



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

# Trabajo Final de Grado

<b>TÍTULO</b>	ESTUDIO DE APLICACIÓN DE CÉLULAS PELTIER PARA LA OBTENCIÓN DE ELECTRICIDAD EN AUTOMÓVILES
<b>AUTOR</b>	JOSÉ ALBERTO MOYA PÉREZ
<b>TITULACIÓN</b>	GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
<b>FECHA</b>	FEBRERO 2018
<b>TUTORES</b>	LUCAS SANTOS-JUANES Y SANTIAGO RUIZ

En este trabajo se va a estudiar la posibilidad de que, mediante células Peltier, se pueda obtener electricidad a partir del calor residual, como pueden ser de los coches y máquinas. Sería un estudio muy interesante para aumentar su rendimiento de estas puesto que desprenden gran cantidad de calor que no se aprovecha para nada, evacuándose al ambiente y que es energía aprovechable.

Para ello, primero se va a hacer una introducción sobre qué son las células Peltier, el efecto que condiciona el funcionamiento de éstas y cómo se llegaron a descubrir tales efectos tan importantes.

Posteriormente, se expondrá el diseño de cómo sería el modelo para poder aprovechar el calor residual de un vehículo, y así poder si no prescindir del alternador, disminuirlo para que el motor tenga menos carga. Haciendo esto, se consigue de partida que el coche consuma menos carburante y aumente su rendimiento.

Cuando está claro el modelo a seguir, a continuación, se realiza una serie de pruebas para ver qué la cantidad de electricidad que obtenemos con cada célula y la configuración más deseada para obtener los valores que más interesa para poder poner en práctica este sistema.

Por último, se realizará un estudio de viabilidad y de aplicación en otros ámbitos industriales donde se produce gran cantidad de calor y donde se podría aprovechar.

# ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	7
<b>1.1 Actual problema energético y medioambiental.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Posibles soluciones para el cumplimiento Euro .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Efecto termoeléctrico .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.1 Historia Efecto Peltier.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.2 Historia efecto Seebeck.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.3 Historia efecto Thomson .....</b>	<b>18</b>
<b>1.4 Principio del funcionamiento de las células Peltier .....</b>	<b>19</b>
<b>1.4.1 Interior de una Peltier .....</b>	<b>21</b>
<b>1.5 Principales utilizaciones del efecto termoeléctrico.....</b>	<b>23</b>
<b>1.6 Razones por las cuales introducimos células Peltier en un vehículo.....</b>	<b>26</b>
<b>1.7 Elementos que intervienen en el estudio.....</b>	<b>28</b>
<b>1.7.1 El alternador .....</b>	<b>29</b>
<b>1.7.2 Sistema de refrigeración .....</b>	<b>32</b>
2. REALIZACIÓN EXPERIMENTAL .....	35
<b>2.1 Comprobación de que se cumple el efecto termoeléctrico .....</b>	<b>36</b>
<b>2.1.1 Medición térmica de un radiador .....</b>	<b>38</b>
<b>2.1.2 Generador Peltier .....</b>	<b>39</b>
<b>2.2 Recta de calibrado .....</b>	<b>45</b>
<b>2.2.1 Cantidad de energía generada con salto el térmico de un coche.....</b>	<b>49</b>
<b>2.3 Tipos de conexión de las células Peltier .....</b>	<b>50</b>
<b>2.3.1 Conexión en Serie.....</b>	<b>51</b>
<b>2.3.2 Conexión en Paralelo.....</b>	<b>52</b>
<b>2.3.3 Conexión Mixta.....</b>	<b>53</b>
<b>2.4 Dimensionado del Radiador .....</b>	<b>54</b>
3. NUEVAS TECNOLOGÍAS .....	58
<b>3.1 Alternadores inteligentes.....</b>	<b>59</b>
<b>3.2 Luces LED.....</b>	<b>61</b>
<b>3.3 Luces láser.....</b>	<b>65</b>
<b>3.4 Frenos Regenerativos .....</b>	<b>67</b>
4. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	69
<b>4.1 Amortización de la introducción de sistemas de ahorro .....</b>	<b>72</b>

5. ALTERNATIVA SOLAR.....	77
6. APLICACIÓN DE LAS CÉLULAS PELTIER EN OTROS ÁMBITOS.....	82
6. CONCLUSIONES .....	85
7. BIBLIOGRAFÍA .....	88

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Reservas de energía fósil 2016 .....	9
Ilustración 2: Consumo energético en España por décadas desde 1980.....	10
Ilustración 3: Incremento de la temperatura media en la tierra desde 1880.....	11
Ilustración 4: Países que firmaron el Protocolo de Kyoto .....	12
Ilustración 5: Tabla donde aparecen las diferentes normativas EURO .....	13
Ilustración 6: Esquema Efecto Peltier. En los extremos $T_{fria}$ y $T_{caliente}$ obtenemos la diferencia de temperatura .....	17
Ilustración 7: Esquema Efecto Seebeck. En los terminales A y B obtenemos un diferencial de potencial .....	18
Ilustración 8: Esquema efecto Thomson. Un mismo material representado en azul con dos temperaturas diferentes ( $T_1$ y $T_2$ ), al aplicar una corriente .....	19
Ilustración 9: Esquema de lo semiconductores en una célula Peltier .....	20
Ilustración 10: Dibujo representativo del interior de las células Peltier .....	21
Ilustración 11: Fotografía real del interior de una célula Peltier .....	22
Ilustración 12: Esquema del funcionamiento de un termopar .....	23
Ilustración 13: Tipo de termopares con la unión de metales.....	24
Ilustración 14: Nevera portátil 12V con células Peltier .....	25
Ilustración 15: Fotografía representativa de la temperatura bajo cero capaz de alcanzar estas células.....	25
Ilustración 16: Esquema de los parámetros tenidos en cuenta por la ECU en un motor de gasolina.....	27
Ilustración 17: Dibujo representativo del interior de un alternador con sus partes .....	30
Ilustración 18: Gráfico que relaciona corriente del generador con la potencia de accionamiento .....	31
Ilustración 19: Sistema de refrigeración de un automóvil .....	33
Ilustración 20: Mosaico de las vistas de las células Peltier que utilizaremos a lo largo de este trabajo.....	36
Ilustración 21: Imagen del multímetro que se utilizará a lo largo del trabajo para las diferentes mediciones .....	37

Ilustración 22: 2 fotografías de dos de las mediciones térmicas realizadas en el radiador .....	38
Ilustración 23: Fotografía del invento realizado para comprobar que efectivamente se cumple el efecto termoeléctrico .....	41
Ilustración 24: Mosaico las diferentes mediciones térmicas .....	43
Ilustración 25: 2 fotografías que muestran el voltaje producido (izquierda) y la intensidad (derecha).....	44
Ilustración 26: Fotografía del proceso de obtención de la recta de calibrado .....	47
Ilustración 27: Tabla con los datos obtenidos en las mediciones .....	48
Ilustración 28: Recta de calibrado .....	48
Ilustración 29: Pila que proporciona energía semejante a la de una célula Peltier .....	50
Ilustración 30: Esquemas representativos de la conexión en serie .....	51
Ilustración 31: Esquemas representativos de la conexión en paralelo.....	52
Ilustración 32: Esquemas representativos de la conexión mixta .....	53
Ilustración 33: Fotografía del radiador estudiado.....	56
Ilustración 34: Plano del radiador original (izquierda) y el modificado (Derecha) con las nuevas cotas en rojo.....	57
Ilustración 35: Esquema del alternador inteligente .....	60
Ilustración 36: Fotografía del Primer LED de uso comercial Monsanto MV-1 .....	61
Ilustración 37: Esquema del funcionamiento del LED.....	62
Ilustración 38: Comparación de la luminosidad de los diferentes sistemas.....	64
Ilustración 39: Comparación del alcance de las distintas tecnologías de iluminación de los vehículos .....	66
Ilustración 40: Sistema de frenada regenerativa integrada en la propia rueda .....	67
Ilustración 41: Tabla de presupuestos.....	71
Ilustración 42: Tablas de ahorro y amortización con tecnología de las luces led y freno regenerativo .....	73
Ilustración 43: Tablas de ahorro y amortización con el ahorro únicamente de las luces led .....	74
Ilustración 44: Tablas de ahorro y amortización con el ahorro exclusivo que proporcionan las células Peltier .....	75
Ilustración 45: Seat Exeo con un pequeño sistema Solar.....	81

# 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Actual problema energético y medioambiental

Una de las crecientes preocupaciones a nivel mundial es la forma de obtener energía, ya que las actuales fuentes son mayoritariamente de origen fósil, lo que se traduce a que en un futuro no muy lejano dejarán de existir, ocasionando una crisis energética si no se cambia la tendencia. Ello ha llevado a una carrera desenfrenada entre las empresas, gobiernos e investigadores en desarrollar nuevas formas de obtener energía de fuentes renovables. Es aquí cuando se diferencian dos tipos de energía;

**Energía renovable:** Son todas aquellas energías que se obtienen de fuentes naturales inagotables, como son el viento, el sol, la geotérmica y saltos de agua o mareomotriz. Aunque estas energías también se agotarán, lo harán dentro de millones de años, por lo que se consideran inagotables. La ventaja que presentan es que consumir estas energías no contaminan, no expulsan ningún tipo de gas de efecto invernadero ni residuos de ningún tipo. No obstante, presenta un gran problema, y es que son energías intermitentes, que no podemos disponer de ellas cuando queremos. La tecnología empleada actualmente es muy cara y poco rentable, tardando muchos años en amortizarse, por lo que su uso es bastante pequeño, pero con tendencia a ir creciendo en los próximos años.

**Energía no renovable:** Las energías no renovables son aquellas que su consumo se hace mucho más rápido de las que son capaces de regenerarse, haciendo que en un futuro próximo se acaben. Mayoritariamente son tres; el gas, el carbón y el petróleo. Aunque la tecnología a emplear para utilizar susodichas energías está más que dominada, presenta el problema que su uso discriminado emite grandísimas cantidades de gases de efecto invernadero y residuos, provocando lo que se denomina efecto invernadero y problemas para la salud de las personas, animales y medio ambiente.

El carbón tuvo una gran importancia durante la Primera Revolución Industrial a finales del siglo XVIII, ya que fue el combustible utilizado para alimentar las calderas de las máquinas de vapor. Hay que recordar que las máquinas de vapor fueron las protagonistas en la primera revolución industrial. Gracias a ellas, la producción en las fábricas creció muchísimo y se desarrollaron los primeros vehículos de propulsión no

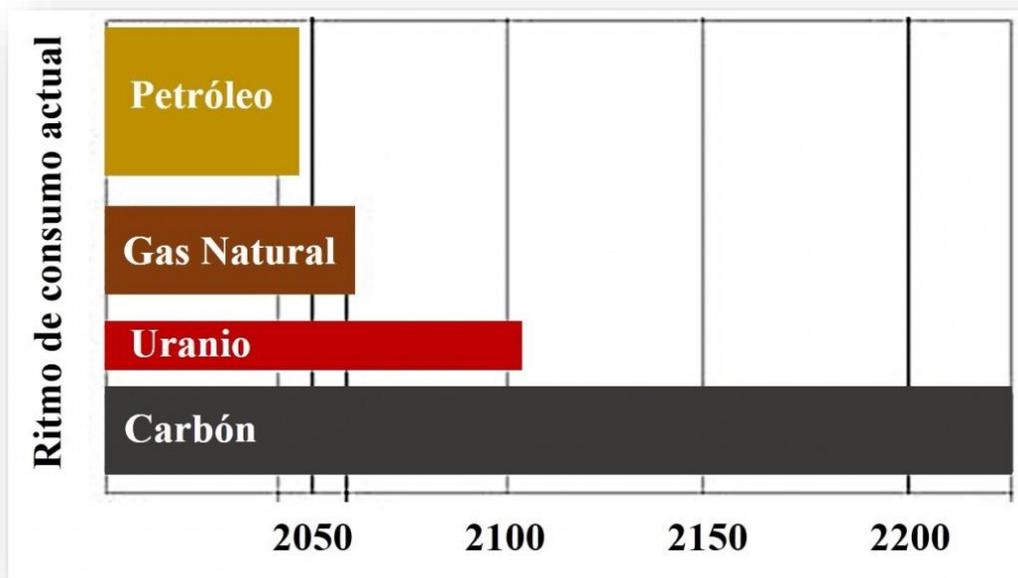
animal, que eran los trenes, permitiendo transportar mercancías y personas fácilmente de un lugar a otro.

Fue tal su importancia que en España se siguió utilizando trenes de vapor hasta mediados de los años 70 del siglo pasado, siendo la 'Mikado 141 f-2348' la última locomotora que efectuó un transporte por nuestra geografía. El problema que presenta el carbón es que es un combustible muy sucio y muy incómodo de usar, hecho que hace que poco a poco se fuera reemplazando por el petróleo, que actualmente es el combustible más usado a nivel mundial.

Éste es mucho más fácil de transportar, de refinar, se pueden crear muchísimos productos con él y además es relativamente fácil de extraer. Con su uso se desarrollaron motores y máquinas con mayores potencias, rendimientos, menores consumos y más pequeñas, obteniendo potencias específicas mayores.

A pesar de ser el combustible estrella y más utilizado, no hay que olvidar que sigue siendo un combustible fósil que al ser quemado libera cientos de gases, muchos de ellos perjudiciales para la salud humana y agravantes del cambio climático.

A pesar de que el petróleo se consuma como si fuese infinito, no es así, y la verdad es que es el combustible fósil que menos reserva quedan.



*Ilustración 1: Reservas de energía fósil 2016*

Como se observa en la gráfica anterior, según el ritmo actual de consumo, habría petróleo hasta para el año 2040, gas natural para el año 2060, uranio para el 2110 y carbón para por lo menos hasta el 2225. Esto hace pensar que no hay tanto como parece, y aunque se descubran nuevos yacimientos, estos serán cada vez más difíciles y costosos de extraer.

Otro dato interesante es que mientras las reservas energéticas bajan, el consumo no mengua ni se mantiene, es más, se incrementa como podemos observar en la siguiente tabla.

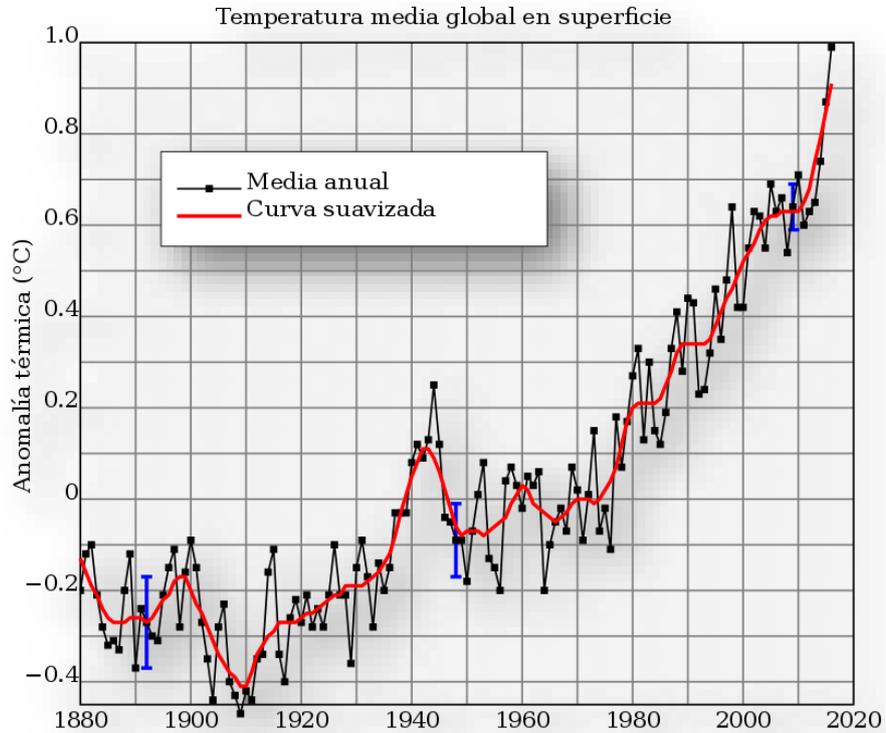
<b>Combustible y energía producida (TWh)</b>	<b>1980</b>	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
<b>Petróleo</b>	<b>38.400</b>	<b>40.000</b>	<b>45.500</b>	<b>47.400</b>
<b>Gas Natural</b>	<b>15.800</b>	<b>22.000</b>	<b>27.100</b>	<b>33.000</b>
<b>Carbón</b>	<b>20.500</b>	<b>26.100</b>	<b>27.400</b>	<b>41.600</b>
<b>Nuclear</b>	<b>2.200</b>	<b>6.000</b>	<b>7.500</b>	<b>8.000</b>
<b>Renovables</b>	<b>5.200</b>	<b>7.000</b>	<b>8.700</b>	<b>18.000</b>
<b>TOTALES</b>	<b>82.100</b>	<b>101.100</b>	<b>116.200</b>	<b>148.000</b>
<b>% Combustibles fósiles</b>	<b>91%</b>	<b>87%</b>	<b>86%</b>	<b>83%</b>

*Ilustración 2: Consumo energético en España por décadas desde 1980*

Como se puede observar, en España, el consumo energético ha ido en incremento desde que se tienen registro en la década de los 80. Gracias al incremento de las energías renovables, que pasan de 5200 a 18000 TWh, tiene un efecto directo a la disminución de combustibles fósiles. A pesar de este aumento de renovables, aproximadamente el 80% de la energía que se consume en España a fecha de 2010 proviene de fuentes agotables, lo que obliga a hacer un uso responsable de las mismas.

Otra razón muy importante por la que hay que sustituir los combustibles fósiles es por el impacto directo que tienen al ser consumidos por la liberación de gran cantidad de gases de efecto invernadero y de partículas nocivas para la salud humana.

Este incremento de gases de efecto invernadero está estrechamente relacionado con el aumento de la temperatura media que ha sufrido el planeta conforme se industrializa y aumenta la población.



**Ilustración 3:** Incremento de la temperatura media en la tierra desde 1880

En el anterior gráfico se muestra la tendencia del incremento de la temperatura superficial entre los años 1880 y 2016, respecto a la media de 1951 y 1980. La línea negra es la media anual global y la roja es el suavizado lowess de cinco años. Las barras azules de incertidumbre muestran un intervalo de confianza de 95 %. Claramente se puede observar el incremento, acusado sobre todo a partir de la mitad del siglo pasado, coincidiendo cuando se populariza el vehículo propio y a una mayor industrialización, y lo que es más grave, que la tendencia sigue al alza.

Este aumento de temperatura tiene efectos negativos para el planeta, como la desertización, temperaturas más extremas, más y mayores desastres naturales....

A fin de intentar paliar estos efectos y evitar que el cambio del clima se cumpla, se han firmado varios acuerdos internacionales de reducción de emisiones, siendo tal vez la más importante la firmada en los años 90, que es el Protocolo de Kyoto, cuyo objetivo es el de reducir las emisiones de una serie de gases de efecto invernadero en un 8 % durante el período 2008-2012 en relación con los niveles de 1990.



**Ilustración 4:** Países que firmaron el Protocolo de Kyoto

A pesar de haberse firmado, hay que decir que ningún país desarrollado llegó a cumplir en cuanto a las emisiones, superando en mucho lo pactado. Para ello, lo que se hace es comprar cantidad de CO<sub>2</sub> a los países subdesarrollados que no llegan a esta cantidad de emisiones, por lo que la utilidad de este pacto se ve seriamente cuestionada.

Una de las medidas más importantes adoptadas en Europa para reducir las emisiones provocadas por el transporte fue implantar una serie de normas anticontaminación que comúnmente se conoce como Euro. Esta normativa entró en vigor en el año 1992 con la Euro 1, siendo la menos restrictiva de su historia e incluso no teniendo en cuenta gases que actualmente si están controlados.

En cada etapa, la norma se pone más restrictiva y con menos margen, restringiendo valores como el monóxido de carbono, los hidrocarburos sin quemar, óxido de nitrógeno, la suma de ambas y partículas en suspensión.

Para que un vehículo pueda comercializarse dentro de la unión europea, los fabricantes deben de cerciorarse de que los motores que equipen sus vehículos cumplan dicha legislación, en caso contrario no se podrán vender. Actualmente, cualquier vehículo que se compre nuevo deberá tener el certificado Euro 6 Plus, de no ser así no se podrá vender. Para coches de segunda mano esto no afecta.

Tipo	Fecha	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
<b>Diésel</b>						
Euro I†	Julio de 1992	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)
Euro II, IDI	Enero de 1996	1.0	-	0.7	-	0.08
Euro II, DI	Enero de <sup>a</sup>	1.0	-	0.9	-	0.10
Euro III	Enero de 2000	0.64	-	0.56	0.50	0.05
Euro IV	Enero de 2005	0.50	-	0.30	0.25	0.025
Euro V	Septiembre de 2009	0.50	-	0.23	0.18	0.005
Euro VI	Septiembre de 2014	0.50	-	0.17	0.08	0.005
<b>Gasolina</b>						
Euro I†	Julio de 1992	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	-
Euro II	Enero de 1996	2.2	-	0.5	-	-
Euro III	Enero de 2000	2.30	0.20	-	0.15	-
Euro IV	Enero de 2005	1.0	0.10	-	0.08	-
Euro V	Septiembre de 2009	1.0	0.10	-	0.06	0.005 <sup>b</sup>
Euro VI	Septiembre de 2014	1.0	0.10	-	0.06	0.005
* Antes de Euro V turismos > 2500 kg estaban clasificados en la categoría Vehículo industrial ligero N1 - I						

**Ilustración 5:** Tabla donde aparecen las diferentes normativas EURO

En la tabla anterior se aprecia todas las normas EURO desde que apareció en vigor en el año 1992, tanto para motorizaciones diésel como gasolina para vehículos ligeros. Se puede apreciar cómo han ido apareciendo nuevas limitaciones a gases que las primeras normativas no contemplaban, como en el caso del monóxido de nitrógeno, los hidrocarburos y partículas sólidas en los vehículos gasolinas o los monóxidos de nitrógeno en las motorizaciones diésel, si teniéndolo en cuenta en las últimas.

### 1.2 Posibles soluciones para el cumplimiento Euro

Para cumplir estas restricciones, la industria del automóvil ha tenido que desarrollar nuevas y costosas tecnologías como válvulas EGR o filtros antipartículas. Una forma directa de reducir estos gases y sobre todo el CO<sub>2</sub>, que es el gas relacionado principalmente con el efecto invernadero, sería reduciendo el consumo.

No hay duda de que cada vez hay una mayor necesidad energética, impulsada por la creciente población (se ha pasado de 2.518.630 en los años 50 a los 7.376.471 actualmente) y del avance tecnológico.

Es entonces cuando sólo buscar fuentes renovables no lo es todo, sino que también se tiene que hacer un uso más responsable intentando que los aparatos, máquinas y procesos consuman la menor cantidad de energía posible. Para ello, lo importante entonces es mejorar su rendimiento.

Rendimiento es la proporción que surge entre los medios empleados para obtener algo y el resultado que se consigue. En términos de energía se podría resumir a que es que, con la misma cantidad de energía, o menos poder obtener el mismo provecho, o más. Para mejorar su rendimiento hay que reducir sus consumos sin reducir sus prestaciones, y para ello hay que reducir las pérdidas que se pueda tener durante la transformación.

Es aquí donde puede tener una gran importancia el obtener energía del calor. Aprovechar el calor que se genera en exceso en las industrias y máquinas puede salvar de la emisión de miles de toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera.

Para poder aprovechar el calor residual, las industrias donde en su proceso industrial utilizan grandes cantidades de energía térmica y que luego hay que enfriar y evacuar, se puede obtener un salto térmico muy grande que se aprovecha para generar vapor y así alimentar una turbina de vapor para generar electricidad. No obstante, cuando el salto térmico obtenido es muy pequeño, alrededor de 50 – 100 °C, normalmente se expulsa al exterior siéndose incapaz de aprovecharse para nada.

Si se fuera capaz de aprovechar este calor residual para generar electricidad, se estaría, por una parte, aprovechando la energía aumentando el rendimiento de esa máquina o proceso, y por otra parte disminuyendo los gases de efecto invernadero al poder

sustituir o reducir en consumo para generar la electricidad que se generaría mediante el aprovechamiento del calor.

La forma de obtener electricidad de una forma fácil y barata con salto térmicos tan pequeños es mediante el uso del efecto termoeléctrico.

### 1.3 Efecto termoeléctrico

La palabra termoeléctrico proviene de la unión de dos lexemas; Termo- que significa temperatura y -eléctrico, que significa electricidad.

El efecto termoeléctrico es la conversión directa de la diferencia de temperatura a voltaje eléctrico y viceversa. Un dispositivo termoeléctrico crea un voltaje cuando hay una diferencia de temperatura a cada lado. Por el contrario, cuando se le aplica un voltaje, crea una diferencia de temperatura (conocido como efecto Peltier). A escala atómica (en especial, portadores de carga), un gradiente de temperatura aplicado provoca 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 termalmente.

Este efecto se puede usar para generar electricidad, medir temperatura, enfriar objetos o calentarlos... Tradicionalmente, el término efecto termoeléctrico o termoelectricidad abarca tres efectos identificados separadamente, el efecto **Seebeck**, el efecto **Peltier**, y el efecto **Thomson**. En muchos libros de texto, el efecto termoeléctrico puede llamarse efecto Peltier-Seebeck. Esta separación proviene de descubrimientos independientes del físico francés Jean Peltier y del físico estonio-alemán Thomas Johann Seebeck.

No hay que confundir el Efecto Joule, que consiste en un material resistivo que, al pasar la electricidad en él éste se calienta y es el utilizado en los calefactores, hornos... Es fenómeno relacionado, aunque no se denomine generalmente un efecto termoeléctrico (y se considera usualmente como un mecanismo de pérdida debido a la no idealidad de los dispositivos termoeléctricos).

La principal razón por la que no se considera termoeléctrico es porque los efectos Peltier, Seebeck y Thomson pueden, en principio, ser termodinámicamente reversibles, mientras que el calentamiento Joule no lo es, es decir, calentando el material resistivo no seríamos capaces de obtener un voltaje.

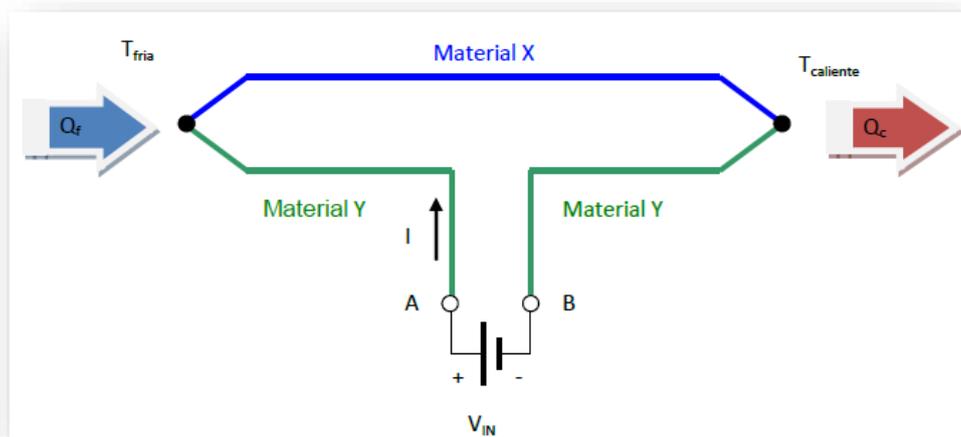
Los antecedentes del efecto Seebeck se basan en el efecto **Thomson**, que fue predicho y luego observado experimentalmente por William Thomson (Lord Kelvin) en 1851. Describe el calentamiento o enfriamiento de un conductor portador de corriente con un gradiente de temperatura.

Resumiendo, el efecto Seebeck consiste en generar corriente eléctrica sometiendo la unión de 2 metales diferentes a una diferencia de temperaturas; 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. En este primer caso, el efecto Seebeck, va a ser el cual vamos a estudiar a fondo puesto que es el que nos interesa para nuestro trabajo.

### 1.3.1 Historia Efecto Peltier



El físico francés Jean Charles Peltier (Ham, 22 de febrero de 1785 – París, 27 de octubre de 1845), en 1834 fue cuando descubrió el efecto termoeléctrico durante el transcurso de sus investigaciones sobre la electricidad. El efecto Peltier consiste en que cuando se hace pasar una corriente por un circuito compuesto de materiales diferentes, cuyas uniones que están a la misma temperatura, se produce el efecto inverso al Seebeck (efecto termoeléctrico). En este caso, se absorbe calor en una unión y se desprende en la otra. La parte que se enfría suele estar cerca de los 0° C aproximadamente, dependiendo de la intensidad aplicada, mientras que la parte que cede calor puede alcanzar rápidamente los 80° C. Una característica muy interesante es que con sólo cambiarle la polaridad de la placa podemos enfriar lo que antes se calentaba, siendo un artefacto muy útil para hacer por ejemplo calentadores o enfriadores de bebida, ya que con el mismo circuito y sin hacer ningún cambio podemos obtener los dos fines.



**Ilustración 6:** Esquema Efecto Peltier. En los extremos  $T_{fria}$  y  $T_{caliente}$  obtenemos la diferencia de temperatura

El efecto Peltier se puede expresar matemáticamente con la siguiente ecuación:

$$Q_p = \pi_{xy} \cdot I$$

Donde:

$Q_p$ : Es la potencia calorífica generada o absorbida por el efecto Peltier.

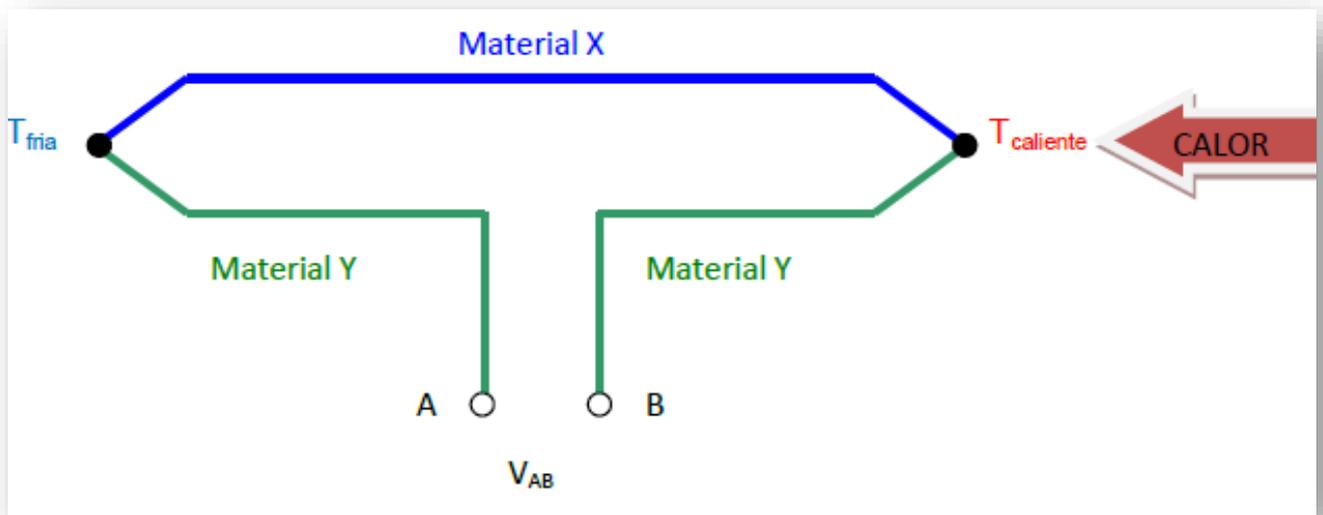
$\pi_{xy}$ : Es el coeficiente Peltier entre los dos materiales, X y Y, en voltios.

$I$ : Es la corriente que circula por la unión expresada en amperios.

### 1.3.2 Historia efecto Seebeck



El físico alemán Thomas J. Seebeck (Reval, 9 de abril de 1770 – Berlín, 10 de diciembre de 1831) descubrió en 1820 que si se cierra el circuito por la unión de dos materiales distintos y esta unión tiene contacto físico con un objeto, la temperatura de éste se ve como una diferencia de potencial que se genera en la unión de los metales.



*Ilustración 7: Esquema Efecto Seebeck. En los terminales A y B obtenemos un diferencial de potencial*

El efecto Seebeck se puede expresar matemáticamente con la siguiente ecuación:

$$V_{ab} = \alpha \cdot (T_{fria} - T_{caliente})$$

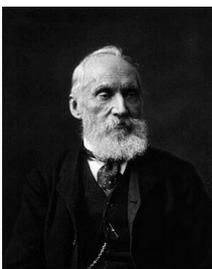
Donde:

$V_{ab}$ : Es el voltaje de salida en voltios.

$\alpha$ : Es el coeficiente de Seebeck entre los dos materiales, X e Y, en voltios.

$T_{fria}$ ,  $T_{caliente}$ : Son las temperaturas fría y caliente de las uniones, en °K.

### 1.3.3 Historia efecto Thomson

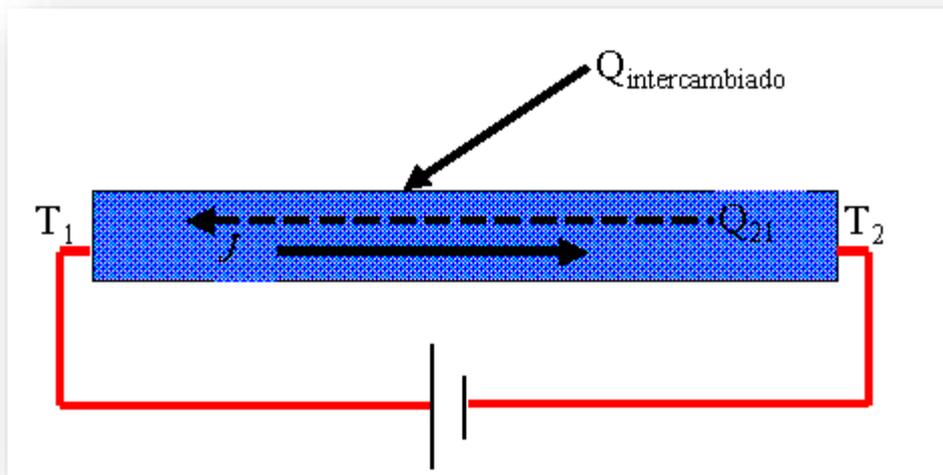


Veinte años después de que se descubrieran los efectos Seebeck y Peltier, William Thomson (años más tarde, William Thomson resultaría más conocido como Lord Kelvin) desarrollaría explicaciones detalladas de estos efectos, describiendo la interrelación termodinámica entre ambos.

En este estudio, Thomson predice además la existencia de un tercer efecto termoeléctrico, hoy conocido como efecto Thomson en el cual se absorbe o emite calor cuando una corriente recorre un material en el que existe un gradiente de temperaturas.

En este caso la cantidad de calor asociada es proporcional a ambos, el gradiente térmico y la corriente circulante, a través del coeficiente Thomson.

El calor liberado es proporcional a la corriente y por ello, cambia de signo al hacerlo el de la corriente. Se absorbe calor si la corriente y el calor fluyen en direcciones opuestas y se libera su fluyen en la misma dirección. La diferencia fundamental entre los efectos Seebeck y Peltier con respecto al efecto Thomson es que, éste último, existe para solo un material, sin necesidad de la existencia de una soldadura.



*Ilustración 8: Esquema efecto Thomson. Un mismo material representado en azul con dos temperaturas diferentes ( $T_1$  y  $T_2$ ), al aplicar una corriente*

#### 1.4 Principio del funcionamiento de las células Peltier

La respuesta es por la composición atómica de cada material. Recordando un poco de física de 1°, con la unión de ambos materiales obtenemos un semiconductor. Los **Semiconductores tipo N** se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado, añadiendo un cierto tipo de átomos al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libres en este caso negativos o electrones.

## INTRODUCCIÓN

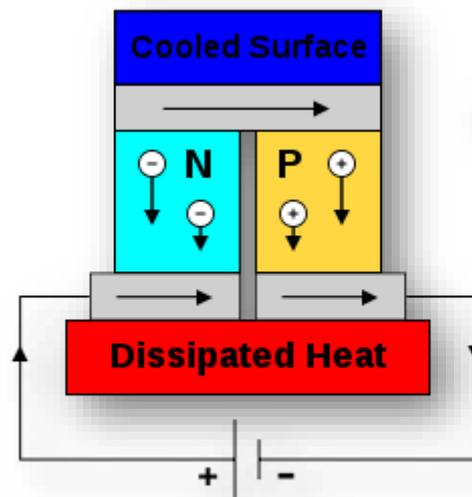
En cambio, los **Semiconductores tipo P** se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado, añadiendo un cierto tipo de átomos al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libres en este caso positivos o huecos.

Por ejemplo, si se ponen en contacto cobre y zinc, se puede medir entre ellos un diferencial de potencial por el efecto anteriormente explicado.

Esto puede explicarse considerando que, por regla general, si 2 metales A y B se ponen en contacto y si el metal:

A posee  $N$  electrones libres por metro cúbico

B posee  $n$  electrones libres por metro cúbico

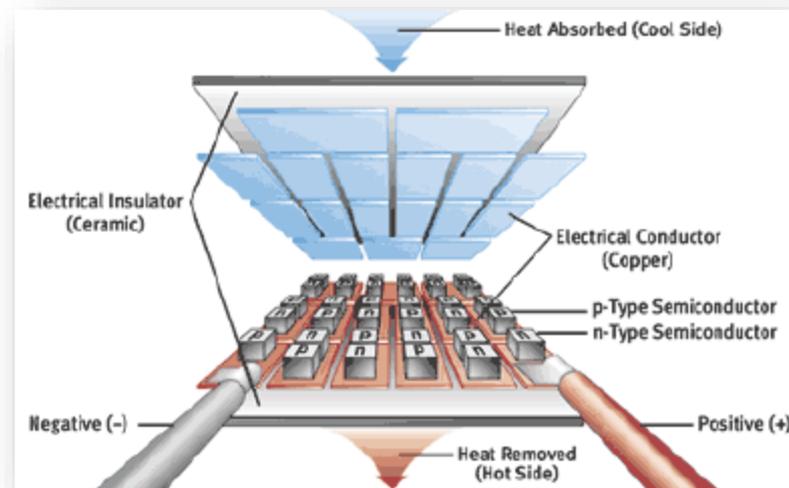


*Ilustración 9: Esquema de los semiconductores en una célula Peltier*

Cuando se tiene  $N > n$ , el metal A cede, al ponerlos en contacto, electrones a B y queda cargado positivamente respecto a él.

Es por ello por lo que la cantidad de electricidad producida dependerá de los dos metales elegidos y también por la diferencia de temperatura entre la unión de ambos y los extremos libres. Una diferencia de temperatura aplicada causa portadores cargados en el material, si hay electrones o huecos, para difundirse desde el lado caliente al lado frío. Por el contrario, si aplicamos electricidad haremos este proceso artificialmente, lo que producirá que un material quede hueco y otro cargado y provocando esto que en un material se enfríe y en el otro se caliente.

Las células que se comercializan en el mercado esencialmente están compuestas por dos tipos de elementos semiconductores, telururo de bismuto y el seleniuro de antimonio



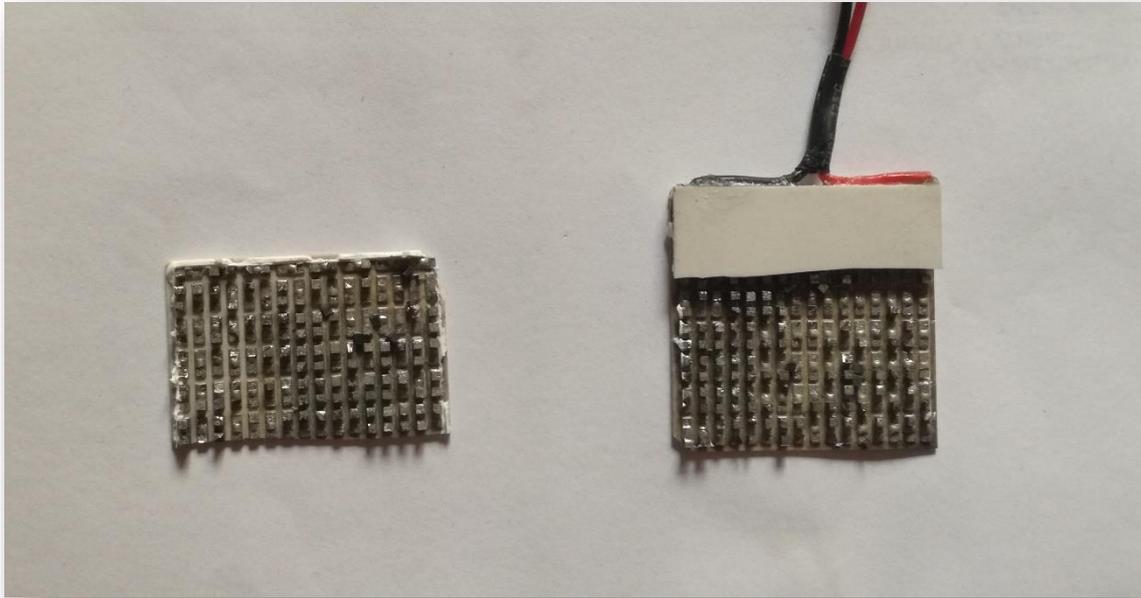
*Ilustración 10: Dibujo representativo del interior de las células Peltier*

### 1.4.1 Interior de una Peltier

En una de las ocasiones que se estaba realizando un experimento, una de las células se quemó ya que se le aplicó demasiado calor sin refrigerarse de forma correcta, haciendo que solo proporcionara voltaje, pero una intensidad de 0.1 mA, siendo incapaz de alimentar ningún sistema. Aprovechando que no valía, se abrió para ver cómo son por dentro exactamente las células Peltier ya que había pocas referencias sobre el tema. Para ello, se tuvo que quitar el revestimiento lateral de silicona que rodea a toda la célula y cuyo objetivo es evitar que, al enfriarse, condense y se creen gotas de agua, evitando así que se cortocircuiten. Cuando se quitó, como las diferentes uniones van soldadas en el extremo de cada lámina de cerámica, se tuvo que partir sin más dificultad.

Es importante recalcar que las láminas donde están las uniones son de cerámica. Ser de cerámica implica que se tarde más en calentar y en enfriar, no obstante, permite que el cambio de temperatura sea más progresivo y tenga mayor inercia térmica.

También, al ser aislante eléctrico, permite que no se cortocircuiten cuando se ensamblan todas las soldaduras.



*Ilustración 11: Fotografía real del interior de una célula Peltier*

Como se puede observar, una célula Peltier, en su interior se encuentra decenas de conexiones tanto en serie como en paralelo del conjunto de los dos materiales anteriormente citados. Cada una de estas uniones, al aplicarle una intensidad hace una diferencia de temperatura muy insignificante, pero al unirse todas, la diferencia térmica es grande. De igual manera pasa cuando se aplica una diferencia de temperatura.

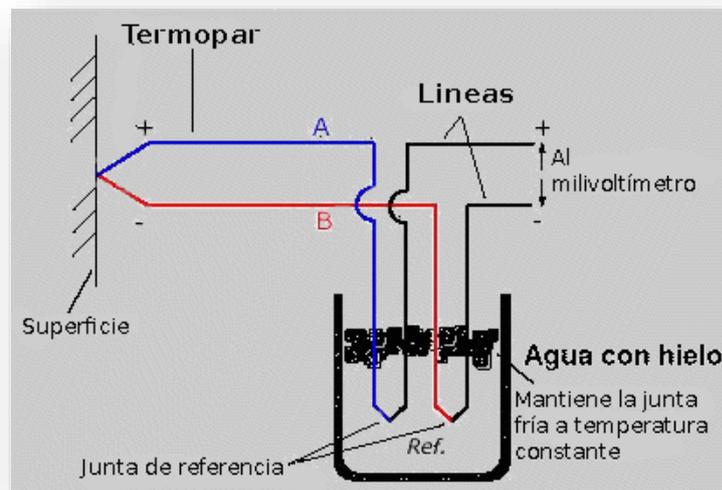
Cuando se calienta una cara y se enfría la otra, cada una de estas uniones puede crear una tensión de milivoltios y una intensidad muy insignificante, pero con las uniones en serie y en paralelo, se obtienen voltajes más importantes y que pueden ser utilizados.

Esto demuestra que, con solo una unión, como en los experimentos de Thomas J. Seebeck, la tensión obtenida era muy pobre, y que, en los termopares, que funcionan con este principio, tiene que usarse un amplificador para poder ver los datos.

## 1.5 Principales utilizaciones del efecto termoeléctrico

El fenómeno termoeléctrico es muy utilizado en la industria para medir la temperatura mediante los termopares. Un termopar es un instrumento formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña (del orden de los milivoltios) que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado «punto caliente» o «unión caliente» o de «medida» y del otro llamado «punto frío» o «unión fría», el cual se conoce exactamente cuál es su temperatura. Según el diferencial de potencial que se crea y con unos valores registrados, se obtiene la temperatura. Su principal ventaja es que son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas.

No obstante, presentan una limitación bastante importante, y es que la exactitud de estos instrumentos no es muy buena, pues es fácil obtener errores del sistema cuando se trabaja con precisiones inferiores a un grado Celsius.



**Ilustración 12:** Esquema del funcionamiento de un termopar

## TIPOS DE TERMOPARES

Tipo	Alcance Temperatura °C	Materiales y Aleaciones (+) Vs. (-)
Metal - Base		
E	-270 a 1 000	níquel - cromo Vs. cobre - níquel
J	-210 a 1 200	hierro Vs. cobre - níquel
T	-270 a 400	cobre Vs. cobre - níquel
K	-270 a 1 372	níquel - cromo Vs. níquel - aluminio
N	-270 a 1 300	níquel - cromo - silicio Vs. níquel - silicio - magnesio
Metal - Noble		
R	-50 a 1 768	platino - 13 % rodio Vs. platino
S	-50 a 1 768	platino - 10 % rodio Vs. platino
B	0 a 1 820	platino - 30 % rodio Vs. platino - 6 % rodio

**Ilustración 13:** Tipo de termopares con la unión de metales.

Según el tipo de unión que se haga, obtendremos termopares de un tipo u otro. En la industria, el tipo de termopar más utilizado es el Tipo J, debido al bajo precio de sus materiales.

Otro campo ampliamente utilizado es para las neveras de camping de 12V y las neveras silenciosas que no llevan gas. Las células que llevan estos equipos funcionan con una tensión de 12V y una potencia de 50W-70W, y es por ello por lo que se han popularizado tanto, y es que es fácil encontrar fuentes de tensión y baterías capaces de suministrar esa potencia, como en los coches. Presentan la ventaja que no tienen partes móviles ni gas, evitando en gran medida costosas averías, son muy baratas (por menos de 40€ se pueden encontrar en cualquier centro comercial) y son sistemas muy simples, con dos ventiladores y dos disipadores de calor basta. No obstante, el rendimiento de éstas es muy bajo ya que consumen muchísimo y enfrían relativamente poco, rondando generalmente el 5-10% de la eficiencia de un refrigerador ideal y comparado con el 40-50% conseguido por los sistemas convencionales de ciclo de compresión. Normalmente son capaces de descender 18-20 grados con el exterior, es decir, si en el exterior está a 30°C, podemos tener los alimentos entre 10/15°C, sin ser capaces de tener una parte de congelador. Como se puede observar, no es una diferencia muy notoria.



**Ilustración 14:** Nevera portátil 12V con células Peltier

En otro campo que se ha investigado y utilizado en poca medida es para la refrigeración informática. Algunos equipos informáticos, para enfriar el procesador utilizan una célula Peltier, haciendo que éste alcance temperaturas de trabajo inferiores y por tanto su velocidad de procesación y rendimiento sea superior.

También ha habido trabajos para enfriar el vehículo mediante células Peltier, no llegando a ser grandes avances ya que son sistemas que consumen mucha energía y la capacidad de refrigeración, como se ha visto anteriormente, no es muy buena.



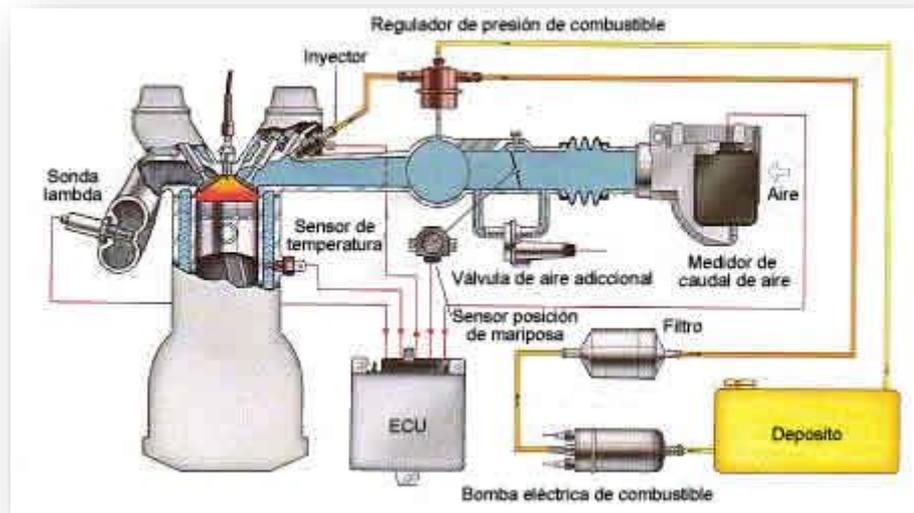
**Ilustración 15:** Fotografía representativa de la temperatura bajo cero capaz de alcanzar estas células

## 1.6 Razones por las cuales introducimos células Peltier en un vehículo

Como se ha dicho al principio de la introducción, uno de los mayores problemas en la actualidad es la falta energética que hay en el planeta. Cada vez el consumo es mayor y, si no se puede reducir el número de automóviles que circulan, puesto que cada vez hay más deslocalización y mayor necesidad de transporte, hay que trabajar para hacer que éstos sean más eficientes, es decir, mejorar su rendimiento. También hay que sumar que, cada vez más, para evitar o aliviar los efectos del cambio climático producidos por las acciones humanas al quemar combustibles fósiles, las normas anticontaminación se están volviendo más estrictas.

Para reducir los consumos y emisiones para así poder cumplir las cada vez más estrictas normas anticontaminación, se han hecho uso de diferentes tecnologías:

**Uso de la electrónica:** Con la proliferación de la informática, se ha ido acoplado cada vez más a los vehículos, siendo un ordenador quien controla aspectos tan importantes como los parámetros del motor. Con la aparición de la inyección electrónica se consiguió inyectar con más presión y en varios pulsos, haciendo que con menos cantidad de combustible se obtengan mejores rendimientos, mayor par, mantener una relación estequiométrica entre el combustible y aire, reducir la contaminación y consumos. Todo esto es capaz de hacerlo ya que se mide en cada momento diferentes parámetros como el caudal de aire que entra al motor, la posición del pedal del acelerador, la temperatura del motor y del aire, revoluciones que gira el motor y composición de los gases de escape, este último gracias a la sonda Lambda. Con todos estos parámetros, la ECU (Engine Control Unit o Unidad de Control de Motor) da la orden de inyectar la cantidad de combustible que haga falta y cuando haga falta. Así, por ejemplo, se consigue que cuando quitas el pedal del acelerador el consumo sea 0.



**Ilustración 16:** Esquema de los parámetros tenidos en cuenta por la ECU en un motor de gasolina

La diferencia que se puede encontrar en un motor gasolina y diésel es la programación de este y que se tienen en cuenta otros parámetros como la válvula EGR (recirculación de gases de escape) para reducir los NOx o el FAP (Filtro Antipartículas), entre otras.

**Sistemas Start-Stop:** Este sistema se ha popularizado en los últimos años tanto en motorizaciones gasolina como diésel que lo que permite es que cuando el vehículo se encuentra parado, como en un semáforo, y se pone punto muerto, el motor automáticamente se para. Una vez que se quiere proseguir con la marcha y se pisa embrague, automáticamente el motor se enciende en tiempos muy cortos que pueden durar unas décimas de segundo. Con estos sistemas, se pueden ahorrar hasta un 5% de emisiones de CO<sub>2</sub>, sobre todo en ciudad que es cuando se pone en uso este mecanismo. Este sistema lo controla también la ECU y sólo es válido para mecánicas propiamente diseñadas.

**Coches híbridos:** La tecnología híbrida consiste en que el vehículo es accionado mediante un motor de combustión y uno eléctrico. El modo eléctrico funciona cuando se circula a bajas velocidades, como en ciudades, y el de combustible cuando se circula a una velocidad mayor.

Estos vehículos tienen sistema de frenado regenerativo y es que cuando se frena, en vez de transformar la energía cinética en calor, se transforma en electricidad, cargando así las baterías para poder circular posteriormente. Cuando se circula en modo eléctrico el motor térmico estaría desconectado y, por tanto, este sistema es una combinación de los Start-Stop y eléctricos. Con esta tecnología se puede ahorrar un 30-35% de combustible. La tecnología híbrida enchufable tiene el mismo principio que la híbrida sólo que se puede recargar como si de un eléctrico se tratase, aumentando la autonomía con la que se puede circular en modo eléctrico y aumentando también el ahorro de combustible. En ocasiones pueden funcionar a la vez para tener unas mejores prestaciones.

Es por ello por lo que el estudio se centra en la posibilidad de aplicar estas células en los automóviles, pudiendo aplicarlas posteriormente a cualquier otra máquina o proceso industrial del cual se desprenda gran cantidad de energía térmica.

En los vehículos hay una combinación de electricidad y desprendimiento excesivo de calor residual que no se utiliza más que una muy pequeña parte para la calefacción, unido a la búsqueda de nuevas formas para reducir consumos y emisiones de gases lo hacen un objetivo muy interesante a estudiar.

Una forma sería aprovechar toda la inmensa cantidad de energía térmica que se desprende fruto de la combustión para obtener electricidad. Obteniendo electricidad por células Peltier podríamos reducir o incluso eliminar el alternador, que es el encargado de suministrar electricidad a todos los elementos del vehículo pero que a su vez hace que consuma más carburante.

### 1.7 Elementos que intervienen en el estudio

Este estudio, como se ha avanzado anteriormente, va a tratar de obtener electricidad mediante calor residual, y es por ende donde intervendrán dos aspectos claves en un vehículo, el alternador y el sistema de refrigeración de un vehículo.

### 1.7.1 El alternador

El alternador es el encargado de proporcionar electricidad a todos los elementos del vehículo, tales como luces, motores eléctricos, ordenador de a bordo... evitando que la batería se descargue y así garantizarnos tener suficiente carga para arrancar el vehículo cuando precisemos de ello. También, con los nuevos sistemas Start-Stop, deben de dar la suficiente potencia como para permitir que la batería se regenere rápidamente y así cuando el motor se encuentre parado puedan seguir utilizando todos los elementos del vehículo. Un defecto en el alternador supondría que el coche ni siquiera funcionaría, ya que actualmente todo está controlado electrónicamente y, además en los motores de gasolinas, sin electricidad las bujías no podrían hacer chispa.

No obstante, como dicta la ley de la conservación y la energía, dicha por Lavoisier, la energía ni se crea ni se destruye, únicamente cambia de estado. En el alternador, como es obvio, no rompe este principio y por tanto si suministra energía eléctrica es a cambio de otra energía. Cuando el motor está en marcha, mediante una correa auxiliar acoplada al movimiento del cigüeñal, acciona elementos como dirección asistida, aire acondicionado y, como es de suponer, el alternador. Por tanto, el alternador no es un generador propiamente dicho, sino un transformador de energía cinética en energía eléctrica. Esta energía cinética se obtiene del trabajo del motor y del eje de del cigüeñal, haciendo que frene el movimiento de éste y por consiguiente obligando a inyectar más carburante y a consumir más. Por cada 100km, dependiendo del consumo eléctrico en ese instante, puede aumentar el consumo 0.3 y 0.5L.

Si se prescindiese de él o se disminuyese, de forma inmediata quitaríamos una carga al motor que se traduciría a un menor consumo y una menor cantidad de emisiones de efecto invernadero.

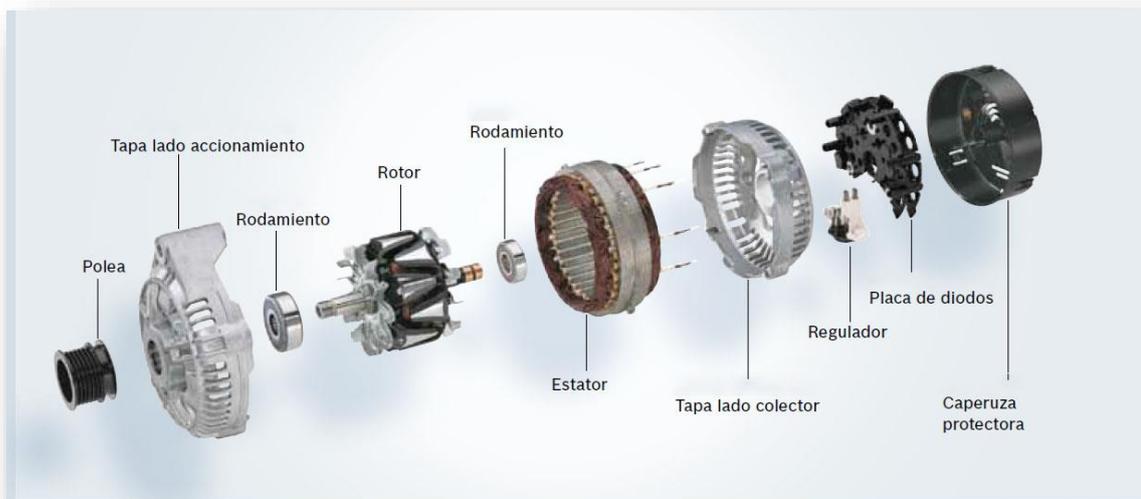
Otra razón de que sea muy interesante este trabajo es que no toda la potencia que el alternador consume se transforma en electricidad, pues una parte de esta se pierde en forma de calor y en forma de campo magnético. Actualmente, el rendimiento del alternador es de aproximadamente un 80%.

## INTRODUCCIÓN

Hace ya unas décadas se introdujo una mejora en el proceso de obtener electricidad en el vehículo, dejando de lado la antigua dinamo e introduciendo el alternador. Este tenía una serie de limitaciones;

Por un lado, hasta las 1500rpm no daba la suficiente potencia como para cargar la batería y poder utilizar los elementos eléctricos que cada vez más se iban añadiendo a los vehículos y, por otro lado, si se añadía un multiplicador, disminuyendo la polea del dinamo y aumentando la del cigüeñal, cuando se supera los 6000rpm las escobillas se desgastaban muy rápido.

El principio del alternador es el siguiente. Cuando se acciona, hacemos pasar un campo magnético a través de un conductor (el bobinado es un único conductor de cientos de metros que está lacado para que no haga contacto cuando se enreda en sí mismo), la fuerza del campo magnético suministrara la energía necesaria para que los átomos de cobre liberen sus electrones de valencia. Todos los electrones se moverán en cierta dirección, dependiendo de la forma en que el campo magnético cruce el conductor. Cuando la polaridad del campo varía puesto que está moviéndose también lo hace la dirección de los electrones, creando así la corriente alterna, que cambia según cada vuelta del eje del alternador la polaridad. El único requisito es que haya un movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético.



**Ilustración 17:** Dibujo representativo del interior de un alternador con sus partes

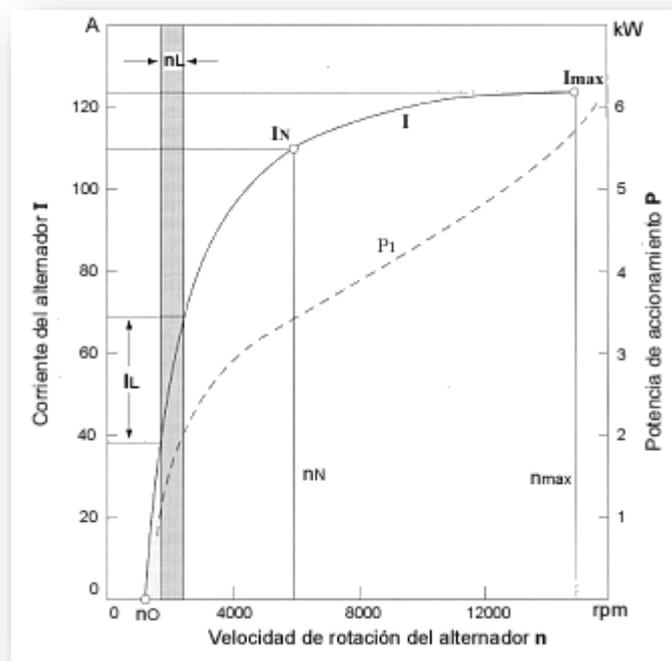
Como se puede apreciar, las partes principales del alternador son:

**La polea:** La polea es la encargada de recibir el movimiento de la correa, movida por el cigüeñal. Una peculiaridad que tiene es que su diámetro es menor que la del eje de cigüeñal, permitiendo actuar de multiplicador para que gire a más revoluciones que el propio motor.

**El rotor:** Esta parte es el encargado de generar el campo magnético. Las polaridades están alternadas para que al girar poder inducir al estator.

**El estator:** El estator es el bobinado de cobre esmaltado que al movimiento del rotor se excita, creando electricidad alterna.

**El regulador y la placa de diodos:** Al ser un alternador y llevar tres bobinados fijos en el estator, proporcionando corriente alterna trifásica. Como los coches funcionan a 12V DC (24V DC en los camiones), y que cuando el motor gira a altas revoluciones se da tensiones mayores, estos elementos se encargan de que proporcione siempre el mismo voltaje en corriente continua.



**Ilustración 18:** Gráfico que relaciona corriente del generador con la potencia de accionamiento

Como se puede observar en el gráfico anterior, en la franja sombreada, que representa el régimen de ralentí (800 rpm) hasta unas 2000 rpm, se obtiene una intensidad de entre 40 A y 70 A, que es suficiente para alimentar los sistemas eléctricos del vehículo. A partir de las 6000 rpm es cuando el alternador entrega su potencia nominal, es decir, la potencia la cual se vende el alternador, y a partir de ahí crece de forma muy suave hasta cuando a las 12000 rpm entrega su intensidad máxima.

Otra de las ventajas que presentaría la incorporación de células Peltier como método de obtención de electricidad es que proporciona corriente continua, permitiendo que haya menos pérdidas por ahorrarse el paso de AC a DC.

### 1.7.2 Sistema de refrigeración

Los motores térmicos que utilizan un combustible, como es el Diesel, la Gasolina o GLP (Gal licuado del Petróleo) para su funcionamiento, cuando están en funcionamiento producen gran cantidad de calor que hay que evacuar. Estos motores, en el interior de los cilindros se quema el combustible a altas presiones y temperaturas para obtener el mayor rendimiento posible.

No obstante, desgraciadamente sólo entre el 30% y 50% de esta energía se aprovecha (dependiendo de la motorización y tecnología usada), lo que implica que más de la mitad de la energía se desaprovecha, y la mayor parte en forma de calor.

Cuando se quema el combustible, y circulando sobre todo a altas revoluciones que es cuando más carburante se quema, el motor debe de evacuar todo este calor provocado en el motor, y ahí está la función del sistema de refrigeración. Si el sistema de refrigeración no funcionara correctamente, las altas temperaturas del motor provocarían la rotura de juntas, rotura de la culata, holguras y en el peor de los casos un gripaje, que es cuando el pistón y el bloque se “suedan”, en ocasiones provocando que sea más rentable cambiar de coche.

El sistema de refrigeración consta principalmente de los siguientes elementos:

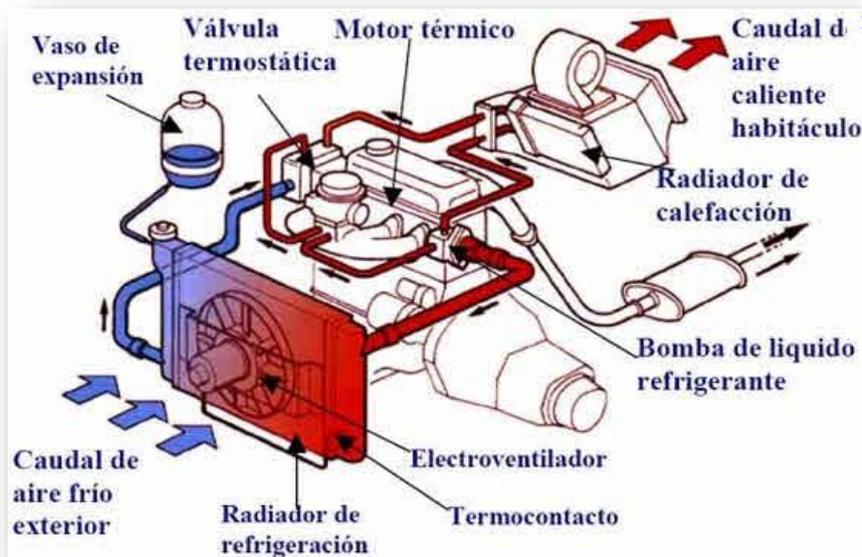
**Bomba:** Es la encargada de hacer circular el líquido refrigerante anticongelante por todo el circuito.

**Termostato:** El termostato se encuentra cerrado cuando el motor está frío para que se caliente lo más pronto posible, pero cuando coge temperatura se va abriendo permitiendo que el líquido circule hasta el radiador y se enfríe, manteniendo la temperatura de funcionamiento óptima.

**Manguitos:** Estos no son más que tuberías especiales de goma diseñadas para altas temperaturas que conectan los diferentes elementos del sistema

**El radiador:** Tal vez ésta es una de las piezas más importante del sistema. El radiador es el encargado de evacuar el calor, por lo que es un intercambiador. Éste permite intercambiar calor entre dos medios, siendo uno de ellos el fluido refrigerante y el otro el aire ambiente que pasa entre el aletado cuando se circula o cuando se conecta el electro ventilador. Generalmente, los radiadores trabajan por convección forzada entre el metal del propio radiador y el aire.

**Electro ventilador:** Este dispositivo eléctrico consta de un motor y unas hélices, que cuando se está parado y la temperatura sube en exceso, se enciende y hace pasar aire forzado por el aletado del radiador, enfriando el refrigerando y manteniendo la temperatura óptima.



*Ilustración 19: Sistema de refrigeración de un automóvil*

Con toda la explicación dada durante la introducción, la idea es de aprovechar este calor que se expulsa por el radiador al ambiente. Teóricamente, la temperatura del circuito está comprendida entre 85-95°C, temperatura que se comprobará más adelante. No obstante, para que haya un salto térmico y así que el efecto termoeléctrico se cumpla, se necesita un lado frío que básicamente es el aire ambiente que entra por el aletado del radiador.

La temperatura del circuito es siempre la misma, pero el aire ambiente cambia según la estación del año, por lo que la diferencia térmica que hay entre caras y el voltaje capaz de obtener es variable. Por ejemplo, en verano habrá menos salto térmico que en invierno que el aire que pasa por el radiador es más frío, con la consecuencia de que se obtendrá más electricidad.

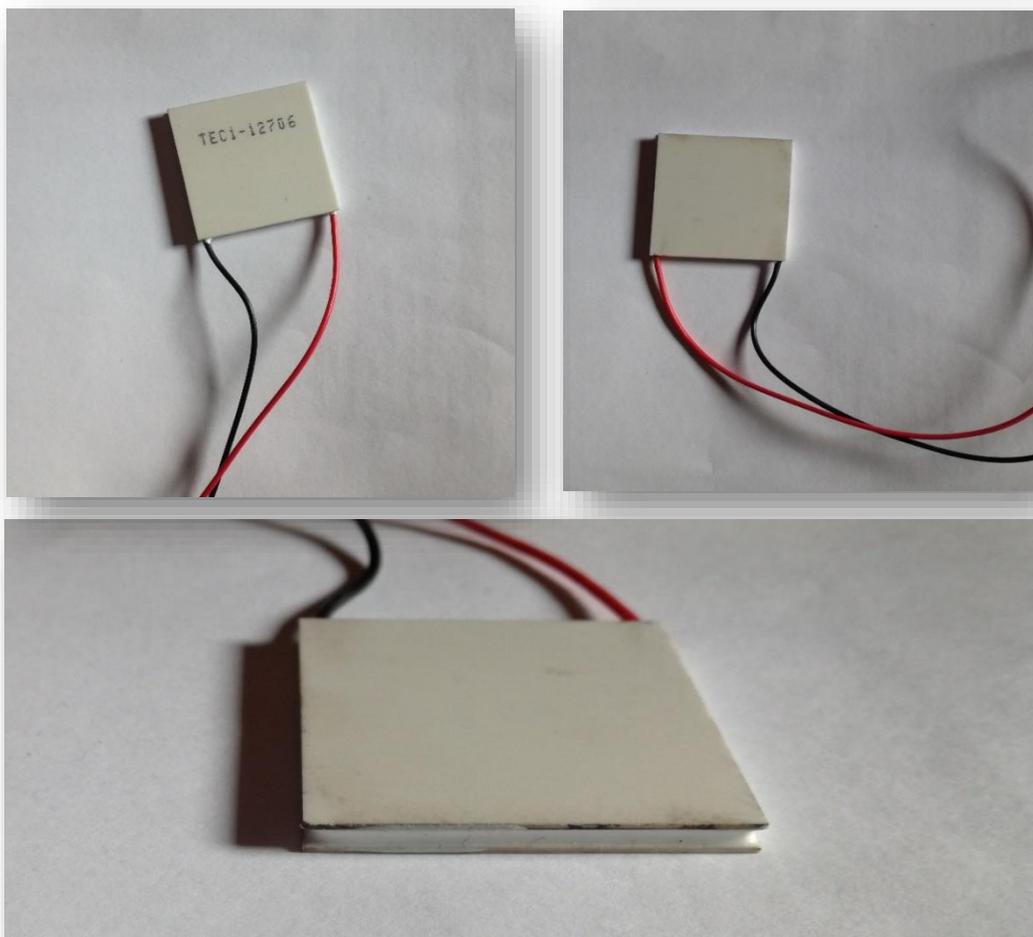
El punto elegido para el estudio es el radiador, puesto que éste tiene la temperatura más estable. Si bien se podría haber elegido el colector de escape o la cámara de combustión, estos últimos alcanzan temperaturas muy altas con muchísimas variaciones y es difícil de refrigerar, cosa que podría poner en peligro la integridad de los elementos, así como de las células. Es por eso por lo que se elige el radiador, que la temperatura no varía tanto y tiene una refrigeración excelente según se circula.

## 2. REALIZACIÓN EXPERIMENTAL

## 2.1 Comprobación de que se cumple el efecto termoeléctrico

Para empezar con las pruebas experimentales, lo primero de todo es hacerse con unas células Peltier, en este caso compradas por internet por algo menos de 2 euros cada una. Las células de estudio son unas TEC1-12706, con un tamaño de 40mm x 40mm x 4mm. Su rango de voltaje de funcionamiento abarca desde los 0 hasta 15.2V corriente continua y una intensidad de 0 a 6 amperios, corriente que consume trabajando en su estado normal, para enfriar y calentar. En cuanto a temperaturas, el fabricante garantiza que se puede obtener una variación de temperatura de hasta 67°C entre caras, soportando máximas de 225°C.

A continuación, tres fotos a todo detalle de las células en cuestión. En este caso se disponían de 5 para realizar las diferentes pruebas.



**Ilustración 20:** Mosaico de las vistas de las células Peltier utilizadas a lo largo de este trabajo

Una vez se tienen las células a disposición para trabajar con ellas, el siguiente paso que se tiene que hacer son los experimentos y sus mediciones correspondientes. Para poder realizar las mediciones, es necesario disponer de un multímetro, que es un aparato capaz de realizar diferentes medidas como intensidades, voltajes, resistencias y temperaturas. El multímetro utilizado a lo largo del trabajo es un Hyelec<sup>®</sup> MS84, el cual se utilizará exclusivamente para medir intensidades, voltajes y temperaturas.

Los valores obtenidos con el multímetro tendrán un error que, dependiendo del fabricante y modelo, variarán. En este caso, este multímetro tiene una resolución de 1mV cuando se mide en rango de 2V en continua (5%), 0.1mA cuando se mide en rango de 200mA (1.5%) y de 1 °C (2%) cuando se mide entre temperaturas de 1 a 400°C. Por eso, si por ejemplo da un valor de 1V en una medición el rango aceptable sería  $\pm 0.5V$ , pudiendo ser en la realidad 1.95 ó 2.05V. Son errores muy pequeños que no afectan a los cálculos ni conclusiones finales.

También, a la hora de realizar mediciones, hay que tener en cuenta a todas aquellas condiciones que pueden interferir directamente con los resultados obtenidos, y que deben de reproducirse exactamente igual, es decir, que las condiciones en las que las medidas se hagan deberán ser las mismas para no falsear datos. Es por eso por lo que, cuando se mide en una determinada experiencia, todas las mediciones que tengan que ver con esa experiencia deben de hacerse de continuo y en el menor tiempo posible entre ellas para garantizarnos que la humedad, temperatura ambiente, temperaturas del agua, disipadores...son exactamente la mismas y así que tengan relación los datos obtenidos.



**Ilustración 21:** Imagen del multímetro que se utilizará a lo largo del trabajo para las diferentes mediciones

### 2.1.1 Medición térmica de un radiador

La primera prueba que se va a realizar va a tratar de medir la temperatura real a la que se encuentra el sistema refrigeración de un coche cuando trabaja a su temperatura óptima tras recorrer varios kilómetros. Para realizarla, el vehículo en concreto había recorrido la distancia que separa Alicante con el pueblo Agost, que rondan los 15 Km, para que el aceite y sobre todo el agua cojan la temperatura de funcionamiento y se abra el termostato, haciendo circular el líquido refrigerante por todo el circuito. Al llegar al destino, se abrió el capot y se colocó la sonda del multímetro entre el aletado del radiador para medir la temperatura a la cual se encuentra, que será, por tanto, la temperatura que tendrá la célula y con el que se obtendrá la electricidad.

El vehículo en particular con el que se hicieron las mediciones es un Citroën Xsara Picasso con una motorización 2.0 HDi 66KW (90CV) diésel.



*Ilustración 22: 2 fotografías de dos de las mediciones térmicas realizadas en el radiador*

Tras realizar varias mediciones en diferentes puntos del radiador (en aquellas zonas accesibles ya que otras eran de difícil acceso por estar el motor caliente) las temperaturas registradas fueron de 79 – 84 – 83 – 81, haciendo una media de 81.75°C. El aire que entra al radiador cuando el coche está en movimiento es muy variante según la meteorología. En el momento de realizar la prueba, la temperatura ambiente era de 23°C, temperatura medida con el multímetro, por lo que la diferencia de temperaturas de ambas caras de la célula Peltier, de estas colocadas rondaría los 56-60°C.

En el peor de los casos, que será cuando haya menos diferencia de temperatura entre el motor y el aire y, por tanto, cuando menos energía eléctrica sería capaz de producir las células Peltier, se va a escoger como referencia que el radiador estará a 80°C, trabajando a máximo rendimiento, y que el aire que entra se encuentra a 35°. Por tanto, la diferencia de temperatura existente entre ambas caras de las células será de 45°C, y con esta temperatura será con las que se realizarán todas las pruebas.

### 2.1.2 Generador Peltier

La primera experiencia que se va a realizar una vez se tienen las células Peltier, va a ser comprobar que el efecto termoeléctrico se cumple y así seguir con el propósito de este trabajo, y para ello se va a hacer un pequeño experimento.

Con este experimento únicamente se comprobará que en realidad se produce el efecto termoeléctrico y que al calentar una cara y enfriar forzosamente la otra se obtiene un diferencial de potencial. Si fuera el caso que no produce nada de voltaje, o que para producirse se necesita de un salto térmico muy grande entre caras, cosa que no sería reproducible en un caso real, no se podría continuar con la investigación.

El experimento realizado es muy sencillo. Primero se coloca dos células Peltier con dos disipadores, uno debajo y otro encima.

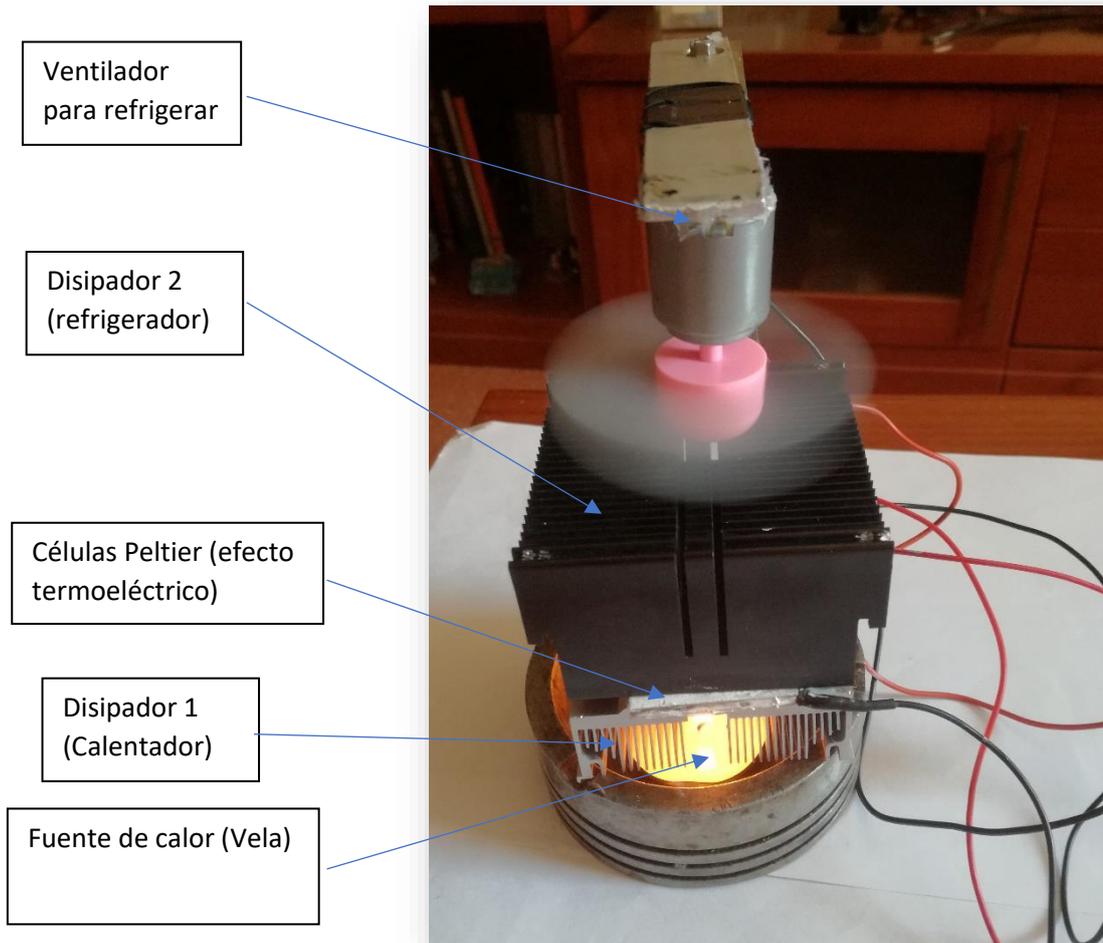
Para calentar la parte inferior, se utilizan dos velas encendidas y para enfriar la superior se coloca un disipador con un ventilador que hará introducir aire fresco, evacuando el calor que se transfiere desde las velas hasta las células Peltier, garantizando que siempre se mantenga la diferencia de temperatura.

Para colocar las células entre los disipadores se ha puesto pasta térmica utilizada en la informática que ayudará que las imperfecciones microscópicas que existe entre el aluminio y el material cerámico de las células se “corrija” y ayude a traspasar mejor el calor entre disipador-Peltier. Si no se pusiera esta pasta, la transfusión térmica sería muy mala, haciendo que se obtuvieran voltajes muy pobres o incluso quemar las propias Peltier.

Hay que cerciorarse de poner las células en el mismo sentido para que el cable rojo dé positivo y el negro negativo. Si se calentase en la zona donde se debe evacuar el calor, la polaridad variaría.

En este experimento sólo va a ser útil una célula para obtener electricidad para el uso que se quiera, puesto que la otra se utilizará exclusivamente para alimentar el motor que mueve el ventilador de la parte superior del disipador y enfriar el sistema. Por ello, se pusieron dos células Peltier.

A continuación, se muestra una fotografía con el ensayo en marcha y las partes que lo forman, con la nomenclatura que se seguirá durante toda la medición.



**Ilustración 23:** Fotografía del invento realizado para comprobar que efectivamente se cumple el efecto termoeléctrico

Primero, antes de medir voltajes se va a comprobar la diferencia de temperatura que se obtiene entre los diferentes disipadores para así saber si esa diferencia puede asemejarse a la que se obtendría en un coche ya que, si esta diferencia es muy superior a la que se podría obtener entre el radiador del coche y el aire ambiente, significaría que se tendrían unas condiciones que no se podrían reproducir en el vehículo y por tanto el propósito del trabajo dejaría de tener validez.

### 2.1.2.1 Medición Térmica

Una vez aclarado esto, se procede a realizar las mediciones de las temperaturas.

Para empezar, se mide la temperatura que tiene el disipador de aluminio que está en contacto con las dos velas que lo calientan (Disipador 1), el disipador el cual enfriará las células Peltier (Disipador 2) y el aire ambiente, que será el encargado de mantener una temperatura de este segundo disipador estable para que siempre haya un salto térmico entre las caras de las células.

Otra cuestión a tener en cuenta es que las mediciones se han realizado en la zona más próxima a la cara que queremos medir de las células para que la diferencia entre la parte medida y la cara de la célula sea mínima.



Medición de la temperatura Disipador 1



Medición de la temperatura Disipador 2



Medición de la temperatura ambiente

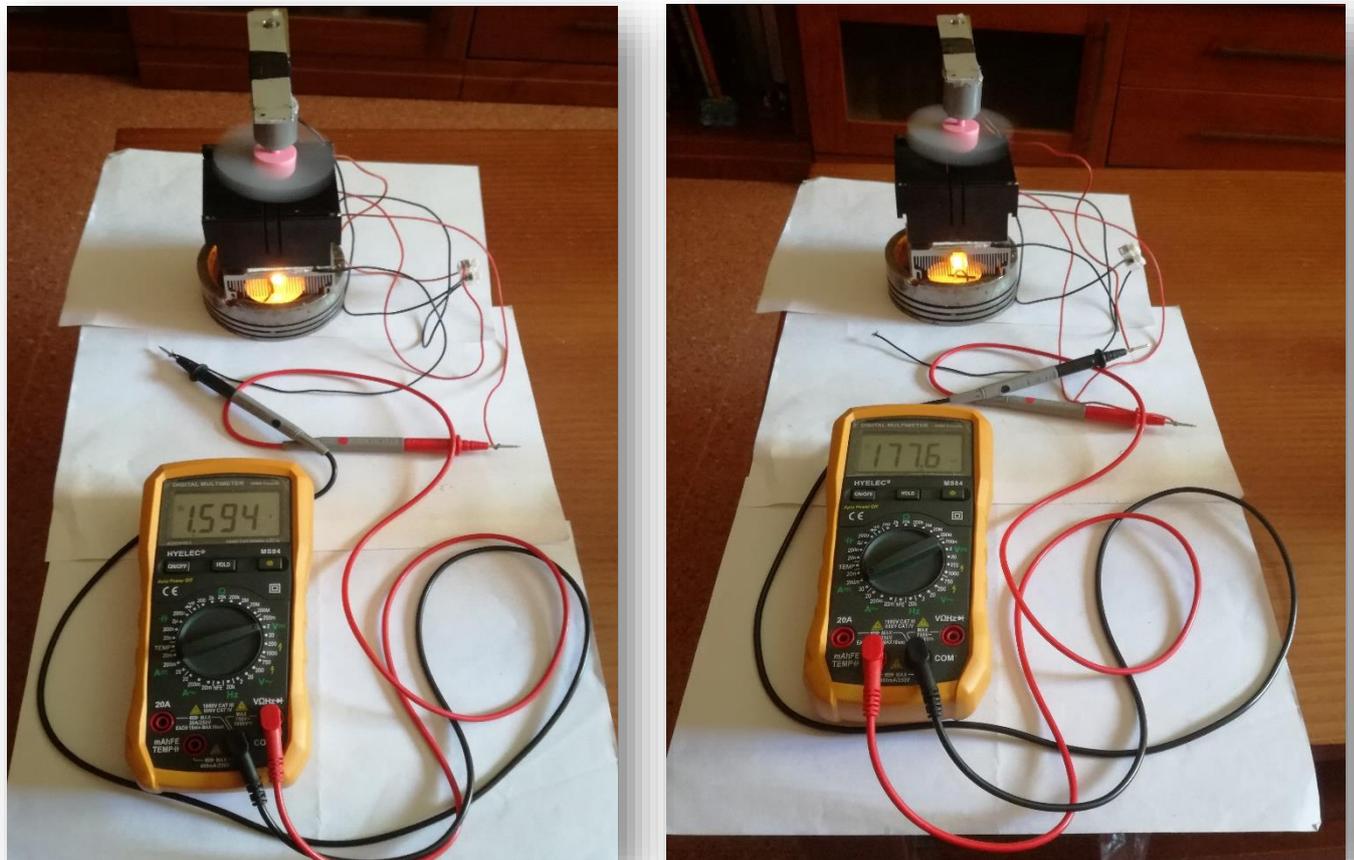
***Ilustración 24: Mosaico las diferentes mediciones térmicas***

Como se puede observar, el disipador, en el cual se está aplicando el calor con las dos velas, tiene una temperatura de 62°C, el encargado de evacuar el calor de las células es de 29°C y la temperatura ambiente, que es la temperatura del aire que refrigera el disipador 2, es de 22°C.

Con estos datos, suponiendo que la cara caliente de la célula Peltier se encuentra a 62°C y que el de la parte fría a 29°C, la diferencia de temperatura entre ambas caras es de 33°C. Como es un salto térmico inferior al que se produciría en el caso real de que estas células estuvieran en el vehículo, el experimento puede continuar.

### 2.1.2.2 Medición de voltaje e intensidad

Con estas temperaturas obtenidas anteriormente, serán con las que se realizarán las mediciones de intensidades y voltajes.



**Ilustración 25:** 2 fotografías que muestran el voltaje producido (izquierda) y la intensidad (derecha)

Primero de todo, se va a medir el voltaje. Para ver el voltaje que son capaces de suministrar las células, se hace en circuito abierto, es decir, conectándola directamente con el multímetro. Como se observa, en circuito abierto se puede obtener una tensión de aproximadamente 1.6V.

Posteriormente, se mide la intensidad. Para realizar esta acción se hace con la misma célula con la cual se ha medido el voltaje. Se ha hecho así para que todas las mediciones se hagan con la misma célula y así evitarse errores que puedan tener las mismas por fabricación. Para medir la intensidad, se abre el circuito en uno de los cables y lo conectamos al multímetro, haciendo que la intensidad pase por este y lo calcule.

Una vez hecho esto, y con el motor ya en marcha, era capaz de proporcionar 177 mA (0.177A).

Como resultados en este experimento, con una única célula Peltier se es capaz de obtener una tensión de 1.6 V y una intensidad de hasta 177 mA (0.177A) con una diferencia de 33°C, siendo resultados más que halagüeños.

Para comprobar que la electricidad obtenida era útil para cualquier utilidad, se conectó una radio que funciona con 2 pilas AAA (3V) y, aunque la intensidad de volumen no era excesiva, funcionaba perfectamente pudiendo escucharse la emisora que estaba puesta en esos instantes.

Una conclusión muy interesante e importante que recalcar es que una vez apagada la fuente de calor, como los disipadores y las Peltier tienen cierta inercia térmica, el sistema sigue proporcionando electricidad, aunque poco a poco vaya desvaneciéndose hasta que las temperaturas de ambas caras se igualan, durando el ventilador y la radio conectada en la otra célula un par de minutos encendidos.

Es importante recalcar esto ya que puede ser un gran plus para los novedosos sistemas Start-Stop, permitiendo que cuando el motor del vehículo está parado, se pueda seguir obteniendo electricidad para suministrar a los sistemas que se encuentran activos.

Como se ha comprobado, con saltos térmicos razonables se obtienen tensiones e intensidades también más que razonables. Con estos resultados, se puede profundizar más en el tema, realizando pruebas más científicas y aplicar el estudio en el coche.

### 2.2 Recta de calibrado

El siguiente paso a realizar con las células Peltier es una recta de calibrado. Esta recta se va a hacer para saber cómo se comportan para cada temperatura, si tiene un mínimo de diferencial de temperatura que ha de vencer para que empiece a proporcionar voltaje y para obtener la ecuación de la función, que se podrá aplicar para cuando se tenga una diferencia de temperatura de la cual no hay medida, aplicando la ecuación y poder obtener el voltaje que proporcionaría.

Con la recta de calibrado va a ser como se obtendrá los voltajes teóricos que proporcionarían una vez instaladas en el vehículo.

Para realizar la recta de calibrado se necesitan de los siguientes utensilios:

- Plato calefactorio de laboratorio: Con este instrumento eléctrico se consigue calentar una de las caras de la célula a la temperatura que se quiera.
- Disipador: Del mismo disipador empleado en el experimento anterior, se va a evacuar el calor que transcurre desde el plato hasta las unidades Peltier para mantenerlo a una temperatura uniforme.
- Termómetro. Para realizar este apartado, se necesitarán dos termómetros, una para medir la temperatura del plato calefactorio y el otro para ir controlando en cada instante la temperatura ambiente.
- Multímetro: A lo largo del trabajo se utiliza siempre el mismo multímetro para garantizar que los márgenes de errores en las mediciones son los mismos y tener siempre la misma referencia. En este caso, se tiene el multímetro Hyelec<sup>®</sup> MS84.
- Pasta térmica. Para garantizar el contacto perfecto entre ambas caras (plato y disipador), se aplica una fina capa de pasta térmica que ayudará a conducir mejor la temperatura entre metal y cerámica.

Para empezar a realizar las mediciones, lo primero de todo será poner un termómetro cerca de la zona de trabajo, pero a la vez a una distancia prudente del plato calefactorio para evitar que el calor que este emita interactúe demasiado con el termómetro y se falseen datos sobre la temperatura ambiente. Una vez puesto el termómetro, se enciende el plato a una temperatura de 80°C, midiendo en cada instante con otro termómetro que en efecto la temperatura sube de forma progresiva hasta llegar a la temperatura deseada.

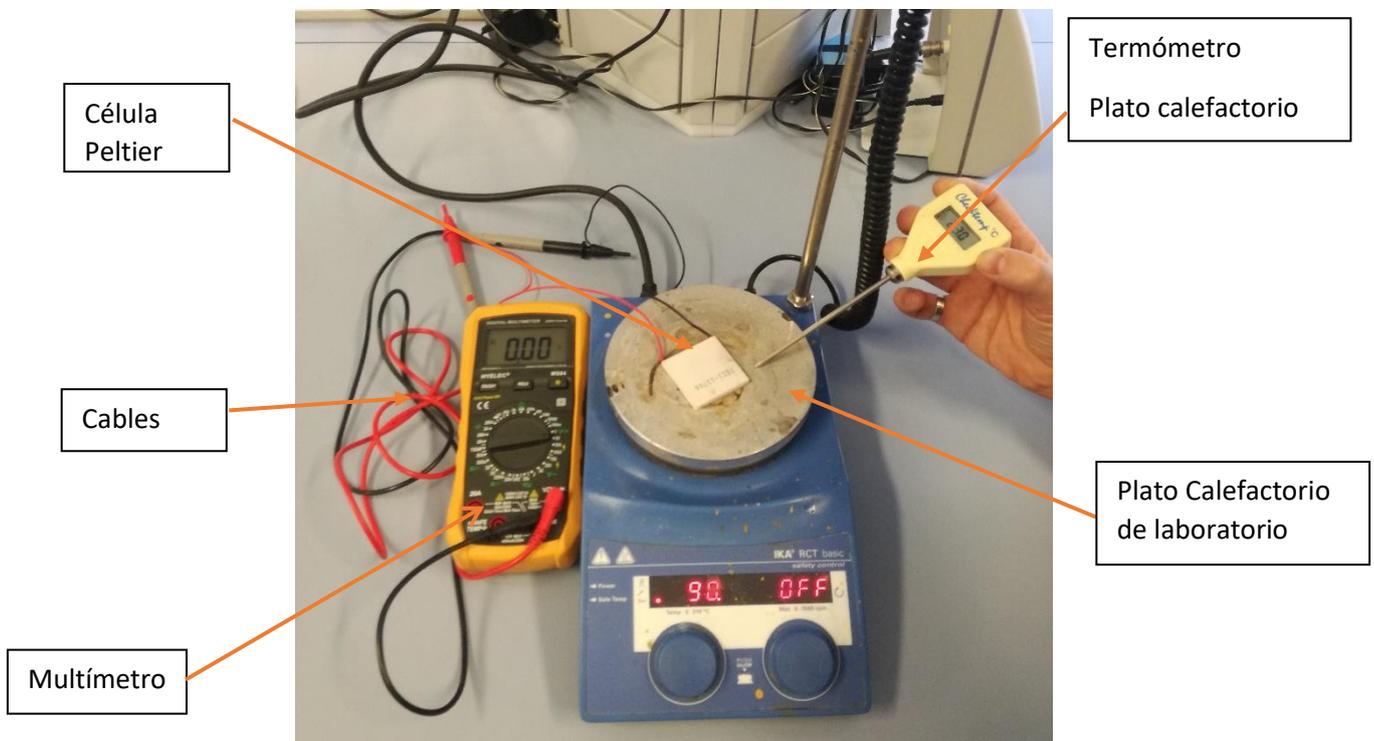
Mientras esto ocurre, se prepara el resto de la experiencia. Se comprueba que la polaridad del multímetro y de las unidades Peltier están bien y se conectan para empezar a medir las tensiones. Se aplica un poco de pasta térmica en una cara de la Peltier y por efecto de la viscosidad que tiene, esta se queda adherida al disipador.

Cuando la temperatura llega a los 80°C seleccionados, se apaga el plato y se coloca la célula Peltier en la superficie caliente, midiendo los resultados y apuntándolo en una hoja de Excel en una Tablet.

Acto seguido, se quita la Peltier para evitar que el disipador se sobrecaliente demasiado y así que se mantenga siempre a la temperatura ambiente de referencia, esperando a que la temperatura del plato descienda  $10^{\circ}\text{C}$ , para entonces volver a repetir la operación anterior y apuntar la medición obtenida. Estas mediciones se repiten cada vez que el plato desciende  $10^{\circ}\text{C}$ , haciéndolo desde los  $80^{\circ}\text{C}$  hasta los  $30^{\circ}\text{C}$ , por lo que se repetirá 6 veces. Conforme la temperatura de la superficie del plato se va acercando a la temperatura ambiente, cuesta más enfriarse, aumentándose la brecha de tiempo que hay que esperar hasta que se puede realizar las mediciones.

El disipador se considera que siempre se encuentra a temperatura ambiente, porque el tiempo que está en el plato es el suficientemente corto para evitar que se caliente. Por tanto, cuando se mide la temperatura ambiente será como medir la temperatura de la otra cara de la célula Peltier.

Cada dos mediciones hay que limpiar la célula y el disipador y poner pasta térmica nueva para evitar que esta se secase en exceso y se quedara sin ella.



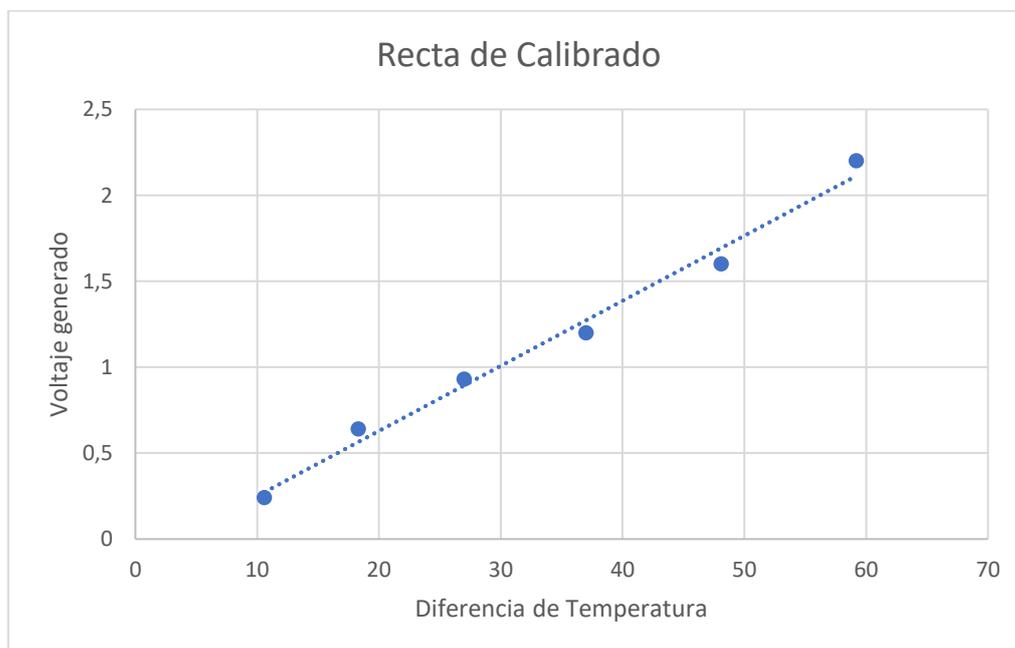
**Ilustración 26:** Fotografía del proceso de obtención de la recta de calibrado

En la fotografía anterior se ha quitado el disipador para que se viera cómo se ponía la célula Peltier sobre el plato calefactorio de laboratorio.

Cuando ya se tienen todas las mediciones realizadas y apuntadas en Excel, se obtiene como resultados la siguiente tabla y el siguiente gráfico con la recta de calibrado.

Temperatura Ambiente	Temperatura Plato	Diferencia de Temperatura	Voltaje
21,8	81	59,2	2,2
21,9	70	48,1	1,6
22	59	37	1,2
22	49	27	0,93
22	40,3	18,3	0,64
21,9	32,5	10,6	0,24

**Ilustración 27:** Tabla con los datos obtenidos en las mediciones



**Ilustración 28:** Recta de calibrado

La ecuación obtenida de esta recta es la siguiente:

$$y = 0,0379x - 0,1283$$

$$R^2 = 0,9879$$

Como se puede observar en la gráfica anterior, aparece la recta de calibrado representada por los puntos obtenidos en la experiencia con la línea de tendencia. Como muestra el coeficiente de determinación  $R^2 = 0,9879$ , los datos del gráfico son bastante fiables y, por tanto, la calidad del modelo para replicar los resultados es buena

Otro dato curioso es que la recta no pasa por el 0.0, sino por un cambio térmico de 3.38 grados. Esto significa que existe un umbral que hay que superar para dar un voltaje. Con un grado de diferencia las células no serían capaces de proporcionar nada de electricidad, haría falta, por tanto, 3.38 grados de diferencia entre caras para que empezara a proporcionar algo de corriente.

### 2.2.1 Cantidad de energía generada con salto el térmico de un coche

Como se ha visto anteriormente, el agua del motor circula aproximadamente a unos 85-90°C, siendo la media calculada de la temperatura del radiador de 81.75°C. Para hacer las estimaciones del número de placas necesarias para poder alimentar al vehículo, hay que suponer el peor de los casos para que cuando se dimensione y estén los factores desfavorables no haya problemas. Así que, de normal, la capacidad que tendrían las células sería superior que las que se van a calcular a continuación. Es por esto por lo que se va a suponer que se está en verano, con el aire ambiente (que entra en el radiador del coche) sobre 35°C y que la temperatura del radiador se encuentra a 80°C. Entonces, suponiendo que en cada cara de las células Peltier se encuentran a estas temperaturas, entre las caras tendríamos una diferencia térmica de 45°C. Con estas premisas y con la recta de calibrado, se va a calcular el voltaje que serían capaces de proporcionar cada una de ellas. Para ello, únicamente hay que sustituir la temperatura en la ecuación de la recta.

Ecuación de la recta:  $y = 0,0379x - 0,1283$

Diferencia térmica (X) = 45°C

Voltaje generado: 1.577 V

Con cada unidad de célula Peltier se obtendría casi 1.6 V, suponiendo un caso muy desfavorable.

El voltaje generado es aproximadamente el que proporciona una pila AAA. Con una célula Peltier con diferencia térmica entre caras de 45°C se puede alimentar un reloj de agujas, por ejemplo, y con dos células, con un tamaño total de 8X4cm, conseguir alimentar cualquier gadget que funcione con dos pilas, como es por ejemplo una radio, un mando a distancia de TV o una linterna. Según se vayan sumando más células, se puede ser capaces de ir alimentando aparatos que consuman más energía.



*Ilustración 29: Pila que proporciona energía semejante a la de una célula Peltier*

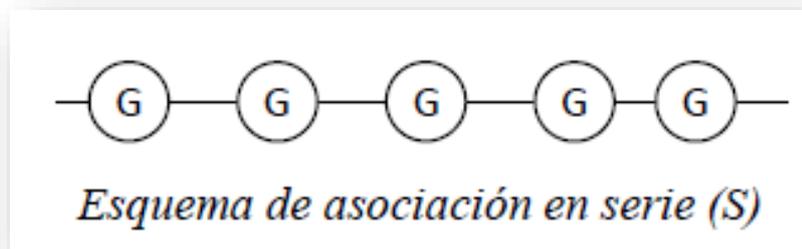
Entonces, es hora de saber cuántas células se necesitarían para poder alimentar el vehículo y cómo conectarlas, ya que dependiendo del tipo de conexión que se tenga, suma voltaje o intensidades. Antes del calcularlas, a continuación, se explican los diferentes tipos de conexión que existen para saber cuál se adecúa mejor a las necesidades eléctricas de un vehículo.

### 2.3 Tipos de conexión de las células Peltier

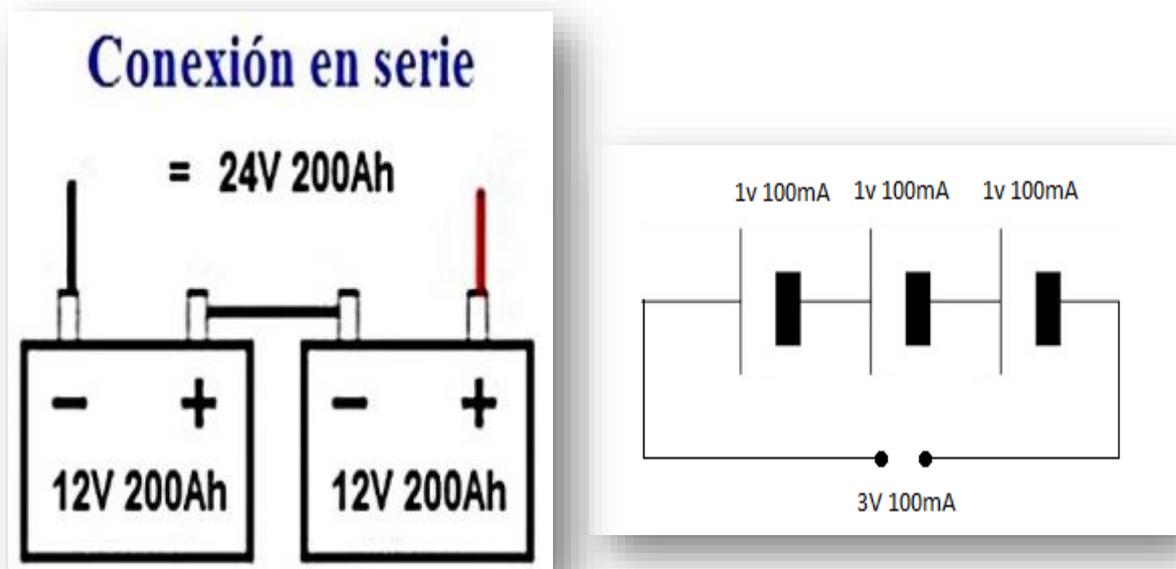
Como se ha visto con el experimento anterior, se puede llegar a obtener un voltaje significativo con un salto térmico relativamente pequeño, de 45°C. No obstante, los vehículos cargan a 14V y, por tanto, hay que conseguir unir varias de ellas para producir un voltaje similar.

Es por ello por lo que, la forma con las que se conecten será decisiva para saber cuántas y cómo se colocarán, y así conectarlas de una forma u otra. Recordando un poco de eléctrica de 2º, existen 3 formas por las cuales conectar las fuentes de tensión. Estas formas son las siguientes:

### 2.3.1 Conexión en Serie

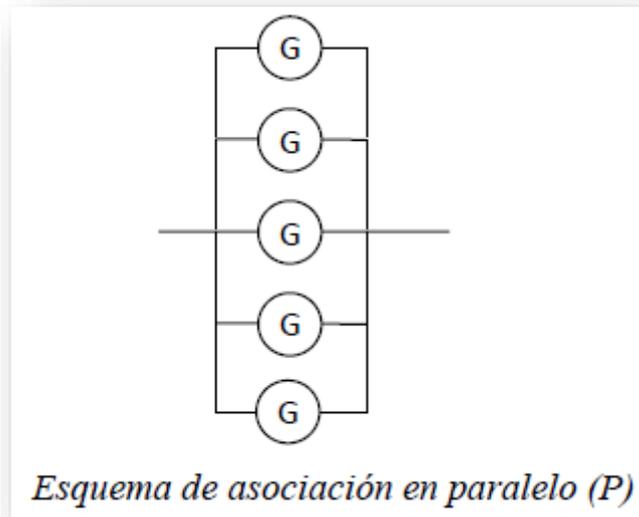


Con esta configuración, lo que se consigue es sumar voltajes con la intensidad que proporciona las células unitarias.

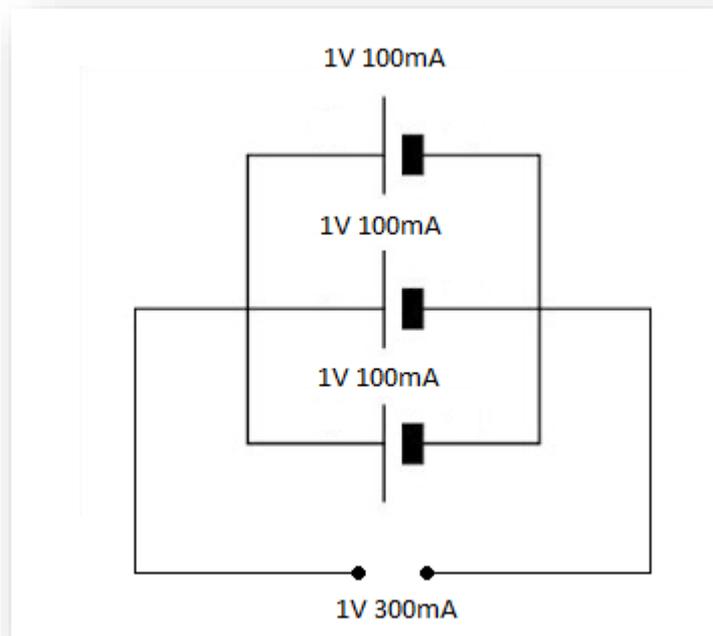
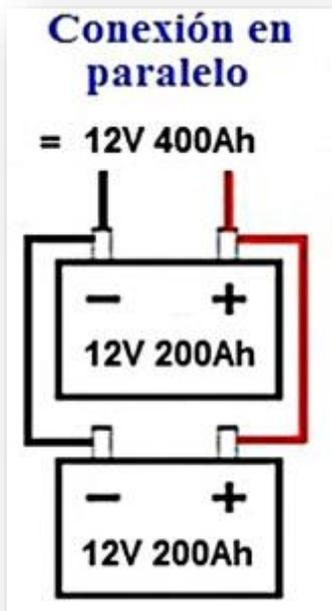


*Ilustración 30: Esquemas representativos de la conexión en serie*

2.3.2 Conexión en Paralelo



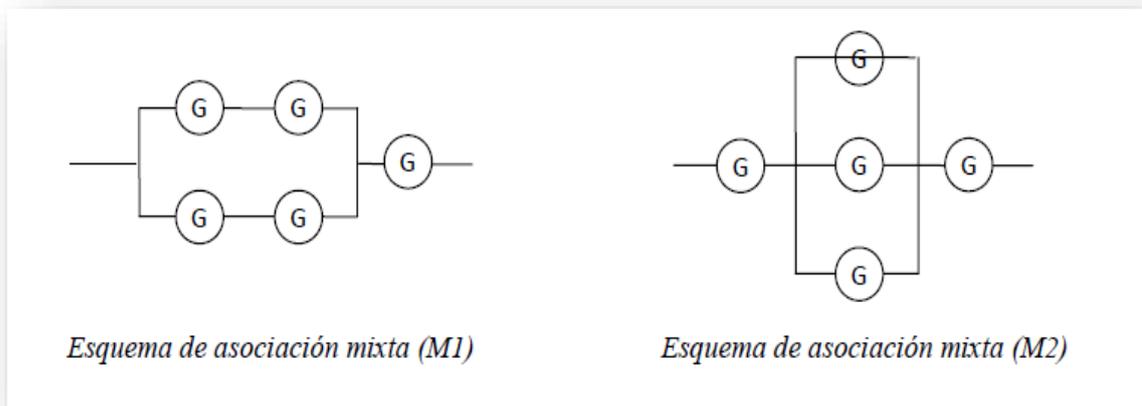
Con esta configuración, lo que se consigue es sumar intensidades, mientras que el voltaje se queda con la que proporciona cada Peltier.



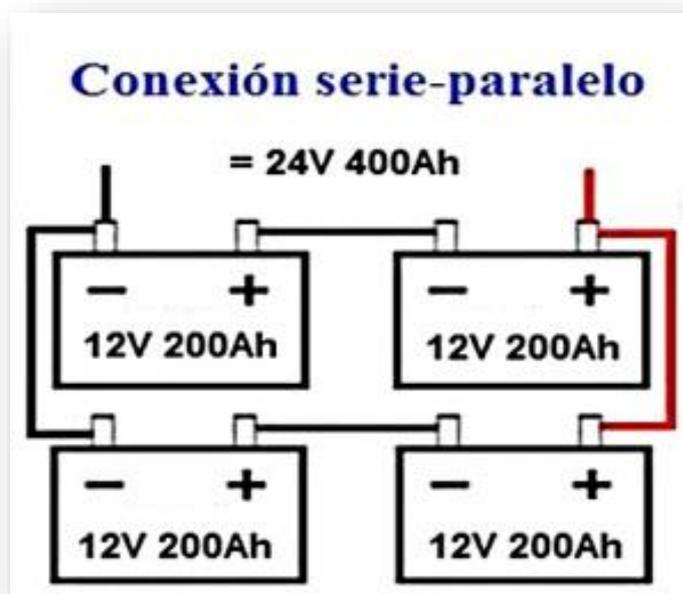
*Ilustración 31: Esquemas representativos de la conexión en paralelo*

### 2.3.3 Conexión Mixta

Un circuito mixto es aquel circuito que es una combinación de elementos tanto en serie como en paralelos.



En este caso es una combinación, que tendrá la ventaja que sumará voltajes e intensidades.



*Ilustración 32: Esquemas representativos de la conexión mixta*

## 2.4 Dimensionado del Radiador

En un vehículo interesa que el conjunto de células Peltier proporcione 14 V y que produzca la mayor intensidad posible. Esto es porque la batería carga a 14V y los consumibles (luces, radio, electro ventiladores...) funcionan a 12V ~ 14V. La suma de intensidad de todos los consumibles será la intensidad que debería proporcionar el total de células.

Para obtener pues, una tensión de salida de 14V y X amperios (dependiendo del vehículo se necesitará más o menos intensidad), es necesario disponer de un circuito mixto, que sumen voltajes e intensidades.

Un radiador de un coche normal posee aproximadamente entre 50 y 70 canales por el cual circula el agua caliente para ser enfriada y devolverla al motor. Si se implantaran las células Peltier, intentando siempre mantener las dimensiones más o menos iguales, se puede calcular el número de células Peltier que se podrían aplicar, la longitud total de los canales, el espesor y la anchura. Por poner un ejemplo, el coche con el que se realizó la medición de la temperatura es un Citroën Xsara Picasso, el cual tiene un radiador con 60 tubos y con una anchura de 29 mm cada uno.

La longitud de cada uno de ellos es de 380mm. Como en cada canal hay dos caras por el cual se transfiere calor al ambiente, y 2 mm de espesor, la superficie total por el cual se intercambia calor es de  $1.413.600 \text{ mm}^2$ , o lo que es lo mismo,  $1.413 \text{ m}^2$ .

Una de las cuestiones a tener muy en cuenta es que, la transferencia térmica de las células Peltier (Conductividad Térmica  $\lambda$ ), es inferior que la del acero inoxidable, ya que tienen dos láminas cerámicas, las cuales por sí tienen peor conductividad, una parte de cobre, soldaduras de estaño y las propias uniones de telurio y bismuto. Es por eso por lo que, variando muy poco las medidas iniciales, se va a aumentar la superficie ya que se va a aumentar la anchura de los canales por el cual circula el agua. La anchura total del radiador también va a crecer en orden a que cada célula tiene 2 mm de espesor, siendo 60 canales los que aumentan estos dos milímetros, haciendo un total de 120 mm.

Además, el espesor de cada célula es mayor que la del propio acero inoxidable, como es lógico, puesto que tiene dos láminas cerámicas más las uniones en su interior.

Por eso, para poder facilitar la circulación del aire por el aletado del radiador cuando se circula o se activa el electro ventilador, se colocaría una única fila de células en una cara del canal, permitiendo que entre canales se mantenga la distancia y permita el flujo de aire fresco.

Para incluir las células Peltier, hay que hacer una serie de ligeros cambios para que las células se acoplen perfectamente. Para empezar, se va a aumentar la anchura de cada canal, pasando de 29mm a 40mm. La longitud de cada canal disminuirá tímidamente para acoplarse a un número entero de células en cada uno. Como cada Peltier tiene unas dimensiones de 40mmX40mm, sería necesario 9 células Peltier para tener una longitud de 360mm, muy parecida a la original, con tan sólo 20mm menos.

Para que en cada canal se pueda proporcionar 14V, se necesitarían 8.75 módulos Peltier, suponiendo que cada célula es capaz de proporcionar 1.6V, tal y como se calculó en los casos más desfavorables. Como no se puede partir una célula en  $\frac{3}{4}$  partes, siempre se coge la unidad superior entera, que en este caso es 9, coincidiendo con las unidades necesarias para que tenga un tamaño de 360mm.

Además, como en la parte más cercana donde se introduce el agua caliente hay mayor diferencia térmica, puesto que según va recorriendo el refrigerante el radiador se va enfriando, es ahí donde mayor tensión se consigue, siendo al final de su recorrido cuando menos diferencia se obtiene y por tanto un menor voltaje, invitando a que haya una superficie mayor de células para contrarrestar este efecto.

Con esta diferencia de temperatura, se calculó que se obtiene aproximadamente 250mA de intensidad en circuito cerrado, es decir, con un motor conectado. Conectando cada canal en paralelo, se suman intensidades y, por tanto, con una diferencia térmica de 45°C, el intercambiador sería capaz de proporcionar una intensidad de 15A.

Por tanto, las conexiones que tendrían las células Peltier en el intercambiador sería mixta; la conexión de cada célula en cada canal sería en serie, y la conexión entre canales en paralelo. Con esta disposición, este intercambiador sería capaz de producir una tensión de 14V y una intensidad de 15 A, teniendo una potencia total de 210W.

Para asegurarse de que cuando la diferencia de temperatura es mayor el voltaje siempre sea el mismo, se instalaría un regulador como el que equipa los alternadores, pero sin puente de diodos, puesto que de por sí ya suministra corriente continua.

Para obtener esta corriente eléctrica, se tendrían 60 canales con 9 células Peltier en cada una, por tanto, se necesitará un total de 540 células.

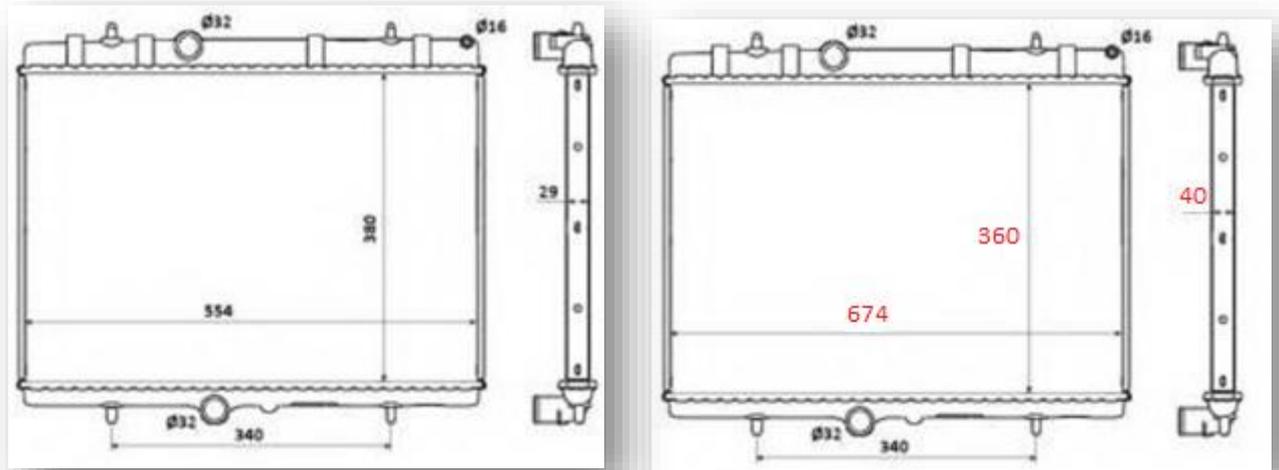
Con esta disposición, la superficie de intercambio del radiador será diferente.

Ahora, se tiene un radiador de 60 canales, con una anchura de canal de 40mm y una longitud de 360 mm cada uno. El canal estará dividido en dos partes, una parte tendrá células Peltier y otra parte acero inoxidable.

La parte que tiene célula Peltier ocupa una superficie de  $864.000 \text{ mm}^2$ , o lo que es lo mismo,  $0.864 \text{ m}^2$ , mientras que la parte que tiene acero inoxidable ocupa una superficie de  $950.400 \text{ mm}^2$  ó  $0.9504 \text{ m}^2$ . La superficie total de transferencia térmica de en este caso sería de  $1.814.400 \text{ mm}^2$  ( $1.8144 \text{ m}^2$ ), por lo tanto, el aumento de esta superficie contrarrestaría el descenso de transferencia térmica de las células Peltier.



**Ilustración 33:** Fotografía del radiador estudiado



**Ilustración 34:** Plano del radiador original (izquierda) y el modificado (Derecha) con las nuevas cotas en rojo

Como se ha comprobado, la capacidad de generar electricidad mediante células Peltier es algo más pobre que la que se obtendría mediante el sistema tradicional de alternador, no pudiéndose reemplazar directamente. No obstante, genera suficiente energía como para poder disminuirlo. Para que la energía que genere el radiador sea más provechosa, es indispensable incluir algo de nuevas tecnologías que ayudasen a reducir el consumo eléctrico, o que cuando la demanda fuera superior a la producción, producir de forma tradicional energía extra.

### 3. NUEVAS TECNOLOGÍAS

Actualmente en el mundo del motor existen muchas tecnologías que ayudan a que el consumo de combustible sea menor, como reducir el rozamiento mediante rueda libre, añadir sistema de desconexión selectiva de cilindros o añadir turbos a motores de muy baja cilindrada. No obstante, a continuación, se va a estudiar aquellas que están directamente relacionadas con la electricidad y que su aplicación reduciría el consumo eléctrico o mejoraría su producción, así consiguiendo que el sistema de células Peltier consigan alimentar parte del coche.

### 3.1 Alternadores inteligentes

Los alternadores, como ya se dijo en la introducción de este trabajo, son los elementos encargados de la producción eléctrica del vehículo, pero para funcionar quitan energía cinética del motor para transformarla en electricidad, frenando al propio motor y obligando a consumir más, entre 0.3 y 0.5l a los 100, dependiendo de la carga en ese instante (luces incandescentes encendidas, antiniebla, quipo de audio...).

Pero como es de suponer, en un vehículo no siempre se demanda la misma cantidad energética. Por ejemplo, cuando se circula de noche el consumo es mayor que cuando se hace de día, es obvio, por no necesitar tener las luces encendidas. Para los casos en que la demanda energética es muy pequeña, los alternadores inteligentes tienen un papel fundamental. Este tipo de alternadores sólo se acopla (con un sistema similar a la rueda libre) cuando realmente se necesita electricidad, para así cuando no se necesite desconectarse y no ofrecer resistencia alguna al vehículo. También se pueden conectar cuando se frena para así aprovechar la inercia del motor. Aunque la reducción de consumo con este sistema no es abismal, se puede llegar a reducir hasta un par de décimas de litro cada 100km.

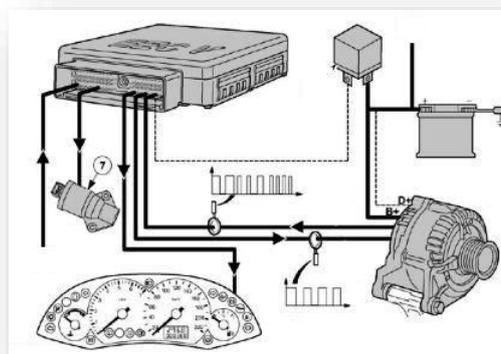
La combinación de los alternadores inteligentes con la del radiador de células Peltier sería un sistema muy interesante.

Cuando el vehículo está frío porque se acaba de arrancar, o bien el consumo eléctrico en esos instantes es lo suficientemente elevado como para que las células Peltier no sean capaces de alimentar a todo el vehículo, entonces mediante el sistema de

acoplamiento de rueda libre, o un electro embrague, hace que el alternador se acople al giro del motor, aportando esa energía extra que se necesita. En el momento que el consumo disminuye o el motor ha cogido ya la temperatura de funcionamiento, siendo capaz las células Peltier de proporcionar su máxima potencia, el alternador se desconecta, pasando a ser el sistema de células el encargado de suministrar electricidad al vehículo. La acción de acoplamiento y desconexión estaría controlada en cualquier momento por una ECU, midiendo en cada instante el consumo energético que se realiza.

Con este sistema se conseguiría tener toda la energía que se necesita en ese preciso instante, reduciendo el consumo ya que el alternador menguaría de tamaño y sólo se utilizaría cuando hiciera falta, desconectándose al 100% cuando no hiciera falta o se necesitase las máxima aceleración y prestaciones en un momento dado. De esta forma, ahorraríamos combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Actualmente, muchos de los modelos nuevos de coches llevan ya sistemas que, cuando la demanda es muy pequeña o se necesitan las máximas prestaciones, la demanda energética al alternador disminuye permitiendo que éste presente menos resistencia magnética. Aunque este tipo de alternadores siempre está acoplado al giro del motor, la resistencia magnética se reduce muchísimo, quedando la polea del alternador girando sin ninguna carga. También, como estos sistemas de carga están controlados electrónicamente, se permite mejorar la calidad de carga aumentando la vida útil de la batería y de los componentes que a forman.



**Ilustración 35:** Esquema del alternador inteligente

La desventaja que presenta los sistemas con acople y desacople con electro embrague o rueda libre es que hay que añadir un elemento extra, encareciendo la instalación y siendo más propensos a averías. No obstante, los sistemas que llevan hoy en día los nuevos vehículos, que únicamente dejan de coger energía para quitar la resistencia magnética, no hay que añadirles ningún elemento extra y también se conseguiría su propósito, pero siendo estos últimos menos eficaces.

### 3.2 Luces LED

Hace ya unos años que las luces con tecnología Led están muy presentes, tanto en pilotos de electrodomésticos, linternas, pantallas y más recientemente en bombillas de bajo consumo y faros de coches.

Un Led (del acrónimo en inglés light-emitting diode) es un elemento electrónico (diodo) que emite luz cuando circula corriente por su interior, dejando circular sólo en un sentido.

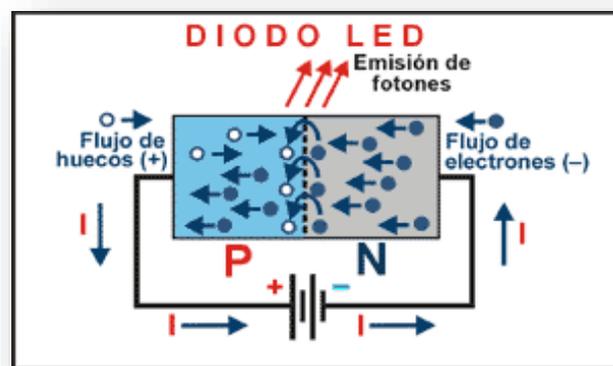
Las primeras observaciones de las luces Led remontan cuando el capitán Henry Joseph Round (1881-1966), reconocido por su involucración en la radio, observó en el año 1907 que se emitía luz por un diodo de carburo de silicio. Desde entonces, los LED avanzaron tímidamente hasta que en los años 60 se comenzó la producción en masa de esta tecnología nueva de por entonces.



**Ilustración 36:** Fotografía del Primer LED de uso comercial Monsanto MV-1

El funcionamiento del led es el siguiente. Todas las combinaciones empleadas en la fabricación de los LED, sea el color que sea, poseen dos polaridades o regiones diferentes: una negativa “N” correspondiente al cátodo y otra positiva “P” correspondiente al ánodo. Cuando se aplica a los extremos del LED un voltaje en corriente continua, los electrones empiezan a fluir a través del diodo.

Bajo esas condiciones, cada vez que un electrón en exceso con carga negativa presente en la región “N” adquiere la suficiente energía como para poder vencer la resistencia que le ofrece la barrera de potencial, la atraviesa y se combina con un hueco positivo en exceso en la región “P”. En el mismo instante que ocurre esa combinación, la energía en exceso que adquirió dicho electrón para poder atravesar la barrera de potencial se transforma en energía electromagnética, liberando luz. Según la composición del diodo, puede emitir un color u otro. Por ejemplo, un diodo LED que emite una luz roja emplea un chip compuesto por arseniuro de galio y aluminio (GaAlAs), mientras que para emitir luz azul utiliza un chip de nitruro de galio (GaN). De este último es el que se basa los leds blancos.



**Ilustración 37:** Esquema del funcionamiento del LED.

Actualmente, como bien es sabido, el uso de la tecnología LED está más que desarrollada y presente en muchos de los aparatos tecnológicos de nuestro día a día.

Las primeras aplicaciones del led en los automóviles fueron únicamente para pilotos, intermitentes y sobre todo para tercera luz de freno.

Posteriormente, se fueron desarrollando nuevos leds capaces de iluminar lo suficiente como para ser usadas en los faros. En el año 2008 el Audi R8 y el Lexus LS fueron los primeros modelos de automóviles en utilizar tecnología Full-Led, utilizando esta tecnología como luz de cruce y carretera.

Desde entonces, las diferentes marcas automovilísticas han ido desarrollado sus propios sistemas de iluminación Led, siendo ya prácticamente todas las marcas las que tienen en su equipamiento una opción para equipar en sus modelos tecnología Full-Led.

Una de las principales ventajas que presenta la iluminación Led es el ahorro eléctrico. Para empezar, las bombillas incandescentes (con filamento de tungsteno) únicamente aprovechan el 20% de la energía consumida para iluminar, perdiendo el resto, cerca del 70% en forma de calor. Esto, sumado a que en el coche hay muchas bombillas (freno, guantera, luces de posición, luces de carretera...) la cantidad de energía consumida y que se pierde en forma de calor es muy grande.

Las luces Led, en cambio, son muchísimo más eficientes que las incandescentes, siendo capaces de transformar el 80% de la energía que consumen en luz, con tan solo una pérdida de un 20% en forma de calor. Es una diferencia muy grande, con lo que se consigue aprovechar hasta 4 veces más la energía.

Por poner un ejemplo, en un vehículo que posea luces halógenas, para hacerlas brillar se requieren de 135 W. Los faros LED, no obstante, con tan sólo 80W ya se dispone de su máxima luminiscencia, puesto que son bombillas “frías” y apenas se calientan.

El menor consumo eléctrico se traduce a menos esfuerzo por parte del alternador y por tanto en una reducción directa de combustible.

Hace unos años, la Unión Europea certificó dicha eficiencia energética, así como la reducción de las emisiones de dióxido de carbono gracias a la tecnología LED tras los resultados arrojados por el ensayo del banco de pruebas realizado por Audi, en el que se demostró que se podía conseguir un ahorro de más de un gramo de CO<sub>2</sub> por kilómetro.

Otro dato importante es que, en países como Suiza, Noruega, Polonia o Suecia, donde es obligatoria utilizar las luces durante todo el día, si todos los coches circularan con faros LED, se ahorrarían hasta 10 millones de litros de combustible al año, comparándolo con lo que gastarían utilizando faros xenón o de otra tecnología.

En cuanto a la vida útil que posee la iluminación Led, también sale victoriosa. Mientras que una bombilla incandescente tiene una vida útil de alrededor de 5.000 horas, la vida útil de un LED es superior a las 100.000 horas de luz, que son en el orden de 20 veces superior, pudiendo estar 11 años de continua emisión. Esto supone que en muchos casos la vida útil de los faros supera incluso a la vida útil del coche, pudiéndose no cambiar nunca. Lo único reseñable es que según se acerca al final de su vida útil su luz va perdiendo intensidad progresivamente.

Por último, esta tecnología permite una emisión de una luz más clara y con mayor alcance, afectando positivamente a la conducción nocturna y a la seguridad.

Para verlo mejor, en la siguiente imagen sale una comparación de 3 sistemas de iluminación en un coche (Halógenas, Xenón y Led).



**Ilustración 38:** Comparación de la luminosidad de los diferentes sistemas

Como se observa en la diapositiva anterior, las luces halógenas emiten una luz más amarillenta y con un alcance menor, haciendo que la capacidad visual del conductor disminuya, cansándose antes la vista y apareciendo la fatiga nocturna mucho más pronto que la tecnología Xenón y Led, y, por consiguiente, comprometiendo la seguridad de la circulación.

El faro Xenón (bombillas de descarga) mejora considerablemente a los halógenos, siendo capaz de iluminar con mayor alcance y emitiendo una luz más parecida a la diurna, cansando menos la vista, pero con la desventaja que consumen mucha energía y la reparación de una bombilla fundida es muy cara.

Por último, las luces Led tiene un alcance mucho mayor que los anteriores, llegando a los 300 metros y una luz más blanca y natural, más parecida a la del día, reduciendo el cansancio visual cuando tenemos varias horas de conducción nocturna y permitiendo que la carretera y señales se vean antes y mejor, aumentando la seguridad bajo esta condición.

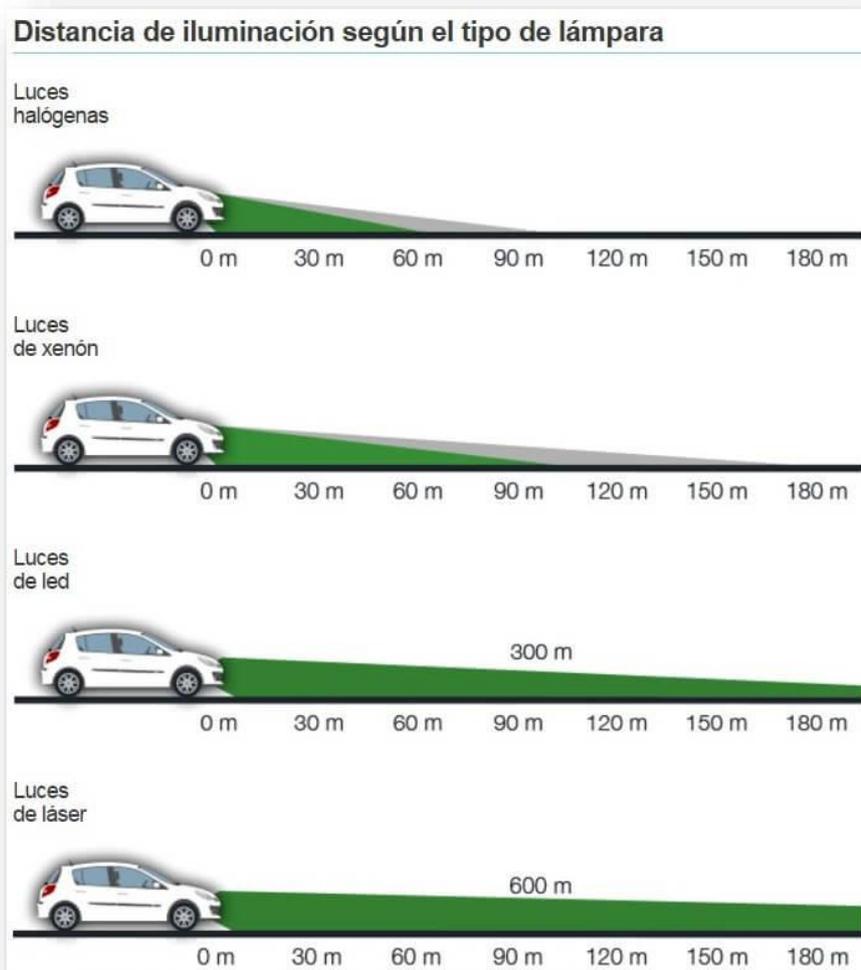
No obstante, presenta la desventaja de su fragilidad. Son lámparas que se calientan mucho y que si no se refrigeran de forma correcta se averían con facilidad, ya que para alimentarlas tiene una circuitería rectificadora muy sensible. Además, el precio es muy elevado, siendo por ejemplo una opción extra en un Seat León con el acabado FR con un precio de 990€, según catálogo a 12 de febrero de 2018.

### 3.3 Luces láser

Se ha hablado de las luces Led como si fueran el futuro cuando en realidad son el presente. La futura tecnología que aún está en fase piloto y que tiene que desarrollarse para que sea accesible a todo el mundo son las luces láser. Esta tecnología lleva aplicándose sólo un par de años (desde otoño de 2014) en modelos exclusivos como el Audi R8, BM i8 y BMW Serie 7. Actualmente, esta iluminación sólo se limita a las marcas más exclusivas y en los modelos de más alta gama.

Con esta tecnología, se permite un diseño de los faros extremadamente pequeño. Presentan la clara ventaja de que consumen menos energía que los faros Led, para ser concretos un 30% menos. Otra ventaja irrefutable es la altísima capacidad de alcance que tienen, pudiendo llegar a doblar a los faros de Leds. Mientras que los leds pueden tener un alcance de 300m, los faros láser pueden llegar a los 600m.

La desventaja actual es el precio, y es que, por poner un ejemplo, El precio para España para añadir como extra luces láser, el BMW Laserlight para el BMW i8, tiene un precio de 11.570 euros.



**Ilustración 39:** Comparación del alcance de las distintas tecnologías de iluminación de los vehículos

Con el cambio de la iluminación tradicional a un moderno sistema de luces led o láser, se podría reducir el consumo de electricidad en el vehículo, repercutiendo directamente en el consumo de carburantes. Si se introduce uno de estos sistemas al conjunto de Peltier, se podría alimentar posiblemente sin necesidad de ayuda del alternador quedando este desacoplado o simplemente girando sin carga. Entonces se conseguiría una reducción notablemente el consumo y la contaminación.

### 3.4 Frenos Regenerativos

El freno regenerativo es un dispositivo que permite reducir la velocidad de un vehículo transformando una parte de la energía cinética en energía eléctrica para ser acumulada en baterías y posteriormente usarse.

Si se incorporara un freno regenerativo con una batería de ciclo profundo (permite descargarse completamente para volver a cargarse entera sin que se dañe), se puede conseguir que cuando se tenga que frenar, parte de la energía consumida en ese instante sea alimentada por este dispositivo, quedando el extra almacenado en una batería para posteriormente ser consumida. De esa forma, se obligaría al alternador a usarse lo mínimo posible permitiendo un ahorro significativo. Así, la batería de un coche podría funcionar como la de un teléfono móvil, suministrando toda la energía eléctrica de la batería, usando las Peltier para mantener la carga y el alternador y freno regenerativo para recargarla.



**Ilustración 40:** Sistema de frenada regenerativa integrada en la propia rueda

Como se aprecia en la imagen, el freno regenerativo consta de un rotor, un estator y unos microcircuitos inversores, todo integrado perfectamente en la propia rueda, no teniendo que añadir más elementos al motor ni al chasis.

La introducción de los radiadores con células Peltier, unido a los alternadores inteligentes con iluminación Full-Led y frenos regenerativos con Start-Stop, permitiría un ahorro de combustible muy grande. Si este ahorro se aplicase a todos los coches que circulan en las carreteras actualmente, se podrían ahorrar millones de litros de combustible con la consiguiente consecuencia climática que supondría.

## 4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Todo avance tecnológico, al principio suele estar íntimamente relacionado con un incremento del precio final. Para saber el precio que supondría la incorporación de estos al vehículo, se va a hacer un estudio económico. El estudio se basará en introducir estos avances en un coche de serie y común, que ya de serie incorporará varios sistemas de los que se han hablado anteriormente, y los que no lo tienen se introducirá dándole el precio que supondría la novedad. Por último, se analizará cuál es el precio total y el tiempo que se tardaría en amortizar.

Para empezar, se va a analizar el radiador generador. Como se calculó en el apartado Realización Experimental, se necesitaría un total de 540 células Peltier para llenar un radiador de módulos Peltier y poder así obtener una potencia de 210W. La unidad de célula, comprándola al por menor, tiene un precio unitario de 1.70€ aproximadamente. Por lo tanto, únicamente en células Peltier habría una inversión de 918€. En cuanto al radiador, se va a suponer que el precio de fabricación es el mismo con y sin células, ya que el único cambio es dejar los huecos para colocarlas y el resto del radiador, tanto materiales como funcionamiento es el mismo. En este caso, el precio del radiador ya estaría incluido en el precio del coche de serie.

La introducción de faros LED no tiene un precio exacto. Por ejemplo, hay marcas selectas que introducen en todos sus modelos de alta gama tecnología Full-Led, pero normalmente es una opción extra. Como ejemplo, en el caso del Seat León, se estima que introducir los faros de Led al vehículo tiene un coste adicional de 990€.

En cuanto a los alternadores inteligentes, todos los modelos nuevos lo introducen, es decir, cuando no hay demasiada demanda de energía, pierden resistencia, no obstante, siempre están conectados ya que es la única fuente eléctrica del vehículo. Por tanto, se va a suponer que el coche de serie ya lo lleva y no supone un gasto extra.

La incorporación de la tecnología de freno regenerativo es actualmente materia de los vehículos híbridos y eléctricos. Estos sistemas en coches de combustión no están empleados puesto que la batería que tienen únicamente tiene la función de arrancar el vehículo y suministrar electricidad cuando el motor se encuentra apagado, mientras que los frenos regenerativos acumulan electricidad para posteriormente mover el coche.

No obstante, incorporándolo se podría aprovechar la energía de la frenada, quitando protagonismo al alternador y quitando un lastre al motor.

Este sistema, aunque no son precios exactos, valen sobre los 1000€ (precio del recambio de este sistema para un Toyota Prius), siendo esta cifra orientativa pues cuando se compra un vehículo híbrido o eléctrico ya está incluido de serie y no está disponible en opción. Tampoco se puede añadir a un coche ya fabricado.

Por último, los sistemas Start-Stop también ayudan muchísimo a la reducción de consumo. Estos sistemas, actualmente lo montan ya todos los coches en todas las motorizaciones, tanto Diesel como gasolina o GLP, por lo tanto, no es nada exclusivo. Por eso es por lo que en este presupuesto no lo se va a incluir, porque se supone que en este coche de serie con la motorización estándar ya viene incluido.

Para realizar el presupuesto total se va a hacer la suma de toda la tecnología extra y de serie que se implanta.

Nombre de la tecnología	Precio	De serie
Radiador Peltier	918 €	NO
Luces Led	990 €	NO
Alternador Inteligente	0	SI
Frenos regenerativos	1000	NO
Start-Stop	0	SI
Precio Total	2.908 €	

**Ilustración 41:** Tabla de presupuestos

Estos precios son muy orientativos, pues las células Peltier, comprándolos al por mayor el precio disminuye considerablemente, por lo que fabricar el radiador Peltier sería más barato. En cuanto a las luces Led, según la tecnología vaya avanzando y más fabricantes y modelos lo oferten, irán bajando de precio hasta que algún día estas sean de serie, como próximamente va a hacer Audi. Por último, el freno regenerativo tiene un precio muy orientativo. Este precio es el que vale un kit de recambio para un Toyota Prius Hybrid. Añadir las tres tecnologías de ahorro, incrementaría el coste total del vehículo 2908€.

#### 4.1 Amortización de la introducción de sistemas de ahorro

Para comprobar qué combinación de equipamiento es la mejor opción, se van a realizar 6 tablas en las que se compararán motorización Diesel y Gasolina; dos con toda la tecnología extra de ahorro (luces Led, células Peltier y freno regenerativo), otras dos con luces led, pero sin freno regenerativo y, por último, el estudio únicamente con células Peltier como sistema de ahorro y de obtención de electricidad. Así, se va a concluir si poner freno regenerativo o luces led es viable pues su alto precio puede hacer que el ahorro que se produzca no sea tan grande como para compensar.

Para realizar esta comparativa, primero se hace una ponderación del ahorro que abarca desde 0.1 a 0.7 litros, ya que exactamente no se sabe cuál será el ahorro si no es experimentándolo, pero como se dijo al principio de este trabajo, el consumo aproximado del alternador rondaría 0.3 y 0.5 litros a los 100km.

Una vez supuesto este ahorro, los precios medios de los carburantes a día de 18 de febrero de 2018 en España son obtenidos de la siguiente página web [www.dieselogasolina.com](http://www.dieselogasolina.com). Los precios son:

Gasolina 95: 1.242 €

Diesel A: 1.152 €

Para obtener el ahorro por cada 100km, se multiplica el ahorro ponderado entre 0,1 y 0.7 litros por el precio al que vale el Diesel o la gasolina, según la tabla, proporcionando los valores de Ahorro en euros cada 100km. Esta columna es de gran utilidad para tener una referencia puesto que el consumo se suele medir en cada 100km.

Para obtener el ahorro en euros cada 1000km, únicamente hay que hacer el producto de 10 por el ahorro por cada 100km. Esta tabla será de utilidad para calcular los kilómetros que se tarda en amortizar el sistema de ahorro seleccionado. Esta tabla es una gran referencia pues la vida de los coches se mide en miles de kilómetros.

Por último, para poder llegar al resultado que se anda buscando, que es la cantidad de kilómetros que se debe circular para que el sistema elegido e integrado sea rentable, hay que hacer la división del precio que costaría integrarlo (918€ si se integra únicamente las células Peltier, por ejemplo) entre el ahorro en euros por cada 1000km. Este valor obtenido se multiplica por 1000 para así obtenerlo en miles de kilómetros.

## CON FRENO REGENERATIVO Y LUCES LED

Gasolina 95			
Ahorro litros cada 100km	Ahorro euros cada 1000km	Ahorro euros cada 1000km	Amortización Km
0,1	0,12 €	1,24 €	2.341.385
0,2	0,25 €	2,48 €	1.170.692
0,3	0,37 €	3,73 €	780.462
0,4	0,50 €	4,97 €	585.346
0,5	0,62 €	6,21 €	468.277
0,6	0,75 €	7,45 €	390.231
0,7	0,87 €	8,69 €	334.484

Diesel A			
Ahorro litros cada 100km	Ahorro euros cada 1000km	Ahorro euros cada 1000km	Amortización Km
0,1	0,12 €	1,15 €	2.524.306
0,2	0,23 €	2,30 €	1.262.153
0,3	0,35 €	3,46 €	841.435
0,4	0,46 €	4,61 €	631.076
0,5	0,58 €	5,76 €	504.861
0,6	0,69 €	6,91 €	420.718
0,7	0,81 €	8,06 €	360.615

**Ilustración 42:** Tablas de ahorro y amortización con tecnología de las luces led y freno regenerativo

## SIN FRENO REGENERATIVO Y CON LUCES LED

Gasolina 95			
Ahorro litros cada 100km	Ahorro euros cada 1000km	Ahorro euros cada 1000km	Amortización Km
0,1	0,12 €	1,24 €	1.536.232
0,2	0,25 €	2,48 €	768.116
0,3	0,37 €	3,73 €	512.077
0,4	0,50 €	4,97 €	384.058
0,5	0,62 €	6,21 €	307.246
0,6	0,75 €	7,45 €	256.039
0,7	0,87 €	8,69 €	219.462

Diesel A			
Ahorro litros cada 100km	Ahorro euros cada 1000km	Ahorro euros cada 1000km	Amortización Km
0,1	0,12 €	1,15 €	1.656.250
0,2	0,23 €	2,30 €	828.125
0,3	0,35 €	3,46 €	552.083
0,4	0,46 €	4,61 €	414.063
0,5	0,58 €	5,76 €	331.250
0,6	0,69 €	6,91 €	276.042
0,7	0,81 €	8,06 €	236.607

**Ilustración 43:** Tablas de ahorro y amortización con el ahorro únicamente de las luces led

## ÚNICAMENTE CON RADIADOR DE CÉLULAS PELTIER

Gasolina 95			
Ahorro litros cada 100km	Ahorro euros cada 1000km	Ahorro euros cada 1000km	Amortización Km
0,1	0,12 €	1,24 €	739.130
0,2	0,25 €	2,48 €	369.565
0,3	0,37 €	3,73 €	246.377
0,4	0,50 €	4,97 €	184.783
0,5	0,62 €	6,21 €	147.826
0,6	0,75 €	7,45 €	123.188
0,7	0,87 €	8,69 €	105.590

Diesel A			
Ahorro litros cada 100km	Ahorro euros cada 1000km	Ahorro euros cada 1000km	Amortización Km
0,1	0,12 €	1,15 €	796.875
0,2	0,23 €	2,30 €	398.438
0,3	0,35 €	3,46 €	265.625
0,4	0,46 €	4,61 €	199.219
0,5	0,58 €	5,76 €	159.375
0,6	0,69 €	6,91 €	132.813
0,7	0,81 €	8,06 €	113.839

**Ilustración 44:** Tablas de ahorro y amortización con el ahorro exclusivo que proporcionan las células Peltier

Con estos consumos, en un coche de gasolina con freno regenerativo y luces led se necesitarían entre un 334.484 y 2.341.385 km para amortizar el precio extra que se pagaría introduciendo esta tecnología, mientras que en una motorización Diesel aún se alejaría más puesto que el combustible es más barato, llegando a ser necesarios entre 360.615 y 2.524.306 km para amortizarlo.

En un vehículo sin freno regenerativo, aplicando luces led y células Peltier, los resultados son más viables. En un coche de gasolina rondaría entre los 219.462 y 1.536.232Km, mientras que en un motor Diesel rondaría los 236.607 y 1.656.250 Km

Por último, utilizando exclusivamente células Peltier se reduce la amortización de un motor gasolina entre 105.590 y 739.130 Km, y de un Diesel 113.839 y 796.875 Km.

Como se puede observar, aplicando exclusivamente la tecnología de células Peltier se obtienen los “mejores” valores de los tres casos, amortizándose el sistema más rápidamente.

No obstante, en el estudio anterior no se han tenido en cuenta el posible incremento o descenso del precio del combustible, sino que hemos supuesto que durante toda la trayectoria el precio se mantiene exacto, siendo esto prácticamente imposible, pues el precio del petróleo está sujeto a constantes subidas y bajadas de precio, según la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) estime.

También, aunque la aparente mejor opción viable sea poner únicamente un radiador Peltier, en la práctica esto podría no ser así. Como se dijo anteriormente, las luces halógenas e incandescentes consumen más y desaprovechan más energía en forma de calor. Esto podría causar que las células Peltier no fueran capaces de suministrar suficiente energía para el sistema tan tradicional, obligando a activarse el alternador y menguando, por tanto, la reducción de combustible que se conseguiría.

Además, la capacidad visual que presenta las luces LED es muchísimo mejor, cansando menos a la vista y viendo mejor la carretera lo que provoca un aumento en la seguridad nocturna.

Por tanto, para que el ahorro sea considerable y sea más seguro circular con visibilidad baja, el Pack Full-Led y radiador con células Peltier deberían de ir siempre juntos.

## 5. ALTERNATIVA SOLAR

Una alternativa o complemento a las células Peltier para producir electricidad en un coche y así reducir el consumo provocado por el alternador sería el de incluir células fotovoltaicas en el techo o capo.

Una célula es un dispositivo capaz de producir electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos por el efecto fotoeléctrico.

El efecto fotoeléctrico consiste en la producción de electricidad por un material cuando sobre él incide radiación electromagnética, que pueden ser tanto luz visible como ultravioleta. Para producir electricidad, tienen un efecto muy parecido a las células Peltier. La célula solar más común está fabricada en silicio y tiene también una configuración de unión p-n, en el que una capa de silicio tipo n y otro tipo p están íntimamente unidas. Cuando los electrones se difunden a través de la unión p-n, se recombinan con los huecos de la cara de tipo p. Este proceso se vuelve infinito mientras incide en sus capas radiación electromagnética.

Tal efecto se reconoció por primera vez en 1839 por el físico francés Becquerel, pero la primera célula solar no se construyó hasta 1883 por manos de Charles Fritts, quien creó su primera célula fotovoltaica con una escasa eficiencia de un 1%. No fue hasta 1954 cuando, de la mano de los Laboratorios Bell, descubrieron de manera accidental, que los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas eran muy sensibles a la luz y capaces de producir mayores cantidades de electricidad. Las primeras placas solares se instalaron en los satélites para alimentar a los sistemas eléctricos en el espacio. Estas placas tenían una eficiencia del 6%.

Desde entonces, la producción de paneles fotovoltaicos no ha parado de crecer, siendo una de las energías renovables que más se usa después de la eólica, creciendo el conjunto de energía eólica y solar un 20'08% en el año 2015.

Actualmente existen kits solares, cargadores de móviles, coches e incluso aviones (solar impulse) y barcos que funcionan exclusivamente con energía solar, ya que se puede obtener eficiencias superiores al 20%.

Existen 2 tipos de células Peltier, según su composición e impurezas.

Los paneles cristalinos, que a su vez se descomponen en monocristalinos y policristalinos.

Los paneles Amorfo. Su principal característica es que el silicio no se ha cristalizado.

Su efectividad es mayor cuanto mayor son los cristales, pero también su peso, grosor y costo. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 22 % mientras que el de las últimas no suele llegar al 10 %, sin embargo, su costo y peso es muy inferior.

Aunque podría parecer una buena alternativa, se va a estudiar si de verdad es viable sustituir el alternador o células Peltier por un panel solar.

Primero, ha de hablarse de su eficiencia. La eficiencia de una célula fotovoltaica es la potencia que es capaz de producir en un 1 metro cuadrado de panel solar fotovoltaico cuando recibe una irradiación de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Por poner un ejemplo, si un panel solar tiene una eficiencia de un 20%, significa que por cada  $1000 \text{ W/m}^2$  de irradiación que recibe, éste producirá 200 W de potencia. Por tanto, se puede decir que con las placas solares monocristalinas y policristalinas no es posible llegar a obtener más de 220 W por metro cuadrado, mientras que con los amorfos no podría llegar al 100W por cada metro cuadrado de irradiación, siempre en las condiciones de laboratorio, con rayos solares perpendiculares y a  $25^\circ\text{C}$ .

Para comparar, en las mediciones con las células Peltier realizadas anteriormente, con una diferencia de tan solo  $45^\circ\text{C}$  entre caras y con una superficie de  $0.864 \text{ m}^2$ , se obtendrían 210W de potencia. Cuanto mayor sea la diferencia, mayor potencia se podría llegar a conseguir. La capacidad de producir energía por metro cuadrado es mayor en las células Peltier que en los paneles fotovoltaicos, siendo en un coche el espacio fundamental.

Dependiendo del modelo del vehículo, la superficie de un techo ronda entre 1 y  $3 \text{ m}^2$ , por lo que en el mejor de los casos se podría obtener 660W, suponiendo que es una furgoneta. En un caso real de un turismo medio, se tiene una superficie para instalar paneles solares de  $1-1.5 \text{ m}^2$ , pudiendo llegar a obtener sobre los 250W. Este valor se obtendría con las mejores condiciones posibles, pues para obtener este rendimiento los paneles han de estar perfectamente alineadas con los rayos solares y a una temperatura de  $25^\circ$ , y eso en un vehículo en movimiento es muy difícil de obtener.

Además, no tiene que darle nada de sombra ya que en el caso de que le dé a una placa, la eficiencia de todo el sistema se vería afectada, actuando como resistencia. La energía generada por los paneles solares no se puede acumular fácilmente, haciendo falta grande y pesadas baterías para que cuando más haga falta, poder aprovecharlas.

Por último, paradójicamente cuando más electricidad consume un coche, que es por la noche por la necesidad de iluminar, es cuando no podemos aprovechar las placas solares.

En cuanto al precio de la instalación tampoco sale demasiado rentable. Un panel solar de 200W monocristalino ronda los 200€, sin contar equipamiento extra como reguladores y batería para almacenar la energía, encareciendo el precio demasiado y para el poco uso que se le podría dar no tendría mucho sentido la instalación.

Por lo tanto, aplicar células solares, con la tecnología actual, en un coche para eliminar el alternador no sería factible, puesto que la energía generada sería difícil de acumular y cuando más demanda hay en un vehículo es precisamente cuando las placas solares no funcionarían.

La única acometida que podría tener susodicha instalación sería como fuente de corriente para mantener la carga de los vehículos estacionados un largo tiempo, puesto que los coches siempre consumen electricidad, aunque estén parados por los diferentes sistemas como la radio, el control remoto, alarma...



***Ilustración 45: Seat Exeo con un pequeño sistema Solar***

En el caso anterior, el coche que aparece en la imagen se trata de un Seat Exeo equipado con una pequeña placa solar que podría funcionar para alimentar el sistema de circulación de aire para que, cuando el vehículo está estacionado en el sol, con la energía que se genera poder evacuar el aire caliente y así mantener una temperatura más o menos constante. Si se tuviera este modo desconectado, la energía sobrante por tanto serviría para mantener la batería y suministrar electricidad a los elementos anteriormente citados.

Donde sí sería interesante la instalación de un techo y capó solar sería en un coche eléctrico, ya que cargaría las grandes baterías que de serie ya traen para así aumentar su autonomía. No obstante, como no es materia de este trabajo, no se va a indagar más en ello.

## 6. APLICACIÓN DE LAS CÉLULAS PELTIER EN OTROS ÁMBITOS

Durante todo el trabajo se ha hablado de la aplicación de las células Peltier como modo de generar energía eléctrica al coche para omitir en lo posible el alternador y obtener como resultado una reducción de consumo y de emisiones contaminantes.

Pero ahora se va a hacer un pequeño inciso para hablar un poco de la posible aplicación de las células Peltier como forma de obtener electricidad en la industria o plantas generadoras, como grupos electrógenos, cuyo principal funcionamiento no difiere mucho del de un motor de un coche. Aplicando un radiador Peltier, se obtendría una energía eléctrica aprovechable para el control del propio generador o para suministrar a la red.

La aplicación de las células se extiende a todos aquellos procesos en los que durante la producción se emiten cantidades muy grandes de calor, pero no lo suficiente como para poder instalar una caldera de vapor, y que en la mayoría de los casos se disipa al ambiente.

Estas industrias, por ejemplo, podría ser la metalurgia. Cuando el horno calienta el mineral para fundirlo y posteriormente moldearlo, las piezas ya hechas y la maquinaria tienen que enfriarse, desperdiciando cantidades de calor. Si en las zonas donde se enfrían se cubriesen de placas Peltier, la energía generada podría ser utilizada para alimentar al propio horno o a la propia nave.

Otro ejemplo bueno sería las centrales térmicas y nucleares. En las torres de enfriamiento, si esa agua caliente se hiciera circular por unos radiadores con células Peltier sumergirlas en agua fría para intercambiar el calor, podría obtenerse cantidades de energía bastante considerables como para inyectarla a la red y hacerlas más eficientes.

Por último, otro ejemplo sería la utilización de pequeños grupos generadores, parecidos a los grupos electrógenos de gasolina, pero con células Peltier, en los que, en vez de utilizar un alternador para obtener la electricidad, utilizaría una diferencia de temperatura. El combustible utilizado podría ser biomasa procedente de trozos de madera, hojas o basura vegetal, que al quemarlo se obtendría calor y entonces produciría la electricidad evacuando en un lado de las células Peltier el calor.

Por ejemplo, en caso de desastre natural donde no hay electricidad ni combustible, con unos grupos de células Peltier (equipo muy parecido al del primer experimento) pero más grande y utilizando únicamente materia natural como combustible, se podría obtener la suficiente energía como para iluminar con Leds y obtener unos voltajes que permitan la alimentación de equipos de comunicación, teléfonos móviles, etc

## 6. CONCLUSIONES

- Para paliar los efectos del calentamiento global y del cambio climático se ha de reducir el consumo de combustibles fósiles. Para reducir este consumo, hay que mejorar la eficiencia energética de las máquinas.
- Puesto que las máquinas, como son los coches con motor de combustión interna, liberan grandes cantidades de energía térmica al ambiente que no se aprovecha para absolutamente nada, una forma de aprovechar esta energía sería transformándola en electricidad, para así mejorar la eficiencia energética de los mismos.
- La mejor manera de transformar la energía térmica en electricidad cuando hay saltos térmicos muy pequeños es mediante el uso de células Peltier, que se rigen por el efecto termoeléctrico, que no es más que producir electricidad cuando dos metales en unión se encuentran a distinta temperatura.
- En el caso de introducirlo en un vehículo, el mejor lugar sería en el radiador puesto que se tiene una temperatura controlada y no muy elevada (sobre los 80°C y 90°C).
- Tras la realización de la recta de calibrado, se llega a la conclusión de que existe un salto térmico para que el efecto termoeléctrico empiece a cumplirse, siendo este de 3.38°C.
- Para el caso de un Citroën Xsara Picasso, añadiendo un radiador con 540 células, ocupando la parte de células Peltier 0.864 m<sup>2</sup> y la parte que tiene acero inoxidable 0.9504 m<sup>2</sup>, se puede conseguir una potencia total alrededor de 210W.
- Aunque a priori esta capacidad podría ser insuficiente para alimentar a todo el vehículo, añadiendo nuevas tecnologías como luces LED, sistemas Start-Stop o alternadores inteligentes, entre otros, se conseguiría reducir el consumo provocado por el alternador.

- Tras la realización de un estudio de rentabilidad y amortización, comparando el sistema Peltier con luces LED y sistema regenerativo, sistema Peltier y luces LED y, por último, sistema Peltier únicamente, el mejor sistema a implementar sería células Peltier y luces Led, ya que combina el ahorro de consumo de carburante con el de la mejora de la seguridad nocturna. El sistema regenerativo no tendría mucho sentido pues harían falta más de medio millón de kilómetros para amortizarlo.
- La implantación de células Peltier sería muy rentable para vehículos que recorran muchos kilómetros a lo largo de su vida útil (coches de representantes, taxis, camiones, autobuses...)
- Si se consiguiera materiales más económicos o acuerdos de producción al por mayor, se conseguiría abaratar el sistema Peltier.
- Comparando el sistema Peltier con las placas solares, sería mejor opción poner células Peltier que placas solares. Por metro cuadrado, se obtiene mayor potencial con las células Peltier, por la noche no se tendría generación eléctrica y además de que en un coche en movimiento es difícil focalizar el sol. Únicamente tendría viabilidad para mantener la carga de la batería.
- A parte de para los automóviles, se pueden emplear las células Peltier para otros muchos usos, como por ejemplo cargar el teléfono con dos velas (Experimento 1) o en industrias en el que el calor residual es tan pequeño que no se podría instalar una turbina de vapor.
- Está claro que con este sistema no se pueden obtener potencias excesivas, pero actualmente el efecto termoeléctrico es la única solución factible para aprovechar calores residuales pequeños.
- Sin embargo, todo está por ver en el sentido de que, si se desarrollara y se mejorara tecnológicamente este efecto, podría haber en un futuro centrales termoeléctricas comerciales o incluso aprovechando como fuente de energía el Sol. Por ahora está pendiente de que el rendimiento del efecto Seebeck se aumente para poder llevarse a cabo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Apuntes de Clase de Motores Térmicos; Santiago Ruiz y Lucas Santos-Juanes, Tema 2 “Introducción a los motores térmicos”

Apuntes de Ingeniería térmica; Jorge Luis Peidro, Santiago Ruiz Rosales, Francisco Javier Salvador, Pedro Martí Tema 3 “Intercambiadores de calor”

Apuntes de Ingeniería térmica; Jorge Luis Peidro, Santiago Ruiz Rosales, Francisco Javier Salvador, Pedro Martí Tema 5 “Combustibles”

Apuntes de Ingeniería térmica; Jorge Luis Peidro, Santiago Ruiz Rosales, Francisco Javier Salvador, Pedro Martí Tema 8 “Contaminación”

Apuntes de Circuitos y Máquinas Eléctricas, Tema 6

ELCORREO.com “La última locomotora de vapor”  
<<http://www.elcorreo.com/bizkaia/sociedad/201506/21/ultima-locomotora-vapor-20150618200248.html>> [18-04-2017]

Ignacio Mártel; Catedrático de Electrónica de la Universidad Complutense de Madrid y miembro de la Real Sociedad Española de Física “¿Para cuándo el final de los combustibles fósiles?” <<http://blogs.publico.es/econonuestra/2016/05/14/para-cuando-el-final-de-los-combustibles-fosiles/>> [21-04-2017]

Universidad Pública de Navarra “Grupo de investigación de Ingeniería Térmica” <[https://www.ecured.cu/Efecto\\_Seebeck](https://www.ecured.cu/Efecto_Seebeck)> [28-04/2017]

Mundo Digital “¿Qué es el efecto Peltier?” <<http://www.mundodigital.net/que-es-el-efecto-peltier/>> [16-04-2017]

Dani Meganeboy “Alternadores y reguladores de tensión” <<http://www.aficionadosalamecanica.net/alternador.htm>> [03-05-2017]

Wikipedia “Protocolo de Kioto sobre el cambio climático” <[https://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo\\_de\\_Kioto\\_sobre\\_el\\_cambio\\_clim%C3%A1tico](https://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Kioto_sobre_el_cambio_clim%C3%A1tico)> [4-5-2017]

Tecnopole, Parque tecnológico de Galicia: Termoelectricidad. Aplicación de las placas Peltier a la generación de energía eléctrica en plataformas flotantes. Saúl Cid Sarria  
Fernando Rodríguez Rebelo

Rubén Fidalgo “Sistema de ahorro de combustible en tu coche” <<http://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/que-sistemas-ahorran-combustible-en-tu-coche>> [26-04-2017]

## BIBLIOGRAFÍA

Isagogé. (2008). Retrieved 03 05, 2012, from <[http://isagoge.atspace.com/documentos/Archivo\\_isagoge5/GENERACION\\_ELECTRICA\\_POR\\_PILA\\_TERMOELECTRICA.pdf](http://isagoge.atspace.com/documentos/Archivo_isagoge5/GENERACION_ELECTRICA_POR_PILA_TERMOELECTRICA.pdf)>

José Antonio E. García Álvarez “Así funcionan los Leds” <[http://www.asifunciona.com/fisica/af\\_leds/af\\_leds\\_3.htm](http://www.asifunciona.com/fisica/af_leds/af_leds_3.htm)>

Wikipedia “Calentamiento Global”

<[https://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento\\_global](https://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento_global)> [24-04-2017]

Trabajo de grado de pregrado: Diseño de paneles generadores de electricidad por efecto Seebeck. Escuela de ingeniería de Antioquia. Mateo Duque Solís

Wikipedia “Normativa Europea sobre emisiones”

<[https://es.wikipedia.org/wiki/Normativa\\_europea\\_sobre\\_emisiones](https://es.wikipedia.org/wiki/Normativa_europea_sobre_emisiones)> [18-04-2017]

TFG: Medida de parámetros termoeléctricos en un sistema constituido por dispositivos Peltier Seebeck; Juan José Arroyo Giner

GNaya “Luz al final del túnel - Halógeno vs xénon vs LED vs láser” <<http://www.portalcoches.net/reportajes/luz-al-final-del-tunel--halogeno-vs-xenon-vs-led-vs-laser/16166.html>> [14-05-2017]

lediagroup.com “Faros LED: ahorro de combustible y reducción de emisiones” <<https://lediagroup.com/noticias-eventos/faros-led-ahorro-de-combustible-y-reduccion-de-emisiones/>> [21-05-2017]

Apuntes de Física de Segundo de Bachillerato; Luís Sempere “Tema 3: El movimiento ondulatorio, Electromagnetismo”

Trabajo final de Grado. Medida de parámetros termoeléctricos en un sistema constituido por dispositivos Peltier Seebeck; Universidad Politécnica de Catalunya. Juan José Arroyo Giner

Trabajo final de Grado. Materiales termoeléctricos. Aplicaciones para la refrigeración y la generación de electricidad. Universidad de Zaragoza. Juan Antonio Catalán Solsona