu.

**C1:** Condensador de 0'33uF (C<sub>1</sub>) al pin d'entrada del regulador de tensió; requeriment indispensable si el regulador de tensió està allotjat a una distància apreciable de la Power supply.

**C2:** Condensador de 0.1uF ( $C_o$ ) al pin de sortida del regulador de tensió, per tal de millorar la resposta transitòria.

**R1:** Resistència de càrrega de 5Ω allotjada al pin de sortida del regulador de tensió, per tal d'obtenir un flux de corrent a la sortida del regulador de tensió i del circuit en general.

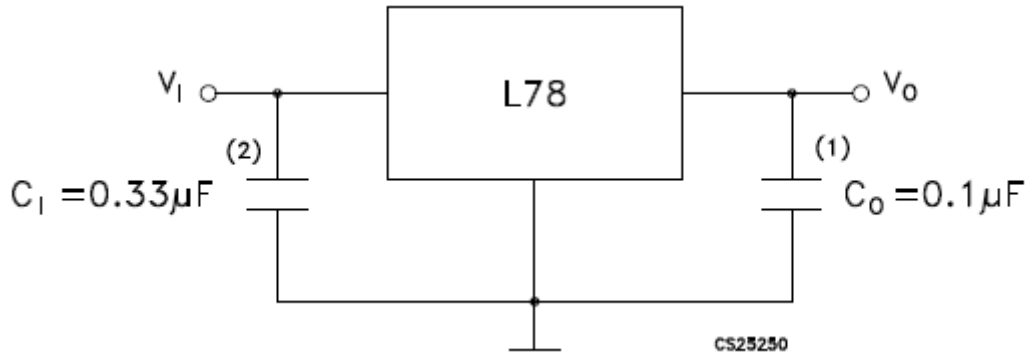


Figura 17. Esquema del regulador de tensió per obtenir 5V, sense acoblar-hi cap resistència

**R2:** Aquesta resistència està instal·lada per tal de que no li entri al díode LED més voltatge del necessari, aproximadament hi hauran uns 2V entre ànode i càtode.

**XMM1:** Voltatge de sortida de l'etapa 3 desitjat , 5V, a partir del multímetre virtual del programa Multisim.

#### 4.3.5. Observacions

Es pot apreciar que es un circuit simple i que requereix de pocs components, d'altra banda es un circuit que requereix de components que suportin més potència i que irradiaran més calor, degut al efecte Joule ((, factor que perjudica el diferencial de potencial i de temperatura de les plaques Peltier)), com es veurà als càlculs següents:

$$P_R = V \cdot I = I^2 \cdot R$$

On:

- $P_R$ : Valor de la potència que desprèn la resistència, en Watts [W].
- $V$ : Voltatge de sortida del regulador de tensió, en Volts [V].
- $I$ : Intensitat de corrent de sortida que passa per la resistència, en Amperes [A].
- $R$ : Resistència de càrrega, en Ohms [Ω].

$$P_T = V \cdot I = I^2 \cdot R = 5V \cdot 1A = (1A)^2 \cdot 5\Omega = 5W$$

Degut a que la resistència de 5Ω genera tanta calor, es va proposar de posar varies resistències en paral·lel per tal de que la intensitat de corrent es reparteixi per cada resistència, al igual que es repartirà la potència generada per efecte Joule.

Si s'utilitzen resistències en paral·lel del mateix valor, per tal de facilitar els càlculs i el muntatge, l'equació a aplicar serà la següent:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{P1}} + \frac{1}{R_{P2}} + \dots + \frac{1}{R_{Pn}} \rightarrow \frac{1}{R_T} = \frac{n}{R_P} \rightarrow \boxed{R_P = R_T \cdot n}$$

On:

- $R_T$ : Valor de la resistència total, en Ohms [ $\Omega$ ].
- $R_P = R_{P1} = R_{P2} = \dots = R_{Pn}$ : Valor de la resistència a utilitzar en paral·lel, en Ohms [ $\Omega$ ].
- $n$ : Unitats utilitzades de les resistències en paral·lel.

$R_{P1} = R_T \cdot n = 5\Omega \cdot 1 = \mathbf{5\Omega} \rightarrow$  Per obtenir  $5\Omega$ , es necessita 1 resistència de  $5\Omega$ .

$R_{P2} = R_T \cdot n = 5\Omega \cdot 2 = \mathbf{10\Omega} \rightarrow$  Per obtenir  $5\Omega$ , es necessiten 2 resistències de  $10\Omega$  en paral·lel.

$R_{P3} = R_T \cdot n = 5\Omega \cdot 3 = \mathbf{15\Omega} \rightarrow$  Per obtenir  $5\Omega$ , es necessiten 3 resistències de  $15\Omega$  en paral·lel.

$R_{P4} = R_T \cdot n = 5\Omega \cdot 4 = \mathbf{20\Omega} \rightarrow$  Per obtenir  $5\Omega$ , es necessiten 4 resistències de  $20\Omega$  en paral·lel.

$R_{P5} = R_T \cdot n = 5\Omega \cdot 5 = \mathbf{25\Omega} \rightarrow$  Per obtenir  $5\Omega$ , es necessiten 5 resistències de  $25\Omega$  en paral·lel.

$R_{P6} = R_T \cdot n = 5\Omega \cdot 6 = \mathbf{30\Omega} \rightarrow$  Per obtenir  $5\Omega$ , es necessiten 6 resistències de  $30\Omega$  en paral·lel.

$R_{P7} = R_T \cdot n = 5\Omega \cdot 7 = \mathbf{35\Omega} \rightarrow$  Per obtenir  $5\Omega$ , es necessiten 7 resistències de  $35\Omega$  en paral·lel.

$R_{P8} = R_T \cdot n = 5\Omega \cdot 8 = \mathbf{40\Omega} \rightarrow$  Per obtenir  $5\Omega$ , es necessiten 8 resistències de  $40\Omega$  en paral·lel.

$R_{P9} = R_T \cdot n = 5\Omega \cdot 9 = \mathbf{45\Omega} \rightarrow$  Per obtenir  $5\Omega$ , es necessiten 9 resistències de  $45\Omega$  en paral·lel.

$R_{P10} = R_T \cdot n = 5\Omega \cdot 10 = \mathbf{50\Omega} \rightarrow$  Per obtenir  $5\Omega$ , es necessiten 10 resistències de  $50\Omega$  en paral·lel.

Lògicament, cada resistència té un potència màxima que pot suportar, seguidament es farà el càlcul de la potència que aguanta cada resistència per tal de triar la resistència adequada i la intensitat que flueix per cada una:

$$I_{RPn} = \frac{V_o}{R_{Pn}}$$

On:

- $I_{RPn}$ : Intensitat de corrent que circula per cada resistència en paral·lel, en Amperes [A].
- $V_o$ : Voltatge de sortida del regulador de tensió, en Volts [V].
- $R_{Pn}$ : Valor de les resistències en paral·lel, en Ohms [ $\Omega$ ].

$$I_{RP1} = \frac{V_o}{R_{P1}} = \frac{5V}{5\Omega} = 1A \rightarrow P_{T1} = V_o \cdot I = I^2 \cdot R = 5V \cdot 1A = (1A)^2 \cdot 5\Omega = 5W$$

$$I_{RP2} = \frac{V_o}{R_{P2}} = \frac{5V}{10\Omega} = 0.5A \rightarrow P_{T2} = V_o \cdot I = I^2 \cdot R = 5V \cdot 0.5A = (0.5A)^2 \cdot 10\Omega = 2.5W$$

$$I_{RP3} = \frac{V_o}{R_{P3}} = \frac{5V}{15\Omega} = 0.333A \rightarrow P_{T3} = V_o \cdot I = I^2 \cdot R = 5V \cdot 0.333A = (0.333A)^2 \cdot 15\Omega = 1.663W$$

$$I_{RP4} = \frac{V_o}{R_{P4}} = \frac{5V}{20\Omega} = 0.25A \rightarrow P_{T4} = V_o \cdot I = I^2 \cdot R = 5V \cdot 0.25A = (0.25A)^2 \cdot 20\Omega = 1.25W$$

$$I_{RP5} = \frac{V_o}{R_{P5}} = \frac{5V}{25\Omega} = 0.2A \rightarrow P_{T5} = V_o \cdot I = I^2 \cdot R = 5V \cdot 0.5A = (0.2A)^2 \cdot 25\Omega = 1W$$

$$I_{RP6} = \frac{V_o}{R_{P6}} = \frac{5V}{30\Omega} = 0.167A \rightarrow P_{T6} = V_o \cdot I = I^2 \cdot R = 5V \cdot 0.5A = (0.167A)^2 \cdot 30\Omega = 0.837W$$

$$I_{RP7} = \frac{V_o}{R_{P7}} = \frac{5V}{35\Omega} = 0.143A \rightarrow P_{T7} = V_o \cdot I = I^2 \cdot R = 5V \cdot 0.5A = (0.143A)^2 \cdot 35\Omega = 0.716W$$

$$I_{RP8} = \frac{V_o}{R_{P8}} = \frac{5V}{40\Omega} = 0.125A \rightarrow P_{T8} = V_o \cdot I = I^2 \cdot R = 5V \cdot 0.5A = (0.125A)^2 \cdot 40\Omega = 0.625W$$

$$I_{RP9} = \frac{V_o}{R_{P9}} = \frac{5V}{45\Omega} = 0.111A \rightarrow P_{T9} = V_o \cdot I = I^2 \cdot R = 5V \cdot 0.5A = (0.111A)^2 \cdot 45\Omega = 0.554W$$

$$I_{RP1} = \frac{V_o}{R_{P1}} = \frac{5V}{50\Omega} = 0.1A \rightarrow P_{T10} = V_o \cdot I = I^2 \cdot R = 5V \cdot 0.5A = (0.1A)^2 \cdot 50\Omega = 0.5W$$

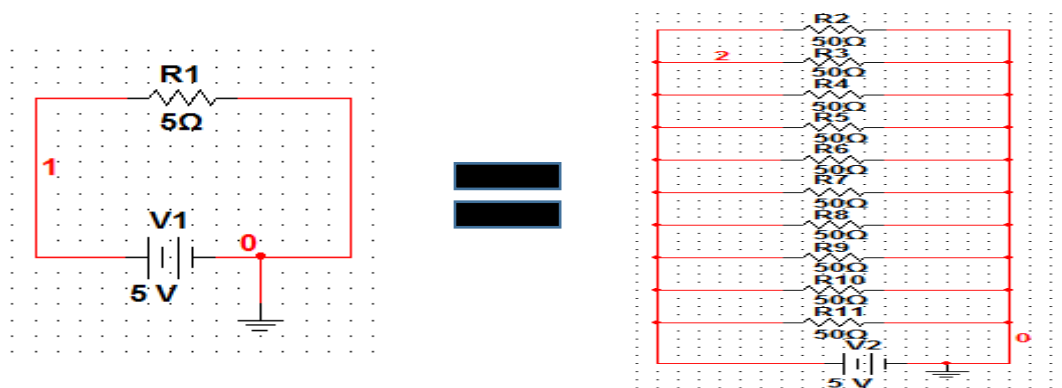


Figura 18. Circuits de resistències equivalents

## 5. MUNTATGE DELS CIRCUITS SIMULATS I COMPROBACIÓ

En aquest apartat es mostraran, descriptivament i visualment, els processos que s'han executat per tal de verificar etapa a etapa el funcionament dels circuits simulats anteriorment:

- Procés 1)** Comprovació empírica del diferencial de potencial real de la Cèl·lula Peltier.
- Procés 2)** Comprovació de l'etapa 2 (amplificació i filtratge), primerament utilitzant una font d'alimentació externa (FAE).
- Procés 3)** Comprovació de l'etapa 3 (energia elèctrica de baixa tensió), també utilitzant una font d'alimentació externa (FAE).
- Procés 4)** Comprovació de les etapes 2 i 3, utilitzant una font d'alimentació externa (FAE).
- Procés 5)** Comprovació del circuit total, ajuntant totes les etapes a la vegada, utilitzant la/les Cèl·lules Peltier com a font d'alimentació.

### 5.1. Comprovació empírica del voltatge d'una Cèl·lula Peltier

Seguidament, es mostrarà quina es la tensió de sortida d'una cèl·lula Peltier posant la mà a la cara "calenta" d'aquesta.

A la següent imatge tenim el muntatge per mesurar la tensió, sense aplicar calor a cap cara de la cèl·lula Peltier:

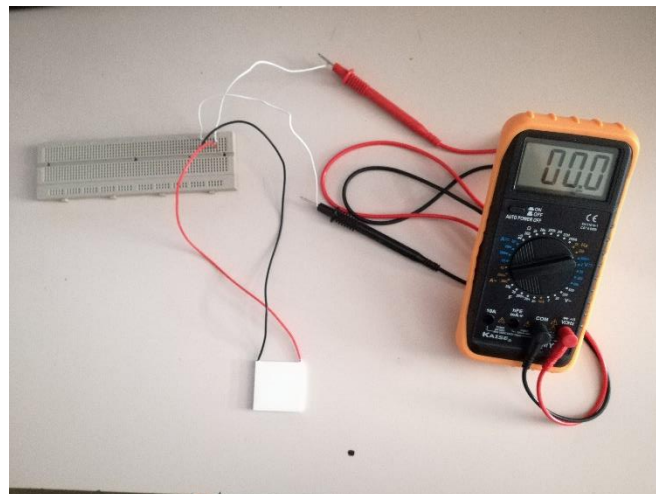


Figura 19. Muntatge per calcular la tensió d'una Cèl·lula Peltier



I posteriorment, es procedirà a aplicar calor sobre aquesta, obtenint el voltatge que es veurà a la imatge següent:

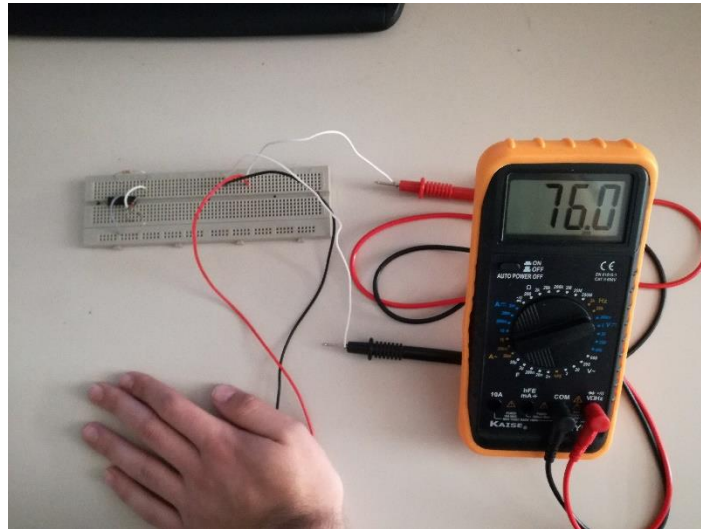


Figura 20. Valor de la tensió d'una Cèl·lula Peltier aplicant calor corporal

Es pot apreciar que el voltatge que es genera es molt baix, al voltant dels 80mV, tal i com s'esperava, per això es va decidir utilitzar més d'una cèl·lula Peltier en sèrie per tal de generar una tensió més gran.

A la següent figura es podrà veure el muntatge amb 5 cèl·lules Peltier:

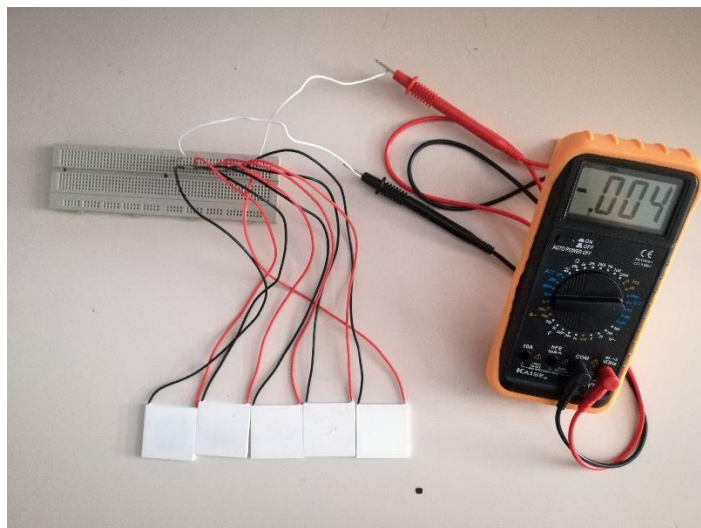


Figura 21. Muntatge per calcular la tensió de 5 Cèl·lules Peltier

I com s'ha fet anteriorment amb una cèl·lula Peltier, es procedirà a aplicar calor sobre les 5 cèl·lules Peltier, procurant aplicar el mateix calor a totes 5 plaques per tal d'obtenir un voltatge "homogeni". El voltatge obtingut ha sigut el següent:

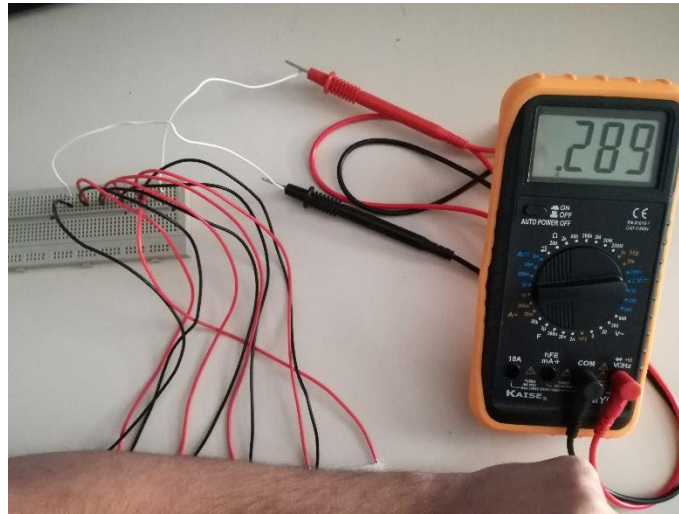


Figura 22. Valor de la tensió de 5 Cèl·lules Peltier aplicant calor corporal

## 5.2. Comprovació de l'etapa 2 amb FAE

A continuació, es mostrarà la tensió de sortida (i amplificada) de la etapa d'amplificació i filtratge utilitzant una font d'alimentació externa.

Primerament, es mostrarà el muntatge real del circuit que s'ha utilitzat, a una placa protoboard, des de diferents punts de vista:

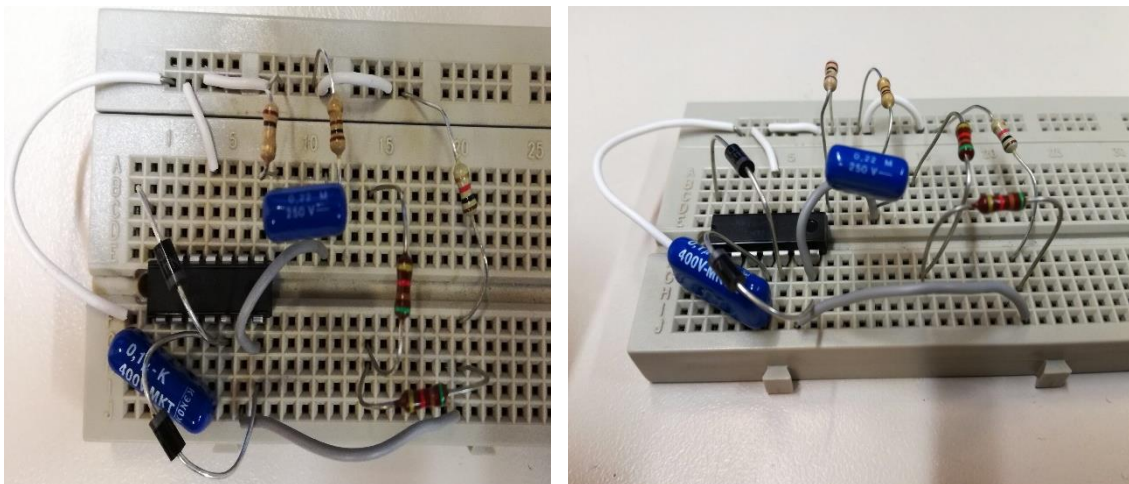


Figura 23 i 24. Muntatge de l'etapa d'amplificació i filtratge des de diferents punts de vista

Seguidament, es senyalarà el punt per on s'ha d'alimentar l'OPAMP ( $V_{OPAMP} = 5V$ ), el punt de voltatge d'entrada de l'OPAMP ( $V_+ = V_{PELTIER} \approx 0.3V$ ) i el punt de sortida de l'OPAMP ( $V_{output} \approx 7.5V$ ):

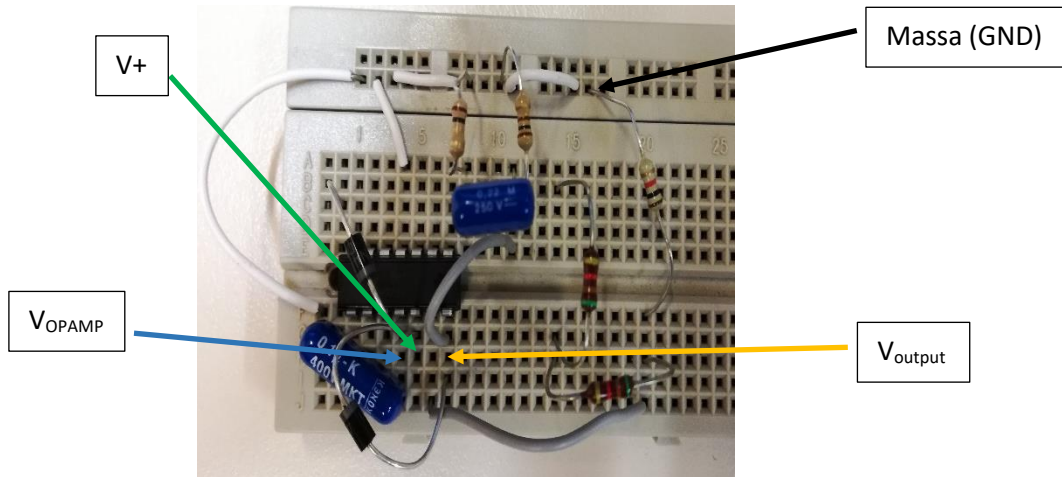


Figura 25. Punts d'entrada, alimentació i sortida del OPAMP

I finalment es mostrarà el resultat del muntatge de la segona etapa del projecte:

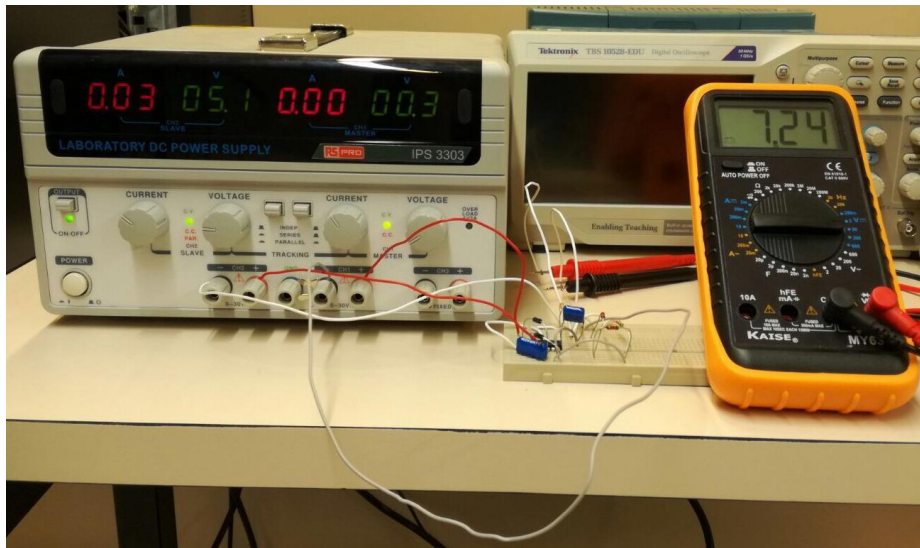


Figura 26. Valor del voltatge de sortida del OPAMP

### 5.3. Comprovació de l'etapa 3 amb FAE

Aquí es visualitzarà la sortida final desitjada, 5V/1A, utilitzant com a voltatge d'entrada una font d'alimentació externa (FAE).

Primerament, es mostrarà el muntatge real del circuit que s'ha utilitzat, a una placa protoboard, des de diferents punts de vista, com a l'etapa anterior:

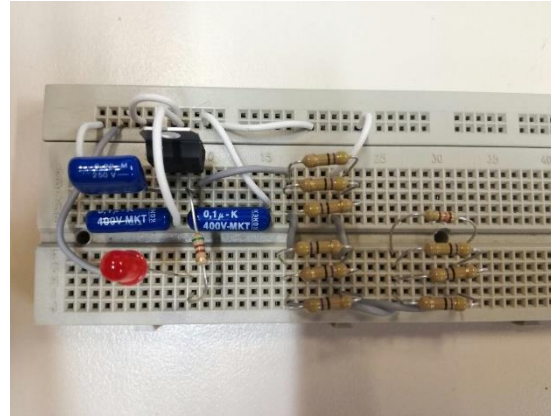
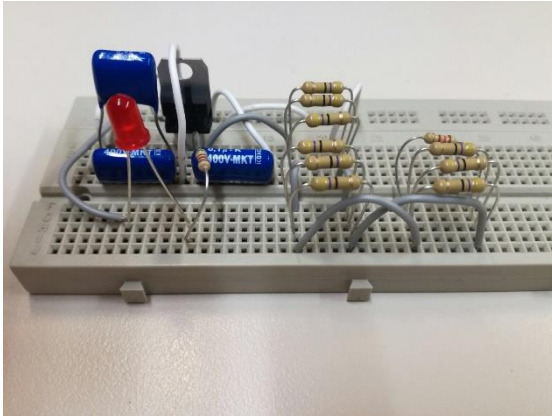


Figura 27 i 28. Muntatge de l'etapa de generació d'energia elèctrica de baixa tensió desde diferents punts de vista

Seguidament, es senyalarà el punt per on s'ha d'alimentar el regulador de tensió ( $V_{input} \approx 7,5V$ ) i el punt de sortida d'on s'aprofitarà aquest voltatge per carregar qualsevol dispositiu que suporti 5V/1A.

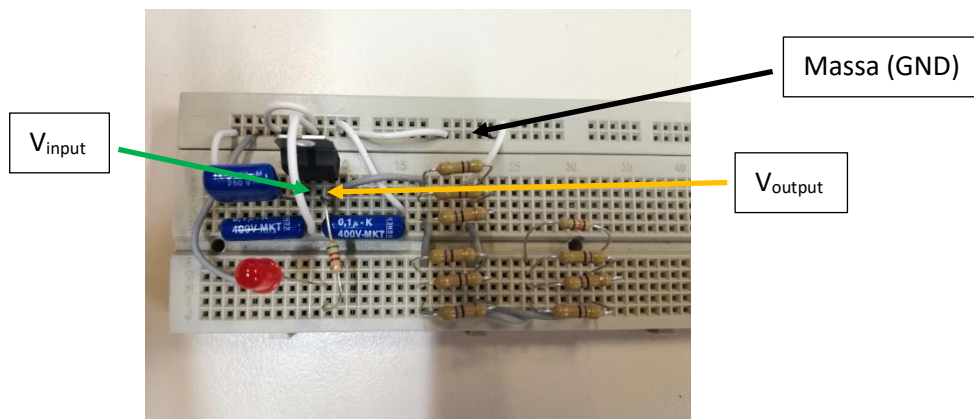


Figura 29. Punts d'entrada i sortida de tensió del regulador de tensió

Finalment, es mostraran els valors finals del muntatge real alimentant el regulador de tensió a 7,5V:

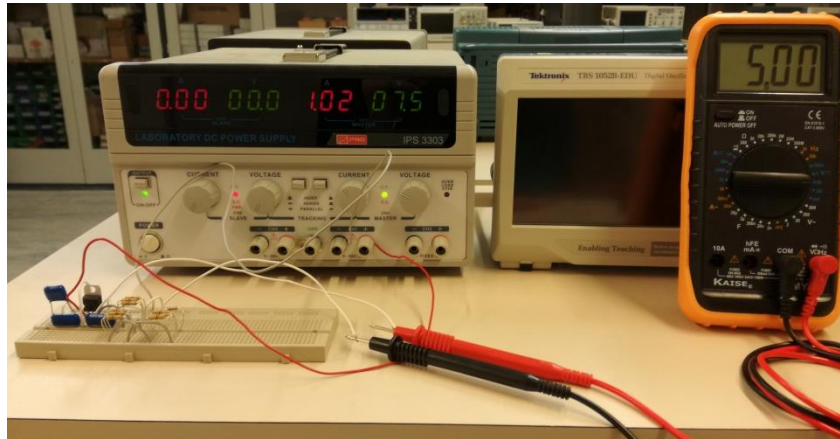


Figura 30. Valor del voltatge de sortida del regulador de tensió

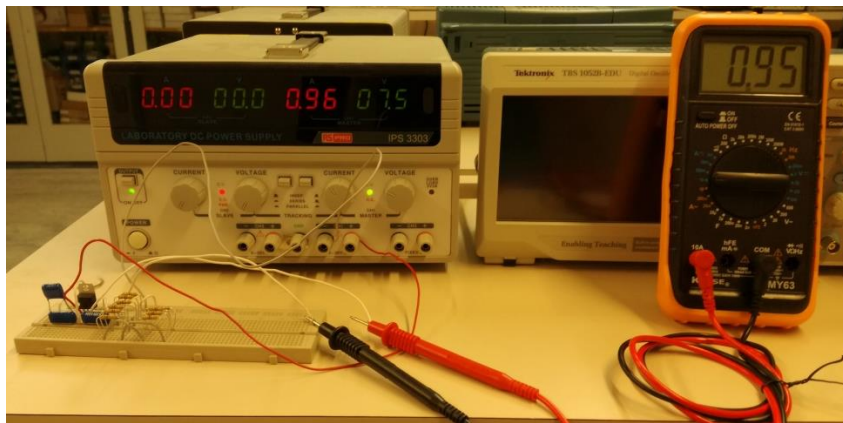


Figura 31. Valor del corrent de sortida del regulador de tensió

#### 5.4. Comprovació de les etapes 2 i 3 amb FAE

En aquest punt, es procedirà a unir els circuits de les etapes 2 i 3, alimentant amb una font d'alimentació externa el punt de V+ de l'OPAMP, i a comprovar el voltatge de sortida del regulador de tensió.

Primerament, es mostrarà el muntatge de les etapes 2 i 3 unides:

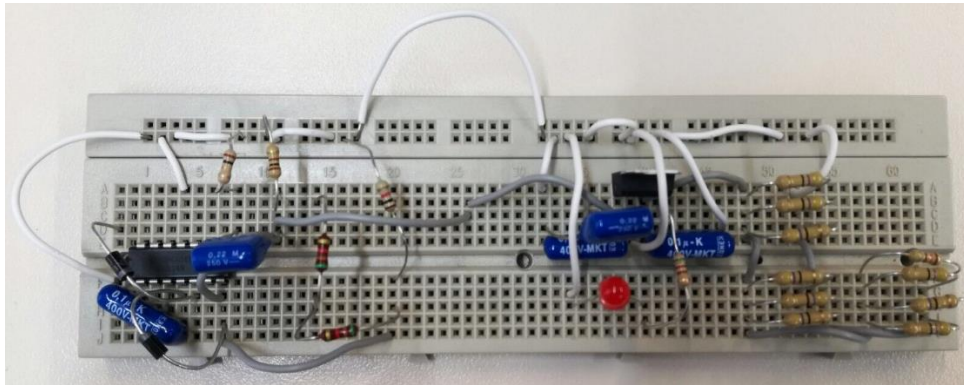


Figura 32. Muntatge de les etapes 2 i 3 unides

Com que als apartats anteriors ja s'han especificat els punts d'alimentació, seguidament es mostrarà el valor de voltatge de sortida del regulador de tensió:

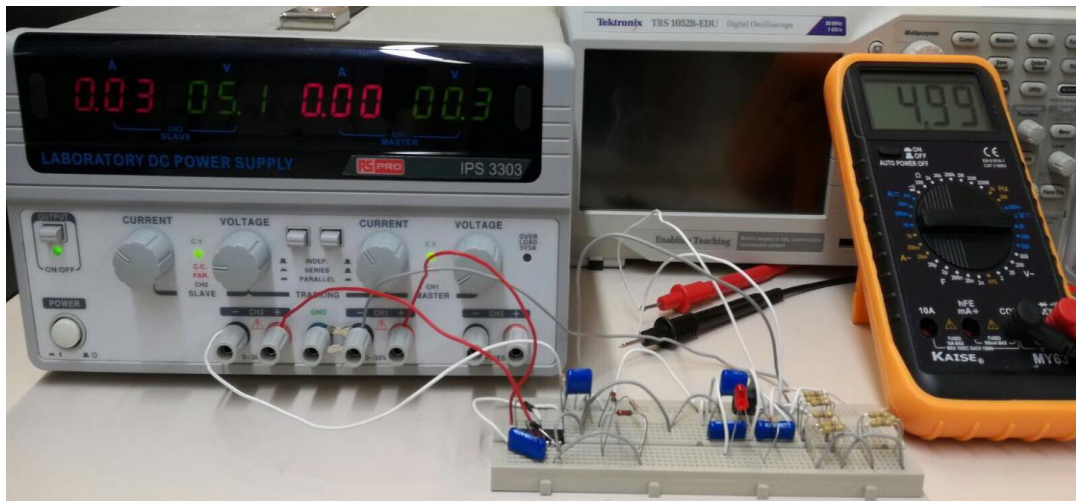


Figura 33. Valor del voltatge de sortida del regulador de tensió amb les etapes 2 i 3 unides

### 5.5. Comprovació del circuit total

Aquí es mostrarà el circuit complet, amb les tres etapes juntes i es comprovarà el voltatge de sortida del regulador de tensió o voltatge final desitjat.

A la següent imatge es mostra el muntatge de les 3 etapes:

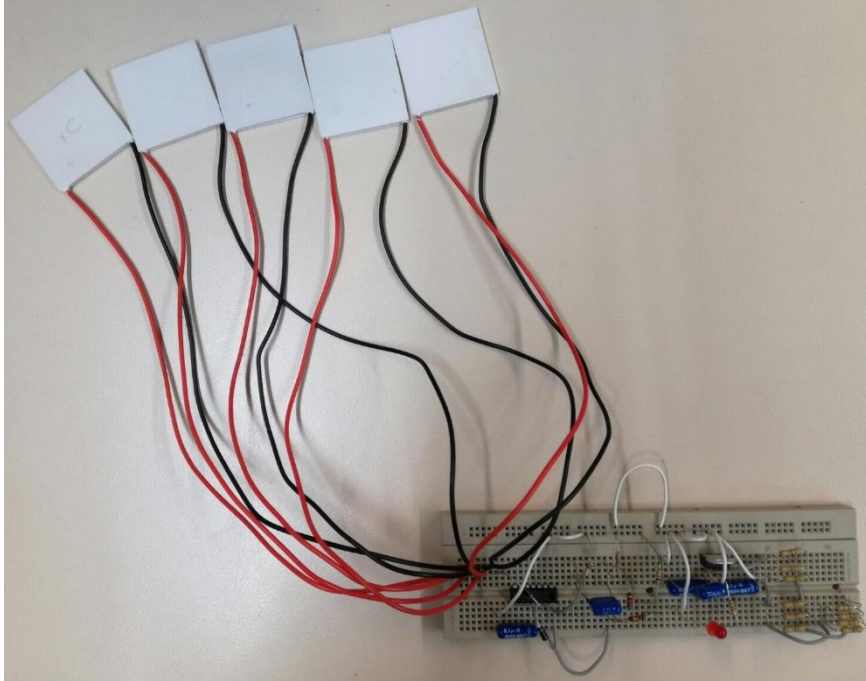


Figura 34. Muntatge final de les 3 etapes

Seguidament es mostrarà la imatge del set-up final, sense aplicar calor corporal a les cèl·lules Peltier:

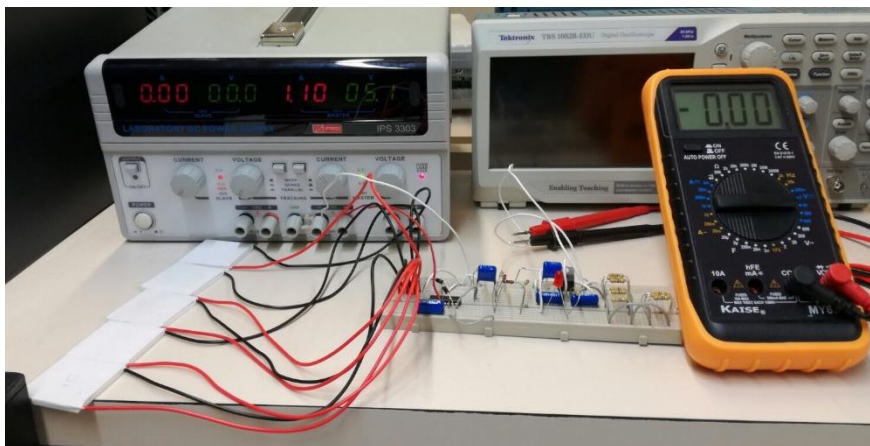


Figura 35. Set-up del muntatge final

I finalment, el circuit amb el valor de tensió final desitjat:

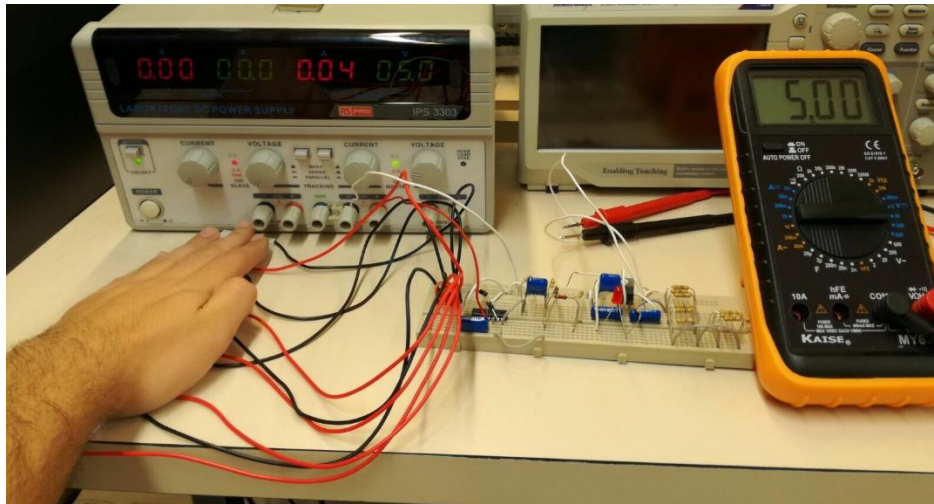


Figura 36. Valor de tensió de sortida final



## 6. PRESSUPOST

En aquest apartat es tindrà en compte el valor monetari, en €, de cada component o objecte utilitzat per dur a terme el projecte per tal de crear un pressupost aproximat del producte final:

	<b>MATERIALS/COMPONENTS</b>	<b>VALOR UNITARI (€)</b>	<b>UNITATS UTILITZADES AL PROJECTE</b>	<b>PREU FINAL (€)</b>
1	Mòdul Peltier, CM23-1.9	2	5	10
2	Pila 5V (Alimentació OPAMP)	2	1	2
3	Díode 1N4007	0,07	2	0,14
4	LED vermell	0,19	1	0,19
5	Regulador de tensió, L7805	0,2	1	0,2
6	USB Femella	1,3	1	1,3
7	Resistència 100Ω	0,02	2	0,04
8	Resistència 47Ω	0,05	10	0,5
9	Resistència 1kΩ	0,02	1	0,02
10	Resistència 1Ω	0,05	1	0,05
11	Resistència 510Ω	0,02	1	0,02
12	Resistència 120Ω	0,02	1	0,02
13	Resistència 5k1Ω	0,03	1	0,03
14	Condensador 0,1μF	0,37	3	1,11
15	Condensador 0,22μF	0,17	2	0,34
16	Amplificador Operacional (OPAMP), LM324	0,59	1	0,59
5	<b>TOTAL</b>	<b>7,1</b>	<b>34</b>	<b>16,05</b>

Taula 4. Material utilitzat al projecte, les unitats utilitzades i el seu preu real aproximat

S'ha de recalcar que aquest es el pressupost inicial per fer el prototip (tot el que s'ha comprat ha sigut específic/al por menor), un cop obtingut el producte final i comprant els components al por major, el pressupost final es redueix a xifres menors.

## 7. ESTALVI ENERGÈTIC

Aquest apartat està enfocat al consum energètic que suposa carregar l'smartphone diàriament i el deixar-se el carregador endollat al corrent amb i sense l'smartphone.

Seguidament, es mostraran dades teòriques que es poden trobar a la web especialitzada en noves tecnologies XATAKA, es podrà trobar l'enllaç de la web a l'apartat bibliogràfic.

Taula amb les dades proporcionades per l'autor de l'article de la pàgina web:

Acció	Consum (W)	Consum anual (kWh)	Cost anual (€/kWh)
Carregar el mòbil	5 W	3,65 kWh	0,6€
Carregador endollat amb el mòbil carregat	<0,5W*	0,438 kWh	0,07€
Carregador endollat sense el mòbil	<0,2W**	1,168 kWh	0,19€
<b>Total</b>	-	<b>5,256 kWh</b>	<b>0,86€</b>

Taula 5. Consums de les accions de càrrega dels smartphones, segons l'autor del article

(\*) Consum orientatiu. Encara que el mesurador indiqui un consum de 0.0W, es necessari saber que el dispositiu no es capaç de detectar consums inferiors a 0.5W i, a més, puntualment es detecten pics de consum (normalment d'1W o 2W durant uns segons) corresponents al funcionament del telèfon, com l'arribada d'una notificació o d'una actualització en segon pla, pel que es pot considerar aquest consum mitjà amb seguretat, encara que probablement sigui menor.

(\*\*) En el cas que només estigui el carregador sol, per a que el mesurador detecti consum de 0.5W es necessari endollar al menys 4 carregadors en una regleta, pel que es segur assumir un consum inferior a 0.2W

Taula amb les dades proporcionades (i contrastades) per la Lawrence Berkeley National Laboratory (LBN):

Acció	Consum (W)	Consum anual (kWh)	Cost anual (€/kWh)
Carregar el mòbil	3,68W	2,69 kWh	0,44€
Carregador endollat amb el mòbil carregat	2,24W	4,9 kWh	0,8€
Carregador endollat sense el mòbil	<0,26W	1,52 kWh	0,25€
<b>Total</b>	-	<b>9,11 kWh</b>	<b>1,5€</b>

Taula 6. Consums de les accions de càrrega dels smartphones, segons la LBN

S'han afegir dos taules per tal de verificar si les dades que proporciona l'autor son fiables o aproximades als valors de la taula de la LBN, i fer una comparació entre les dos taules de mesures.

Es pot comprovar que el consum energètic diari i anual d'un smartphone es diminut i que potser el dispositiu mostrat al projecte es totalment innecessari ja que no surt a compte estalviar-te aquest consum energètic i aquesta quantitat de diners, però hi han altres punts de vista a tenir en compte més enllà del consum i l'estalvi energètic, com:

- La comoditat de poder carregar el teu Smartphone a qualsevol lloc sense la necessitat de trobar algun endoll/lladre quan no estàs a casa o quan estàs a algun establiment quan es té poca bateria o quan vas pel carrer i no portes a sobre una bateria externa.
- El poder aprofitar l'energia que malgastem, ja que l'ésser humà genera constantment calor, com s'ha explicat anteriorment.

Un altre dels punts que no s'ha volgut afegir anteriorment, ja que es més bé una generalització/opinió personal. Actualment, el projecte té un abast reduït ja que proporciona poca potencia però si es segueix treballant en ell, aquest pot millorar en amplis aspectes (tal i com proposo al apartat de modelatge), al igual que si es segueixen descobrint millores notables amb tota la temàtica relacionada amb la termoelectricitat, l'abast podria enxampar-se fins al punt que podria proporcionar tanta energia com per alimentar altres productes quotidians i de la llar que requereixin més potencia d'alimentació.

## 8. IDEES I PROPOSTES

Aquest apartat tractarà de proposar algunes idees per al futur, a curt termini però, depenent de si el prototip es viable o es segueix treballant amb ell més endavant.

Cal recalcar que aquest treball està enfocat en fer un prototip que generi energia elèctrica a partir de la calor corporal, però, també s'han pensat altres idees per a que el prototip o el producte, si s'acaba comercialitzant, sigui més atractiu/dinàmic per al consumidor o comprador:

**Idea #1)** Una de les primeres idees o l'idea principal, si el projecte acaba sent viable (més que una idea és una obligació lògica i necessària) es integrar el prototip a mode de canellera, polsera o un altre ítem que es pugui subjectar i que pugui contactar directament amb alguna part del cos, com per exemple un sostenidor esportiu o una canellera, per tal de que es puguin generar els 5V/1A de la manera més factible possible.

**Idea #2)** Una altra idea seria digitalitzar el prototip, ja que com es pot apreciar, es totalment analògic. Quan es parla de digitalitzar, és referint-se a integrar una petita pantalla amb un Interface, com si es tractés d'un smartphone amb un menú principal, per tal de facilitar el seu ús a l'usuari.

Seguidament, després de crear aquesta Interface es crearia l'opció d'ajustos per tal de que l'usuari pugui programar el seu dispositiu (Hora, data, franja horària, ...) i, més endavant s'inclourien aplicacions, com per exemple:

- RELLOTGE (inclòs dintre de l'opció d'ajustos)
- CRONÒMETRE
- PULSÒMETRE
- COMPTADOR DE CALORIES
- ENTRE D'ALTRES

**Idea #3)** Afegir noves actualitzacions de software (millores de rendiment intern) i hardware (nous models de producte) per a que el producte evolucioni i millori el seu rendiment i funcionament per tal de que el producte prosperi.

## 9. CONCLUSIONS

Per concloure el treball, es parlarà del per què es va triar realitzar aquest treball, del procés de la seva realització, dels problemes que he tingut durant el seu muntatge, entre d'altres.

Com a primer punt d'aquest apartat, parlant en un to personal, vaig triar aquest fer aquest projecte ja que portava temps buscant una forma alternativa de càrrega de mòbils ja que el tenir que carregar dos dispositius, l'smartphone i la bateria portàtil, a casa per tal de poder tenir una càrrega extra o tenir que dependre d'algun endoll que podies trobar al carrer o a qualsevol establiment no era gaire còmode, en la meva opinió.

Per aquesta raó, i aprofitant que tenia que fer el treball de fi de carrera més endavant, vaig estar pensant diferents idees per tal de poder carregar el mòbil quan vulgues o quan ho necessités.

Vaig estar pensant en diferents tipus d'energies renovables, entre elles estava la que està més en auge, l'energia solar fotovoltaica, però només seria útil durant les hores de sol, a part que ja existeixen dispositius de càrrega de mòbils d'aquest tipus i no era res innovador. El mateix em passava amb els altres tipus d'energia renovable, no trobava una energia que pogués ser útil a qualsevol hora del dia sense que tenir que dependre d'algun factor.

De tant buscar i pensar, vaig arribar a la conclusió de què, l'ésser humà posseeix una qualitat aproximadament constant que només depèn d'ell mateix, la calor corporal. Dintre de la calor corporal, vaig poder trobar un tipus d'energia que no ha estat gaire explotat actualment, la termoelectricitat.

Un cop ja trobat el tipus d'energia on volia centrar el projecte, vaig començar a buscar informació sobre la termoelectricitat i les seves aplicacions, i vaig trobar bastant inconvenients i un d'ells va ser que, per obtenir uns  $\approx 10V$  de tensió elèctrica es necessiten diferències de temperatura elevats, mínim uns  $50^{\circ}C$ , i al projecte el màxim diferencial de temperatura seria d'uns  $20-30^{\circ}C$ , els  $36,5^{\circ}C$  de temperatura corporal i la temperatura ambient, però buscant informació sobre els diferents efectes termoelèctrics, vaig pensar que encara que obtingués un diferencial de potencial baix, aquest es podria filtrar, amplificar i utilitzar per a l'aplicació que es tenia pensat des d'un principi.

Abans de res provar res físicament, es van simular tots els circuits, a partir del programa Multisim, que tenia pensat i els resultats eren positius i prometedors, segons el meu punt de vista. Però a l'hora posar els resultats teòrics en pràctica, van haver-hi complicacions.

Per començar, es tenia pensat utilitzar només un parell de plaques Peltier, però degut a la seva baixa generació de tensió es van augmentar les unitats a utilitzar al projecte fins a poder obtenir els  $300mV$  que es volien.

Seguidament, un altra part que ha donat molts mals de cap ha sigut el muntatge de la etapa d'amplificació i filtratge, degut a que no s'obtenien els mateixos resultats (o aproximats) que als resultats obtinguts al fer la simulació per Multisim, possiblement per alguna especificació interna del IC en concret que no es tenia en compte, encara que finalment es va poder aconseguir amplificar la tensió de la cèl·lula Peltier fent uns arranjaments.

I a la última etapa, l'únic inconvenient va ser que, inicialment, es volia utilitzar un altre regulador de tensió determinat, LM1086, però va ser impossible d'aconseguir ja que no es trobava a cap tenda d'electrònica, i d'altra banda, era un regulador de tensió bastant car si es comprava per internet, per això vaig decidir canviar al L7805, el regulador de tensió per excel·lència, més fàcil de trobar, més barat i amb la mateixa utilitat que el LM1086. A l'hora de fer el muntatge no va haver-hi cap complicació, ja que els resultats van coincidir tant al muntatge simular pel Multisim com al muntatge real.

Per acabar l'apartat, he de dir que la realització del treball ha sigut laboriosa i complicada, ja que mai havia treballat amb termoelectricitat, però la veritat es que estic satisfet i content amb el treball fet, i espero poder seguir treballant en aquest àmbit, ja que penso que pot tenir molta sortida actualment i llarg termini.

## 10. BIBLIOGRAFIA

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Madrid. *Control de una Célula Peltier*. Prácticas de Universidad. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

<[http://www.elai.upm.es/moodle/pluginfile.php/1834/mod\\_resource/content/0/laboratorio/Pract4RAPeltierv1.pdf](http://www.elai.upm.es/moodle/pluginfile.php/1834/mod_resource/content/0/laboratorio/Pract4RAPeltierv1.pdf)> [Consulta: 29 de noviembre del 2016]

Herranz Pindado, R. (2008). *Climatización mediante células Peltier*. Trabajo de final de Grado. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) de la Universidad Pontificia Comillas.

<<https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/48c66604d0038.pdf>> [Consulta: 29 de noviembre del 2016]

Muñoz Zurdo, R. (2013). *Diseño de un sistema termoeléctrico aprovechando características geotérmicas*. Trabajo de final de Grado. Vilanova i la Geltrú: Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú.

<<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19525/Mem%C3%B2ria.pdf>> [Consulta: 26 de setembre del 2016]

NXP Semiconductors. (1995). *LM324 Datasheet* (arxiu PDF). Adquirit a

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/17871/PHILIPS/LM324.html>

NXP Semiconductors. (1996). *1N4007 Datasheet* (arxiu PDF). Adquirit a

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/15032/PHILIPS/1N4007.html>

STMicroelectronics. (2012). *L7805 Datasheet* (arxiu PDF). Adquirit a

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/555714/STMICROELECTRONICS/L7805.html>

@minues (2015). "No imagines el dinero que te cuesta cargar el smartphone" a Xataka, 18 de febrer.<<https://www.xataka.com/moviles/no-imaginas-el-dinero-que-te-cuesta-cargar-el-smartphone>>

[Consulta: 9 d'abril de 2017]