



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

EFECTO PELTIER Y DESARROLLO DE POSIBLES APLICACIONES

**MEMORIA PRESENTADA POR:
AINHOA AZORÍN PENALVA**

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Convocatoria de defensa: JUNIO 2018

Índice

1. Resumen	1
1.1. Resumen en castellano	1
1.2. Resum en valencià	1
1.3. Abstract	1
2. Objeto y motivación	1
2.1. Objeto	1
2.2. Motivación	1
3. Listado de imágenes	2
4. Nomenclatura Utilizada	3
5. Definiciones	4
6. Introducción	7
6.1. Efecto Termoeléctrico	7
6.2. Efecto Seebeck	10
6.3. Efecto Peltier	11
6.4. Efecto Thomson	14
6.5. Efecto Joule	15
7. Células Peltier	16
7.1. Ecuaciones de la Célula Peltier	19
8. Aplicaciones	21
8.1. Desarrollo experimental	21
8.2. Nevera conservadora de bebidas	22
8.3. Enfriador personal	24
8.4. Calienta biberones	28
9. Práctica	33

9.1. Conceptos Previos	33
9.2. Desarrollo de la Práctica	33
9.2.1. Objetivo	33
9.2.2. Material	33
9.2.3. Procedimiento Experimental	34
10. Bibliografía	34

1. Resumen

1.1. Resumen en castellano

En este trabajo de fin de grado he estudiado las diferentes tipologías de efectos termoelectricos. De todos ellos, me he centrado en las Células Peltier (basadas en el efecto Peltier) y en su viabilidad o posibles aplicaciones en la práctica.

1.2. Resum en valencià

En aquest treball de fi de grau he estudiat les diferents tipologies d'efectes termoelectrics. De tots ells, m'he centrat en les Cèl·lules Peltier (basades en l'efecte Peltier) i en la seva viabilitat o possibles aplicacions en la pràctica.

1.3. Abstract

In my dissertation I have studied the different thermoelectric effect typologies, with special attention to the Peltier cells (based in the Peltier effect) and their viability and possible applications in our time.

2. Objeto y motivación

2.1. Objeto

El objeto del presente trabajo de fin de grado consiste en conocer el funcionamiento de las Células Peltier y las posibles aplicaciones de estas en la actualidad. Para ello, se han diseñado tres aplicaciones en las cuales se pueden apreciar perfectamente el efecto de estas Células Peltier.

He profundizado en la explicación de los sistemas termoelectricos, con el fin de poder entender correctamente el funcionamiento de las Células Peltier y así poder proponer posibles aplicaciones.

A la hora del diseño de las aplicaciones, no solo se ha tenido en cuenta el sistema de las Células Peltier, sino que también se han empleado conocimientos de ingeniería para su construcción y su alimentación.

Para la realización de dicho trabajo se ha tomado contacto con ciertos programas como son, AutoCAD para los diseños de las imágenes tanto en 2D como en 3D; Arduino.exe para la configuración de la placa de Arduino UNO; Fritzing.exe para el diseño de la parte de Arduino UNO; y LaTeX Editor para la redacción de este trabajo de fin de grado.

2.2. Motivación

La motivación para la realización de este trabajo de fin de grado nace de la asignatura de "Termodinámica", en la cual se enseña parte de la física que estudia la acción mecánica del calor y las restantes formas de energía. Esto me hizo querer buscar un sistema en el cual combinara la termodinámica con la electricidad. No obstante, también he querido mostrar otros conocimientos de ingeniería obtenidos en estos cuatro años tales como: programación y control, Electrónica de potencia, energías renovables, circuitos eléctricos, etc.

Además, la disponibilidad de estos dispositivos empleados, a precios asequibles, hace posible pensar en la futura aplicabilidad.

3. Listado de imágenes

Índice de figuras

1.	Primer Principio de la Termodinámica	6
2.	Efecto Termoeléctrico	7
3.	Los trece semiconductores	8
4.	Estructura tipo tetraédrico	9
5.	Comportamiento semiconductores tipo N	9
6.	Comportamiento semiconductores tipo P	10
7.	Efecto Seebeck	10
8.	Esquema efecto Peltier	12
9.	Cambio de polaridad	12
10.	Efecto Peltier	13
11.	Comportamiento de los electrones	14
12.	Efecto Thomson	14
13.	Efecto Thomson Positivo	15
14.	Efecto Thomson Negativo	15
15.	Célula Peltier	16
16.	Comportamiento básico de una Célula Peltier	17
17.	Comportamiento de los portadores de carga dentro de un arreglo de semiconductores	18
18.	Partes de la Célula Peltier	19
19.	Efecto Peltier y Joule junto con los de transmisión de calor	20
20.	Disipador de Calor	21
21.	Ventilador	22
22.	Fuente de alimentación	23
23.	Circuito eléctrico de la aplicación de la nevera	24
24.	Base de la nevera (Caja de tornillos)	24
25.	Montaje de la Célula Peltier para la aplicación de la nevera	25
26.	Perfiles de la Célula Peltier para la aplicación de la nevera	25
27.	Nevera conservadora de bebidas	25

28.	Fuente de alimentación (universidad)	26
29.	Montaje de la Célula Peltier para la aplicación del enfriador personal	26
30.	Perfiles de la Célula Peltier para la aplicación del enfriador personal	27
31.	Arduino Uno	27
32.	Relé	28
33.	Sensor de temperatura LM35D	28
34.	Montaje Arduino	29
35.	Montaje Arduino de forma esquemática	29
36.	Código programado en el Arduino	30
37.	Circuito eléctrico de la aplicación del enfriador personal	30
38.	Vaso de acero inoxidable	31
39.	Circuito eléctrico de la aplicación del calentabiberones	31
40.	Montaje de la Célula Peltier para la aplicación del calentabiberones	32
41.	Perfiles de la Célula Peltier para la aplicación del calentabiberones	32

4. Nomenclatura Utilizada

En la siguiente tabla se muestra la nomenclatura utilizada en este trabajo de fin de grado con el objetivo de que el lector sea capaz de identificar gran parte de la terminología que aparece posteriormente.

Cuadro 1: Nomenclatura utilizada para el cálculo del ciclo de trabajo, de los elementos pertenecientes al secundario y del interruptor

Nombre	Símbolo	Unidades
Voltaje	V	V
Intensidad	I	A
Temperatura	T	K
Metros	m	m
Newton	N	N
Vatio	W	W
Tiempo	t	s
Trabajo	W	J
Ohmio	Ω	Ω
Julio	J	J
Materiales conductores diferentes	A y B	adimensional
Coefficiente Seebeck	α	$\frac{mV}{K}$
Coefficiente Seebeck de los metales A y B	S_A y S_B	$\frac{mV}{K}$
Fuerza electromotriz	f.t.e.m.	V
Temperaturas de las uniones	T_1 y T_2	K
Coefficiente Peltier	Π	$\frac{K}{V}$
Coefficiente Peltier de todo el termopar	Π_{AB}	$\frac{K}{V}$
Coefficiente Peltier de los materiales	Π_A y Π_B	$\frac{K}{V}$
Calor en transferencia de energía por diferencia de temperatura	\dot{Q}	$\frac{W}{m^2}$
Resistividad del material	ρ	$\Omega \cdot m$
Gradiente de temperatura a lo largo de una longitud	$\frac{dT}{dx}$	$\frac{K}{m}$
Coefficiente Thomson	μ	$\frac{Km^2}{N}$
Efecto Joule	ρJ^2	J
Calor de Thomson	$\mu J \frac{dT}{dx}$	J
Cara caliente de la Célula Peltier	Q_{PC}	J
Temperatura de la cara caliente	T_C	K
Temperatura de la cara fría	T_F	K
Resistencia eléctrica	R	Ω
Conducción térmica entre la cara caliente y la cara fría	Q_{CT}	J
Resistencia térmica entre la cara caliente y la cara fría	R_{TH}	Ω
Potencia eléctrica suministrada a la Célula Peltier	P_e	W
Corriente Continua	DC	A
Corriente Alterna	AC	A
Termopotencia	Q	$\mu V/K$
Conductividad Eléctrica	σ	$\frac{1}{\Omega m}$
Conductividad Térmica	λ	$\frac{W}{mK}$
Energía	E o Q	J
Potencia consumida	P	W

5. Definiciones

En este apartado se explicarán términos utilizados en este trabajo de fin de grado con el objetivo de que el lector sea capaz de entender las explicaciones.

Intensidad Térmica: el calor es una manifestación de energía provocada por el movimiento molecular. Al calentarse un cuerpo, aumenta la energía cinética de las moléculas, produciéndose choques más o menos violentos, según la cantidad de calor entregada. El calor es susceptible de medir; lo que se efectúa teniendo en cuenta dos magnitudes fundamentales: intensidad de calor o intensidad térmica y cantidad de calor.

Intensidad Eléctrica: la intensidad de corriente eléctrica (I) es la cantidad de electricidad que circula por un circuito en la unidad de tiempo (t).

Electricidad: es el conjunto de fenómenos físicos relacionados con la presencia y flujo de cargas eléctricas.

Corriente eléctrica: un flujo o desplazamiento de partículas cargadas eléctricamente por un material conductor.

Disipar: hacer desaparecer una cosa de la vista poco a poco por la disgregación y dispersión de sus partes.

Ley cero de la termodinámica: establece que, cuando dos cuerpos están en equilibrio térmico con un tercero, éstos están a su vez en equilibrio térmico entre sí a la misma temperatura.

Emisividad (ϵ): es la propiedad que indica la eficiencia con que una superficie emite radiación térmica. Es fundamental tener claro que es una propiedad de la superficie del objeto, igual que hay materiales que conducen bien la electricidad y otros no, hay superficies que emiten radiación térmica mejor que otras. Pero, ¿en qué consiste la emisividad? Existe un objeto (ideal) al que llamamos cuerpo negro que emite la máxima radiación posible en todas las temperaturas, se considera que tiene $\epsilon = 1$. Pues bien, la emisividad de los objetos reales es la relación entre la energía térmica que emite su superficie y un cuerpo negro a la misma temperatura, por lo tanto su valor tendrá un mínimo de 0 y un máximo de 1. La emisividad también puede variar dependiendo del material, de la textura de la superficie, del ángulo de visión, de la geometría, de la longitud de onda y de la temperatura.

Calor: forma en que intercambian energía dos cuerpos debido a que están a temperatura diferente. Esto ocurre cuando los electrones se mueven de forma totalmente aleatoria, impactando e interaccionando con otras partículas y, por lo tanto, generando movimiento y desprendimiento de calor. Pero, ¿por qué se desprende esa energía en vez de conservarla? pues, todos los sistemas tienden por naturaleza a buscar una situación de reposo o calma, por ello, cuando este estado de relativa calma se altera, los sistemas intercambian energía con los que les rodean para tratar de aproximarse lo máximo posible a dicho estado.

Termodinámica: es el campo de la física que describe y relaciona las propiedades físicas de la materia y sus intercambios energéticos. El interés de la termodinámica se centra especialmente en considerar la manera en que se transforman las distintas formas de energía y la relación existente entre estos procesos y la temperatura. La termodinámica recoge cuatro principios fundamentales: principio cero de la termodinámica, primer principio de la termodinámica, segundo principio de la termodinámica y tercer principio de la termodinámica.

Principio cero de la termodinámica: cuando dos cuerpos están en equilibrio térmico con un tercero, estos están a su vez en equilibrio térmico entre sí. Este principio nos ayuda a definir la temperatura, como una propiedad de un sistema, tal que los sistemas en equilibrio térmico tengan la misma temperatura.

Primer principio de la termodinámica: en cualquier proceso, la energía total se conserva. Este principio se refiere a la "ley de conservación de la energía". La energía no puede ser creada o destruida, sin embargo la energía puede ser modificada o cambiar de forma [Figura 1](#).

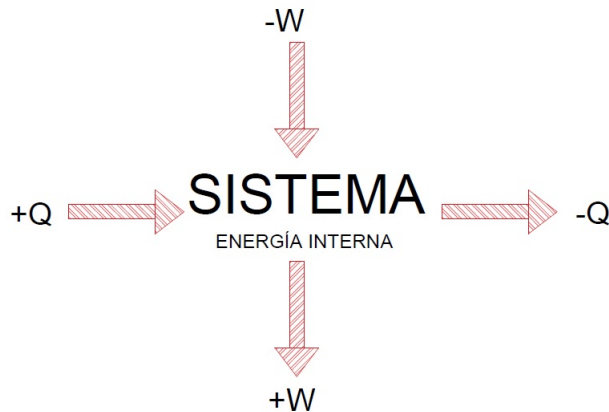


Figura 1: Primer Principio de la Termodinámica

Segundo principio de la termodinámica: en todo proceso reversible, la entropía del universo permanece constante. En todo proceso irreversible la entropía del universo aumenta. Es decir, se refiere a una variedad de procesos, reversibles e irreversibles. Todos los procesos naturales son irreversibles. Los procesos reversibles son una ficción teórica conveniente y no ocurren en la naturaleza.

Tercer principio de la termodinámica: en cualquier proceso isotérmico que implique sustancias en equilibrio interno, la variación de la entropía tiende a cero cuando la temperatura tiende a cero absoluto. Este principio indica que el cero absoluto es imposible de alcanzar en un número finito de pasos.

Entropía: es la magnitud termodinámica que indica el grado de desorden molecular de un sistema.

Transferencia de Calor: es el proceso de propagación del calor en distintos medios. La transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto. El proceso persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas.

Conducción: es básicamente un mecanismo de cesión de energía entre partículas contiguas. La energía de las moléculas aumenta al elevarse la temperatura. Esta energía puede pasar de una molécula a otra contigua y de esta a la siguiente y así sucesivamente ya sea por choque entre partículas, en los fluidos o por vibraciones reticulares en los sólidos. La transmisión de calor por conducción puede realizarse en cualquiera de los tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso. El calor que se transfiere por conducción, viene dada por la Ley de Fourier [Ecuación 1](#):

$$\dot{Q}_x = -k \frac{dT}{dx} \rightarrow \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1)$$

Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal, es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo.

Convención: implica transporte de energía y materia, por lo tanto esta forma de transmisión de calor es posible solamente en los Fluidos y es además característica de ellos.

Radiación: es el calor emitido por un cuerpo debido a su temperatura, en este caso no existe contacto entre los cuerpos, ni fluidos intermedios que transporten el calor. Simplemente por existir un sistema

termodinámico A (sólido, líquido o gas) a una temperatura mayor que un sistema termodinámico B existirá una transferencia de calor por radiación de A a B.

Dopaje: proceso intencional de agregar impurezas en un semiconductor extremadamente puro con el fin de cambiar sus propiedades eléctricas. Las impurezas utilizadas dependen del tipo de semiconductores a dopar.

Impurezas pentavalentes: son elementos cuyos átomos tienen cinco electrones de valencia en su órbita exterior. Entre ellos se encuentra el fósforo, el antimonio y el arsénico.

Impurezas trivalentes: son elementos cuyos átomos tienen tres electrones de valencia en su órbita exterior. Entre ellos se encuentra el boro, el galio y el indio.

6. Introducción

6.1. Efecto Termoeléctrico

El Efecto Termoeléctrico en un material (semiconductor) relaciona el flujo de calor que lo recorre con la corriente eléctrica que lo atraviesa, es decir, tal y como se muestra en la [Figura 2](#), en un material termoeléctrico (conductor metálico) al aplicarle una fuente de calor en un extremo del conductor (T_2) origina que los electrones se muevan hacia la parte fría del conductor (T_1), generando una corriente eléctrica. En cambio, si a ese conductor se le aplica una corriente eléctrica, puede producir el efecto contrario, y podrá disminuir la teoría en el lado frío del conductor.

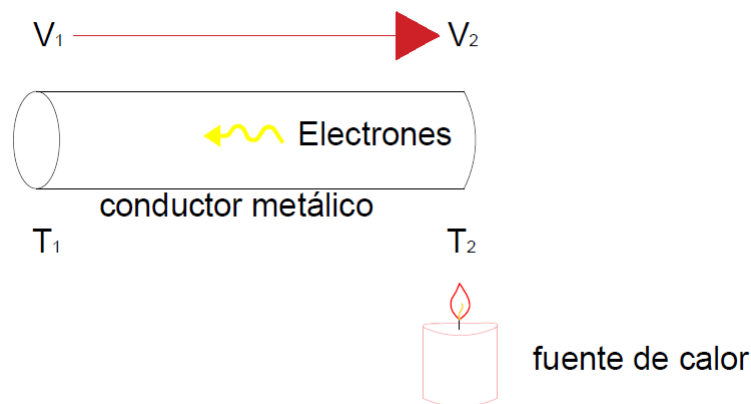


Figura 2: Efecto Termoeléctrico

A escala atómica (en especial, portadores de carga), un gradiente de temperatura aplicado provoca el movimiento de portadores cargados en el material, si hay electrones o huecos, para difundir desde el lado caliente al lado frío, similar a un gas clásico que se expande cuando se calienta; por consiguiente, la corriente es inducida térmicamente.

Tradicionalmente, el término Efecto Termoeléctrico abarca tres efectos identificados separadamente, el Efecto Seebeck, el Efecto Peltier, y el Efecto Thomson. Dichos efectos, en principio pueden ser termodinámicamente reversibles.

Este efecto se puede usar para generar electricidad, medir temperatura, enfriar objetos, calentarlos o cocinarlos. Porque la dirección de calentamiento o enfriamiento es determinada por el signo del voltaje aplicado, ya que los dispositivos termoelectricos producen los controladores de temperatura adecuados.

Este efecto es la base de las aplicaciones de refrigeración y de generación de electricidad.

Los efectos termoelectricos son diferentes fenómenos vinculados por una constante de materia común. La llamada termopotencia Q , se diferencia de los conductores metálicos solo por unos pocos μ V/K. Sin embargo, para la aplicación técnica del efecto Peltier se requieren algunos conductores eléctricos con una tensión termoelectrica mucho mayor.

Semiconductores

Un semiconductor es un material aislante, que cuando se le añaden ciertas sustancias (dopaje) o en un determinado contexto, se vuelve conductor. Esto quiere decir que, de acuerdo a determinados factores como son la temperatura, la presión, la radiación y los campos magnéticos, el semiconductor actúa como de aislante o como conductor. Los semiconductores pueden ser intrínsecos o extrínsecos.

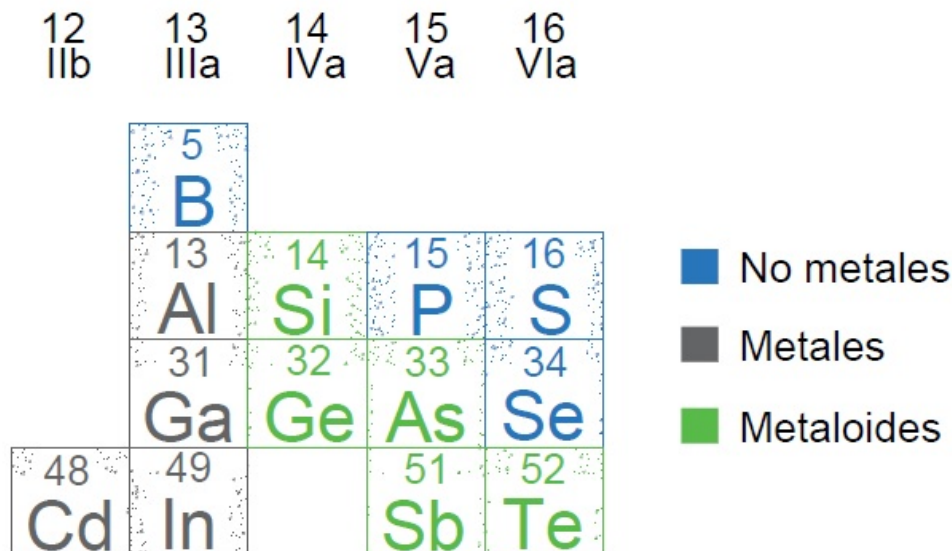


Figura 3: Los trece semiconductores

En la [Figura 3](#) se puede observar los trece semiconductores diferentes que hay, para fabricar semiconductores intrínsecos y extrínsecos.

Los semiconductores intrínsecos son extremadamente puros. Se componen de cristales que, a través de enlaces covalentes entre los átomos, desarrollan una estructura de tipo tetraédrico [Figura 4](#) a temperatura ambiente, estos cristales tienen electrones que absorben la energía que necesitan para pasar a la banda de conducción, quedando un hueco de electrón en la banda de valencia.

Los semiconductores extrínsecos son semiconductores intrínsecos a los que les agregan impurezas, este proceso es conocido como dopaje. De esta manera, se sabe el resultado del proceso que se lleva a cabo para modificar las propiedades eléctricas de un semiconductor. Hay 2 tipos dependiendo de que tipo de impurezas tengan: semiconductores tipo P y semiconductores tipo N.

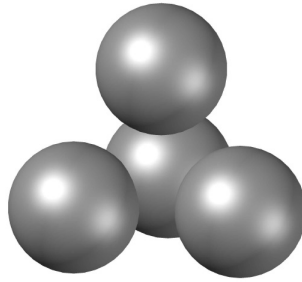


Figura 4: Estructura tipo tetraédrico

Semiconductores tipo N: es el que está impurificado con impurezas “Donadoras”, que son impurezas pentavalentes. Como los electrones superan a los huecos en un semiconductor tipo n, reciben el nombre de “portadores mayoritarios”, mientras que a los huecos se les denomina “portadores minoritarios”.

Al aplicar una tensión al semiconductor de la [Figura 5](#), los electrones libres dentro del semiconductor se mueven hacia la izquierda y los huecos lo hacen hacia la derecha. Cuando un hueco llega al extremo derecho del cristal, uno de los electrones del circuito externo entra al semiconductor y se recombina con el hueco.

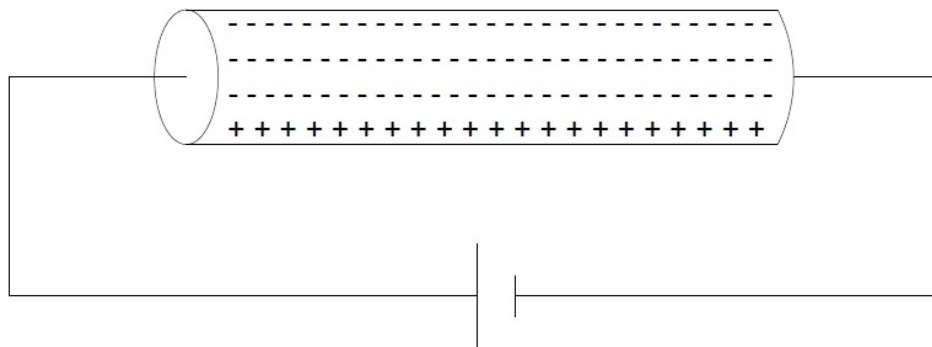


Figura 5: Comportamiento semiconductores tipo N

Los electrones libres de la figura circulan hacia el extremo izquierdo del cristal, donde entran al conductor y fluyen hacia el positivo de la batería.

Semiconductores tipo P:

Es el que está impurificado con impurezas “Aceptoras”, que son impurezas trivalentes. Como el número de huecos supera el número de electrones libres, los huecos son los portadores mayoritarios y los electrones libres son los minoritarios.

Al aplicarse una tensión, los electrones libres se mueven hacia la izquierda y los huecos lo hacen hacia la derecha. En la [Figura 6](#), los huecos que llegan al extremo derecho del cristal se recombinan con los electrones libres del circuito externo.

En el circuito hay también un flujo de portadores minoritarios. Los electrones libres dentro del semiconductor circulan de derecha a izquierda. Como hay muy pocos portadores minoritarios, su efecto es casi despreciable en este circuito.

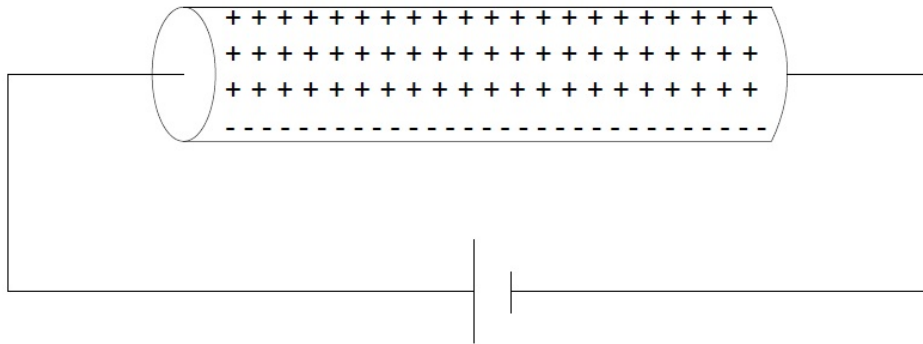


Figura 6: Comportamiento semiconductores tipo P

Los semiconductores tipo P y tipo N separados no tienen mucha utilidad, pero si un cristal se dopa de tal forma que una mitad sea tipo N y la otra mitad de tipo P, esa unión PN tiene unas propiedades muy útiles y entre otras cosas forman los "Diodos"

Entre los semiconductores más empleados en el ámbito de la industria, se encuentran el silicio, el azufre y el germanio. Estos elementos se utilizan para la producción de chips y transistores, entre otros productos.

6.2. Efecto Seebeck

Thomas J. Seebeck en 1820 empezó a investigar experimentalmente las relaciones entre la electricidad y el calor. Por lo que formó un circuito cerrado uniendo dos alambres de dos metales diferentes. A continuación, colocó una aguja de brújula en medio, y al aplicar calor en una de las uniones y la otra unión dejándola a temperatura ambiente, observó que la aguja se movía, esto era posible ya que los metales responden diferente a la diferencia de temperatura, creando una corriente, que produce un campo magnético.

En la [Figura 7](#), se esquematiza el Efecto Seebeck como la creación de una corriente eléctrica en un circuito cerrado por la unión de dos metales distintos, A y B, a los que se le aplica en una de las uniones una temperatura T y en la otra unión, una temperatura $T + \Delta T$. Esto hará aparecer una fuerza electromotriz (f.t.e.m.) que da lugar a una corriente que se mantiene mientras las temperaturas sigan siendo diferentes. El voltaje creado es del orden de varios microvoltios por kelvin de diferencia.

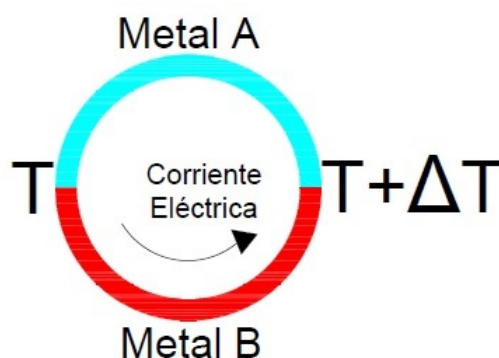


Figura 7: Efecto Seebeck

La relación entre la diferencia de la f.t.e.m y la temperatura viene dada por el coeficiente Seebeck α :

$$\alpha = \frac{dE_{AB}}{dT} \quad (2)$$

El coeficiente Seebeck no es constante:

$$T \uparrow \implies \alpha \uparrow \quad (3)$$

La intensidad que circula por los conductores depende de la resistencia eléctrica.

La f.t.e.m. no depende de la resistencia o sección de los conductores, sino que solo depende de la diferencia de temperatura de las uniones y la naturaleza de los metales o semiconductores [Ecuación 4](#):

$$f.t.e.m. = (S_B - S_A) \cdot (T_2 - T_1) \quad (4)$$

¿Cómo se comportan los electrones?

Si el conductor es calentado en un extremo, los electrones que están presentes en la parte de la unión caliente incrementarán su energía respecto a los electrones que ocupan la unión fría, creando una situación de desequilibrio. Los electrones de la unión caliente fluirán a la parte fría disminuyendo su energía. De esta manera, la transmisión de calor a través del metal está acompañada por una acumulación de cargas negativas en la unión fría, a partir de la cual se crea una diferencia de potencial entre ambos extremos del conductor.

Esta diferencia de potencial continuará existiendo hasta que se llegue a un estado de equilibrio dinámico entre los electrones que fluyen por el gradiente de temperaturas de la unión caliente a la fría y la repulsión electrostática debido al exceso de carga negativa de la unión fría. El aporte de energía calorífica en uno de los extremos nos asegura que la velocidad de transferencia de electrones de la parte caliente a la fría va a ser mayor que de la parte fría a la caliente, con una continua transmisión de calor (conducción térmica) y su correspondiente diferencia de potencial, hasta que se equilibre el gradiente de temperatura. Una vez equilibrado, la transferencia entre ambos extremos se igualará, igualándose también tanto temperatura como potencial.

Sin embargo, si seguimos manteniendo la diferencia de temperaturas, la situación de desequilibrio seguirá existiendo y se seguirá tratando de equilibrar esa situación mediante el transporte de electrones. Esta es la base del Efecto Seebeck.

6.3. Efecto Peltier

Jean-Charles A.Peltier fue un físico francés. Se dedicó a la investigación científica en el campo de la electricidad e investigó sobre los contactos metálicos y sus fenómenos termoeléctricos.

En 1834 descubrió el efecto de bombeo de calor termoeléctrico en estado sólido, conocido como EFECTO PELTIER. El cual en la actualidad es muy utilizado en mecanismos de refrigeración no contaminantes.

El efecto Peltier hace referencia al cambio en la temperatura producido por una unión entre dos metales o semiconductores distintos cuando una corriente eléctrica atraviesa al unión. Sucede cuando una corriente pasa por dos metales o semiconductores conectados (tipo-n y tipo-p), por lo que depende de la composición

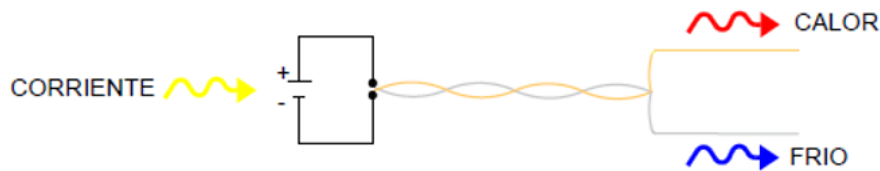


Figura 8: Esquema efecto Peltier

y temperatura de la unión. La unión de los metales debe ser en un contacto íntimo, pero no necesariamente soldada [Figura 8](#).

Este efecto se puede manifestar también como la absorción o liberación de energía térmica cuando en una junta de metales diferentes circula una corriente. La corriente propicia una transferencia de calor de una unión a la otra: una se enfría en tanto que otra se calienta. La dirección de transferencia de calor es controlada por la polaridad de la corriente; invertir la polaridad cambiará la dirección de transferencia y así el signo del calor absorbido/producido [Figura 9](#).

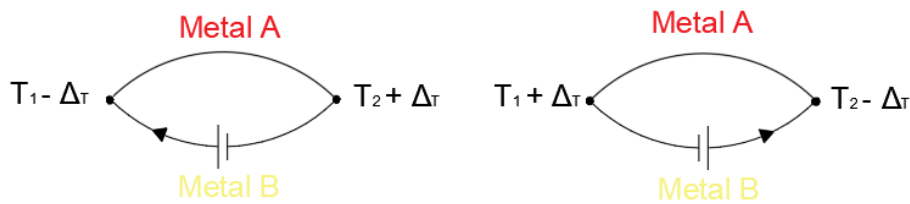


Figura 9: Cambio de polaridad

En la [Figura 10](#) se muestra que cuando una corriente I se hace fluir a través del circuito, se produce calor en la unión T_2 , y se absorbe calor por la unión T_1 .

El coeficiente Peltier es el producto de termopotencia y temperatura [Ecuación 5](#):

$$II = Q \cdot T \quad (5)$$

La cantidad de calor liberada entre los dos conductores, A y B, ([Figura 10](#)) en la unión T_2 por el efecto Peltier se calcula así:

$$W = (II_A - II_B) \cdot I \quad (6)$$

La cantidad de calor absorbido por la unión T_1 ([Figura 10](#)) por el efecto Peltier, se define con la [Ecuación 7](#):

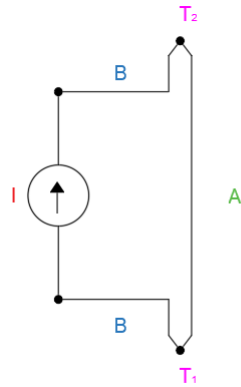


Figura 10: Efecto Peltier

$$\dot{Q} = II_{AB} \cdot I = (II_B - II_A) \cdot I \quad (7)$$

Los coeficientes Peltier representan cuanta corriente de calor se lleva por unidad de carga a través de un material dado. Como la corriente de carga debe ser continua, el flujo de calor asociado producirá discontinuidad si II_A y II_B son diferentes. Esto provoca una divergencia no cero en la unión y así el calor debe acumularse o agotarse allí, según el signo de la corriente.

Sin embargo, con el aumento de la corriente la pérdida eléctrica crece más rápidamente que la transferencia de calor por el efecto Peltier. En consecuencia, la potencia de refrigeración aumenta a partir de una intensidad de corriente determinada a pesar de que la corriente no continúe aumentando, sino que inclusive puede llegar a bajar.

¿Cómo ocurre este fenómeno?

Para explicarlo observamos la [Figura 11](#), en ella podemos ver la unión de dos materiales conductores diferentes, con distintos niveles de energía, como pueden ser un metal y un semiconductor. Los electrones fluyen de uno a otro a través de la unión hasta llegar a una situación de equilibrio. Pero solo los electrones de mayor energía del conductor pueden saltar a través de la unión al semiconductor, mientras que todos los electrones del semiconductor pueden saltar al conductor.

Los electrones del conductor que fluyen al semiconductor pueden transportar energía térmica hacia fuera del material, pero es la misma ganada por los electrones del semiconductor que pasan al conductor en el equilibrio.

Pero si ahora consideramos la situación de desequilibrio del efecto Peltier, en que introducimos una corriente eléctrica, la situación cambia.

Si la corriente eléctrica fluye del conductor al semiconductor, sigue existiendo ese transporte de energía térmica, pero como esta vez el flujo de electrones es mucho mayor que los que pasan del semiconductor al conductor, nos encontramos ante un transporte neto de energía térmica hacia fuera del conductor, lo que hace que éste se enfríe. El semiconductor se calienta, por lo que otra vez más, se ha creado una situación de desequilibrio que se intenta compensar.

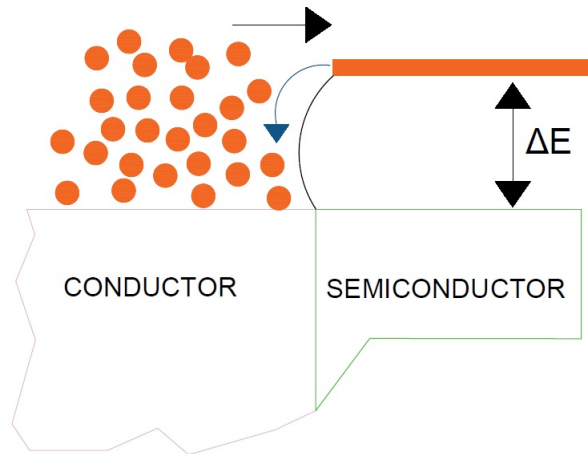


Figura 11: Comportamiento de los electrones

Si invertimos el sentido de la corriente, el flujo de energía térmica también se invierte, y ahora es el semiconductor el que se enfría y el conductor el que se calienta [Figura 9](#).

6.4. Efecto Thomson

William Thomson en 1851 predijo y posteriormente observó experimentalmente el efecto Thomson. Dicho efecto relaciona la f.e.m generada en un conductor homogéneo simple y la diferencia de temperatura entre sus extremos. Esta f.e.m crece con la diferencia de temperatura y depende del metal en cuestión.

También se manifiesta en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula por un metal homogéneo en el que hay un gradiente de temperatura entre sus extremos. La producción de calor por volumen viene definida como [Ecuación 8](#):

$$q = \rho J^2 - \mu J \frac{dT}{dx} \quad (8)$$

Tenemos que tener en cuenta de la [Ecuación 8](#) que el término ρJ^2 no es reversible, y que el término referido al calor de Thomson, $\mu J \frac{dT}{dx}$, cambiará de signo cuando J cambia de dirección.

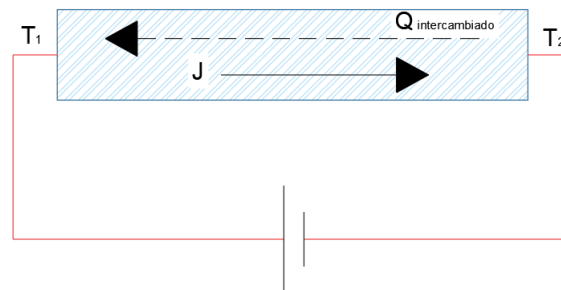


Figura 12: Efecto Thomson

La liberación de calor sucede cuando la corriente circula en el conductor en la misma dirección que lo hace el flujo de calor en el mismo sentido que al que está dado por el gradiente de temperatura mencionado.

Dentro de este efecto podemos diferenciar dos efectos que se producen, el efecto Thomson positivo y el efecto Thomson negativo:

Efecto Thomson positivo consiste en que en ciertos metales como por ejemplo son el Zinc y el Cobre, los cuales tienen un extremo caliente a mayor potencial y un extremo frío a menor potencial, cuando la corriente eléctrica se mueve de un extremo caliente al extremo frío, se mueve de un alto a un bajo potencial, hay una producción de calor.

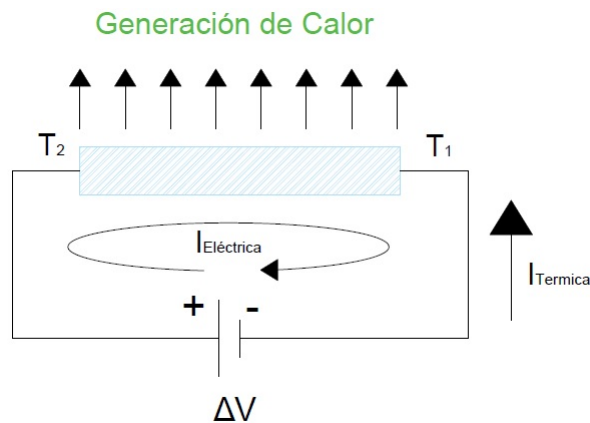


Figura 13: Efecto Thomson Positivo

Efecto Thomson negativo consiste en que en ciertos metales como Cobalto, Níquel y Hierro, los cuales tienen un extremo frío a mayor potencial y un extremo caliente a menor potencial, cuando la corriente eléctrica se mueve de un bajo a un alto potencial, hay una absorción de calor.

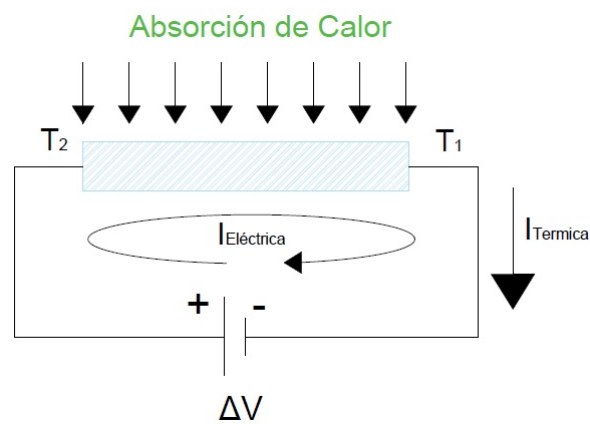


Figura 14: Efecto Thomson Negativo

6.5. Efecto Joule

El físico inglés James Prescott Joule realizó diversos estudios relacionados con los movimientos de las partículas subatómicas, las corrientes eléctricas y la generación de energía. Fue el padre del “efecto

Joule” o “ley de Joule”, uno de los pilares que permiten el desarrollo y el funcionamiento de muchos de los productos que nos rodean en la actualidad.

Este efecto consiste en el desprendimiento de calor provocado por el movimiento de electrones (también conocido como corriente eléctrica) por un material.

Este efecto se recoge en la fórmula [Ecuación 9](#):

$$E = P \cdot t \tag{9}$$

Se conoce como efecto Joule al fenómeno irreversible por el cual si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo.

Según Joule, una corriente eléctrica es justamente un movimiento de electrones. Éstos tienen masa, y por tener una velocidad, adquieren cierta energía cinética. Pero los conductores no son perfectos, y el movimiento de esos electrones es además desordenado. Como resultado, se producen muchos choques, en donde parte de la energía cinética se transforma en energía calórica, que termina elevando la temperatura del conductor.

El efecto Joule y la cantidad de calor que se desprende depende de diferentes variables: la intensidad de corriente, la resistencia, la diferencia de potencial o voltaje, el tiempo y la potencia.

La velocidad a la cual se genera ese calor depende de [Ecuación 10](#):

$$P = I^2 \cdot R \tag{10}$$

Como se puede observar en la [Ecuación 10](#), la intensidad está elevada al cuadrado, lo que significa que el calor que se genera depende mucho más de la corriente eléctrica que está circulando, que de la resistencia del conductor.

7. Células Peltier

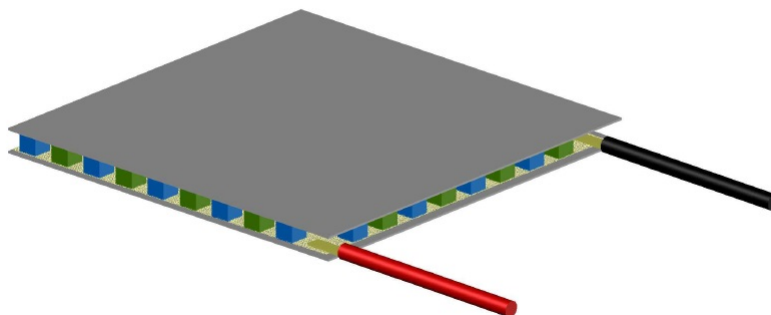


Figura 15: Célula Peltier

Una Célula Peltier se caracteriza por estar conformada principalmente por dos materiales semiconductores, uno de tipo P y otro de tipo N, ambos dopados de forma que se pueda lograr un efecto uniforme de calentamiento y enfriamiento para las superficies de la Célula, a través del control de energía eléctrica proporcionada por una fuente de alimentación.

¿Cómo se genera enfriamiento o calentamiento en las superficies de la Célula?

La corriente suministrada a la Célula provoca que en su interior, el semiconductor sufra un desplazamiento de sus portadores de carga en el interior del material semiconductor, esto genera un exceso de portadores de carga en un extremo del material (lado caliente), y en el otro extremo se genera una ausencia de portadores de carga, lo que provoca que este extremo baje su temperatura (lado frío).

Dada esta condición de los portadores de carga, las Células Peltier se producen en parejas de materiales semiconductores tipo N y tipo P, acopladas de forma paralela térmicamente y en serie eléctricamente. Con varias parejas es posible lograr un área térmica considerable para realizar la función deseada, ya sea calentar o enfriar.

¿Qué son los semiconductores tipo N y tipo P?

El componente más pequeño de un termoelemento es el termopar [Figura 16](#). Consta de dos conductores eléctricos con coeficientes Seebeck muy diferentes para producir la mayor tensión termoelectrónica posible. El material utilizado principalmente son bloques semiconductores unidos con cobre en los extremos. El material más apropiado para aplicaciones a temperatura ambiente es una aleación de bismuto y telurio en dopaje de tipo N y P. En principio, pensaríamos que como son semiconductores extrínsecos se debería formar un conductor, pero no es esto lo que ocurre. Cuando entran en contacto las partes P y N hay una concentración desigual de portadores, en un lado hay exceso de electrones y en el otro de huecos. Se producirá por tanto una corriente de difusión, que tiene como objetivo igualar las concentraciones de portadores, pero hay un efecto que lo frena. Cuando los electrones del lado N abandonan su átomo se producirá un aumento de carga positiva, dado que el protón del átomo no ve compensada su carga con otro electrón. En el lado P pasará lo mismo, cuando los huecos abandonen sus átomos de origen se producirá una carga negativa. Esta concentración de cargas creará un campo eléctrico y la consiguiente barrera de potencial, impidiendo una difusión total de los portadores. Es decir, la corriente de difusión creará, por redistribución de portadores hacia zonas donde son minoritarios, (se compensa con una corriente creada por un campo eléctrico). Entre las dos uniones habrá una zona donde los portadores se recombinarán con los átomos y por lo tanto no habrá más portadores que los propios, es decir, los que se generan térmicamente, y son muy pocos a temperatura ambiente. En esas condiciones la unión de dos conductores resultará en un material no conductor, dada la alta resistividad de la capa donde se han recombinado los portadores. Aunque este comportamiento se puede variar mediante campos o voltajes externos.

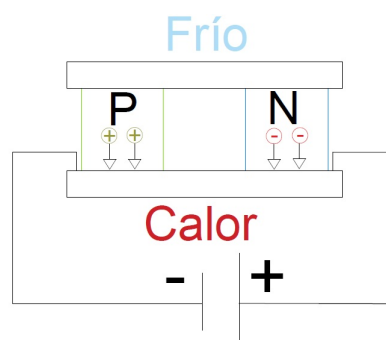


Figura 16: Comportamiento básico de una Célula Peltier

Se puede variar la cara que se enfría y la que se calienta controlando la polaridad de la fuente de corriente continua.

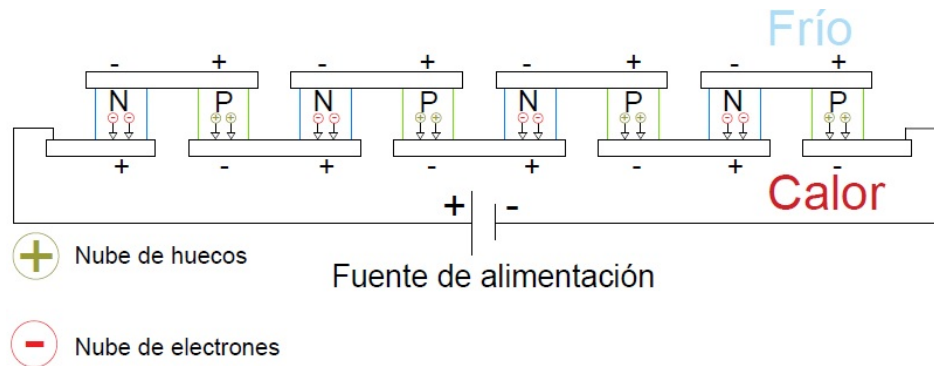


Figura 17: Comportamiento de los portadores de carga dentro de un arreglo de semiconductores

Como se observa en la Figura 16 y Figura 17, al ser polarizados varios bloques de semiconductores puesto en un arreglo en serie eléctricamente, se genera una ausencia de cargas en la parte superior de la celda, mientras que en la parte inferior de la celda se genera un exceso de portadores de carga, que a su vez provoca un aumento de temperatura en esa zona.

¿Como sucede este efecto?

Los portadores mayoritarios (nube de electrones) migran hacia el lado positivo de cada uno de sus extremos en los elementos semiconductores tipo N, debido a la atracción de cargas de diferente signo. Mientras que los portadores mayoritarios (nube de huecos) de los elementos semiconductores P, migran hacia la terminal negativa que se encuentra en cada uno de sus extremos. Esta ausencia de cargas en cada elemento semiconductor cerca de la unión metal-semiconductor provoca una disminución de cargas y el consecuente descenso de temperatura en el área circundante. Por otro lado, la compresión o acumulación de portadores cerca de la unión metal-semiconductor en la parte baja de los elementos semiconductores en la Figura 17, provoca un ascenso de la temperatura. Este comportamiento nos permite afirmar que si invertimos la polaridad de la fuente de alimentación, la cara fría ahora calentará y la cara caliente sufrirá un descenso de temperatura.

Al analizar las partes que constituyen una Célula Peltier en la Figura 18 podemos observar que las superficies de la Célula se componen por una capa gruesa de cerámica, más concretamente de porcelana, las cuales funcionan como aislante eléctrico. La emisividad de esta porcelana es de $\epsilon = 0.92$. Internamente, consta de una variedad de termopares conectados en serie eléctricamente a través de puentes de cobre, la cual actúa como un conductor eléctrico, facilitando así una potencia en la operación de la Célula Peltier. Los puentes de cobre de cada lado están unidos térmicamente entre sí mediante las capas de cerámica.

Al utilizar un sistema estático no tiene pérdidas por el movimiento del fluido, en el caso de utilizar un ventilador estas pérdidas son mínimas. El tipo de unión eléctrica con Células Peltier, se ve reflejado en el la Figura 17.

Las células que se comercializan en el mercado esencialmente están compuestas por dos tipos de elementos semiconductores: telururo de bismuto, Bi_2Te_3 , y selenio de antimonio, $SbSe$, ya que estos materiales semiconductores son buenos para el paso de corriente eléctrica, mientras que no lo son para la transferencia del calor a través de ellos, permitiendo que se genere un mejor aislamiento térmico. De esa forma se logra la alta temperatura de una de las caras no afecte la baja temperatura de la otra placa.

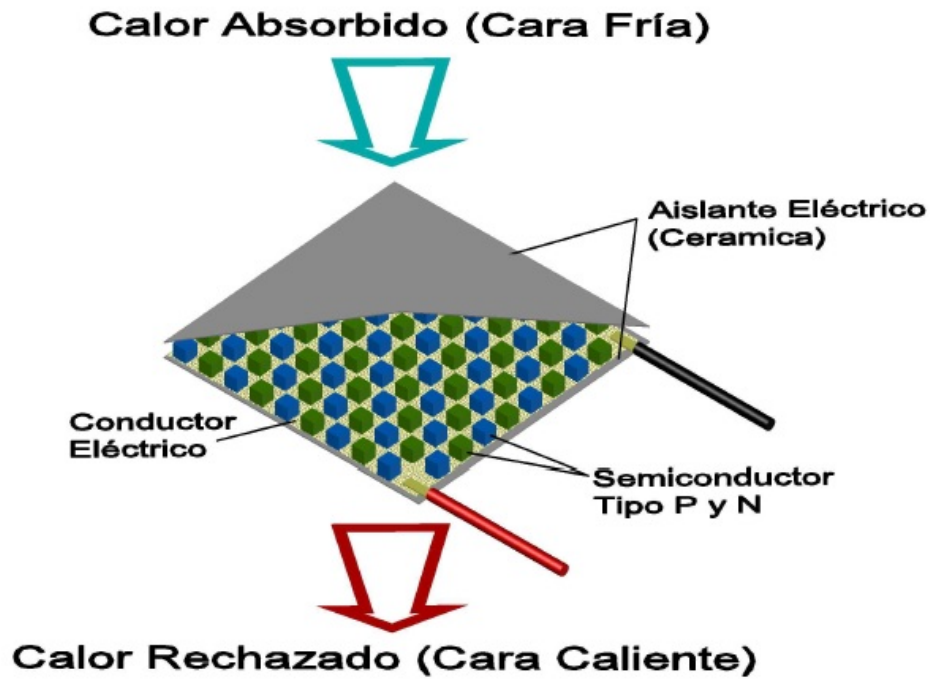


Figura 18: Partes de la Célula Peltier

7.1. Ecuaciones de la Célula Peltier

Al aplicar una corriente eléctrica a la Célula, ésta sufrirá una diferencia de potencial produciendo una cesión de calor por unidad de tiempo en la cara caliente igual a:

$$Q_{PC} = \alpha T_C I \quad (11)$$

Y una absorción de calor por unidad de tiempo en la cara fría igual a:

$$Q_{PF} = \alpha T_F I \quad (12)$$

Expresamos las pérdidas por unidad de tiempo de la Célula mediante:

$$Q_J = \frac{1}{2} I^2 R \quad (13)$$

La diferencia de temperatura entre ambas caras de la Célula producirá un efecto de conducción térmica entra la cara caliente y la cara fría, definida como:

$$Q_{CT} = \frac{T_C - T_F}{R_{TH}} \quad (14)$$

Flujo neto calorífico absorbido por la cara fría:

$$Q_F = Q_{PF} - Q_J - Q_{CT} = \alpha T_F I - \frac{1}{2} I^2 R - \frac{T_C - T_F}{R_{TH}} \quad (15)$$

Flujo neto calorífico cedido y que debe ser disipado a través de la cara caliente:

$$Q_C = Q_{PC} + Q_J - Q_{CT} = \alpha T_C I + \frac{1}{2} I^2 R - \frac{T_C - T_F}{R_{TH}} \quad (16)$$

Para entender estas dos últimas ecuaciones, [Ecuación 15](#) y [Ecuación 16](#), hay que observar la [Figura 19](#), la cual refleja los efectos Peltier y Joule junto con los de transmisión de calor. Se puede observar que la referencia a masa indica el punto de reposo de la temperatura en ambas caras, esto es, la temperatura ambiente.

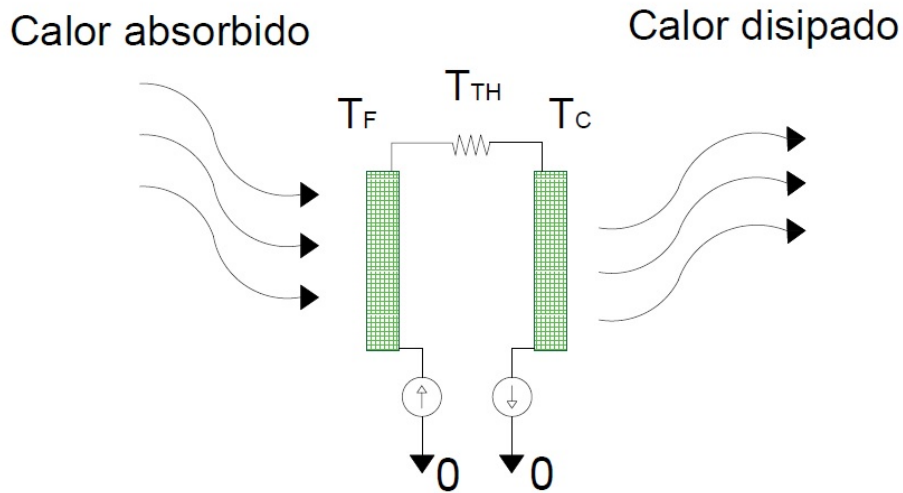


Figura 19: Efecto Peltier y Joule junto con los de transmisión de calor

Potencia eléctrica suministrada:

$$P_e = Q_C - Q_F = \alpha(T_C - T_F)I + I^2 R = \alpha \Delta T I + I^2 R \quad (17)$$

La refrigeración termoeléctrica: el efecto Peltier puede aplicarse a la refrigeración desde el punto de vista técnico. Frente al lado refrigerante con temperatura T_0 hay un depósito de calor con temperatura T_1 .

$$(T_0 - T_1)_{max} = 1/8 \cdot (II_A - II_B) \cdot \sigma / \lambda \quad (18)$$

La diferencia de temperatura máxima alcanzable es proporcional a la conductividad eléctrica σ , e inversamente proporcional a la conductividad térmica λ , esto es, dos propiedades contrarias. Precisamente esto plantea, junto con la tensión termoeléctrica necesaria, el segundo reto para la aplicación técnica del

efecto Peltier, ya que la mayoría de los buenos conductores eléctricos son también buenos transmisores del calor.

8. Aplicaciones

En este trabajo de fin de grado basado en las Células Peltier, se ha decidido realizar tres aplicaciones para que así se pueda apreciar el funcionamiento de estas Células Peltier y también poder ver como en algún caso en particular se emplean estas Células en la actualidad, así como proponer una práctica para la asignatura.

Las aplicaciones en las cuales se ha decidido emplear estas Células Peltier han sido: nevera conservadora de bebidas, enfriador personal y calienta biberones.

8.1. Desarrollo experimental

Previamente, para la construcción de estas aplicaciones o de cualquier otra, hay que tener en cuenta que no se pueden colocar las Células Peltier solas, ya que así lo único que conseguiremos es que la Célula Peltier se sobre-caliente y por ello se estropee. Entonces, hay que realizar un cierto “montaje” el cual permitirá que la Célula Peltier no se caliente y por lo cual pueda funcionar correctamente. ¿En qué consiste este “montaje”? Este montaje consiste esencialmente en acoplarle a nuestra Célula Peltier uno o varios disipadores de aluminio, uno o varios ventiladores y en algunos casos una pieza maciza de aluminio, material aislante y pasta térmica.

Disipador de calor: la [Figura 20](#) representa un disipador de calor. Su funcionamiento se basa en la ley cero de la termodinámica, transfiriendo el calor de la parte caliente que se desea disipar al aire. Este proceso se propicia al aumentar la superficie de contacto con el aire permitiendo una eliminación más rápida del calor excedente.

Un disipador extrae el calor del componente que refrigera (en nuestro caso, una Célula Peltier) y lo evacúa al exterior (al aire). Para ello es necesaria una buena conducción de calor a través del mismo. Se suelen fabricar de aluminio por su ligereza, pero también los hay de cobre, ya que éste es mejor conductor del calor.

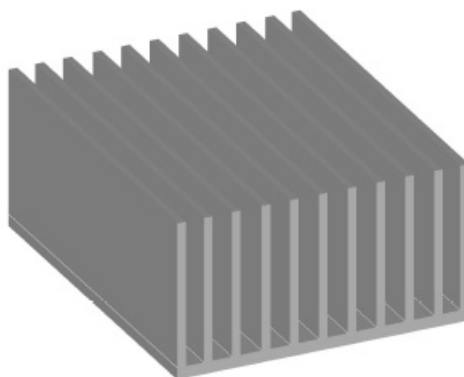


Figura 20: Disipador de Calor

Ventilador: la [Figura 21](#) representa un ventilador (de ordenador). Su función es expulsar el aire caliente del disipador. El ventilador trabaja con una corriente continua de 12 V y una intensidad de entre 60-180 mA, dependiendo de la marca del ventilador.

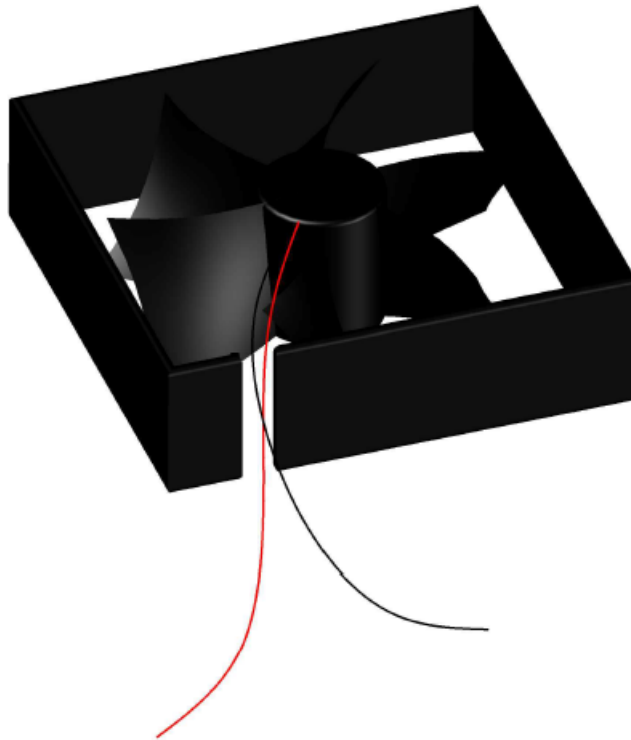


Figura 21: Ventilador

Cuadro 2: Características de las Células Peltier empleadas

Resistencia interna	2,5-2.8 Ω
Tensión nominal	12 V
Intensidad máxima	5 A
Potencia eléctrica	60 W

Célula Peltier: la Célula utilizada en esta aplicación tienen unas dimensiones de $40 \times 40 \times 43$ mm, contienen 127 pares de uniones y presentan las características de la [Tabla 2](#).

Pasta térmica: se aplica sobre las caras de cerámica de la Célula Peltier con el fin de mejorar la conductividad térmica. Son dos las razones: la primera porque es un buen conductor térmico, y la segunda, porque si colocásemos la Célula directamente sobre el disipador, sin pasta térmica, lo que sucede es que se crean unas diminutas burbujas de aire (huecos). Esto llevaría a provocar el aislamiento del calor y consecuentemente no nos funcione bien la Célula, por lo cual hay que emplear pasta térmica para su mejor funcionamiento. La mejor opción de colocar esta pasta térmica es haciendo una X en las caras de la Célula.

8.2. Nevera conservadora de bebidas

Esta aplicación consiste en la construcción de una nevera la cual conserve las bebidas frescas. Para su construcción se han empleado materiales totalmente reciclados.

Para la alimentación de esta aplicación se ha decidido realizar una fuente de alimentación, también con materiales reciclados, tal y como se muestra en la [Figura 22](#). Para su construcción principalmente se ha utilizado un transformador viejo de una caravana. Este funciona de forma que le entra una corriente alterna de 220 V y le sale una corriente alterna de 12 V. Para que transforme esta corriente alterna en continua le he implementado un rectificador el cual cambia esta corriente alterna a corriente continua. El rectificador es de 50 A, por lo que es suficiente para alimentar la Célula Peltier y el ventilador. Del transformador salen cuatro cables, dos de ellos se conectan al rectificador (son de 12 V) y los otros dos son de 16 V y no se utilizarán en esta aplicación, así que se le ha puesto un aislante termoretractil para una mejor seguridad. El rectificador con el tiempo se recalentaba, así que se le ha colocado debajo de él un disipador de calor de aluminio y en cada lado del disipador dos pequeños ventiladores (de ordenador), los cuales funcionan con 12 V y 0,16 A en corriente continua. Los cables que salen del rectificador se conectan a una ficha de empalme. Y a la otra parte de la ficha de empalme se conectara, los dos ventiladores que enfrían el disipador del rectificador, la Célula Peltier y dos ventiladores de la aplicación. Todo esto está montado sobre una base de placa de acero inoxidable de 210x110x2mm. Finalmente se ha colocado a la base una toma a tierra para evitar alguna posible derivación y así hacerlo más seguro.

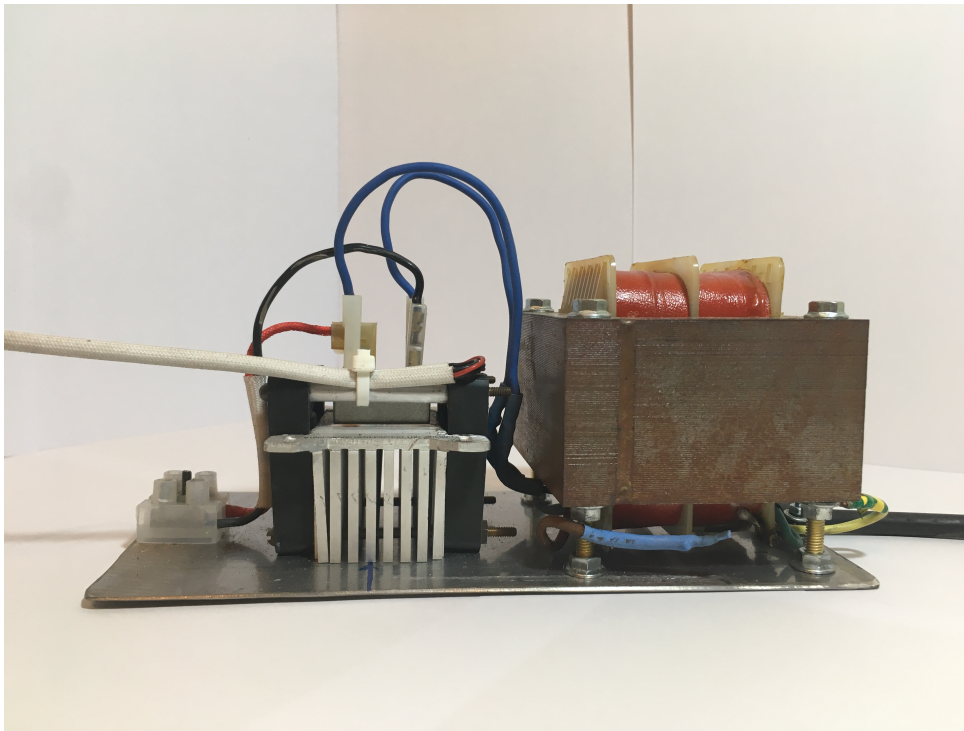


Figura 22: Fuente de alimentación

La [Figura 27](#) muestra la estructura de esta aplicación. Como base de la nevera se ha utilizado una caja de tornillos de plástico [Figura 24](#). Se ha recubierto con poliespan para que la aisle bien y así se conserve el frío en el interior. Para la puerta se ha recortado un pedazo de la tapa de una canaleta, también de plástico, y por el interior también se ha recubierto de poliespan. Se ha colocado una varilla roscada en el exterior de la puerta, la cual hace la función de bisagras para abrir y cerrar la puerta. La caja posee un asa para facilitar el transporte de esta aplicación. Finalmente se ha recubierto la caja con cinta americana para una vista más estética.

Por otro lado, el "montaje" que se le ha implementado a la Célula Peltier en esta aplicación se refleja en la [Figura 25](#) y la [Figura 26](#). La cara caliente de la Célula Peltier está unida a un disipador de calor

(al disipador que da al exterior) y este disipador está unido a un ventilador, el cual absorbe el aire del ambiente y lo expulsa hacia el disipador de calor. ¿Pero por qué de esta forma? Está orientando así, porque como ya sabemos el aire caliente tiende a subir hacia arriba, por lo cual el aire del ambiente estará a menor temperatura que el que se disipa de la Célula Peltier, por eso se crea un flujo en el que se absorbe el aire del ambiente, lo expulsará hacia el disipador y éste como tiende a subir, se irá por las rendijas, formando así, un sistema de refrigeración.

Sin duda alguna, la inserción de un disipador de calor anexo a la cara caliente de la Célula Peltier, con alta conductividad térmica, y al que se le ha añadido, además, un circuito de convección forzada (un ventilador), garantizará que la temperatura de la cara caliente se mantenga constante y próxima a la temperatura ambiente. Por lo que, dicho “montaje” sin duda tendrá una gran capacidad de refrigeración.

Por otro lado, la cara fría de la Célula Peltier está unida con una pieza de aluminio maciza, y esta pieza a un disipador de aluminio. Ésto está recubierto por el poliespan, lo que hace que se aislé mejor. Esta parte daría al interior de la caja, donde al lado se colocará un ventilador que hará una conducción de aire en el interior para que se encuentre fresco, y además impide que se forme escarcha en el disipador.

En la [Figura 23](#) se puede apreciar el circuito eléctrico de esta aplicación.

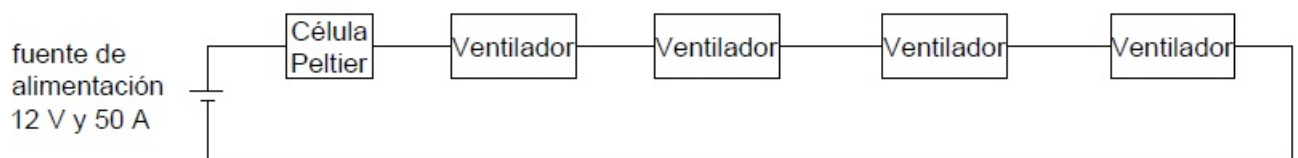


Figura 23: Circuito eléctrico de la aplicación de la nevera



Figura 24: Base de la nevera (Caja de tornillos)

8.3. Enfriador personal

En esta aplicación se basa en la utilización de las Células Peltier con el fin de poder enfriar alguna parte del cuerpo humano, como por ejemplo en golpes, lesiones,...

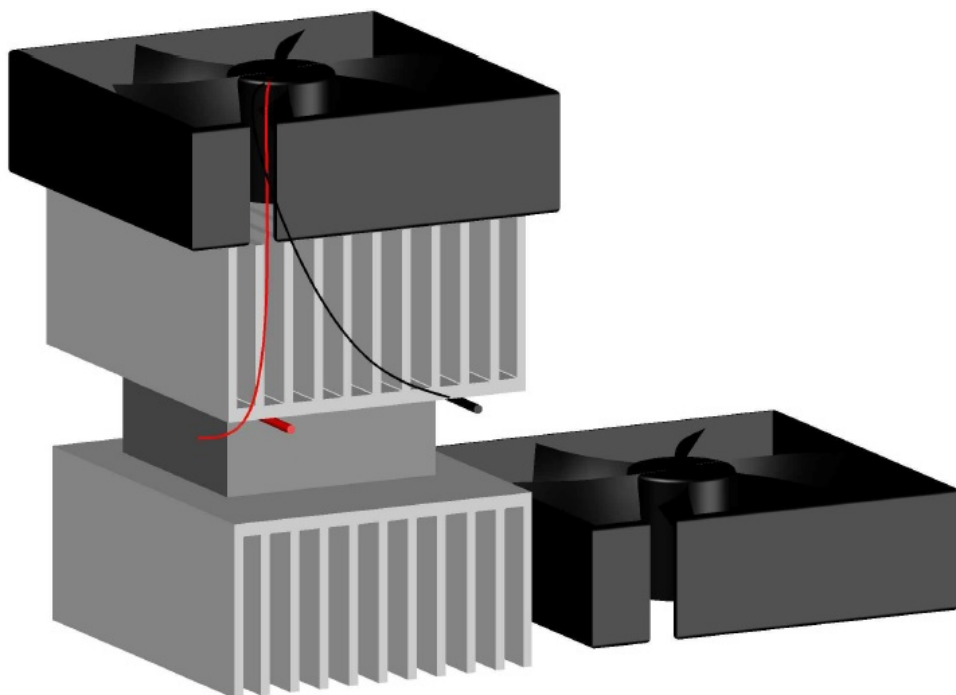


Figura 25: Montaje de la Célula Peltier para la aplicación de la nevera

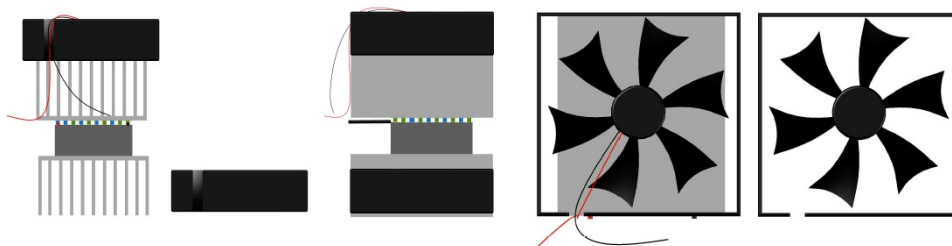


Figura 26: Perfiles de la Célula Peltier para la aplicación de la nevera



Figura 27: Nevera conservadora de bebidas

La fuente de alimentación utilizada en esta aplicación es una proporcionada por la universidad, de 12 V y 5 A, tal y como se observa en la [Figura 28](#).



Figura 28: Fuente de alimentación (universidad)

Para esta aplicación la [Figura 29](#) y la [Figura 30](#) muestran el “montaje” empleado en esta aplicación para la Célula Peltier. La Célula Peltier, está situada de manera que la cara caliente está en contacto con el disipador de calor de aluminio y la cara fría está en contacto con una pieza maciza de aluminio. En ambas caras se adhiere un poco de pasta térmica. El ventilador se colocará de forma que absorba el aire del ambiente y lo impulse hacia el disipador de calor, como en la anterior aplicación.

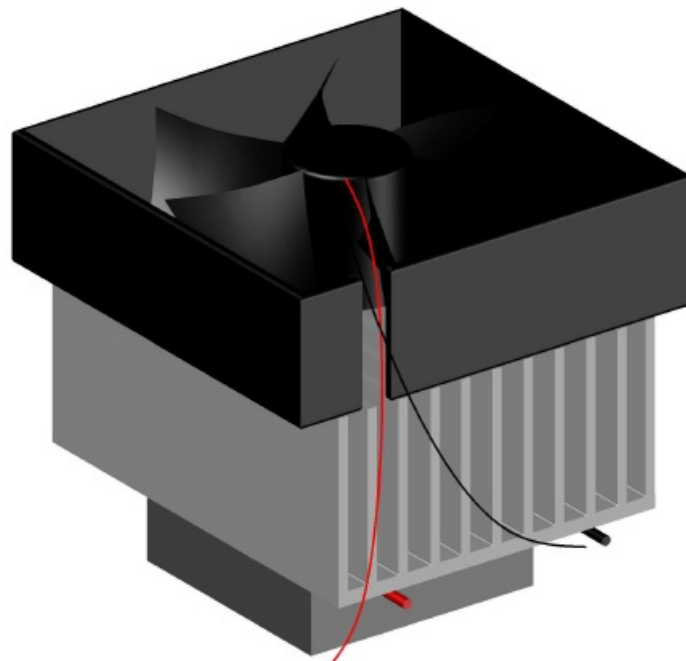


Figura 29: Montaje de la Célula Peltier para la aplicación del enfriador personal

Por otra lado, se ha decidido incorporarle una configuración con Arduino. Esta configuración consiste en: una placa de Arduino UNO, un relé y un sensor de temperatura LM35D. Y tiene como objetivo que se apague o encienda el ventilador y la Célula Peltier cuando ésta alcance una cierta temperatura.

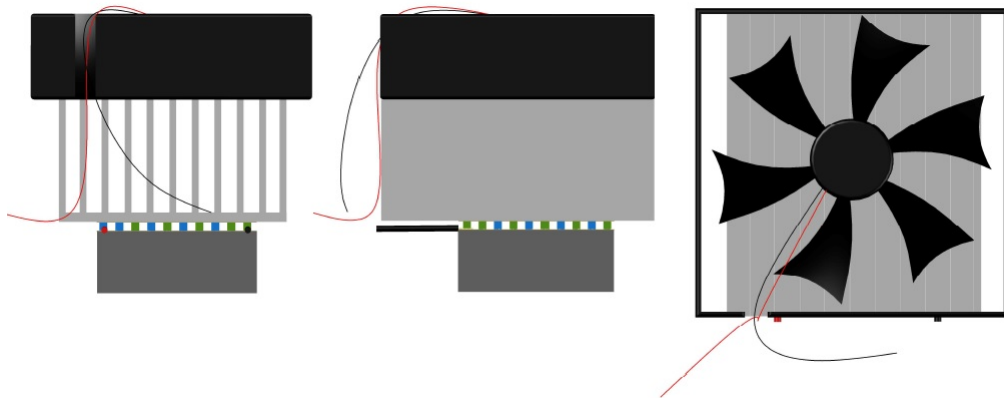


Figura 30: Perfiles de la Célula Peltier para la aplicación del enfriador personal

¿Pero, cómo conectamos el “montaje” al Arduino y a la corriente eléctrica? Tal y como se muestra en la [Figura 34](#), el “montaje” de la Célula Peltier está conectado a una fuente de alimentación de 5 A y 12 V en corriente continua y al relé, el cuál encenderá o apagará el “montaje” según nuestro código de programación y éste al Arduino. Haremos funcionar el Arduino con una pila de 9 V. Al Arduino se le conectará además del relé, un sensor de temperatura LM35D, el cual se le ha programado para que cuando este capte una temperatura de 8°C el relé se apague, apagando así el “montaje”, y cuando el sensor capte una temperatura de 12°C el relé se encienda y por lo tanto también se encienda el “montaje”, así progresivamente hasta que lo queramos desconectar del todo.

Arduino UNO, [Figura 31](#): es una placa con un microcontrolador de la marca Atmel y con toda la circuitería de soporte, que incluye, reguladores de tensión, un puerto USB conectado a un módulo adaptador USB-Serie que permite programar el microcontrolador desde cualquier PC de manera cómoda y también hacer pruebas de comunicación con el propio chip. Un Arduino dispone de 14 pines que pueden configurarse como entrada o salida y a los que puede conectarse cualquier dispositivo que sea capaz de transmitir o recibir señales digitales de 0 y 5 V. También dispone de entradas y salidas analógicas. Mediante las entradas analógicas podemos obtener datos de sensores en forma de variaciones continuas de un voltaje. Las salidas analógicas suelen utilizarse para enviar señales de control en forma de señales PWM.

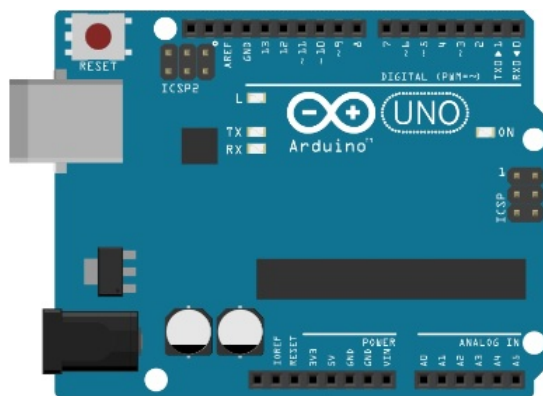


Figura 31: Arduino Uno

Relé, [Figura 32](#): es un dispositivo electromecánico que permite a un procesador como Arduino controlar cargas a nivel tensión o intensidad muy superior a las que su electrónica puede soportar.

Presenta una salida por relé en la que podemos encender o apagar cargas de corriente alterna a 220 V e intensidad de 10 A.

Físicamente, un relé se comporta como un interruptor “convencional” pero, que en lugar de accionarse manualmente, es activado de forma electrónica. Los relés son aptos para accionar cargas tanto de corriente continua como alterna.

Un relé dispone de dos circuitos:

- **El circuito primario** se conecta con la electrónica de baja tensión, en nuestro caso Arduino, y recibe la señal de encendido y apagado.
- **El circuito secundario** es el interruptor encargado de encender o apagar la carga.

Al ser dispositivos electromecánicos que requieren el movimiento de componentes internos para su funcionamiento el tiempo de conmutación de un relé es elevado, del orden de 10 ms.

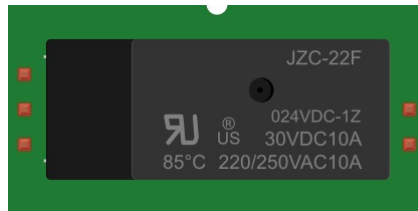


Figura 32: Relé

Sensor de temperatura LM35D, [Figura 33](#): es un integrado con su propio circuito de control, que proporciona una salida de voltaje proporcional a la temperatura. La salida del LM35D es lineal con la temperatura, incrementando el valor a razón de 10mV por cada grado centígrado. EL rango de medición es de -55°C (-550 mV) a 150°C (1500 mV). Su precisión a temperatura ambiente es de 0.5°C.

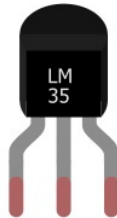


Figura 33: Sensor de temperatura LM35D

Código programado en el Arduino UNO [Figura 36](#)

En la [Figura 37](#) se puede apreciar el circuito eléctrico de esta aplicación.

8.4. Calienta biberones

Esta aplicación consiste en la utilización de las Células Peltier para calentar biberones, aunque también serviría para calentar otro tipo de bebidas.

Como en la aplicación del enfriador personal, también se alimenta con una fuente de 12 V y 5 A proporcionada por la universidad [Figura 28](#).

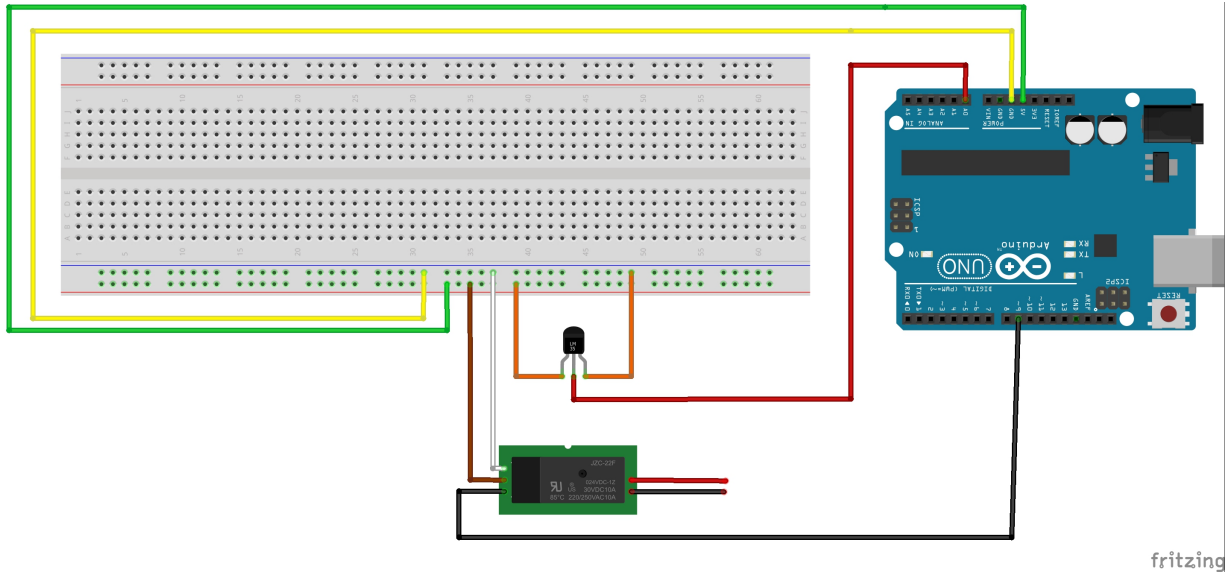


Figura 34: Montaje Arduino

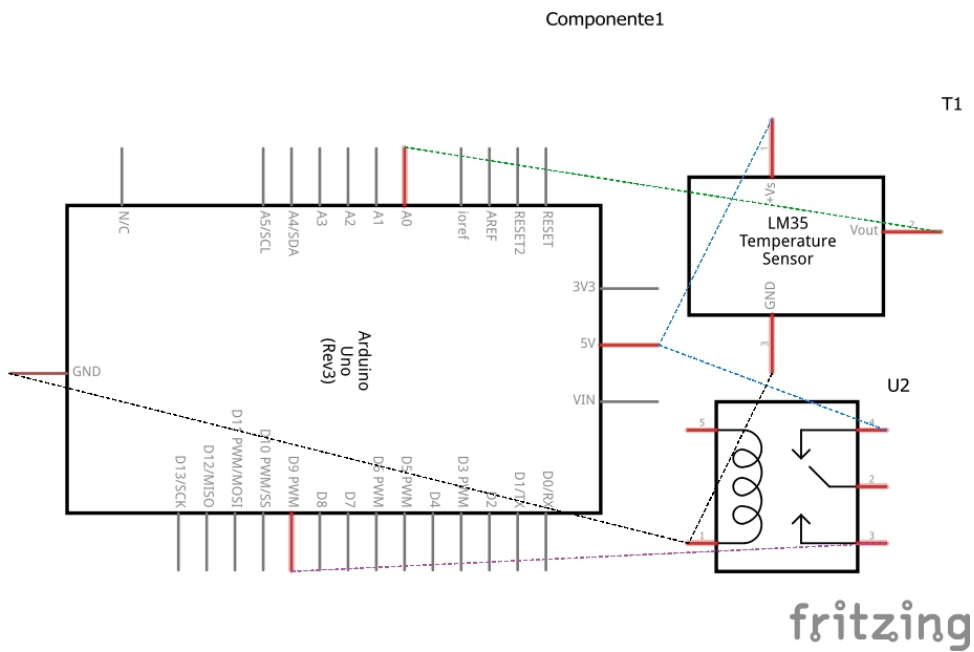


Figura 35: Montaje Arduino de forma esquemática


```

float tempC;
int analogValue;
int sensorPin = A0;
const int pin=9;
float maxTemp = 15, minTemp = 8;

void setup() {
  analogReference(INTERNAL);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pin, OUTPUT);
}

void loop() {
  analogValue = analogRead(sensorPin);
  tempC = analogValue / 9.31;
  Serial.print ("Temperatura");
  Serial.print (tempC);
  Serial.println ("°C");
  delay(1000);

  if (tempC >= maxTemp)
    digitalWrite(pin, HIGH); // poner el Pin en HIGH
  else if(tempC <= minTemp)
    digitalWrite(pin, LOW); //poner el Pin en LOW

  delay(1000);
}

```

Figura 36: Código programado en el Arduino

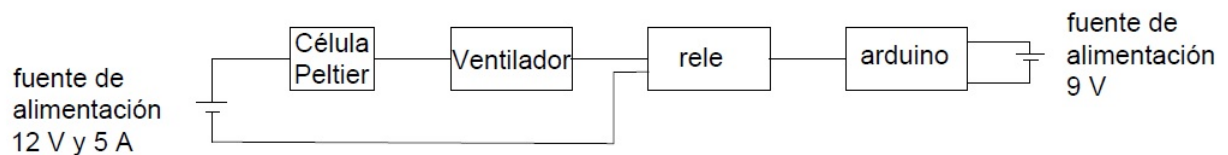


Figura 37: Circuito eléctrico de la aplicación del enfriador personal

Se ha diseñado un un vaso de acero inoxidable tal y como se muestra en la [Figura 38](#).



Figura 38: Vaso de acero inoxidable

En cuanto al “montaje” [Figura 40](#) Y la [Figura 41](#) para la Célula Peltier consiste en un disipador de calor el cual se ha colocado en este caso la cara fría de la Célula Peltier, sobre este disipador y la cara caliente de la Célula Peltier ira directamente sobre el vaso de acero inoxidable. En cuanto al ventilador, se colocará de la misma forma que las anteriores aplicaciones, con el fin de que mantenga la cara fría de la Célula Peltier lo más fría posible, para evitar un sobrecalentamiento.

En la [Figura 37](#) se puede apreciar el circuito eléctrico de esta aplicación.

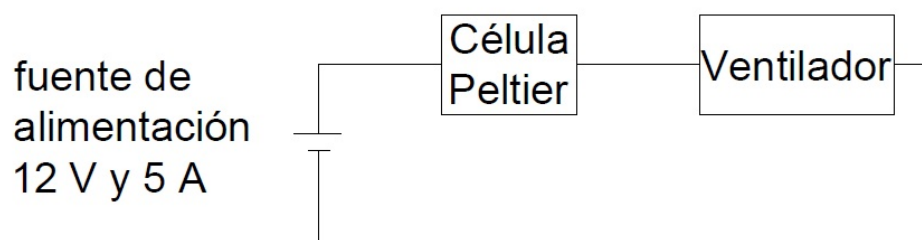


Figura 39: Circuito eléctrico de la aplicación del calentabiberones

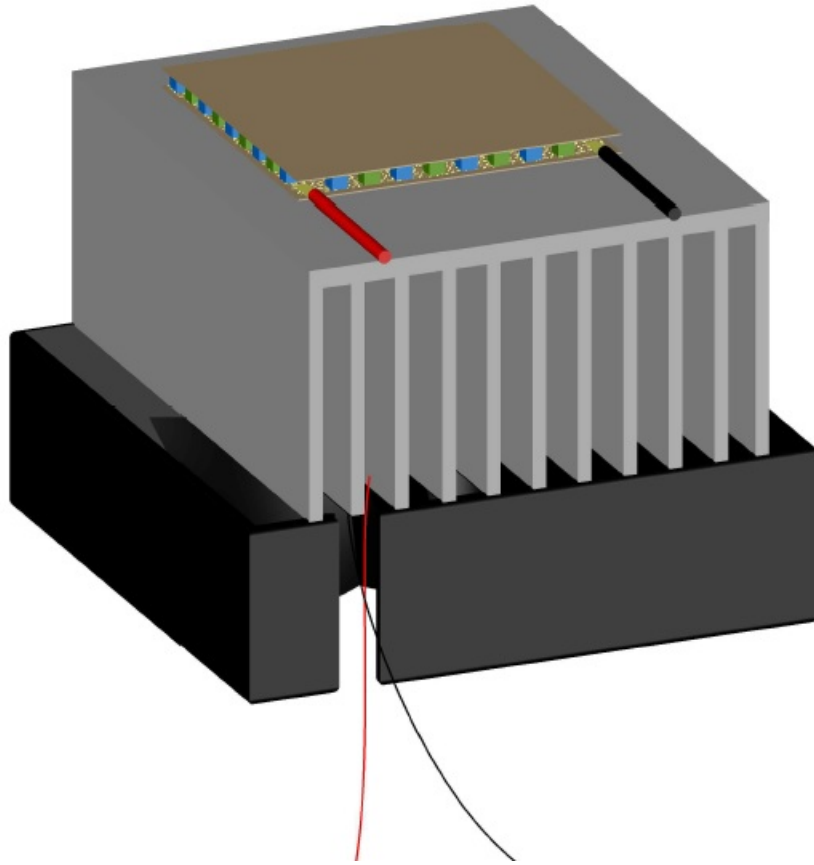


Figura 40: Montaje de la Célula Peltier para la aplicación del calentabiberones

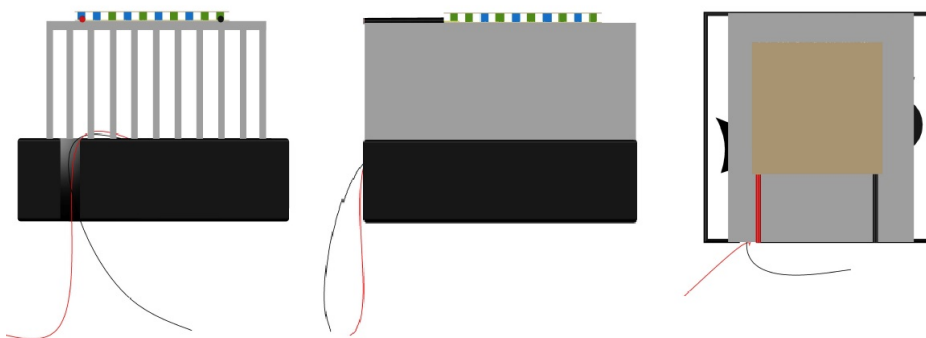


Figura 41: Perfiles de la Célula Peltier para la aplicación del calentabiberones

9. Práctica

9.1. Conceptos Previos

El Efecto Seebeck consiste en generar corriente eléctrica sometiendo la unión de 2 metales diferentes a una diferencia de temperatura; al contrario el efecto Peltier nos dice que, si se aplica una corriente eléctrica a la unión de 2 metales diferentes se apreciara una diferencia de temperaturas en las uniones.

Para el aprovechamiento de este fenómeno, se han diseñado unos dispositivos conocidos como Células Peltier, que está basados en los principios mencionados anteriormente y consiste, en la conexión en serie de varios termopares.

El efecto Seebeck fue descubierto por el Físico estonio de origen alemán. Thomas Johan Seebeck. Realizó notables investigaciones en varios campos de la física, intentando establecer la conexión entre calor y electricidad. Llegó así a descubrir, en 1821, que uniendo una lámina de cobre con otra de bismuto, en un circuito cerrado, al calentar una de las uniones se genera una corriente eléctrica que fluye por el circuito en tanto persista la diferencia de temperatura, fenómeno que se utiliza aún para el diseño de dispositivos que permiten realizar mediciones de temperatura con una gran sensibilidad y precisión (termopar), así como para generar energía eléctrica para aplicaciones especiales.

En 1834, el señor Jean C. A. Peltier descubrió el “efecto Peltier”. El cual consiste en la manifestación de una variación térmica en la unión de 2 metales diferentes, cuando se establece una corriente eléctrica entre ellos. El concepto rudimentario de Peltier fue paulatinamente perfeccionado para que fuera un solo bloque con las uniones semiconductoras, conectadas por pistas de cobre y dispuestas de tal manera, que transportara el calor desde una de sus caras hacia la otra, haciendo las veces de una “bomba de calor” ya que es capaz de extraer el calor de una determinada superficie y llevarlo hacia su otra cara para disiparlo, este dispositivo es denominado Celda Peltier o Célula Termoeléctrico Peltier (TEC) el cual se utiliza principalmente en los sistemas de refrigeración.

Estos sistemas de refrigeración que se utilizan en todo ámbito (generalmente industrial), son bastante versátiles, basta con invertir la polaridad para invertir el efecto (cambiar el lado que se calienta por el frío y viceversa), la potencia con que enfría es fácilmente modificable dependiendo del voltaje que se le aplique y es bastante amable con el medio ambiente ya que no necesita de gases nocivos como los usados en los refrigeradores industriales para realizar su labor.

9.2. Desarrollo de la Práctica

9.2.1. Objetivo

Determinar cuánto voltaje puede llegar a producir las Células Peltier empleando diferentes temperaturas entre sus caras. Con el voltaje obtenido se moverá un pequeño motor.

9.2.2. Material

- Una Célula Peltier
- Un multímetro
- Un Disipador
- Un recipiente con agua caliente

- Un cubito
- Un pequeño motor (unos 2 V)
- Termómetro

9.2.3. Procedimiento Experimental

Consiste en comprobar experimentalmente el efecto Seebeck-Peltier mediante una Célula Peltier.

- Se colocará en un recipiente con el agua caliente (a unos 70°C) el disipador de calor y una cara de la Célula Peltier sobre éste, añadiendo pasta térmica.
- Hay que tener en cuenta que el agua no puede tocar la Célula Peltier, solo cubrirá el disipador.
- Conectaremos la Célula Peltier al multímetro para apreciar el cambio de tensión que aparece.
- Estudiaremos la temperatura de la Célula Peltier solamente con el agua, tomando el voltaje.
- Pondremos la mano sobre la Célula Peltier para transmitir nuestra temperatura corporal y ver el cambio de voltaje obtenido. (Volvemos a obtener el voltaje)
- Pondremos un cubito sobre la Célula Peltier y volveremos a observar el cambio de voltaje.
- Ahora contentaremos la Célula Peltier a un pequeño ventilador para observar si al cambio de temperatura del agua caliente y el cubito produce el suficiente voltaje como para moverlo.
- Se tomaran todas las medidas en relación al tiempo y al voltaje. Y se realizará un gráfico para observar el cambio del voltaje y la temperatura con respecto al tiempo que transcurre (dejemos entre mediciones unos 10 minutos).

10. Bibliografía

Referencias

- [1] <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/p/peltier.htm>
- [2] <http://www.mcncbiografias.com/app-bio/do/show?key=peltier-jean-charles-atanase>
- [3] <https://nationalmaglab.org/education/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/pioneers/jean-charles-athanase-peltier>
- [4] <http://antoniofloresensoresgeneradores.blogspot.com.es/2009/02/>
- [5] https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_thermoel
- [6] <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/22/41/a41.pdf>
- [7] <http://www.unavarra.es/ets02/Introduccion>
- [8] <http://slideplayer.es/slide/3914557/>
- [9] <http://www.aulastecnopole.com/trabajos/MemoriaSAUL-FERNANDO.pdf>
- [10] <https://es.slideshare.net/juanmanuelcardenasvelez54/celdas-peltier>

- [11] <http://biblioteca.uniminuto.edu/ojs/index.php/Inventum/article/download/1502/1452>
- [12] <https://prezi.com/hl1slh5q602s/efectos-termoelectricos/>
- [13] <http://www.ieef.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/Servos/practicas/prac6>
- [14] <https://definicion.de/semiconductor/>
- [15] <https://es.slideshare.net/ignaciordannogueras/ejercicios-tema-3-3>
- [16] <http://www.areatecnologia.com/TUTORIALES/SEMICONDUCTORES.htm>
- [17] <http://www.wordreference.com/definicion/juntura>
- [18] <https://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/ap03fuentesdeenergia.php>
- [19] <http://www.etitudela.com/Electrotecnia/principiosdelaelectricidad/tema1.2/contenidos/01d569940f0a8ba01.html>
- [20] <https://es.wikipedia.org/wiki/Disipador>
- [21] <https://www.google.es/search?q=significado+de+disiparoq=significado+de+disiparaqs=chrome..69i57j0l4.4112j1j7s8>
- [22] <https://www.fiscalab.com/apartado/principio-cero-termocontenidos>
- [23] <http://soloelectronicos.com/2013/11/22/aplicaciones-celulas-peltier/>
- [24] <http://www.instructables.com/id/Chillanator/>
- [25] <https://www.luisllamas.es/arduino-peltier/>
- [26] <http://blogtermografia.com/que-es-la-emisividad/>
- [27] <https://es.wikipedia.org/wiki/EfectoJoule>
- [28] <https://hipertextual.com/2015/05/efecto-joule>
- [29] <https://hernanleon1002.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/segundo-corte/marco-teorico/ley-de-joule/>
- [30] <https://www.google.es/search?q=entrop>
- [31] <https://es.slideshare.net/josetalavera10/principios-termodinmicos>
- [32] <https://es.wikipedia.org/wiki/Principiosdelatermodin>
- [33] <https://es.wikipedia.org/wiki/Transferenciadecolor>
- [34] <https://www.pcpaudio.com/pcpfiles/docamplificadores/semiconductores/semiconductores.htmlUniones>
- [35] <https://www.youtube.com/watch?v=bX4EjSpkDC0>
- [36] <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/ralvgon/files/2013/05/Caracter>
- [37] <https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria38201efectosebecypeltier.pdf>
- [38] <https://es.wikipedia.org/wiki/Electricidad>
- [39] [https://es.wikipedia.org/wiki/Dopaje\(semiconductores\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Dopaje(semiconductores))
- [40] <https://es.slideshare.net/BeckerUtiaLopez/los-semiconductores-41123422>

- [41] <http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elecbasica/tema2/Paginas/Pagina8.htm>
- [42] <http://www.profisica.cl/comofuncionan/como.php?id=15>
- [43] <https://www.youtube.com/watch?v=xaWASBHp80A>
- [44] <https://www.youtube.com/watch?v=0G0HoCBZEAM>
- [45] <https://www.youtube.com/watch?v=9GBvMf-FDIQ>
- [46] Miguel Pareja Aparicio “*Iniciación a arduino uno*”
- [47] Joan Ribas Lequerica “*Arduino práctico*”