



universidad
de león



Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial

GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

Trabajo de Fin de Grado

APLICACIÓN DEL EFECTO TERMOELÉCTRICO A
PRENDAS TEXTILES: CONFECCIÓN DE UNA SMART
JACKET

APPLYING THE THERMOELECTRIC EFFECT TO
CLOTHING: MAKING A SMART JACKET

Autor: Alba Viñuela Bayón
Tutor: Juan Felipe García Sierra

(Julio, 2023)

UNIVERSIDAD DE LEÓN Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA Trabajo de Fin de Grado	
ALUMNO: Alba Viñuela Bayón	
TUTOR: Juan Felipe García Sierra	
TÍTULO: Aplicación del efecto termoelectrico a prendas textiles: confección de una smart jacket	
CONVOCATORIA: Julio, 2023	
RESUMEN: <p>En este trabajo, presentamos el diseño y construcción de un prototipo de smart jacket que utiliza como fuente de energía la electricidad generada por células termoelectricas. Una vez estudiados los fundamentos teóricos de la termoelectricidad, elegimos los componentes del sistema inteligente. Teniendo en cuenta los requisitos eléctricos de los componentes elegidos, realizamos la experimentación buscando la configuración óptima de las células Peltier para el diseño del sistema. Con el sistema inteligente diseñado, lo implementamos en la chaqueta. El sistema inteligente se compone de dos partes, la parte generadora, que son las células Peltier y el regulador de voltaje, y la parte inteligente, que son la batería, la placa electrónica que lleva el control de la temperatura, los sensores de temperatura y un display donde mostramos el gradiente de temperatura entre el interior y el exterior de la chaqueta. La parte generadora está colocada en la espalda de la chaqueta, mientras que la batería y la placa electrónica están en un bolsillo interior, acompañadas de un display fuera del bolsillo en el interior de la chaqueta y los sensores de temperatura, uno en la parte interior de la chaqueta y otro en el exterior.</p>	
Palabras clave: Termoelectricidad, Peltier, células, sistema inteligente, Arduino, smart jacket.	
Firma del alumno:	VºBº Tutor/es:

UNIVERSIDAD DE LEÓN Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA Trabajo de Fin de Grado	
ALUMNO: Alba Viñuela Bayón	
TUTOR: Juan Felipe García Sierra	
TITLE: Applying the thermoelectric effect to clothing: making a smart jacket	
CONVOCATORIA: Julio, 2023	
ABSTRACT: <p>In this project, we present the design and construction of a smart jacket prototype that uses electricity generated by thermoelectric cells as its power source. After studying the theoretical foundations of thermoelectricity, we select the intelligent system components. Taking into account the electrical requirements of the chosen components, we conduct a series of experiments to find the optimal configuration of the Peltier cells for the system design. Once the intelligent system is designed, we implement it in the jacket. The intelligent system consists of two parts: the generating part, which includes the Peltier cells and the voltage regulator, and the intelligent part, which includes the battery, the electronic board that controls the temperature, temperature sensors, and a display that shows the temperature gradient between the interior and exterior of the jacket. The generating part is placed on the back of the jacket, while the battery and electronic board are located in an inner pocket, accompanied by a display outside the pocket on the inside of the jacket, and the temperature sensors, one on the inside of the jacket and another on the outside.</p>	
Palabras clave: Termoelectricidad, Peltier, células, sistema inteligente, Arduino, smart jacket.	
Firma del alumno:	VºBº Tutor/es:

Índice de contenidos

1. Introducción	9
1.1 OBJETIVOS	9
2. Termoelectricidad.....	10
2.1 EFECTO SEEBECK	10
2.2 EFECTO PELTIER.....	12
2.3 EFECTO THOMSON	13
3. Generadores Termoeléctricos: Células Peltier	15
3.1 FUNCIONAMIENTO.....	15
4. Normativa	18
5. Componentes del diseño.....	19
5.1 REQUISITOS ELÉCTRICOS	19
5.2 COMPONENTES TEXTILES	19
5.3 COMPONENTES ELÉCTRICOS.....	20
5.3.1 BATERÍA.....	21
5.3.2 CÉLULA PELTIER	22
5.3.3 REGULADOR DE VOLTAJE	23
5.4 COMPONENTES ELECTRÓNICOS.....	24
5.4.1 PLACA ELECTRÓNICA.....	24
5.4.2 SENSORES DE TEMPERATURA.....	26
5.4.3 DISPLAY	28
6. Experimentación.....	32
6.1 TIPOS DE CONEXIÓN DE LAS CÉLULAS PELTIER	32
6.1.1 CONEXIÓN EN SERIE	32
6.1.2 CONEXIÓN EN PARALELO	33
6.1.3 CONEXIÓN MIXTA	33
6.2 EXPERIMENTOS SOBRE UNA CÉLULA PELTIER.....	35
6.2.1 MEDICIÓN DE LA TENSIÓN	35
6.2.2 MEDICIÓN DE LA CORRIENTE.....	38
6.3 ESQUEMA DE DISEÑO.....	44
6.4 EXPERIMENTOS ADICIONALES	47

7. Prototipo de la smart jacket.....	49
8. Presupuesto	61
9. Trabajo relacionado	62
9.1 EVOLUCIÓN DE LAS PRENDAS INTELIGENTES	62
9.2 MÉTODOS PARA LA RECOLECCIÓN DE ENERGÍA AMBIENTAL.....	65
10. Conclusiones.....	69
10.1 TRABAJO FUTURO	70
11. Referencias.....	71

Índice de figuras y tablas

Figura 2.1 Instrumento de experimentación	11
Figura 2.2 Termopares en el efecto Seebeck	11
Figura 2.3 Efecto Peltier	13
Figura 2.4 Efecto Thomson positivo y negativo	14
Figura 3.1 Célula Peltier	16
Figura 3.2 Efecto Peltier en una célula	16
Figura 3.3 Efecto Seebeck en una célula	17
Figura 5.1 Chaqueta utilizada	20
Figura 5.2 Entradas y salidas de la batería	21
Figura 5.3 Parte trasera y especificaciones de la batería	21
Figura 5.4 Célula Peltier SP1848-27145	22
Figura 5.5 Características eléctricas de la célula Peltier SP1848-27145	23
Figura 5.6 Regulador de voltaje U1V11F5	24
Figura 5.7 Pines de la placa Arduino Nano	26
Figura 5.8 Sensor de temperatura DS18B20	27
Figura 5.9 Conexión de la placa Arduino Nano y el sensor de temperatura	27
Figura 5.10 Display OLED SSD1306	28
Figura 5.11 Conexión de la placa Arduino Nano y el display	29
Figura 5.12 Código de Arduino	30
Figura 5.13 Botón “Subir” en Arduino IDE	31
Figura 5.14 Botón “Monitor Serie” en Arduino IDE	31
Figura 5.15 Dirección I2C del display	31
Figura 6.1 Representación de un circuito en serie	32
Figura 6.2 Representación de un circuito en paralelo	33
Figura 6.3 Representación de un circuito mixto	34
Figura 6.4 Ejemplo de montaje de las células	34
Figura 6.5 Configuración del multímetro para la medición de tensión	35

Figura 6.6 Medición de tensión. Experimento inicial 1	36
Figura 6.7 Medición de tensión. Experimento inicial 2	37
Figura 6.8 Medición de tensión. Experimento inicial 3	37
Figura 6.9 Comprobación del funcionamiento del regulador de tensión	38
Figura 6.10 Configuración del amperímetro de pinza para la medición de corriente	39
Figura 6.11 Circuito cerrado del sistema eléctrico	40
Figura 6.12 Entradas y salidas del regulador de tensión cableadas	40
Figura 6.13 Conexión células-regulador-batería	41
Figura 6.14 Medición de corriente. Experimento inicial 1	42
Figura 6.15 Medición de corriente. Experimento inicial 2	43
Figura 6.16 Comprobación de la corriente generada por el sistema	44
Figura 6.17 Esquema final del diseño del sistema	45
Figura 6.18 Circuito de protección contra sobretensiones	46
Figura 6.19 Modelo 3D de la placa Arduino Nano	46
Figura 6.20 Modelo 3D del regulador de tensión	47
Figura 6.21 Conexiones batería-Arduino-sensores-display	48
Figura 6.22 Visualización de la diferencia de temperatura por el display	48
Figura 7.1 Conexión manual de células en serie	49
Figura 7.2 Conexión en serie con el tubo termoretráctil	50
Figura 7.3 Conexión manual de los packs en paralelo	50
Figura 7.4 Conexión en paralelo con el tubo termoretráctil	51
Figura 7.5 Conexión manual individual de las entradas y salidas del regulador	51
Figura 7.6 Conexión individual con el tubo termoretráctil	52
Figura 7.7 Resultado de las conexiones individuales	52
Figura 7.8 Conexión células-regulador-batería con el tubo termoretráctil	53
Figura 7.9 Conexión manual de los sensores con la placa Arduino	53
Figura 7.10 Conexión manual del display con la placa Arduino	54
Figura 7.11 Conexión sensores-display-Arduino con tubos termoretráctiles	54
Figura 7.12 Primera versión de la plantilla final	55
Figura 7.13 Chaqueta con los agujeros donde irán las células	56

Figura 7.14 Plantilla final	56
Figura 7.15 Dibujo en la espalda de la chaqueta	57
Figura 7.16 Espalda de la chaqueta con las células	58
Figura 7.17 Encapsulado del regulador, la batería y la placa Arduino	59
Figura 7.18 Conexión del sistema en el interior de la chaqueta	59
Figura 7.19 Ubicación del display en el interior de la chaqueta	60
Figura 9.1 Camiseta inteligente creada para la marina estadounidense	63
Figura 9.2 Smart Sock	63
Figura 9.3 Zapatillas inteligentes HOVR	64
Figura 9.4 Proyección de mercado de las prendas inteligentes	65
Figura 9.5 Baldosas piezoeléctricas	66
Figura 9.6 Sistema inteligente alimentado por triboelectricidad	67
Figura 9.7 Antena captadora de las señales de radiofrecuencia	68
Tabla 8.1 Presupuesto del proyecto	61

1. Introducción

Desde hace décadas, una de las mayores preocupaciones a nivel mundial es la obtención de energía, ya que las fuentes convencionales provienen de combustibles fósiles como el petróleo o el carbón, que cada vez son más escasos y su forma de obtención tiene un gran impacto ambiental. Por ello, actualmente se están buscando alternativas que sean más respetuosas con el medio ambiente y sean fuentes naturales y renovables, es decir, ilimitadas. Una de ellas, y en la que nos vamos a centrar en este trabajo, es la termoelectricidad, que consiste en la obtención de energía mediante diferencias de temperatura y viceversa.

La obtención de estas fuentes es fundamental en la supervivencia de muchos ecosistemas y especies, incluida la humana. Cada vez más frecuentemente están ocurriendo desastres naturales, así como temperaturas extremas que nos ponen en peligro, especialmente a personas que no tienen recursos para combatirlas. Proyectos como este harían posible que todo el mundo tuviera acceso a una fuente continua de energía limpia de manera sencilla.

En este trabajo diseñaremos y construiremos un prototipo de smart jacket alimentada por energía captada del medio ambiente, en concreto, del propio cuerpo humano aprovechando el efecto Seebeck, parte del efecto termoeléctrico. La chaqueta será capaz de recolectar la energía generada por la diferencia de temperatura entre el interior de la chaqueta, el lado caliente, y el exterior, el lado frío.

1.1 OBJETIVOS

Los objetivos fijados para este proyecto son:

- Realizar una introducción de las bases teóricas de la termoelectricidad.
- Estudiar de los generadores termoeléctricos.
- Estudiar de la legislación aplicable.
- Diseñar el prototipo de la smart jacket y realizar el esquema del montaje.
- Elaborar un presupuesto.
- Fabricar el prototipo de la smart jacket.

2. Termoelectricidad

La termoelectricidad, también conocida como efecto termoeléctrico o Peltier-Seebeck, es una rama de la termodinámica que consiste en la conversión directa de calor en electricidad, o viceversa.

El efecto termoeléctrico está compuesto por tres efectos diferentes que cogen sus nombres de los científicos que los descubrieron en el siglo XIX: el efecto Seebeck, el efecto Peltier y el efecto Thomson. [1]

Pese a que, ya en el siglo XVIII, el físico italiano Alessandro Volta observara que la diferencia de temperatura en una barra de metal producía un espasmo muscular a quien la tocara, los conocimientos sobre electricidad de la época eran muy limitados. Hubo que esperar hasta el año 1821, cuando el científico estonio Thomas Johann Seebeck redescubrió el mismo efecto. Posteriormente, añadiendo los descubrimientos de Jean Peltier y William Thomson, se consiguió definir la termoelectricidad como la conocemos hoy en día.

Inicialmente, la termoelectricidad no tuvo un uso práctico real, ya que no hubo interés en su investigación por la falta de desarrollo de entonces. Gracias a los avances tecnológicos, a principios del siglo XX se empezó a usar sobre todo en el contexto militar, y más adelante se empezó a extender hasta llegar a las casas en frigoríficos o bombas de calor. [2]

2.1 EFECTO SEEBECK

Entre los años 1821 y 1823, Thomas Johann Seebeck empezó a experimentar con los efectos producidos entre el calor y la electricidad. Construyó un circuito cerrado formado por dos semiconductores de materiales distintos unidos por ambos extremos. Observó que, si uno de los semiconductores estaba a temperatura ambiente y el otro caliente, se generaba un campo magnético que hacía que la aguja de una brújula se desviara. Para sus experimentos, Seebeck utilizó el instrumento que aparecen en la figura siguiente. [3] [4]

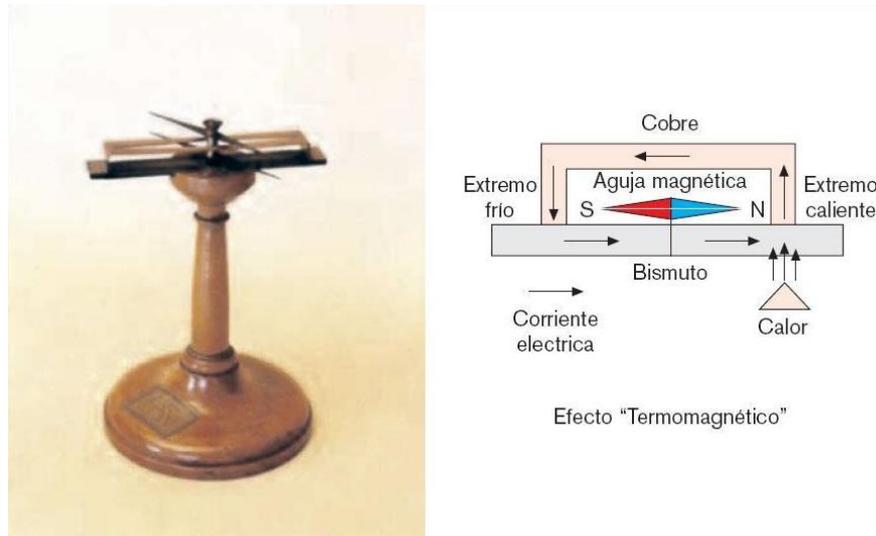


Figura 2.1 Instrumento de experimentación (Fuente: [3])

En su momento, Seebeck no supo reconocer que ese campo magnético se produce porque hay una corriente eléctrica en el circuito en respuesta a la diferencia de temperatura en la unión. Un año antes, en 1820, el físico danés Hans Christian Oersted relacionó la corriente eléctrica que pasa por un cable con la aparición de campo magnético, y con ayuda de este descubrimiento, se llegó a definir el efecto Seebeck como un efecto termoeléctrico tal y como lo conocemos hoy en día. [3] [5]

A la unión de dos metales distintos se le conoce como termopar, en el circuito creado por Seebeck, representado en la Figura 2.2, hay un par de termopares. Cuando hay diferencia de temperatura entre ellos, se crea una diferencia de voltaje proporcional a esa diferencia, por lo que el circuito es recorrido por una corriente eléctrica. [6]

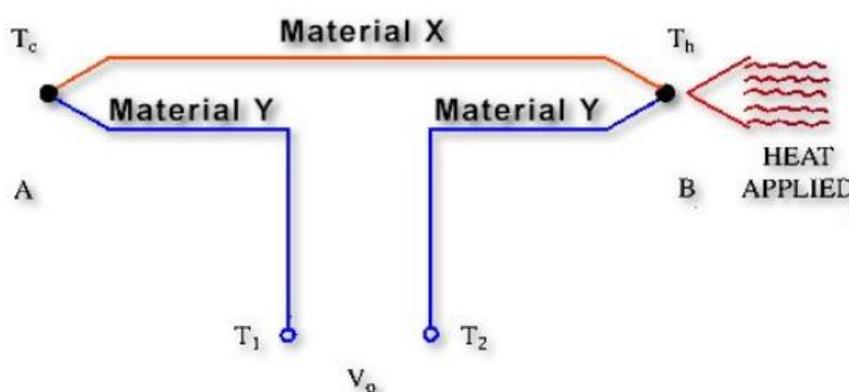


Figura 2.2 Termopares en el efecto Seebeck (Fuente: [6])

El termopar A se usa como referencia, manteniéndolo a una temperatura constante (T_c), mientras que el termopar B se va a ir calentando (T_h). Al haber una diferencia de temperatura entre A y B, se genera una diferencia de voltaje entre T_1 y T_2 , llamada V_o . A esta diferencia se le conoce como la fuerza electromotriz de Seebeck, que tiene la siguiente expresión: [6]

$$V_o = \alpha \cdot (T_h - T_c) \quad (2.1)$$

Siendo:

V_o : Diferencia de potencial. (V)

α : Coeficiente de Seebeck entre los dos materiales.

T_h : Temperatura en la unión caliente. ($^{\circ}K$)

T_c : Temperatura en la unión fría. ($^{\circ}K$)

El coeficiente de Seebeck entre dos materiales distintos se define como el valor de la diferencia de potencial que aparece entre dos puntos de un material por cada grado de diferencia de temperatura entre ellos. Sus unidades, en el Sistema Internacional, son V/K, aunque en la práctica es más normal ver $\mu V/K$, ya que la diferencia de potencial es muy pequeña. [6] [7]

2.2 EFECTO PELTIER

En el año 1834, el físico francés Jean Charles Peltier descubrió que una corriente eléctrica que pasara por dos metales distintos unidos entre ellos en dos puntos, los dos a la misma temperatura, hacía que una de las uniones absorbe calor, calentándose, y la otra desprende calor, enfriándose. Este efecto es el inverso del efecto Seebeck, con este conseguimos una diferencia de temperatura mediante la introducción de una corriente eléctrica. [4]

Cuatro años más tarde, en 1838, el físico alemán Heinrich Lenz demostró que la unión que se enfría y la que se calienta dependen del sentido de la corriente eléctrica. Si la corriente va de izquierda a derecha, la unión del lado derecho se enfriará, mientras que la del lado

izquierdo se calentará. Si la corriente cambia de sentido, la del lado derecho se calentará y la del izquierdo se enfriará, como vemos en la Figura 2.3. [4] [8]

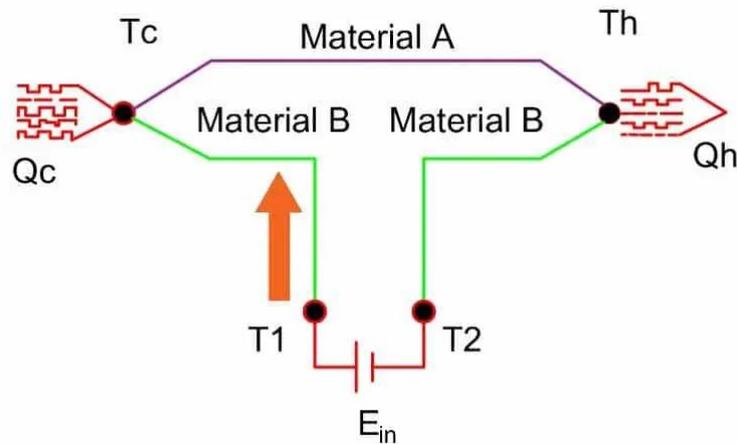


Figura 2.3 Efecto Peltier (Fuente: [8])

El calor absorbido o desprendido (Q_h o Q_c) es proporcional a la corriente eléctrica que pasa por el circuito y se mide en vatios. Su expresión es la siguiente:

$$Q = \beta \cdot I \quad (2.2)$$

Siendo β el coeficiente de Peltier entre los dos materiales, expresado en voltios. [8]

Un aspecto esencial para este trabajo son las células Peltier, que se utilizan en aplicaciones tanto del efecto Seebeck como del efecto Peltier, en el primero consiguiendo corriente gracias a una diferencia de temperatura y en el segundo diferencia de temperatura gracias a la introducción de corriente. Veremos estos dispositivos a fondo más adelante.

2.3 EFECTO THOMSON

A finales de la década de 1840, el físico y matemático británico William Thomson, posteriormente conocido como Lord Kelvin por la creación de la escala de temperatura Kelvin, desarrolló una extensiva investigación sobre la relación entre los efectos Seebeck y Peltier. Llegó a la conclusión de que el coeficiente de Seebeck y el de Peltier están relacionados a través de la termodinámica, el coeficiente de Peltier es simplemente el de

Seebeck multiplicado por la temperatura absoluta (medida donde el 0 de la escala es 0 grados Kelvin). [4] [9]

Esto le llevó a investigar sobre la termodinámica y, en concreto, sobre la interacción del calor y la energía mecánica, llegando a desarrollar el trabajo del físico inglés James Prescott Joule sobre ese mismo tema. En el año 1852, empezaron a trabajar juntos para investigar lo que posteriormente se conocería como el efecto Joule-Thomson, también llamado el efecto Joule-Kelvin o simplemente el efecto Thomson. [4] [6]

El efecto Thomson define que se absorbe o se disipa calor cuando una corriente fluye a través de un material homogéneo con un gradiente de temperatura (variación de la temperatura por unidad de distancia). Ese calor es proporcional a la corriente y al gradiente de temperatura, el coeficiente de proporcionalidad es conocido como el coeficiente de Thomson. [4] [10]

Este efecto es reversible, dependiendo del material y del sentido de la corriente, como vemos en la siguiente imagen, con una fuente de calor en el medio de una barra y la corriente yendo de izquierda a derecha. En el caso (a) la barra es de cobre (mayor potencial en el punto más caliente), de A a C va de un punto frío a uno caliente, se absorbe calor, y de C a B va de un punto caliente a uno frío, se disipa calor. Esto se conoce como efecto Thomson positivo. En el caso (b) la barra es ahora de hierro (mayor potencial en el punto más frío), por lo que se disipa calor de A a C y se absorbe calor de C a B de manera opuesta al flujo de corriente, esto se conoce como efecto Thomson negativo. [11]

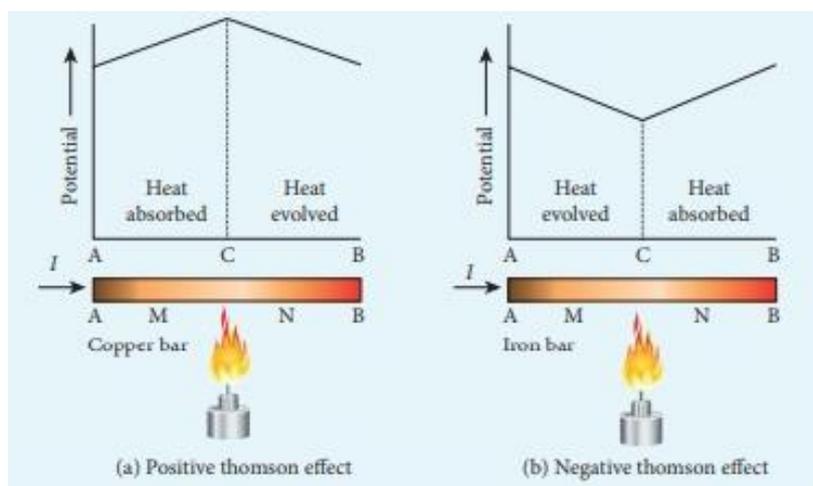


Figura 2.4 Efecto Thomson positivo y negativo (Fuente: [11])

3. Generadores Termoeléctricos: Células Peltier

Las células Peltier, también conocidas como módulos Peltier o módulos TEC, son los generadores termoeléctricos más extendidos, siendo imposible hablar de este efecto sin mencionarlas. Pueden servir como aplicación del efecto Seebeck y del efecto Peltier, en este último utilizándose sobre todo para la refrigeración, ya que para la calefacción son más eficientes los resistores térmicos. [8]

El uso de los generadores termoeléctricos (conocidos como TEG) tiene su origen en el año 1909, cuando el científico alemán Edmund Altenkirch empezó a investigar sobre su eficiencia y características, con resultados positivos. A partir de ese momento, se invirtió cada vez más en la investigación sobre cómo mejorar sus prestaciones y aumentar sus aplicaciones, llegando a la creación del primer generador termoeléctrico comercial en el año 1948, por el físico soviético Abram Fedorovich Ioffe. [4] [12]

Tras décadas de progreso, en el año 1990 surgieron nuevas investigaciones que forman las bases de las células Peltier modernas, con materiales más eficientes, nuevas aplicaciones y mejora de las existentes, reducción del tamaño y mejora de las prestaciones. Empresas como Toshiba empezaron a usar estas células para la generación de electricidad en automóviles en el año 2004, mejorando a medida que pasa el tiempo [13].

En este trabajo van a ser la base de todo, siendo imprescindibles en este. Nuestro principal objetivo va a ser la producción de electricidad mediante un gradiente de temperatura entre las dos caras de la célula, lo que se corresponde con la aplicación del efecto Seebeck.

3.1 FUNCIONAMIENTO

Las células Peltier son dispositivos termoeléctricos que permiten generar electricidad mediante una diferencia de temperatura (efecto Seebeck), o viceversa (efecto Peltier). Las células están formadas como un sándwich: dos placas cerámicas en las que hay dos semiconductores entre ellas, con una lámina de cobre en cada placa que actúa como

conductor eléctrico. La corriente se introduce o se extrae por dos terminales, uno positivo y el otro negativo. [14]

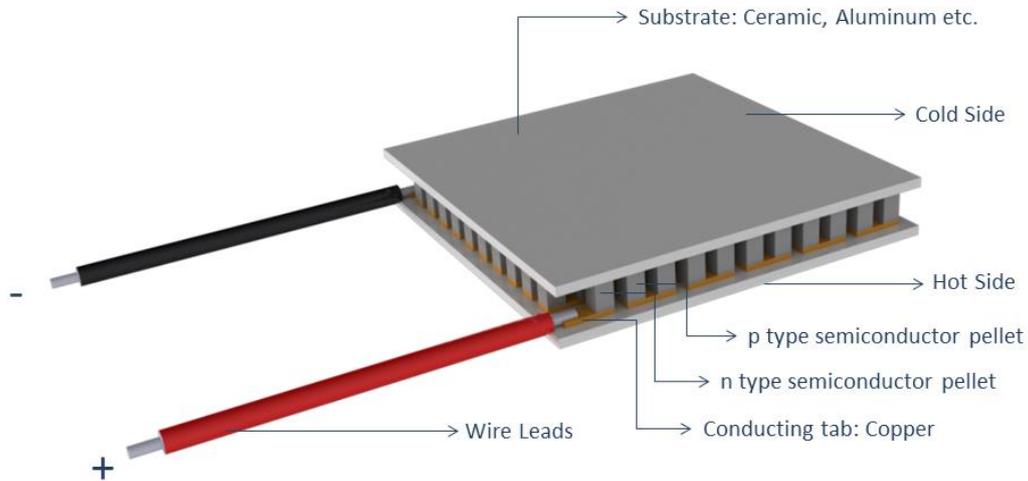


Figura 3.1 Célula Peltier (Fuente: [15])

Como vemos en la imagen anterior, uno de los semiconductores es de tipo P (boro, galio) y el otro de tipo N (fósforo, arsénico), que tienen densidades de electrones distintas, por lo que, cuando pasa una corriente eléctrica por ellos, una de las placas se enfría y la energía que se pierde la recolecta la otra placa, calentándose. Así funcionaría como aplicación del efecto Peltier, para el efecto Seebeck sería lo contrario, introduciendo un gradiente térmico entre las dos placas, las características de los semiconductores hacen que se cree una corriente eléctrica. En las figuras 3.2 y 3.3 vemos una representación del funcionamiento para cada efecto. [14] [16]

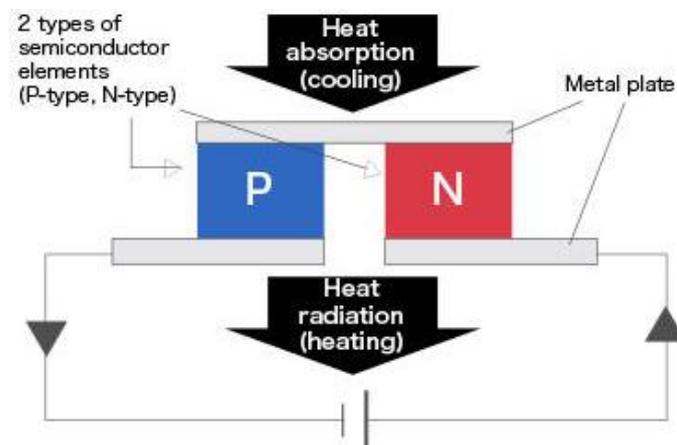


Figura 3.2 Efecto Peltier en una célula (Fuente: [17])

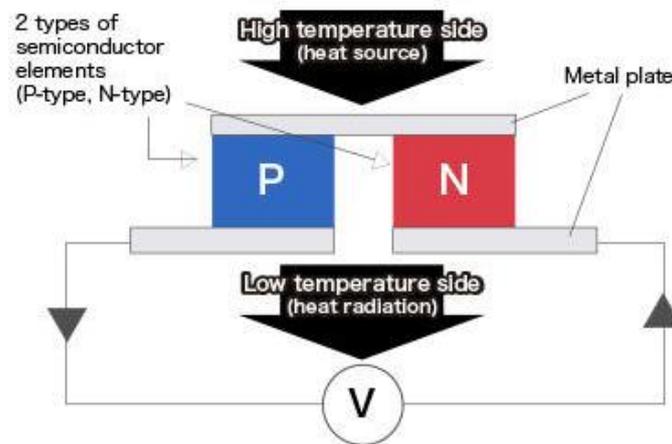


Figura 3.3 Efecto Seebeck en una célula (Fuente: [17])

En este trabajo nos vamos a centrar especialmente en la aplicación del efecto Seebeck, creando una diferencia de temperatura mediante el cuerpo humano (lado caliente) y la temperatura ambiente del exterior (lado frío), utilizaremos 10 células conectadas en serie para que la tensión que produzcan sea mayor, ya que va a servir para cargar una batería.

Los diferentes tipos de células Peltier se caracterizan por una serie de factores que dependen de la aplicación que vayan a tener las células, esto lo veremos de forma más detenida en el capítulo 5, donde haremos la selección del tipo de célula para este trabajo en concreto.

4. Normativa

Antes de diseñar nuestro prototipo de smart jacket, tenemos que tener en cuenta la legislación que regula las tecnologías y dispositivos electrónicos wearable, así como los tejidos inteligentes.

- UNE-EN IEC 63203-101-1:2021 (Ratificada). Tecnologías y dispositivos electrónicos wearable. Parte 101-1: Terminología. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en octubre de 2021.) [18]
- UNE-EN IEC 63203-201-1:2022 (Ratificada). Tecnologías y dispositivos electrónicos wearable. Parte 201-1: Textil electrónico. Métodos de medición de las propiedades básicas de los hilos conductores. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en julio de 2022.) [19]
- UNE-EN IEC 63203-201-3:2021 (Ratificada). Tecnologías y dispositivos electrónicos wearable. Parte 201-3: Textil electrónico. Determinación de la resistencia eléctrica de textiles conductores bajo microclima simulado. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en julio de 2021.) [20]
- ISO/TR 23383:2020. Textiles and textile products — Smart (Intelligent) textiles— Definitions, categorisation, applications and standardization needs [21]

Una vez diseñado y validado el producto final de la smart jacket, se debe comprobar que cumple todas las normas anteriores para su posterior venta y lanzamiento al mercado.

5. Componentes del diseño

Una vez definidos el marco teórico y la legislación necesarios para llevar a cabo el proyecto, procedemos a llevar estos conocimientos a la práctica. El diseño se va a separar en tres partes, los componentes textiles, los componentes eléctricos y los componentes electrónicos. A continuación, veremos con detalle cada aspecto del diseño, así como el proceso de selección de los componentes.

5.1 REQUISITOS ELÉCTRICOS

Antes de la elección de los componentes, hay que tener en cuenta una serie de requisitos eléctricos que debe de cumplir el diseño para que todo funcione adecuadamente. Más adelante, en base a esos requisitos, procederemos a diseñar la smart jacket.

En nuestro proyecto, queremos cargar una batería mediante la electricidad que proporcionan las células Peltier al verse sometidas a un gradiente de temperatura. Posteriormente, utilizaremos la batería para cargar una placa electrónica que llevará el control de la información que captan los sensores de temperatura que pondremos en el interior y el exterior de la chaqueta.

Para que todo funcione correctamente, las células tienen que cumplir unos requisitos de tensión y corriente mínimos para poder cargar la batería, que explicaremos en el apartado 5.3.1, donde veremos las especificaciones de la batería que vamos a utilizar, y en base a ellas elegiremos los componentes eléctricos.

5.2 COMPONENTES TEXTILES

El proyecto se basa en conseguir el máximo gradiente de temperatura posible entre la temperatura de nuestro cuerpo y el exterior para que, con el menor número células Peltier, seamos capaces de conseguir los niveles de tensión y corriente necesarios. Para ello, es esencial la elección adecuada de la chaqueta donde vamos a incorporar el sistema

inteligente, cuanto más aislamiento frente al exterior, y en consecuencia calor corporal, nos proporcione la chaqueta mejor.

En la búsqueda de la chaqueta también es importante que se pueda incorporar un diseño que quede estéticamente bien y elegante con vistas al futuro potencial de venta de la prenda.

Teniendo esto en cuenta, a la vez de que la chaqueta se utilizará en invierno, hemos elegido la siguiente opción, una chaqueta vaquera con borreguillo por dentro de Pull&Bear, perfecta para mantener el calor corporal dentro de la chaqueta en días de invierno:



Figura 5.1 Chaqueta utilizada (Fuente: [22])

El diseño del sistema inteligente se va a integrar en el interior de la chaqueta, con las células Peltier en la zona de la espalda, con su lado frío hacia fuera. Veremos el diseño paso por paso en el capítulo 7.

5.3 COMPONENTES ELÉCTRICOS

La parte eléctrica va a ser la base del funcionamiento del sistema inteligente, por lo que tendremos que ser cuidadosos con los elementos que vamos a escoger para que, según los parámetros del proyecto, consigamos la mayor eficiencia posible.

5.3.1 BATERÍA

La batería que vamos a utilizar es una batería de litio portátil estándar que encontramos en el laboratorio F5 de la Escuela de Ingenierías que había sido utilizada para un proyecto similar el año pasado. Con una entrada Micro-USB y dos salidas USB.



Figura 5.2 Entradas y salidas de la batería



Figura 5.3 Parte trasera y especificaciones de la batería

Observamos que la entrada es de 5 V de tensión y 2,1 A de corriente como máximo, y la salida es de 5 V de tensión y 2,4 A de corriente como máximo, todo en corriente continua.

Al ser una batería de litio, no requiere una corriente mínima para empezar a cargar, si no que empieza a cargar con cualquier corriente que le llegue, siempre que la tensión de entrada sean 5 V, simplemente cargará con menos velocidad que si le llegaran más amperios. En general, para una carga estándar y a una velocidad adecuada, se necesita

una corriente de carga un 10% de la capacidad de la batería (en el caso de una batería de 5 V, se necesitarían 0,5 A), por lo que diseñaremos un montaje en el que lleguemos a tener 0,5 A de corriente y 5 V de tensión en la entrada de la batería. [23] [24]

5.3.2 CÉLULA PELTIER

Normalmente, las células Peltier se utilizan para la refrigeración de sistemas, pero tienen la ventaja de que se pueden utilizar también para la generación de electricidad, no como los generadores Seebeck, que solo se pueden utilizar para generar electricidad, de ahí su nombre, y son más caros. Por lo tanto, vamos a centrar nuestra búsqueda en células Peltier.

Hay varios tipos de células Peltier en el mercado, diferenciadas por sus prestaciones y su tamaño, cuanto más grande sea la célula, más tensión y corriente sacará. En nuestro caso, la diferencia de temperatura que tendremos entre nuestro cuerpo y el exterior va a ser pequeña, entorno a unos 20 grados centígrados, por lo que una sola célula no nos va a proporcionar mucha electricidad.

Para determinar el tipo de célula óptima para nuestro proyecto, habría que realizar una serie de cálculos que, si se hicieran, nos saldríamos fuera del tiempo requerido para realizar todo nuestro proyecto. Así pues, leyendo diferentes blogs sobre la generación de electricidad con células Peltier, nos hemos quedado con el modelo SP1848-27145.



Figura 5.4 Célula Peltier SP1848-27145 (Fuente: [25])

Con un tamaño de 40x40 milímetros y 3,4 milímetros de espesor, la célula Peltier SP1848-27145 tiene las siguientes características eléctricas:

- 20 degree temperature difference: open-circuit voltage 0.97V, generated current: 225MA
- 40 degree temperature difference: open circuit voltage 1.8V, generated current: 368MA
- 60 degree temperature difference: open circuit voltage 2.4V, generated current: 469MA
- 80 degree temperature difference: the open circuit voltage 3.6V, generated current: 558MA
- 100 degree temperature difference: open circuit voltage 4.8V, generated current: 669MA

Figura 5.5 Características eléctricas de la célula Peltier SP1848-27145 (Fuente: [26])

Observamos que la célula nos proporciona, teóricamente, 0,97 V y 225 mA con una diferencia de temperatura entre el lado frío y el lado caliente de la célula de 20 °C.

5.3.3 REGULADOR DE VOLTAJE

Como vimos en el apartado 5.3.1, para que una batería estándar empiece a cargar, es necesario que le lleguen 5 V de tensión. Ya que no hay forma posible de controlar que las células saquen 5 V constantemente, nos aseguramos de ello con la ayuda de un regulador de voltaje en el que su salida sean 5 V.

Para poner menos células y ser más eficientes en la generación de tensión, buscamos un regulador que comience a funcionar desde un voltaje pequeño. La mayoría de reguladores necesitan una tensión de 2 V para empezar a funcionar, nosotros utilizaremos el regulador de voltaje elevador de 5 V U1V11F5 de Pololu, que empieza a funcionar desde un voltaje de entrada de 0,5 V.



Figura 5.6 Regulador de voltaje U1V11F5 (Fuente:[27])

Sus características con las siguientes: [27]

- Tensión mínima de funcionamiento: 0,5 V
- Tensión máxima de funcionamiento: 5,5 V
- Corriente máxima de entrada: 1,2 A
- Consumo de energía: 3 mA
- Dimensiones: 12x15x3 mm (largo x ancho x alto)

Es un regulador de voltaje elevador, o Step-Up, lo que significa que, al llegarle una tensión de entrada menor de 5 V, la eleva para generar una tensión de salida de 5 V. Este regulador tiene la ventaja de que admite tensiones de entrada de hasta 5,5 V, por lo que, cuando es mayor de 5 V y menor de 5,5 V, la tensión se baja hasta los 5 V en la salida.

5.4 COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Una vez tenemos la parte eléctrica, la parte electrónica se va a encargar de la monitorización de la temperatura en el interior de la chaqueta y en el exterior, llevando la información a un display con el que el usuario sepa en todo momento las condiciones del sistema.

5.4.1 PLACA ELECTRÓNICA

La placa electrónica es la base de todo el sistema electrónico, siendo la responsable de recoger todos los datos que captan los sensores de temperatura y llevarlos al display.

Las placas electrónicas, o placas de programación, son dispositivos que tienen un microcontrolador programable que se utilizan para el control de sistemas de pequeña escala, actuando de acuerdo al programa introducido según la información que reciben de sensores y actuadores. Las placas reciben y envían la información a través de entradas y salidas analógicas o digitales. [28]

En el mercado hay infinidad de placas, aunque las más populares entre los programadores son las placas Arduino y las Raspberry Pi. Sus diferencias más notables son las siguientes: [28]

- Arduino es una placa con un microcontrolador, mientras que Raspberry Pi es un ordenador compacto, por lo que requiere mucha más RAM que Arduino.
- Arduino es una placa open source, es decir, el hardware y el código de su software son accesibles al público. El hardware y software de Raspberry Pi no lo son.
- Arduino se programa con lenguaje C o C++, mientras que Raspberry Pi tiene su propio sistema operativo basado en Linux.
- Una placa Arduino es más barata que una placa Raspberry Pi.

Teniendo en cuenta las diferencias y que nuestro proyecto es a muy pequeña escala, nos decantamos por una placa Arduino.

Hay varios modelos de placas Arduino, dependiendo de su capacidad de almacenamiento, el número de salidas y entradas, el tamaño y su potencia. La más común es la placa Arduino Uno, que sirve como base a todo el que quiera empezar a programar sistemas de control sencillos. Como nosotros vamos a tener únicamente un par de sensores de temperatura y un display donde mostrar la información, no necesitamos que sea una placa con muchas entradas y salidas, aunque sí necesitamos que tenga un puerto USB con el que funcione a 5 V, ya que la batería es la que alimenta a la placa, y cuanto más pequeña mejor. Tomando en consideración estos requisitos, hemos decidido utilizar una placa Arduino Nano, que tiene un tamaño de solo 18x45 mm.

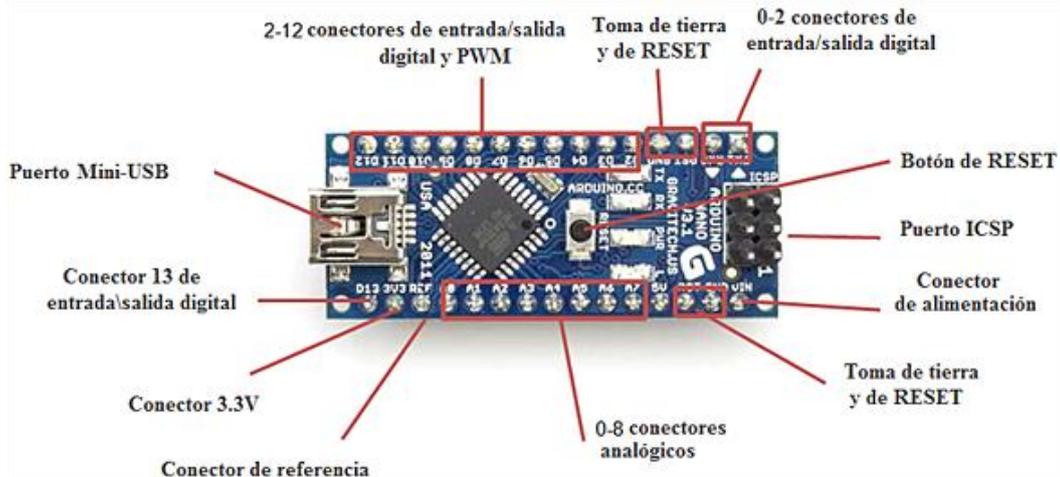


Figura 5.7 Pines de la placa Arduino Nano (Fuente: [29])

La placa tiene las siguientes características: [30]

- Microcontrolador Arduino ATmega328
- Arquitectura: AVR
- Voltaje de operación: 5 V
- Memoria flash: 32 KB de los cuales 2 KB utilizados por bootloader
- Capacidad de memoria SRAM 2 KB
- Capacidad de memoria EEPROM 1 KB
- Velocidad del reloj 16 MHz
- Corriente continua por pin entrada salida: 40 mA (Pines de E/S)
- Voltaje de entrada por el pin VIN: 7-12 V
- Consumo de energía: 19 mA
- Peso: 7 g

La placa se programará mediante el software propio IDE (Integrated Development Environment), el código se encargará de llevar el control y almacenar la información que recibe de los sensores, así como sacar la información por los puertos serie hacia el display. Veremos el código en el apartado 5.4.3, después de ver la forma de conexión de los sensores y el display.

5.4.2 SENSORES DE TEMPERATURA

Los sensores de temperatura que llevará la chaqueta se incorporarán en el interior y en el exterior de la misma, para captar la información de la temperatura y llevarla a la placa Arduino Nano. Los sensores que hemos escogido han sido del modelo DS18B20, recomendados para el uso con placas Arduino.



Figura 5.8 Sensor de temperatura DS18B20 (Fuente: [31])

Estos sensores son capaces de medir temperaturas entre $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un error de $\pm 5\%$. Tienen la ventaja de que utiliza el protocolo de comunicación 1-wire, que necesita únicamente un pin de comunicaciones para el intercambio de datos, y como cada dispositivo tiene su propio número de serie, se pueden conectar varios sensores en el mismo pin de entradas digitales. Cada sensor consume una corriente de 1 mA. [31]

Su conexión con la placa Arduino Nano será la siguiente:

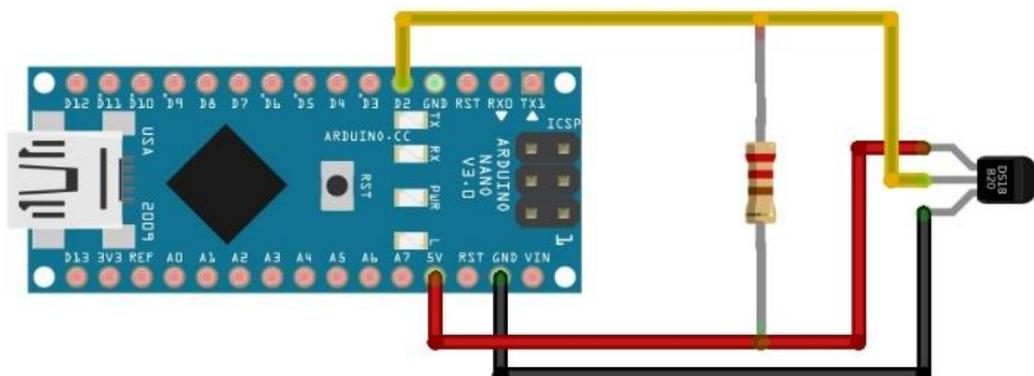


Figura 5.9 Conexión de la placa Arduino Nano y el sensor de temperatura (Fuente: [32])

La señal de datos de los sensores se conecta a la entrada digital D2. Hay que introducir una resistencia entre la línea de datos y Vcc de valor $4700\ \Omega$, llamada resistencia pull-up, que se encarga de controlar el bus de comunicación. Cuando el sensor no envía datos, la línea de datos es igual que Vcc, y cuando el sensor empieza a enviar datos, la línea cambia de estado. [33]

5.4.3 DISPLAY

Los sensores se van a encargar de recoger la información de la temperatura, que harán llegar a la placa Arduino, y esta los llevará al display, que los mostrará para que el usuario sepa las condiciones del sistema en todo momento.

Buscamos un display que sea específico para el uso con placas Arduino, los más comunes son displays de 7 segmentos, ya que permiten mostrar varias líneas de información, pero tienen el inconveniente de que necesitan un módulo I2C para la comunicación entre la placa Arduino y el display. En nuestro proyecto la única información que necesitamos mostrar va a ser la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la chaqueta, por lo que no necesitamos un display tan avanzado.

Vamos a utilizar el display OLED SSD1306 de AZ-Delivery, compatible con Arduino y Raspberry Pi. Es muy pequeño, pero tiene la gran ventaja de que se puede conectar directamente la salida de la placa Arduino a la entrada del display, sin necesidad del módulo I2C, que viene integrado.

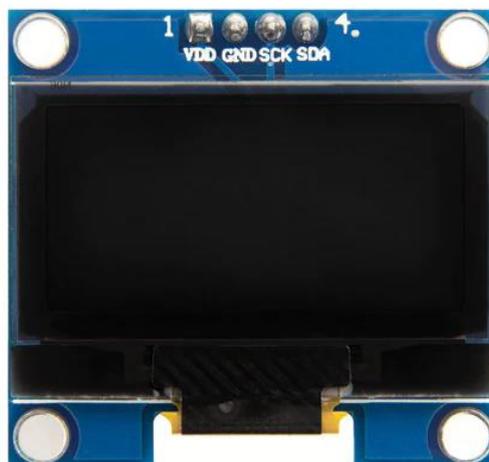


Figura 5.10 Display OLED SSD1306 (Fuente: [34])

El consumo del display será de 21 mA en condiciones normales y 28 mA como máximo. [35]

Su conexión con la placa Arduino Nano será la siguiente:

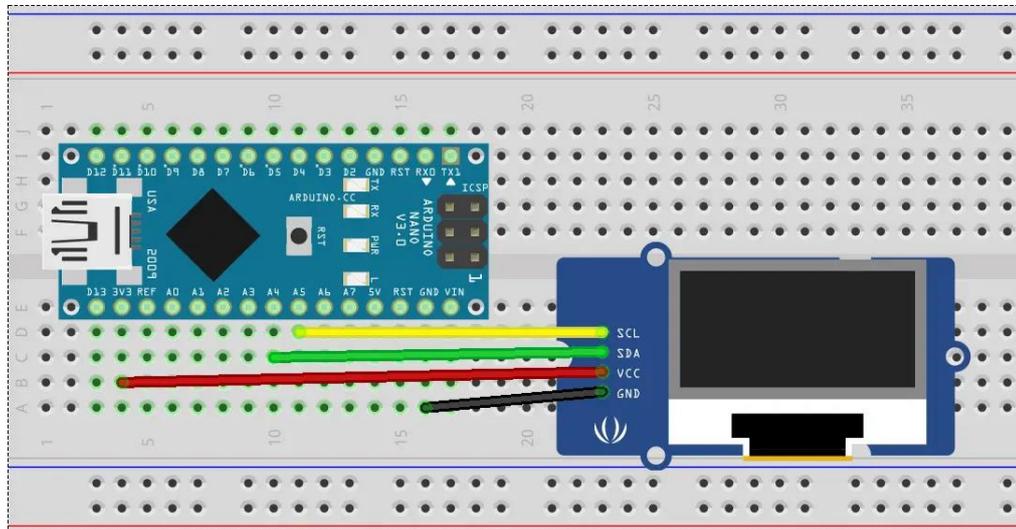


Figura 5.11 Conexión de la placa Arduino y el display (Fuente: [36])

La señal de datos del display (cable verde) se conecta a la entrada analógica A4, y la señal de reloj (cable amarillo) se conecta a la entrada analógica A5.

Una vez vistas las conexiones de los sensores y el display, pasamos a escribir el código correspondiente a la lectura de la información de los sensores y la salida para la representación en el display. El código se escribe en el programa para ordenador específica para las placas Arduino, Arduino IDE. El código es el siguiente:

```

#include <OneWire.h> //Librerías para los sensores
#include <DallasTemperature.h>
#include <Adafruit_GFX.h> //Librerías para el display
#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define ONE_WIRE_BUS 2
#define OLED_RESET 4
Adafruit_SSD1306 display(OLED_RESET);

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

DallasTemperature sensors(&oneWire);

void setup(void)
{
  sensors.begin();
  Serial.begin(9600);

  //Iniciamos el display indicando el tipo de display y su dirección I2C.
  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
  //Definimos el tamaño y el color del texto
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(WHITE);

  // Realizamos un conteo de los sensores que hay en la entrada digital
  int deviceCount = sensors.getDeviceCount();
}

void loop(void)
{
  sensors.requestTemperatures();
  float Temp1 = sensors.getTempCByIndex(0);
  float Temp2 = sensors.getTempCByIndex(1);
  float Temp = Temp1 - Temp2;
  float DifTemp = abs(Temp); //Gradiente de temperatura en valor absoluto

  //DISPLAY
  display.clearDisplay();

  display.setCursor(0, 15); //Definimos donde empieza a escribir en el display
  display.print("T = ");
  display.print(DifTemp);
  display.print(" ");
  display.print(char(223)); //Símbolo de grados
  display.print("C");

  display.display(); //Mostramos los cambios que van ocurriendo

  Serial.println("");
  delay(1000);
}

```

Figura 5.12 Código de Arduino

La forma de introducir el código en la placa es, con la placa conectada en un puerto USB del ordenador y el programa Arduino IDE abierto con el código anterior, se le da al botón de “Subir”, representado en la siguiente imagen, el programa lo revisa por si hay errores y listo.

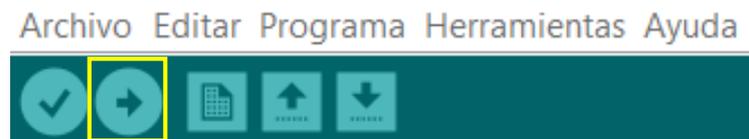
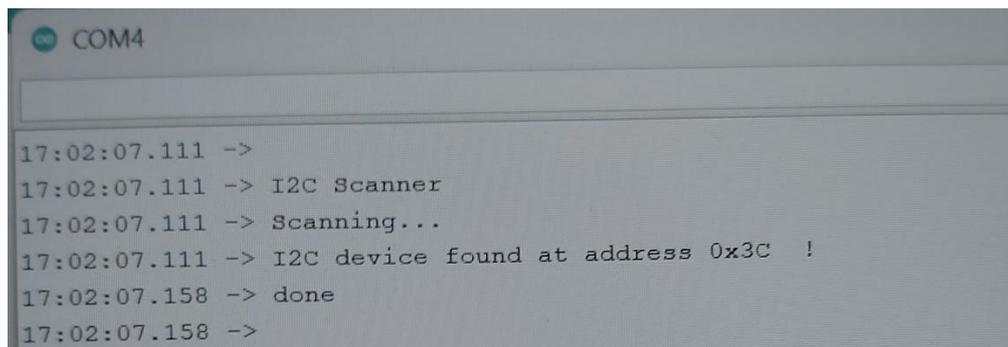


Figura 5.13 Botón “Subir” en Arduino IDE

Para saber la dirección I2C del display, tenemos que utilizar un código de Arduino en el que, con el display conectado a la placa y la placa conectada al puerto USB del ordenador, nos muestra por el monitor serie la dirección del display.



Figura 5.14 Botón “Monitor Serie” en Arduino IDE

The image shows the serial monitor window in Arduino IDE. The window title is 'COM4'. The output text is as follows:

```
17:02:07.111 ->  
17:02:07.111 -> I2C Scanner  
17:02:07.111 -> Scanning...  
17:02:07.111 -> I2C device found at address 0x3C !  
17:02:07.158 -> done  
17:02:07.158 ->
```

Figura 5.15 Dirección I2C del display

6. Experimentación

6.1 TIPOS DE CONEXIÓN DE LAS CÉLULAS PELTIER

Antes de dimensionar el sistema y empezar la experimentación, es necesario conocer los posibles métodos de conexión de las células Peltier, ya que, no todos serán posibles, como veremos.

6.1.1 CONEXIÓN EN SERIE

Las células se conectan de manera secuencial, el negativo de la primera se conecta al positivo de la segunda y así sucesivamente, teniendo al final un positivo general, que es el de la primera célula, y un negativo general, que es el de la última. [37]

- La corriente del circuito formado fluye a través de ellas en un solo camino, es la misma en todas las células y es la corriente total del circuito. $I_T = I_1 = I_2 = I_3 \dots$
- La tensión del circuito es el sumatorio de las caídas de tensión en el circuito creadas por las resistencias internas de cada célula. $V_T = V_1 + V_2 + V_3 \dots$
- La resistencia total del circuito es la suma de las resistencias internas de cada célula.
 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 \dots$

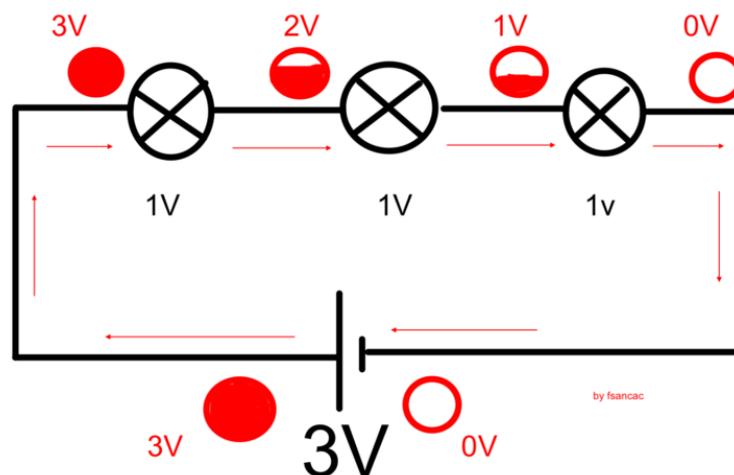


Figura 6.1 Representación de un circuito en serie (Fuente: [37])

6.1.2 CONEXIÓN EN PARALELO

Teóricamente, todos los negativos de las células están unidos en un mismo nodo, teniendo al final un negativo general, y lo mismo con los positivos de las células, teniendo así un positivo general. [37]

- La corriente del circuito se distribuye por cada rama, siendo la corriente total la suma de las corrientes de cada rama, que serán todas iguales ya que las resistencias internas de las células son iguales. $I_T = I_1 + I_2 + I_3 = 3 * I_1$
- La tensión del circuito es la misma en todo el circuito, ya que las resistencias internas de las células, que provocan las caídas de tensión, son iguales. $V_T = V_1 = V_2 = V_3 \dots$
- La resistencia total del circuito sigue la ecuación $R_T = (1/R_1) + (1/R_2) + (1/R_3) \dots$

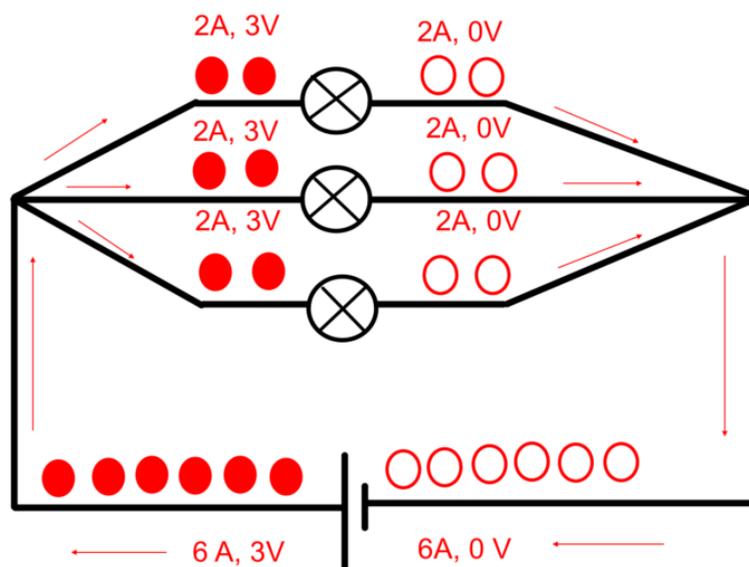


Figura 6.2 Representación de un circuito en paralelo (Fuente: [37])

6.1.3 CONEXIÓN MIXTA

Creación de un circuito que junta conexiones en serie con conexiones en paralelo. Es el tipo de conexión más común, ya que combina las propiedades conmutativas del voltaje del circuito en serie y las de la corriente del circuito en paralelo, por lo que suma voltajes y corrientes. [38]

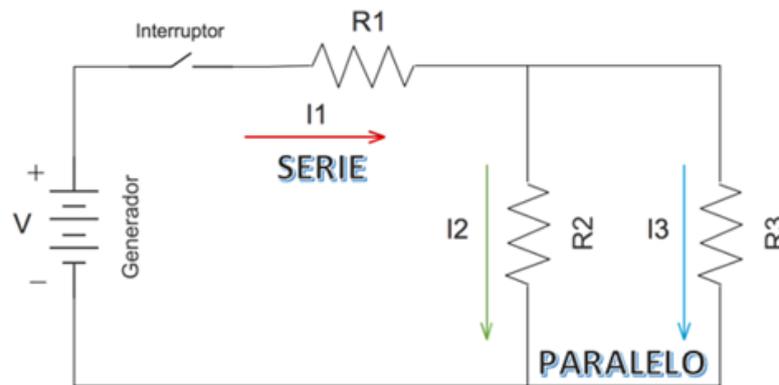


Figura 6.3 Representación de un circuito mixto (Fuente: [38])

En el caso de la imagen superior, se resolvería primero la parte en paralelo y luego se resolvería el circuito entero como un circuito en serie normal.

Teniendo en cuenta lo que queremos que generen las células, nos decantamos por un sistema formado por un grupo de células en serie, las necesarias para llegar a 0,5 V como mínimo, y luego una conexión en paralelo con el número necesario de grupos de células para llegar a los 0,5 A de corriente. En la imagen siguiente, vemos un ejemplo de este montaje, en este caso con placas fotovoltaicas.

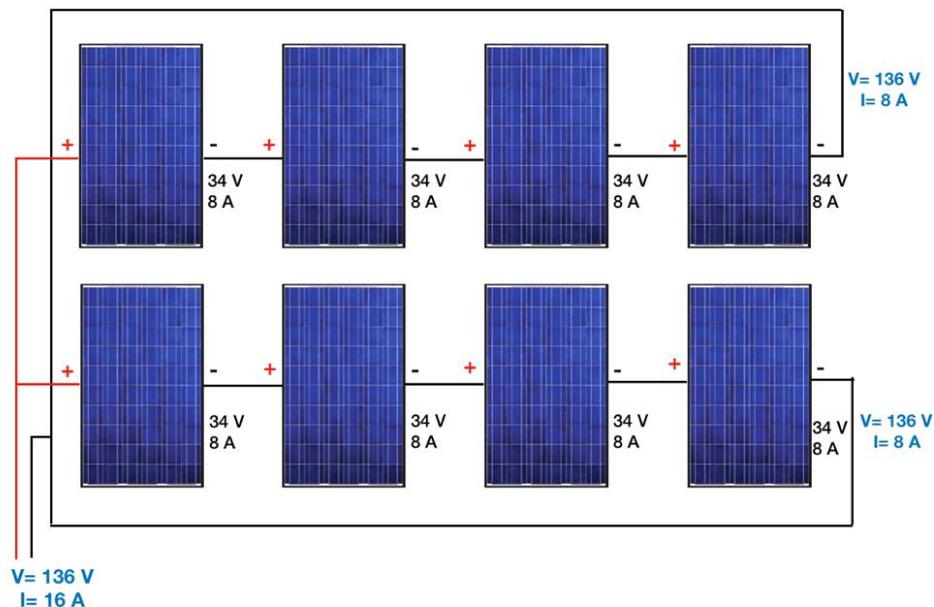


Figura 6.4 Ejemplo de montaje de las células (Fuente: [39])

6.2 EXPERIMENTOS SOBRE UNA CÉLULA PELTIER

Aunque en el apartado 5.3.2 viéramos las prestaciones teóricas de una célula Peltier dependiendo de la diferencia de temperatura entre sus dos lados, esos son datos ideales. En un caso real, como es este proyecto, puede haber muchos factores que contribuyan a que las prestaciones sean más bajas, por lo que tenemos que hacer una primera experimentación únicamente para conocer las prestaciones reales de las células.

6.2.1 MEDICIÓN DE LA TENSIÓN

La experimentación inicial la llevamos a cabo con 3 y 4 células Peltier en serie, midiendo el voltaje generado con un multímetro. La medición del voltaje se realiza en paralelo a las células, por lo que únicamente es necesario conectar el terminal negativo del multímetro con el negativo del circuito (como vimos anteriormente, el negativo de la primera célula) y el terminal positivo con el positivo del circuito (el positivo de la última célula). En el multímetro seleccionamos la medición de tensión en corriente continua, ajustando la medida a la escala adecuada, en este caso, la ajustamos en unidades de voltio.



Figura 6.5 Configuración del multímetro para la medición de tensión

Para esta fase inicial, hemos hecho tres experimentos, uno el día 24 de marzo y los otros el 2 de abril de 2023, y conseguimos los siguientes resultados:

En el experimento 1, probamos con 3 células en serie. Colocamos las células en un radiador por el lado caliente a unos 50 °C, mientras que el lado frío está a la temperatura ambiente de aproximadamente 30 °C en las proximidades del radiador.



Figura 6.6 Medición de tensión. Experimento inicial 1

En el experimento 2, utilizamos una plancha para generar calor a unos 55 °C en el lado caliente de las células, mientras que el lado frío está a la temperatura ambiente de aproximadamente 30 °C en las proximidades de la plancha.

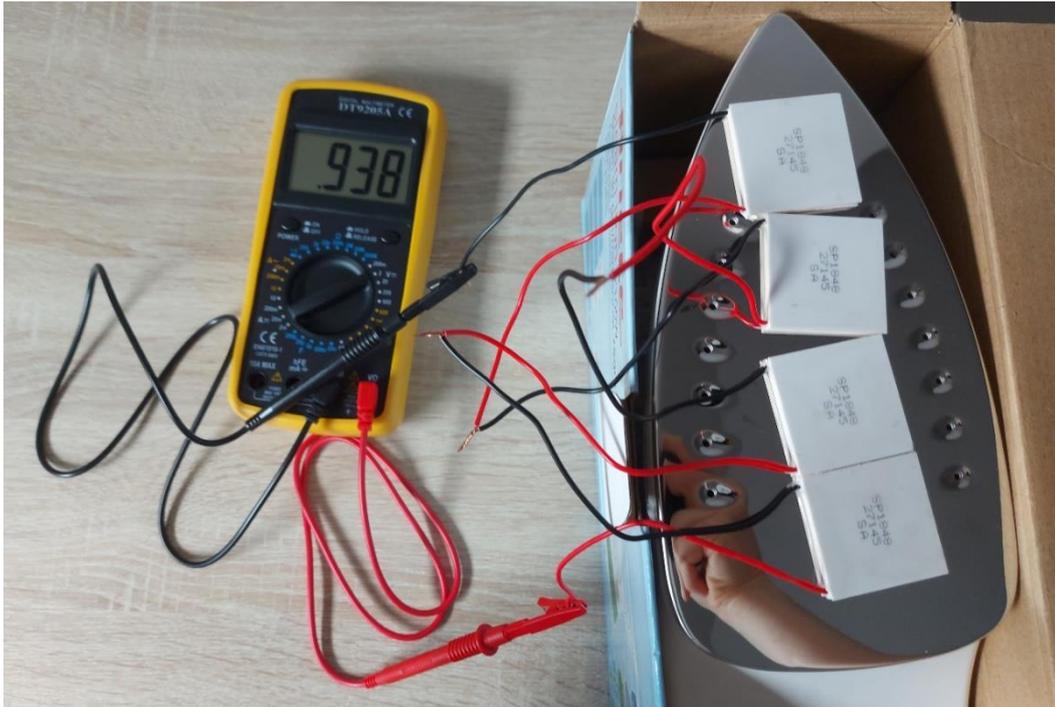


Figura 6.7 Medición de tensión. Experimento inicial 2

En el experimento 3, utilizamos la misma disposición que en el experimento 1, con la plancha.



Figura 6.8 Medición de tensión. Experimento inicial 3

En base a estos experimentos, teniendo en cuenta los errores en la diferencia de temperatura entre ellos, podemos asumir que 3 células Peltier en serie nos van a proporcionar un voltaje de entre 0,5 y 0,6 V, y 4 células Peltier en serie nos van a proporcionar 1 V de tensión. Para el diseño del sistema inteligente, pondremos 4 células en serie para asegurar que la tensión que generan sea mayor de 0,5 V.

Adicionalmente, para comprobar el correcto funcionamiento del regulador de tensión, realizamos un experimento con 3 células Peltier en serie el mismo día que el experimento 1. En este caso, hemos utilizado una plancha, al igual que en los experimentos 2 y 3.

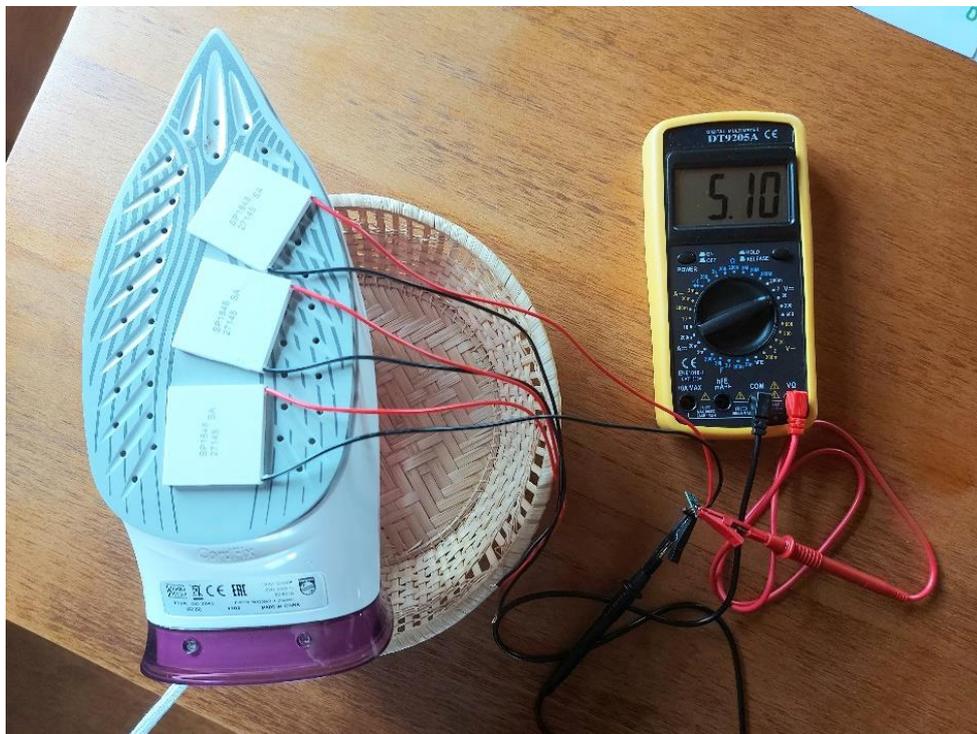


Figura 6.9 Comprobación del funcionamiento del regulador de tensión

Observamos que a la salida del regulador salen 5,1 V, el 0,1 que sale a mayores de los 5 V puede venir dado por el propio multímetro, por lo que comprobamos que el regulador funciona correctamente y va a proporcionar 5 V a la entrada de la batería.

6.2.2 MEDICIÓN DE LA CORRIENTE

Una vez tenemos la tensión necesaria para que funcione el regulador de voltaje, pasamos a determinar la corriente que generan las 4 células Peltier en serie, para saber cuántos

packs en paralelo de 4 células en serie necesitamos poner para llegar a la corriente óptima para cargar la batería (0,5 A).

La medición de la corriente con un multímetro se realizaría en serie, por lo que, tendríamos que abrir nuestro circuito cerrado formado por las células, el regulador de tensión y la batería, colocando el multímetro entre el terminal positivo de la última de las células en serie y la entrada VIN del regulador de tensión. Pero existe una manera más sencilla de medir la corriente en un circuito cerrado, el amperímetro de pinza, con el que no es necesario tener que abrir el circuito, simplemente se coloca la pinza alrededor de uno de los terminales del circuito por donde pasa la corriente. En el amperímetro de pinza ajustamos la medición de corriente en la escala 2A y seleccionamos la medición en corriente continua, mediante el botón SELECT/V.F.C.



Figura 6.10 Configuración del amperímetro de pinza para la medición de corriente

Con las 4 células en serie, el circuito cerrado formado por las células, el regulador de tensión y la batería queda de la siguiente manera:



Figura 6.11 Circuito cerrado del sistema eléctrico

La entrada del regulador de tensión, VIN, se corresponde al cable rojo, la masa común, GND, se corresponde al cable negro, y la salida VOUT es el cable blanco, como vemos en detalle en la imagen inferior.



Figura 6.12 Entradas y salidas del regulador de tensión cableadas

El cable Micro-USB que une el regulador de tensión con la entrada de la batería se compone de un cable rojo, que va al VOUT (cable blanco) del regulador, y un cable negro, que va al GND (cable negro) del regulador. En la siguiente imagen vemos con detalle la conexión de las células, el regulador de tensión y el cable Micro-USB.

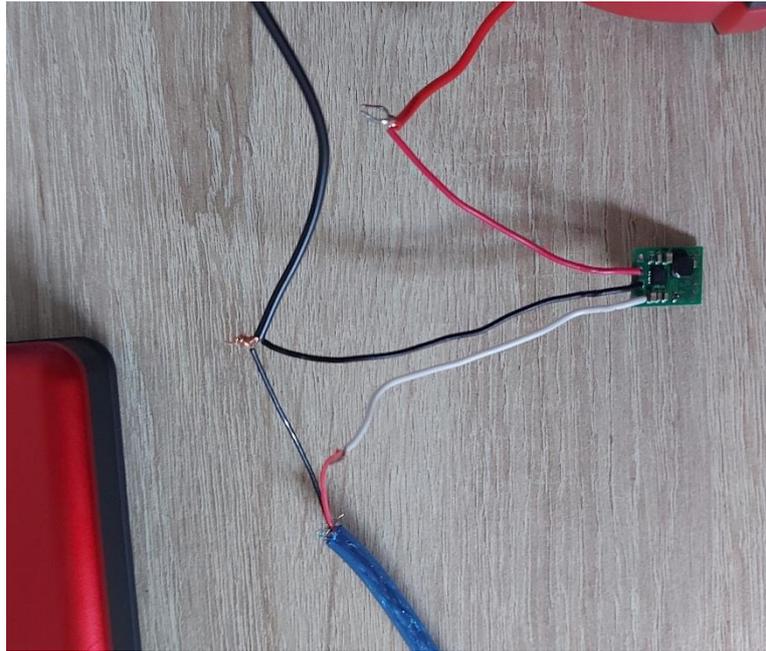


Figura 6.13 Conexión células-regulador-batería

Con este circuito, realizamos dos experimentos, uno el día 14 de abril del 2023 y el otro el día 24 de abril, consiguiendo los siguientes resultados:

En el experimento 1 utilizamos una plancha para generar calor a unos 55 °C en el lado caliente de las células, mientras que el lado frío está a la temperatura ambiente de aproximadamente 30 °C en las proximidades de la plancha.

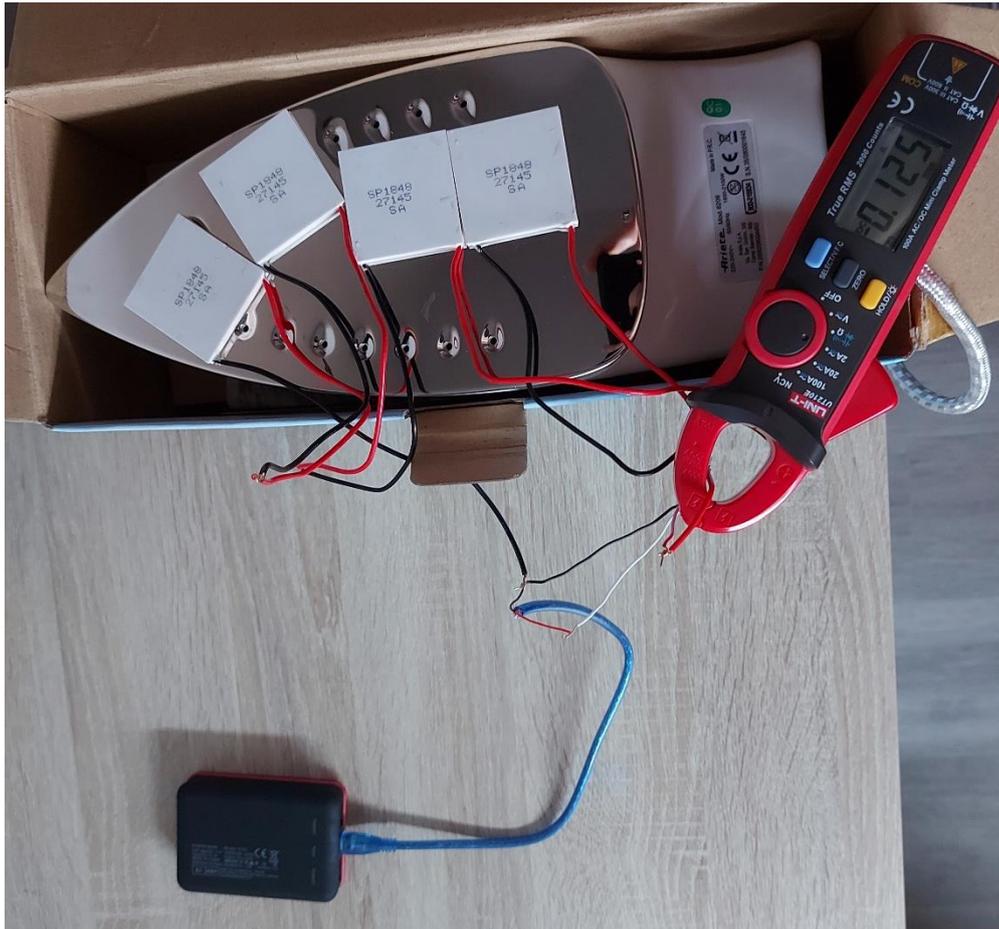


Figura 6.14 Medición de corriente. Experimento inicial 1

Observamos que 4 células Peltier en serie nos generan 0,125 A de corriente, teniendo en cuenta posibles errores en la diferencia de temperatura. Una vez sabemos cuánto nos proporcionan 4 células en serie, pasamos a comprobar que, un pack de 4 células en serie en paralelo con otro pack de 4 células en serie, nos debería de dar el doble de corriente (alrededor de 0,25 A).

En el experimento 2 utilizamos una plancha eléctrica más grande para que entren todas las células Peltier, tenemos calor a unos 55 °C en el lado caliente de las células, mientras que el lado frío está a la temperatura ambiente de aproximadamente 30 °C en las proximidades de la plancha.

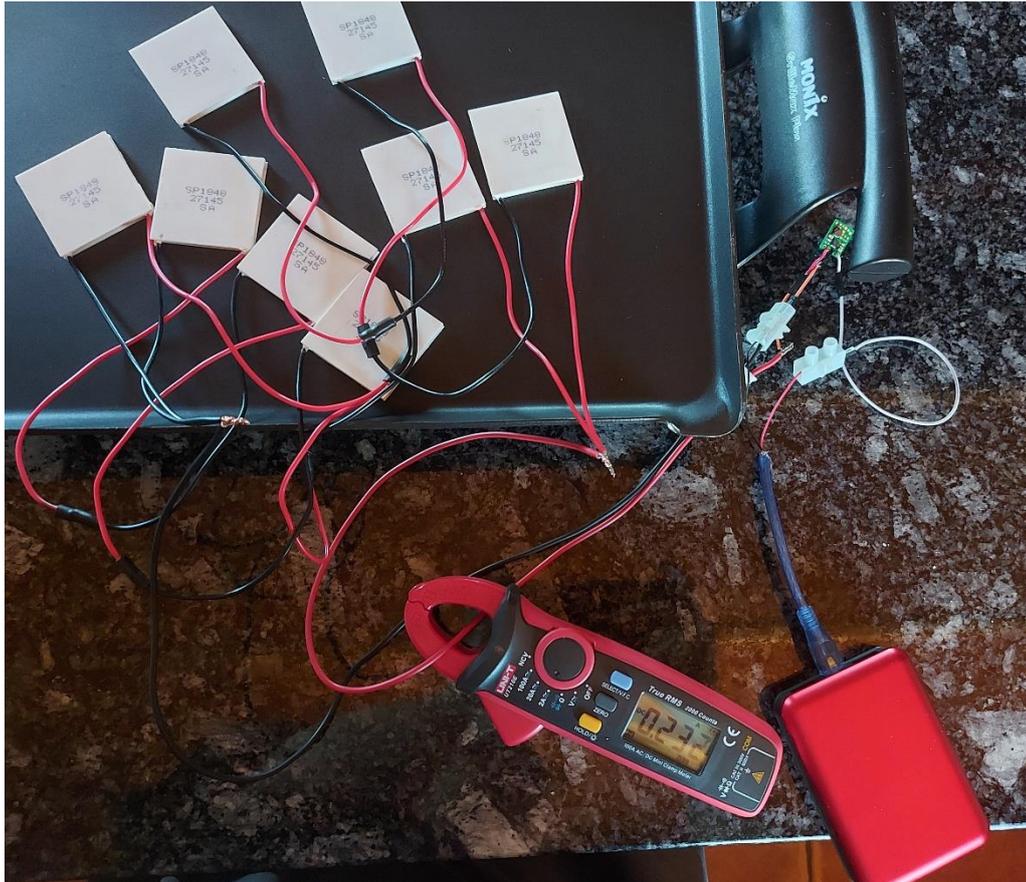


Figura 6.15 Medición de corriente. Experimento inicial 2

Como vemos en la imagen, se cumple el principio de la corriente con las células en paralelo, dos packs en paralelo de 4 células en serie cada uno nos da el doble de intensidad que un pack de 4 células en serie, 0,232 A, teniendo en cuenta los posibles errores en la diferencia de temperatura entre células.

Por lo tanto, el diseño final del sistema inteligente se compone de 5 packs en paralelo de 4 células en serie cada uno, para generar al menos 0,5 A y 0,5 V, que con el regulador transformaremos a 5 V, para la carga óptima de la batería.

Para comprobar que la corriente que genera el sistema inteligente total es de al menos 0,5 A, hacemos un último experimento. El experimento lo realizamos con bolsas de agua caliente, ya que el día que lo hicimos no tuvimos acceso a la plancha eléctrica grande.

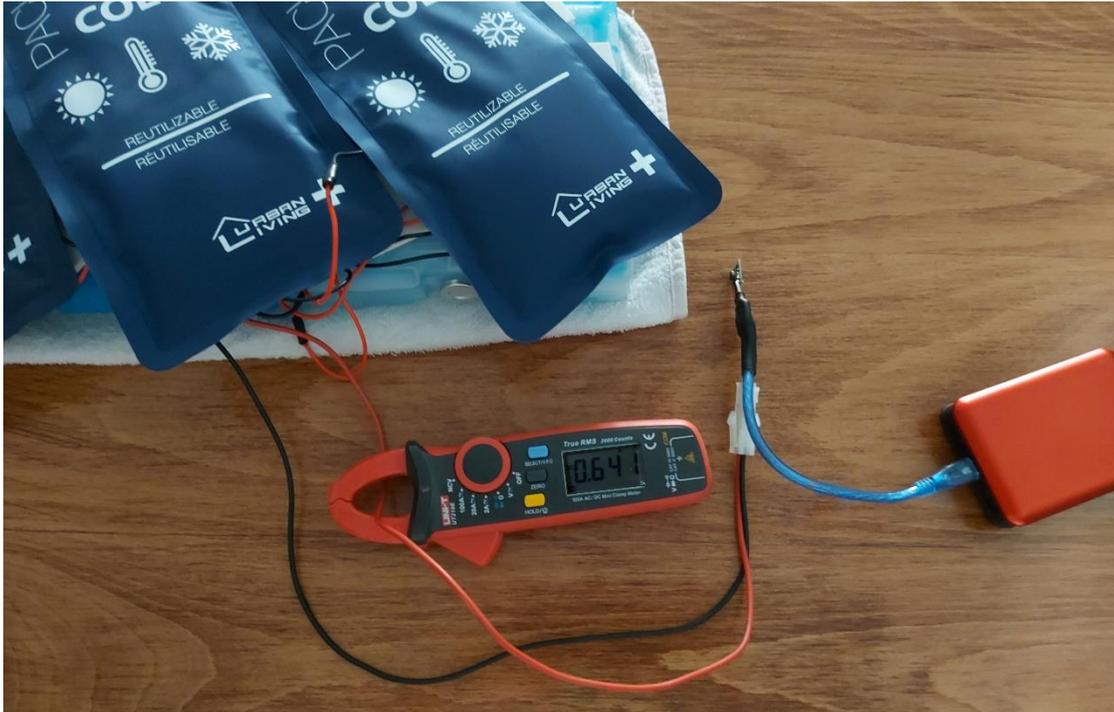


Figura 6.16 Comprobación de la corriente generada por el sistema

Como vimos en el apartado 5.3.3, el regulador de tensión tiene un consumo de energía de 3 mA, por lo que, a la corriente resultante de los 5 packs en paralelo, habría que restarle 3 mA. Por lo tanto, a la entrada de la batería tendríamos $0,641 - 0,003 = 0,638$ A, teniendo en cuenta pequeñas diferencias en el gradiente de la temperatura al que las células están sometidas en el caso real, que no será muy diferente al de las pruebas realizadas.

6.3 ESQUEMA DE DISEÑO

Una vez tenemos definido el diseño final del sistema, procedemos a representarlo gráficamente. El sistema consiste en 5 packs en paralelo de 4 células Peltier en serie que, mediante un regulador de voltaje utilizado para obtener 5 V, sirven para cargar una batería de litio, que a su vez alimenta una placa electrónica Arduino, encargada de llevar el control de temperatura mediante sensores, llevando la información que captan a un display.

El montaje lo realizamos con el software de diseño asistido por ordenador para dibujo 2D llamado AutoCAD, de la empresa Autodesk.

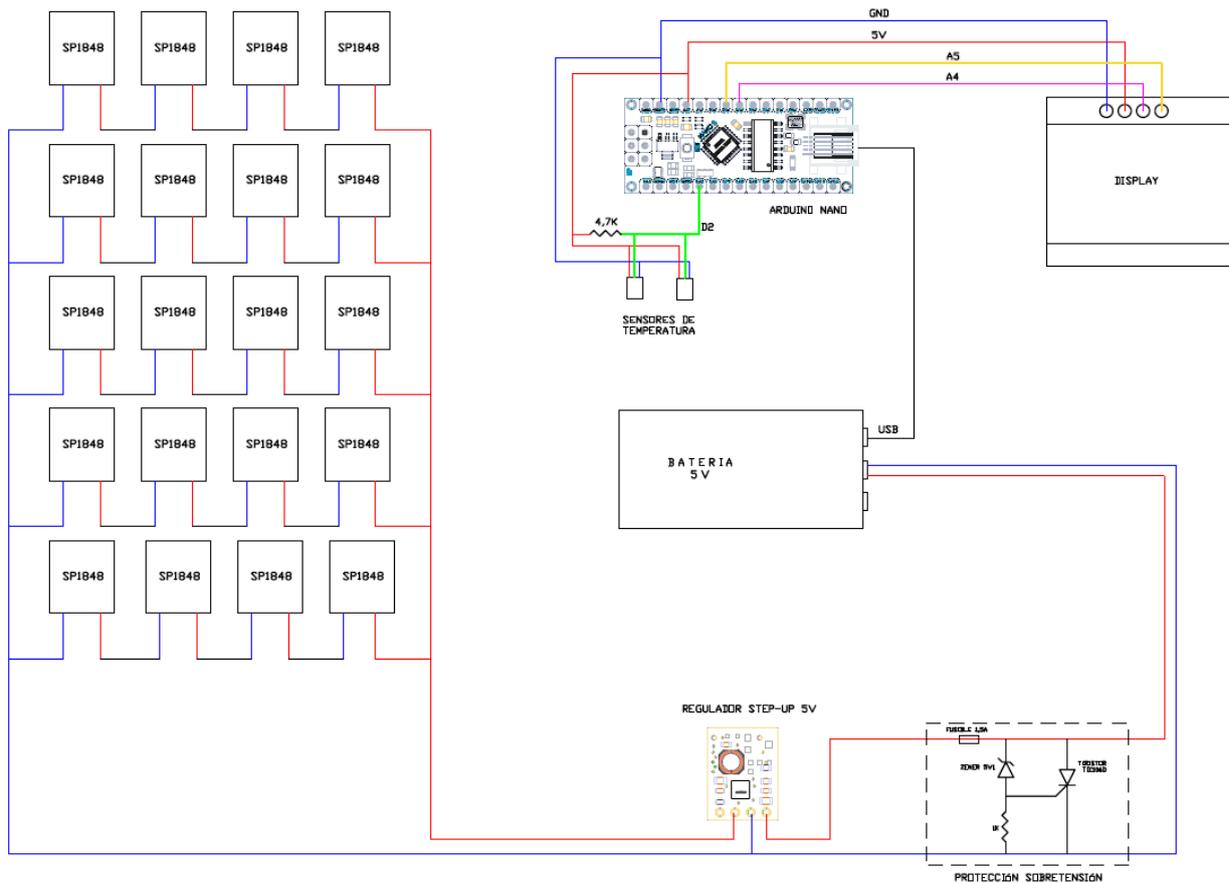


Figura 6.17 Esquema final del diseño del sistema

Como vemos, conectamos la señal de datos de los sensores (cable verde) a la entrada digital D2, mientras que la señal de datos del display (cable rosa) se conecta a la entrada analógica A4, y la señal de reloj (cable amarillo) se conecta a la entrada analógica A5.

En el esquema hemos incluido un circuito de protección contra sobretensiones, por si acaso la batería no tuviera protección, pero es exclusivamente teórico, ya que la batería que vamos a utilizar sí tiene protección contra sobretensiones. Podemos ver el circuito de manera detallada en la siguiente imagen.

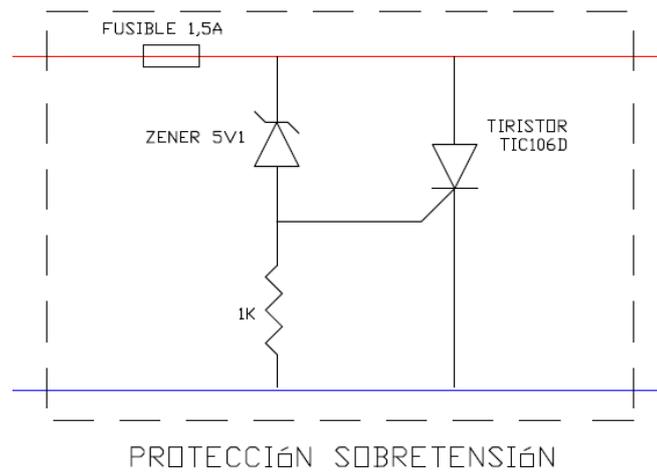


Figura 6.18 Circuito de protección contra sobretensiones

Los bloques de la placa Arduino y el regulador de tensión los hemos dibujado gracias a la ayuda de plantillas 3D externas, descargadas de la plataforma GrabCAD, una librería online donde los usuarios pueden descargarse modelos CAD de manera gratuita.

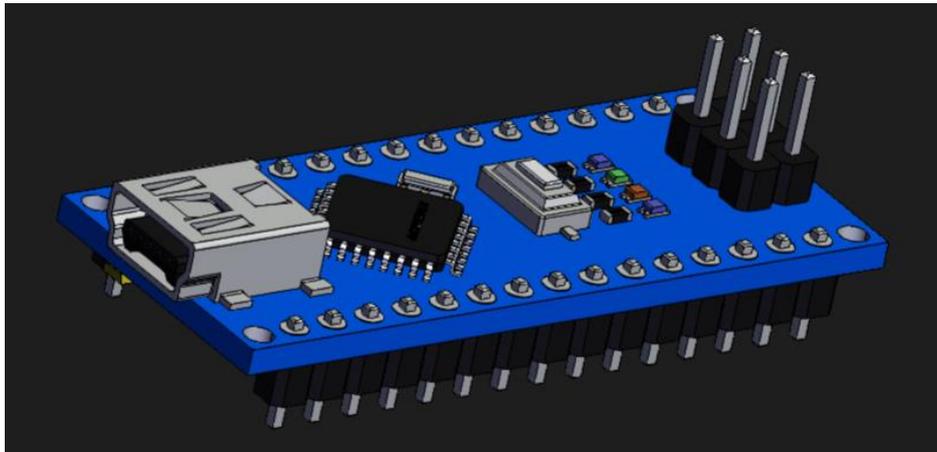


Figura 6.19 Modelo 3D de la placa Arduino Nano (Fuente: [40])

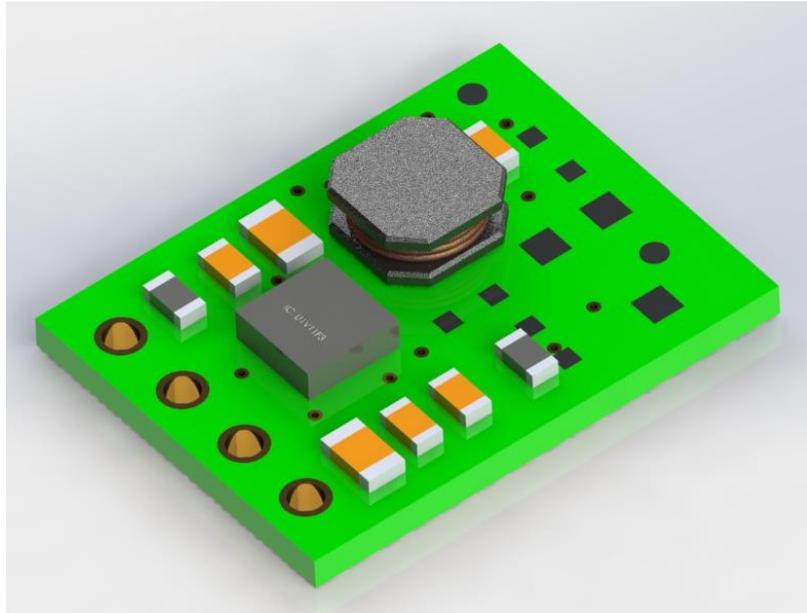


Figura 6.20 Modelo 3D del regulador de tensión (Fuente: [41])

Este modelo 3D no es exactamente del mismo modelo que el de este proyecto, se corresponde al modelo U1V11F3 de Pololu, que solo se diferencia del nuestro, el modelo U1V11F5, en que, en vez de ser un step up de 5 V, es de 3,3 V, pero físicamente son iguales.

6.4 EXPERIMENTOS ADICIONALES

Para verificar el funcionamiento correcto del código de la placa Arduino, conectamos los sensores de temperatura y el display a la placa con ayuda de una protoboard, y alimentamos la placa Arduino con la batería previamente cargada. Comprobamos que el display muestra la diferencia de temperatura entre los dos sensores.

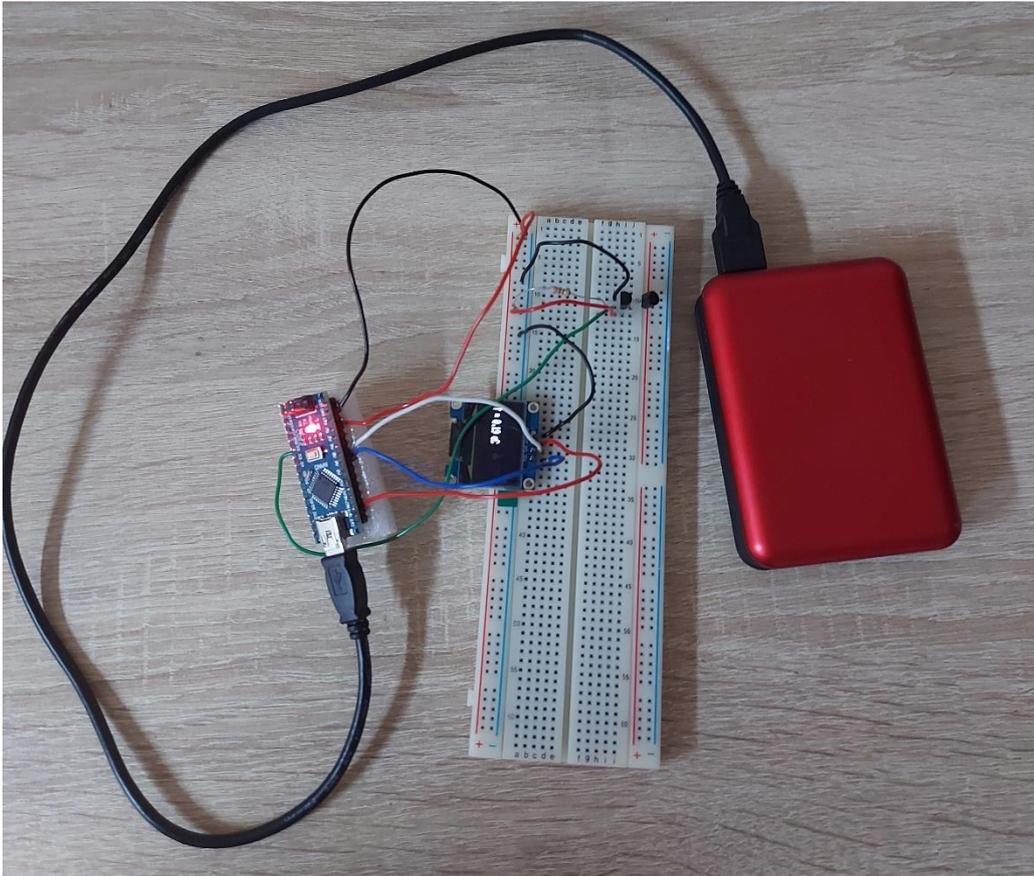


Figura 6.21 Conexiones batería-Arduino-sensores-display

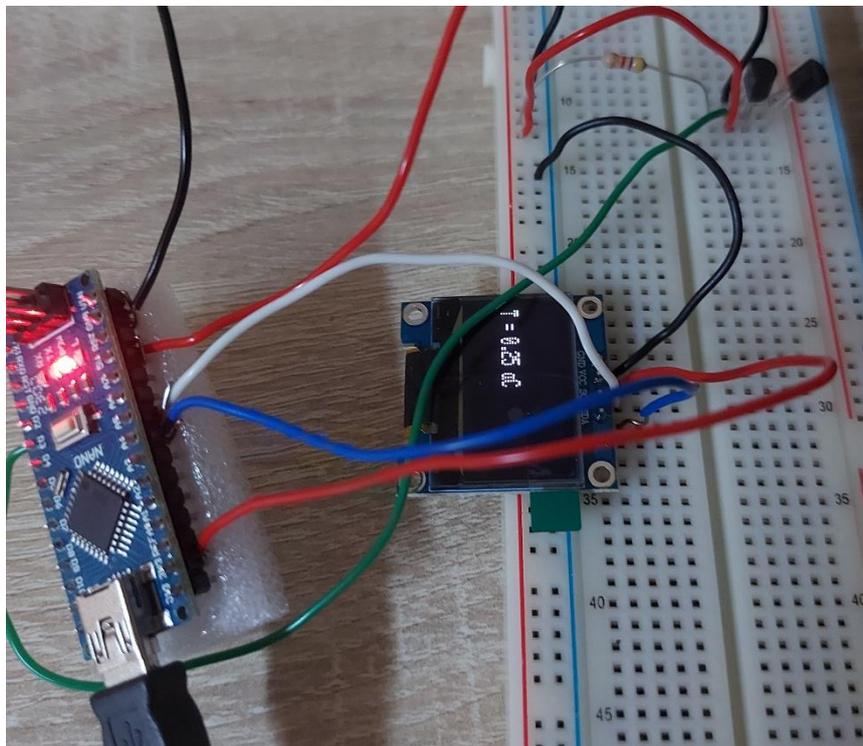


Figura 6.22 Visualización de la diferencia de temperatura por el display

7. Prototipo de la smart jacket

En este capítulo, veremos con detalle las diferentes conexiones del montaje final del prototipo, así como el diseño final. Las conexiones se realizarán con tubos termoretráctiles, que se colocarán sobre las conexiones manuales de los cables y se calentarán, reduciendo su tamaño para ajustarse a los cables.

- Células Peltier:

Primero, haremos las conexiones de los 5 packs por separado, que consisten en 4 células Peltier en serie.

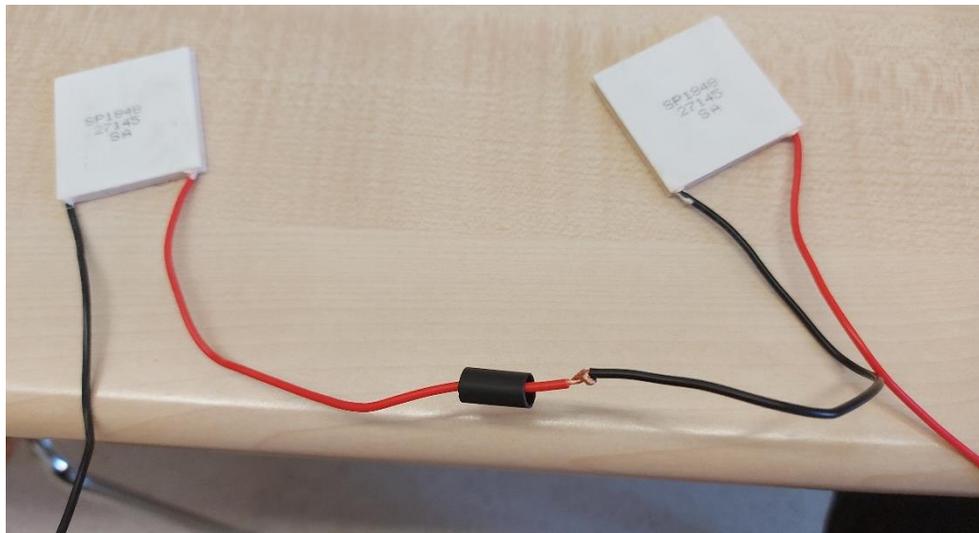


Figura 7.1 Conexión manual de células en serie

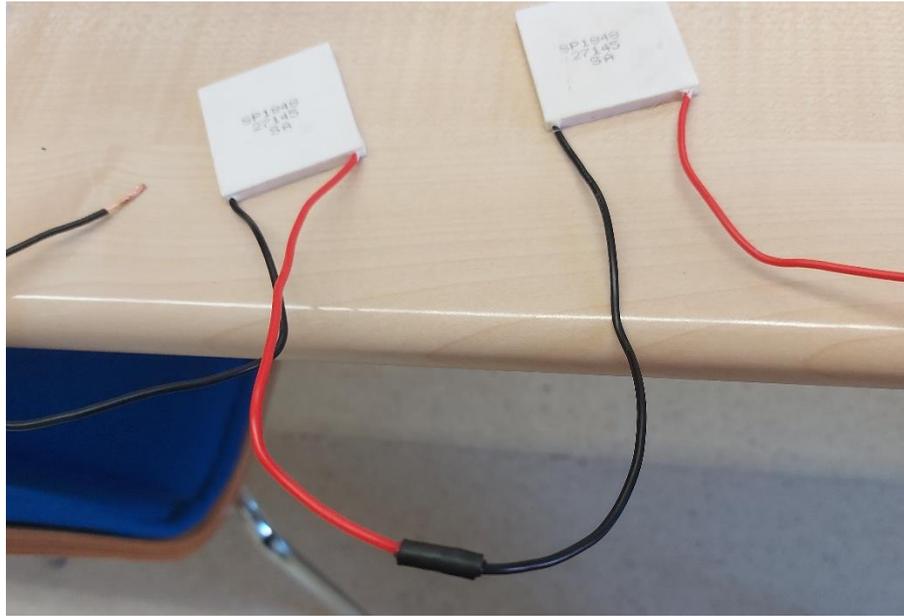


Figura 7.2 Conexión en serie con el tubo termoretráctil

Con las conexiones en serie de las 4 células de cada pack, realizamos la conexión en paralelo de todas ellas.

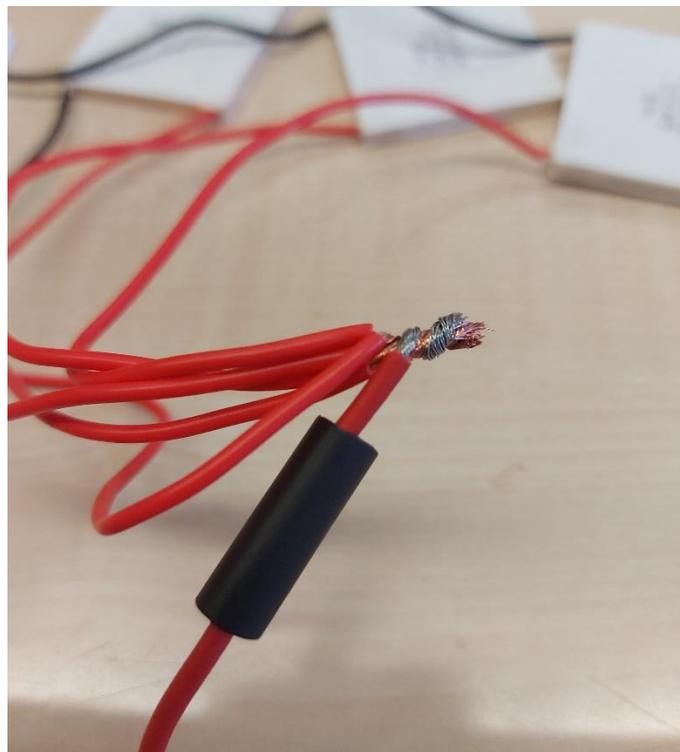


Figura 7.3 Conexión manual de los packs en paralelo

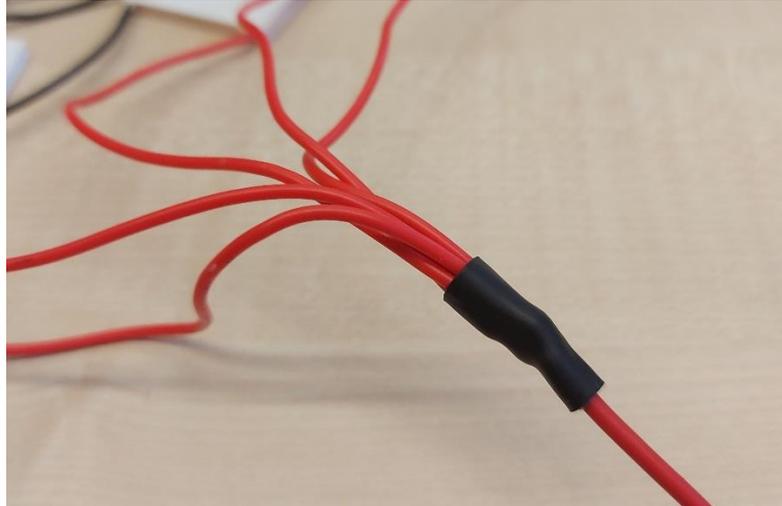


Figura 7.4 Conexión en paralelo con el tubo termoretráctil

- Regulador de voltaje y batería:

Primero, hacemos las conexiones individuales entre las entradas del regulador con la salida de las células y la salida del regulador con la entrada de la batería. Las entradas del regulador, cables rojo y negro, se corresponden al VIN y GND, respectivamente, y van conectadas al cable rojo y el negro de la salida de las células. Las salidas del regulador, cables blanco y negro, se corresponden al VOUT y GND, respectivamente, y van conectadas al cable rojo y el negro del cable Micro-USB de color azul, que es la entrada de la batería.

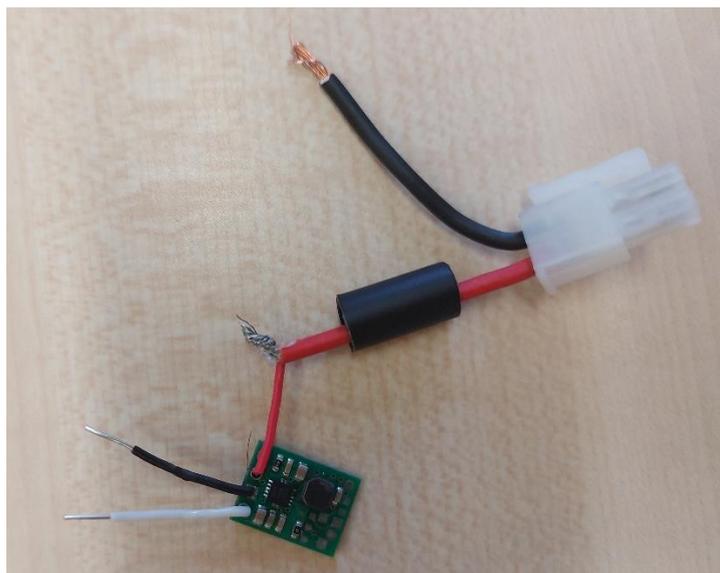


Figura 7.5 Conexión manual individual de las entradas y salidas del regulador

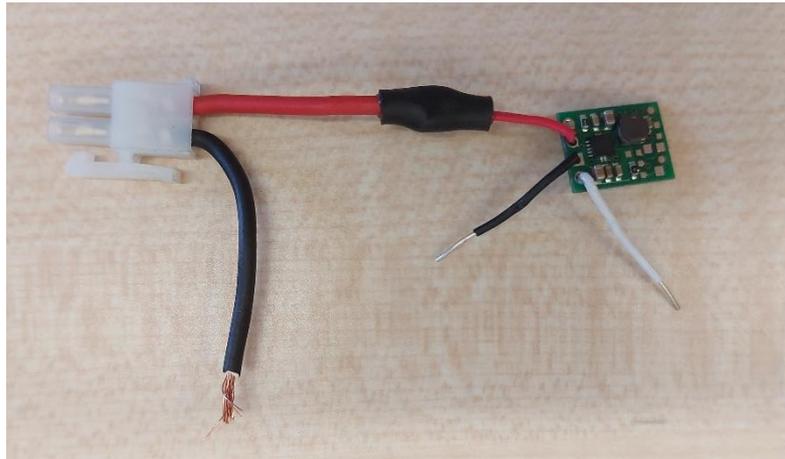


Figura 7.6 Conexión individual con el tubo termoretráctil

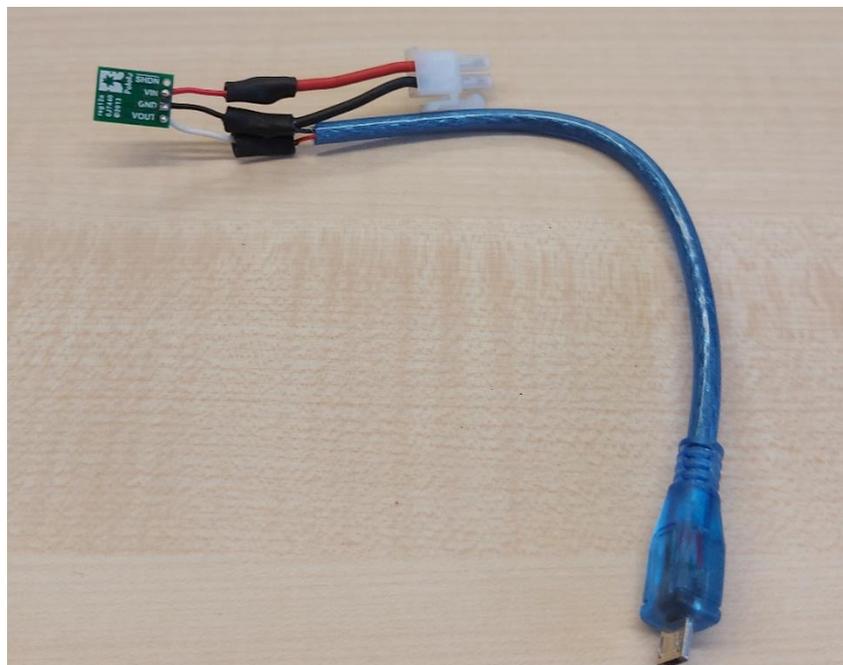


Figura 7.7 Resultado de las conexiones individuales

Con las conexiones individuales realizadas, pasamos a juntarlas con un tubo termoretráctil.

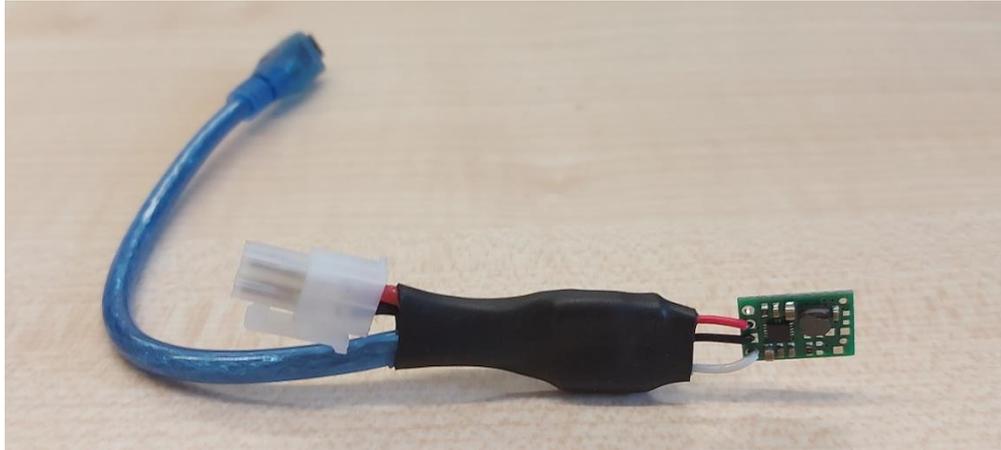


Figura 7.8 Conexión células-regulador-batería con el tubo termoretráctil

- Arduino, sensores y display:

Primero, hemos realizado una versión en miniatura de la conexión de los sensores con la placa Arduino, para verlo con detalle, ya que para la implementación en la chaqueta vamos a utilizar cables más largos. El cable negro se corresponde al GND, el cable verde a la señal de datos, que va al pin D2 de la placa, y el cable rojo al Vcc, que va al pin 5V de la placa. El cable negro del sensor no está conectado al GND de la placa en la imagen porque hay que conectar el display ahí también, lo veremos conectado posteriormente en la imagen con todas las conexiones a la vez.

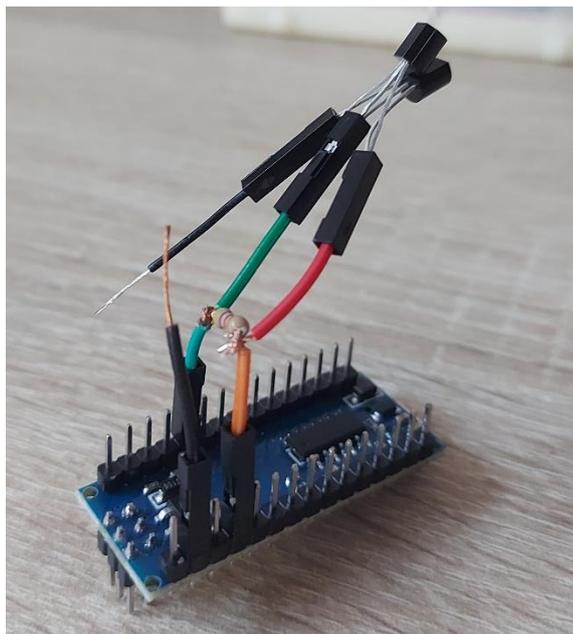


Figura 7.9 Conexión manual de los sensores con la placa Arduino

Hacemos lo mismo con el display, en la siguiente imagen se ve la conexión del display con la placa Arduino en detalle. El cable azul se corresponde al GND, el cable marrón al Vcc, que va al pin 3V3 de la placa, el cable amarillo a la señal de reloj, que va al pin A5 de la placa, y el cable blanco a la señal de datos, que va al pin A4 de la placa.

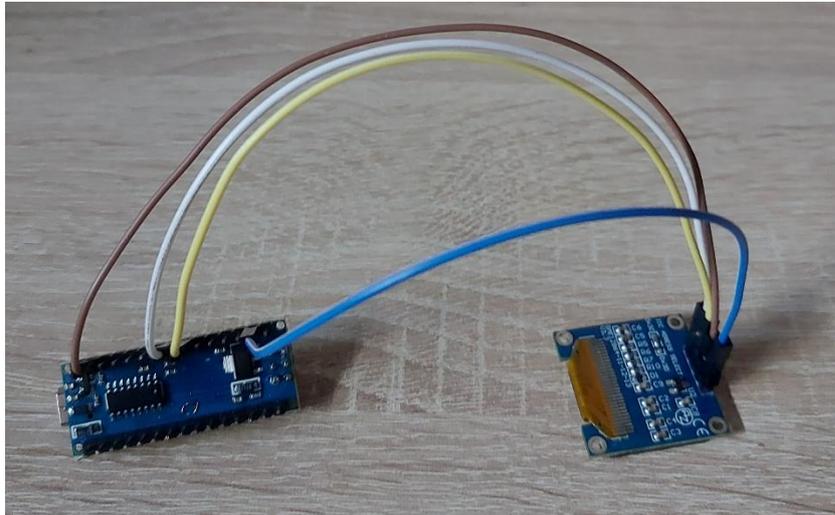


Figura 7.10 Conexión manual del display con la placa Arduino

Con las conexiones de los sensores y el display vistas, lo único que tenemos que hacer es unir los cables verde y rojo (señal de datos y Vcc) de los sensores por la resistencia, a la vez que unir los GND de los sensores y el display, y llevarlos al pin GND de la placa, todo esto con tubos termoretráctiles.

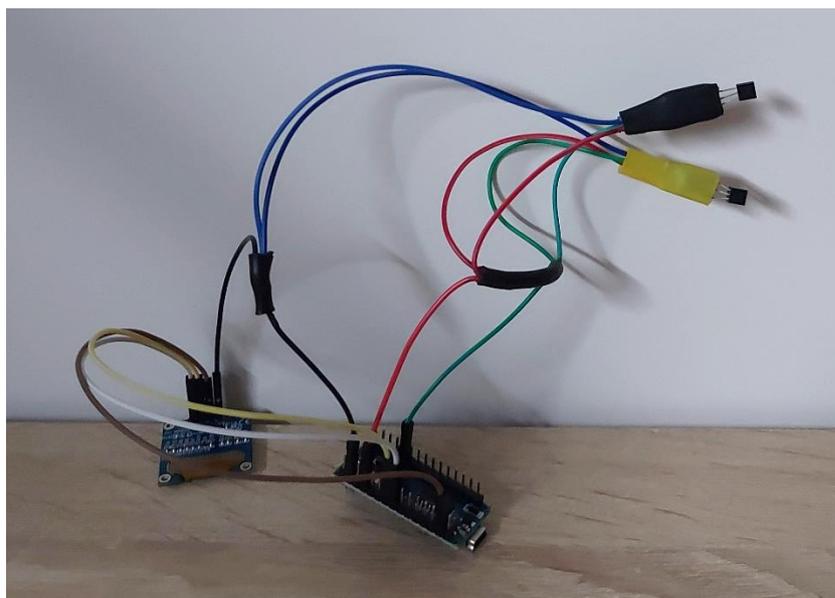


Figura 7.11 Conexión sensores-display-Arduino con tubos termoretráctiles

Una vez tenemos todas las conexiones del sistema realizadas por separado, el último paso es implementar el sistema inteligente dentro de la chaqueta. Para ello, hemos hecho un corte en el bajo y en un lateral del forro de la chaqueta, que abriremos y volveremos a cerrar cuando hayamos metido el montaje entero.

En las siguientes imágenes, veremos la implementación por pasos.

Para que quede bien estéticamente, antes de implementar el sistema inteligente haremos un dibujo en la espalda, que es donde se van a ubicar las células Peltier, ya que es la zona del cuerpo donde más calor se genera. Las células Peltier se van a introducir en unos agujeros que le haremos a la chaqueta en la zona de la espalda, con el lado frío de la célula de cara al exterior y el lado caliente en el interior. Los agujeros para las células los hacemos con una primera versión de la plantilla final como guía.



Figura 7.12 Primera versión de la plantilla final



Figura 7.13 Chaqueta con los agujeros donde irán las células

El dibujo que pintaremos en el diseño final, será el escudo de la Escuela de Ingenierías de la Universidad de León. Pintando primero la espalda con espray blanco y posteriormente, con ayuda de la plantilla que vemos en la siguiente imagen, pintando el escudo con espray negro.



Figura 7.14 Plantilla final

La plantilla es una plancha de DM (tabla de densidad media, parecido a la madera) y hemos realizado el dibujo con una máquina de corte por láser, en el Laboratorio de Prototipado o FabLab que se encuentra en la Unidad de Fabricación e impresión 3D del edificio MIC (Módulo de Investigación Cibernética) de la Universidad de León.



Figura 7.15 Dibujo en la espalda de la chaqueta

Con la espalda de la chaqueta ya pintada, nos disponemos a implementar el sistema inteligente. Primero, colocaremos las células Peltier en los agujeros de la espalda, con la ayuda de una pistola de pegamento para que queden bien sujetas.



Figura 7.16 Espalda de la chaqueta con las células

El siguiente paso consiste en llevar la salida de las células Peltier al bolsillo de la chaqueta en el que se encuentran el adaptador que conecta las células con el regulador, que a su vez conecta con la batería, y ésta conecta con la placa Arduino. Los cables se han pegado al interior de la chaqueta con una pistola de pegamento.

El regulador, la batería y la placa Arduino, al ir en un bolsillo interior, van en un encapsulado de cinta térmica adhesiva, para que quede todo junto en un mismo sitio seguro.

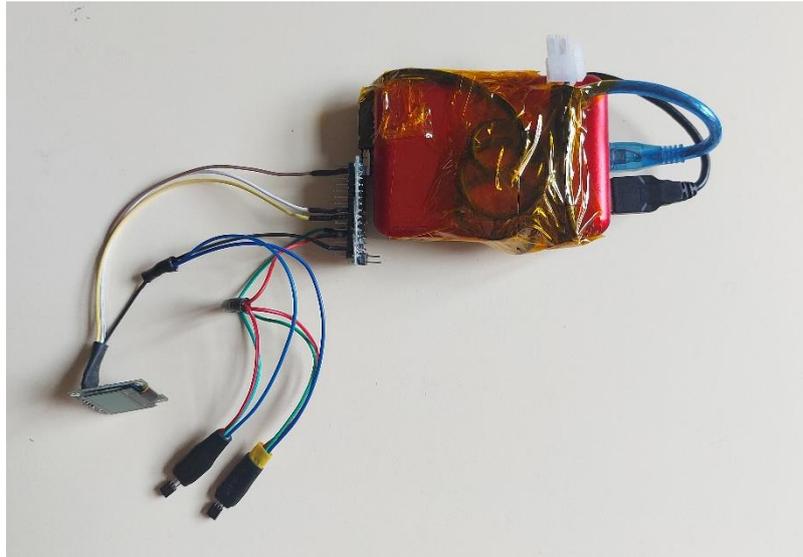


Figura 7.17 Encapsulado del regulador, la batería y la placa Arduino



Figura 7.18 Conexión del sistema en el interior de la chaqueta

Los sensores de temperatura y el display, que van conectados a la placa Arduino, van a colocarse fuera del bolsillo. Un sensor va a ir en el interior de la chaqueta, mientras que el otro sensor va a ir en el exterior, donde haremos un pequeño agujero para que pueda pasar y sea lo más discreto posible. El display va a colocarse en el interior de la chaqueta, un poco

Alba Viñuela Bayón

más abajo del bolsillo donde va la placa Arduino, para que el usuario pueda conocer en todo momento las condiciones del ambiente.



Figura 7.19 Ubicación del display en el interior de la chaqueta

8. Presupuesto

A continuación, reflejamos los gastos detallados del proyecto, divididos en los componentes textiles, eléctricos y electrónicos que vimos en el capítulo 5. Añadimos un gasto fungible que se corresponde a la compra de tubos termoretráctiles para hacer todas las conexiones de los cables del montaje.

	CONCEPTO	PRECIO UNITARIO	UNIDADES	COSTE
COMP. TEXTILES				
Chaqueta	Pull&Bear	39,99 €	1	39,99 €
COMP. ELÉCTRICOS				
Células Peltier	SP1848	2,46 €	30	73,80€
Regulador de voltaje	U1V11F5	22,99 €	1	22,99 €
Batería	Batería	36,99 €	1	36,99 €
COMP. ELECTRÓNICOS				
Arduino Nano	Placa electrónica	15,90 €	1	14,95 €
Sensor de temperatura	DS18B20	7,49 €	1	7,49 €
Display	OLED SSD1306	6,99 €	1	6,99 €
FUNGIBLE				
Tubos termoretráctiles	TPU85ATRAN	26,00 €	1	26,00 €
			TOTAL	229,20 €

Tabla 8.1 Presupuesto del proyecto

La tabla se ha realizado en el programa de cálculo Excel.

9. Trabajo relacionado

En este apartado, haremos un estudio de la historia de las prendas inteligentes, así como una pequeña incisión en otros tipos de técnicas utilizadas para la recolección de energía ambiental, proceso también conocido como energy harvesting, más allá de la termoelectricidad

9.1 EVOLUCIÓN DE LAS PRENDAS INTELIGENTES

Las prendas inteligentes, también conocidas como smart clothes, consisten en la incorporación de sistemas tecnológicos en la vestimenta, monitorizando las condiciones del exterior y las de la propia persona que la lleva puesta, y reaccionando en respuesta a ellas según el objetivo de la prenda.

Una de sus numerosas funciones podría ser la protección mediante regulación de la temperatura corporal en ambientes extremos, por ejemplo, una expedición al Ártico, donde una chaqueta o manta inteligente puede calentar su interior cuando la temperatura exterior baja de un límite establecido. También cuentan con la posibilidad de llevar la información que recogen los sensores a una aplicación, que permite que el usuario tenga conocimiento sobre su estado físico en todo momento.

Para la mayoría de las personas, la ropa es una manera de mostrar nuestra identidad, por ello, las prendas inteligentes no surgieron por motivos de salud ni protección. En el año 1985, el inventor inglés Harry Wainwright creó una sudadera que mostraba en su exterior una proyección de unos dibujos animados. En los años siguientes, la idea de las prendas inteligentes se exploró sobre todo en el ámbito militar, para la protección de los soldados, destacando la creación en el año 1996 de una camiseta que detectaba si el soldado había sido disparado y sus signos vitales. En el año 2005, Harry Wainwright y David Bychkov crearon una chaqueta que proporcionaba lecturas de electrocardiogramas. [42] [43]



Figura 9.1 Camiseta inteligente creada para la marina estadounidense (Fuente: [44])

La investigación sobre las posibles funciones de este tipo de prendas ha crecido a un buen ritmo especialmente en los últimos 10 años con el lanzamiento masivo de los teléfonos inteligentes y dispositivos Bluetooth con mejores prestaciones.

En el año 2012, nace la empresa Owlet, que se especializa en el cuidado de niños desde recién nacidos a 5 años, dando información a los padres sobre el estado del niño en todo momento, mediante la tecnología de las prendas inteligentes. Su producto estrella es el Smart Sock, creado en el año 2017, que consiste en un calcetín que lleva el niño que monitoriza los niveles de oxígeno, patrones de sueño y frecuencia cardíaca del niño mientras duerme y lo carga en una aplicación, que avisará a los padres si los datos recogidos se salen de lo normal. [42] [45]



Figura 9.2 Smart Sock (Fuente: [46])

El ámbito donde más crecimiento están teniendo las prendas inteligentes es el fitness, donde se están creando zapatillas de correr que generan electricidad al impactar con el suelo, muñequeras con sensores de signos vitales para la monitorización del ejercicio físico, camisetas y chaquetas con células Peltier para la regulación de la temperatura o para la creación de electricidad mediante la diferencia de temperatura, como es el caso de nuestro proyecto. Un ejemplo de ello es el modelo HOVR de zapatillas de correr inteligentes de Under Armour, en venta desde 2018, que contienen un sensor en la suela que recoge los datos del entreno, como la distancia, el ritmo o la forma de correr, y lo manda a una aplicación donde el corredor puede consultar y hacer un seguimiento, con gráficas y mediciones comparativas para mejorar los entrenos o incluso reducir el riesgo a lesionarse, ya que la aplicación tiene recomendaciones según el historial. [47] [48]



Figura 9.3 Zapatillas inteligentes HOVR (Fuente: [49])

El mercado de las prendas textiles no es un mercado que genera tanto dinero como el de los llamados wearables (accesorios como relojes y pulseras inteligentes), pero es un mercado que cada vez ingresa más gracias al mencionado mundo del deporte y fitness, el militar y el campo de la sanidad. Según un estudio de mercado realizado en el año 2019 por la empresa de consultoría MarketsandMarkets, las prendas inteligentes generaron 1600 millones de dólares mundialmente en el año 2019, proyectando que crecería hasta los 5300 millones de dólares en el año 2024, con una tasa de crecimiento anual compuesta, o CAGR, de un 26,2% entre los años 2019 y 2024. La zona predominante en el uso de este tipo de prendas es Norteamérica, seguida de Asia y luego Europa. En la imagen siguiente podemos

ver una representación de este potencial crecimiento, en miles de millones de dólares, donde observamos que la zona donde está proyectado un mayor aumento en el uso de prendas inteligentes es la región de Asia Pacífico (APAC). [50]

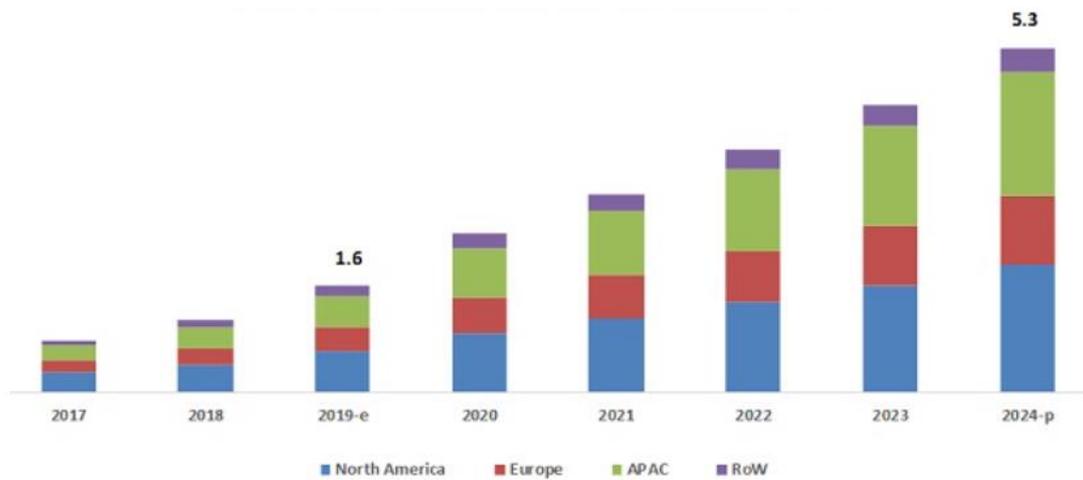


Figura 9.4 Proyección de mercado de las prendas inteligentes (Fuente: [50])

9.2 MÉTODOS PARA LA RECOLECCIÓN DE ENERGÍA AMBIENTAL

La recolección de energía ambiental nace de la preocupación por el cambio climático y el impacto medioambiental, que desde hace décadas han llevado a la búsqueda de alternativas más eficientes y verdes. La energía ambiental es una gran solución, ya que es energía renovable, siempre está a nuestro alcance y, si no se recolecta, se desperdicia en forma de calor o vibración.

Los principales métodos de recolección de energía ambiental para pequeños sistemas inteligentes que se pueden encontrar son la termoelectricidad (analizada en este proyecto), piezoelectricidad, triboelectricidad y señales de radiofrecuencia.

- Piezoelectricidad:

La piezoelectricidad consiste en convertir un estrés mecánico (vibraciones, presiones) en energía eléctrica. En general, los materiales utilizados son cristales, aunque también se utilizan materiales cerámicos en algunas ocasiones.

Uno de sus usos más interesantes y comentados en los últimos meses, ha sido el del grupo de música Coldplay en varios de sus conciertos más recientes. Utilizando una plataforma con un suelo cinético formado por baldosas piezoeléctricas, fueron capaces de alimentar la iluminación del estadio gracias a los saltos del público. [51]



Figura 9.5 Baldosas piezoeléctricas (Fuente: [51])

- Triboelectricidad:

La triboelectricidad consiste en la generación de electricidad mediante el contacto o roce de dos materiales. Esto se produce, por ejemplo, cuando nos quitamos un jersey y se nos electriza el pelo.

Actualmente, se están desarrollando unos dispositivos llamados TENG, nanogeneradores triboeléctricos, que se colocan en relojes, zapatos o pulseras, e incluso en lugares más pequeños. Con estos dispositivos, podemos conseguir una cantidad de electricidad adecuada para la alimentación de dispositivos wearable, ropa inteligente o pequeñas aplicaciones en la sanidad como la medida de las señales vitales, por ejemplo. [52]

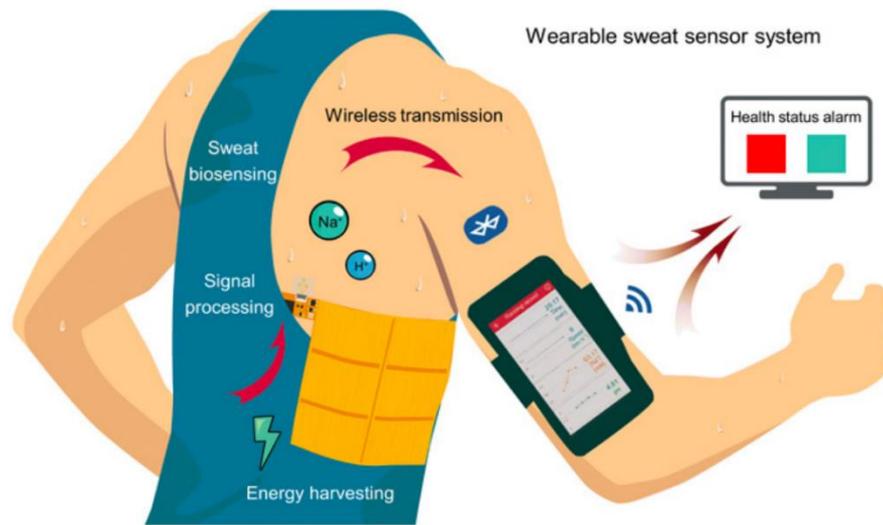


Figura 9.6 Sistema inteligente alimentado por triboelectricidad (Fuente: [53])

- Señales de radiofrecuencia:

La extracción de la energía ambiental mediante las señales de radiofrecuencia es un método muy novedoso del que cada vez se está investigando más, ya que vivimos rodeados de señales de radiofrecuencia que producen los teléfonos móviles, los radios o la televisión. Las señales se captan directamente del aire con unas placas con una antena, convirtiéndolas en energía eléctrica que va directamente al dispositivo deseado o a una batería.

Es un método especialmente interesante debido a que los dispositivos inalámbricos, que producen señales de radio, están aumentando exponencialmente gracias a la invención de tecnologías como Bluetooth, WiFi o 5G.

Uno de los usos que más se está investigando es la posible alimentación de los sistemas domóticos de las casas inteligentes utilizando las propias señales de radiofrecuencia que emiten los dispositivos. Es un objetivo que todavía es lejano, pero con buenas expectativas de poder cumplirse un día. [54]

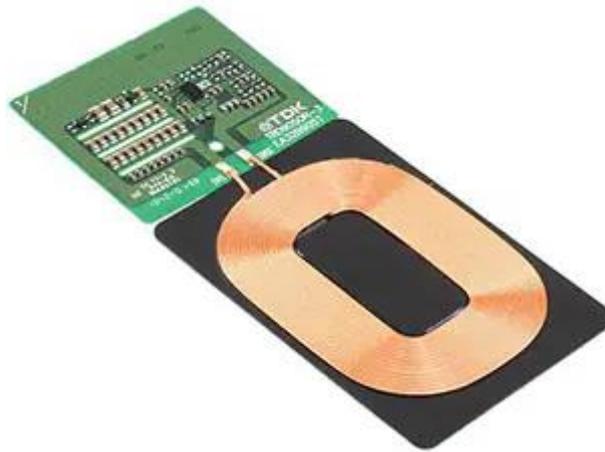


Figura 9.7 Antena captadora de las señales de radiofrecuencia (Fuente: [55])

10. Conclusiones

El objetivo principal de este trabajo era el diseño del prototipo de una smart jacket por aplicación del efecto termoeléctrico. Hemos seguido una serie de pasos que nos han llevado naturalmente al cumplimiento de este gran objetivo.

Para ello, antes de nada, hemos leído y comprendido los fundamentos teóricos de la termoelectricidad expuestos, gracias a ellos, fuimos capaces de tener el conocimiento necesario para la elección de los componentes y el diseño del sistema inteligente.

A la hora de elegir los componentes, tenemos en mente la idea general del sistema inteligente, que consiste en que las células Peltier son los generadores con los que cargaremos la batería y esta alimenta a la placa electrónica que lleva el control de la temperatura y nos permite cargar dispositivos externos, como el display.

La batería necesita unos requisitos para su carga, la corriente estándar para una carga óptima es de 0,5 A, y la tensión tiene que ser necesariamente de 5 V, por lo que fue necesario introducir un regulador de voltaje entre las células Peltier y la batería en el montaje para conseguir una tensión de 5 V constante. El regulador de voltaje escogido fue un step up que empieza a funcionar desde los 0,5 V, ya que así conseguiríamos poner el menor número de células Peltier posibles.

La experimentación fue la clave del proyecto, ya que, gracias a los resultados, fuimos capaces de diseñar el sistema inteligente final con la mayor adecuación y eficacia posibles. En la experimentación con las células Peltier para obtener el voltaje necesario para la carga, encontramos que 3 células en serie nos proporcionaban entre 0,5 y 0,6 V de tensión, mientras que 4 células en serie nos proporcionaban alrededor de 1 V, por lo que, para la configuración óptima del sistema inteligente, colocamos 4 células Peltier en serie para garantizar el funcionamiento del regulador de voltaje.

En la experimentación para concluir el número de packs en paralelo de 4 células Peltier en serie para obtener la corriente óptima para la carga, encontramos que un solo pack de 4 células en serie nos generaba 0,125 A. Probamos poner 5 packs en paralelo de 4 células en serie y comprobamos que nos generaban 0,641 A, corriente que nos asegura la carga

óptima de la batería. Por lo tanto, para el diseño del sistema inteligente, colocamos 5 packs en paralelo de 4 células en serie, generando así una tensión de 5 V y una corriente de 0,641 A a la salida de las células Peltier.

Una vez tuvimos definido el diseño final del sistema inteligente, llegamos a confeccionar el prototipo de la smart jacket.

Como se ha podido determinar con detalle en este proyecto, la confección de una smart jacket por aplicación del efecto termoeléctrico es completamente viable, incluso con más eficacia de la que obtenemos con nuestro diseño, ya que simplemente es un prototipo.

10.1 TRABAJO FUTURO

En un futuro, la aplicación de este efecto podría ser de gran utilidad para procesos industriales, donde las máquinas pierden una gran cantidad de calor que ahora mismo se desaprovecha. También podría ser interesante su aplicación en dispositivos wearables, como relojes o pulseras inteligentes, eliminando la necesidad de cargarlos externamente, ya que se podrían cargar solos.

Otras posibles líneas de investigación se centrarían en el estudio de la confección de la smart jacket por aplicación del efecto contrario, el efecto Peltier, que convertiría la electricidad que le proporcionaría la batería en calor o frío. Esto sería muy valioso para las personas que viven en climas extremos y gente que trabaja largas horas en exteriores.

11 Referencias

- [1] «Thermoelectricity - an overview | ScienceDirect Topics». <https://www.sciencedirect.com/topics/physics-and-astronomy/thermoelectricity> (accedido 11 de mayo de 2023).
- [2] «A Brief History of Thermoelectrics | Mithras», 14 de marzo de 2019. <https://mithras.tech/2019/03/14/a-brief-history-of-thermoelectrics/> (accedido 11 de mayo de 2023).
- [3] «Termoelectricidad, la energía del desequilibrio», *TÉCNICA INDUSTRIAL*, 1 de enero de 2009. <https://www.tecnicaindustrial.es/termoelectricidad-la-energia-del-desequilibrio/> (accedido 11 de mayo de 2023).
- [4] «Brief history of thermoelectrics», *Brief history of thermoelectrics*. <http://thermoelectrics.matsci.northwestern.edu/thermoelectrics/history.html> (accedido 11 de mayo de 2023).
- [5] «Experiencia de Oersted», *Centro de Ciencia Principia Málaga*. <https://www.principia-malaga.com/experiencia-de-oersted/> (accedido 11 de mayo de 2023).
- [6] «Termoelectricidad.pdf». Accedido: 11 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://descargas.cetronic.es/Termoelectricidad.pdf>
- [7] «Diccionario RAING». <https://diccionario.raing.es/es/lema/coeficiente-de-seebeck> (accedido 12 de mayo de 2023).
- [8] sdv4299, «What is the Peltier Effect? Peltier Cell, its Applications», *Electrical Volt*, 29 de abril de 2022. <https://www.electricalvolt.com/2022/04/what-is-the-peltier-effect-peltier-cell-its-applications/> (accedido 16 de mayo de 2023).
- [9] «Absolute temperature scale | Definition & Facts | Britannica». <https://www.britannica.com/science/absolute-temperature-scale> (accedido 16 de mayo de 2023).
- [10] S. F. Sterilizers, «Definición de Gradiente Térmico | Glosario de Surdry», *Surdry*. <https://surdry.com/es/glosario/gradiente-termico> (accedido 16 de mayo de 2023).
- [11] <https://www.facebook.com/BrainKart-678754188988648>, «Thomson effect - Thermoelectric Effect», *BrainKart*. https://www.brainkart.com/article/Thomson-effect_38436/ (accedido 16 de mayo de 2023).
- [12] «A Brief History of Thermoelectrics | Mithras», 14 de marzo de 2019. <https://mithras.tech/2019/03/14/a-brief-history-of-thermoelectrics/> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [13] L. O. Freire, L. M. Navarrete, B. P. Corrales, y J. N. Castillo, «Efficiency in thermoelectric generators based on Peltier cells», *Energy Rep.*, vol. 7, pp. 355-361, sep. 2021, doi: 10.1016/j.egy.2021.08.099.
- [14] R. Solé, «What is a Peltier Cell (Peltier Cell) and How It Works», *HardwarEsfera*, 11 de julio de 2020. <https://hardwaresfera.com/en/articulos/que-es-celula-peltier/> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [15] «How does a Thermoelectric Cooler Module work?», *Thermal Book*, 6 de agosto de 2016. <https://thermalbook.wordpress.com/how-does-a-thermoelectric-cooler-works/> (accedido 23 de mayo de 2023).

- [16] J. Gomar, «Que es la célula Peltier y cómo funciona», *Profesional Review*, 16 de octubre de 2018. <https://www.profesionalreview.com/2018/10/16/que-celula-peltier/> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [17] «Peltier module (Thermoelectric module) - Energy Conversion Devices - KYOCERA», *KYOCERA GROUP GLOBAL SITE*. <https://global.kyocera.com/prdct/ecd/peltier/> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [18] «UNE-EN IEC 63203-101-1:2021 (Ratificada) Tecnologías y disposi...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0066540> (accedido 20 de junio de 2023).
- [19] «UNE-EN IEC 63203-201-1:2022 (Ratificada) Tecnologías y disposi...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0069829> (accedido 1 de julio de 2023).
- [20] «UNE-EN IEC 63203-201-3:2021 (Ratificada) Tecnologías y disposi...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0065870> (accedido 20 de junio de 2023).
- [21] «ISO/TR 23383:2020 Textiles and textile products — Smart (Intel...)» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iso/?c=075383> (accedido 20 de junio de 2023).
- [22] «Chaqueta vaquera borreguillo - PULL&BEAR». <https://www.pullandbear.com/es/chaqueta-vaquera-borreguillo-l08713525> (accedido 22 de junio de 2023).
- [23] E. A. Khan, «Lithium Rechargeable Batteries – IBEX Resources». <https://ibex.tech/resources/geek-area/electronics/batteries/lithium-rechargeable-batteries> (accedido 2 de julio de 2023).
- [24] «How to choose the correct battery charger.», *OzCharge*, 16 de noviembre de 2022. <https://www.ozcharge.au/blogs/news/how-to-choose-the-correct-battery-charger> (accedido 2 de julio de 2023).
- [25] «2.06€ 5% de DESCUENTO|SP1848 27145 TEC disipador térmico termoelectrico Semiconductor, Módulo de placa Peltier para generación de energía, 40x40mm|Circuitos integrados| - AliExpress», *aliexpress.com*. https://es.aliexpress.com/item/4000136635573.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp= (accedido 23 de junio de 2023).
- [26] «Thermoelectric Power Generator TEG Peltier (SP1848-27145)». <https://www.autobotic.com.my/Thermoelectric-Power-Generator-TEG-Peltier-SP1848-27145> (accedido 23 de junio de 2023).
- [27] «Pololu 5V Step-Up Voltage Regulator U1V11F5». <https://www.pololu.com/product/2562/specs> (accedido 24 de junio de 2023).
- [28] «Arduino vs Raspberry Pi: What's The Difference?», *InterviewBit*, 31 de octubre de 2021. <https://www.interviewbit.com/blog/arduino-vs-raspberry-pi/> (accedido 23 de junio de 2023).
- [29] «Arduino - Aprender a desarrollar para crear objetos inteligentes - Arduino Nano | Ediciones ENI». <https://www.ediciones-eni.com/open/mediabook.aspx?idR=802a107cd2f6ec083b84fc5bd787325b> (accedido 23 de junio de 2023).

- [30] «Arduino Nano Pinout y características – Electrogeek», 30 de marzo de 2023. <https://www.electrogeekshop.com/arduino-nano-pinout-y-caracteristicas/> (accedido 23 de junio de 2023).
- [31] zahidali, «Introduction to DS18B20 - The Engineering Projects», 25 de enero de 2019. <https://www.theengineeringprojects.com/2019/01/introduction-to-ds18b20.html> (accedido 26 de junio de 2023).
- [32] «Arduino with istSOS — istSOS 2.4.0-RC4 documentation». https://istsos.org/en/latest/doc/ws_arduino.html (accedido 26 de junio de 2023).
- [33] «DS18B20 sensor de temperatura para líquidos con Arduino», 12 de septiembre de 2017. <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/> (accedido 26 de junio de 2023).
- [34] «Pantalla OLED I2C de 128 x 64 píxeles de 1.3 pulgadas compatible con Arduino y Raspberry Pi», *AZ-Delivery*, 5 de mayo de 2018. <https://www.az-delivery.de/es/products/1-3zoll-i2c-oled-display> (accedido 26 de junio de 2023).
- [35] «SSD1306 0.96 inch 128X64 pixels OLED LCD Display Module». <https://www.bdtronics.com/ssd1306-0-96-inch-128x64-pixels-oled-lcd-display-module.html> (accedido 1 de julio de 2023).
- [36] Tsla, «Arduino I2C SSD1306 OLED screen tutorial», *The EECS Blog*, 18 de febrero de 2019. <https://eecs.blog/arduino-i2c-ssd1306-oled-screen-tutorial/> (accedido 26 de junio de 2023).
- [37] «1. Repaso: Circuitos serie- paralelo», *Blog de Tecnología - IES José Arencibia Gil - Telde*, 6 de octubre de 2014. <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/fsancac/2014/10/06/repaso-circuitos-serie-paralelo/> (accedido 24 de junio de 2023).
- [38] «El Circuito Mixto | Circuito con Conexión Mixta». https://materialesdeaprendizaje.org/archivos/electricidad/Circuitos_Conexin_Mixta/el_circuito_mixto.html (accedido 24 de junio de 2023).
- [39] cpmsolar, «conectar paneles o baterías», *Cpm Solar*, 17 de septiembre de 2019. <https://cpmsolar.com/2019/09/17/conectar-paneles-o-baterias/> (accedido 24 de junio de 2023).
- [40] «Arduino Nano CH430G | 3D CAD Model Library | GrabCAD». <https://grabcad.com/library/arduino-nano-ch430g-1> (accedido 2 de julio de 2023).
- [41] «U1V11F3, Pololu 3.3V Step-Up Voltage Regulator | 3D CAD Model Library | GrabCAD». <https://grabcad.com/library/u1v11f3-pololu-3-3v-step-up-voltage-regulator-1> (accedido 2 de julio de 2023).
- [42] G. T. Intelligence, «Smart Clothing: Timeline», *Retail Insight Network*, 5 de agosto de 2021. <https://www.retail-insight-network.com/comment/smart-clothing-timeline/> (accedido 21 de junio de 2023).
- [43] «Smart Clothing». <https://encyclopedia.pub/entry/19351> (accedido 21 de junio de 2023).
- [44] «Georgia Tech Wearable Motherboard». <https://gtwm.gatech.edu/> (accedido 21 de junio de 2023).
- [45] «Owlet, la revolución en el cuidado del bebé», *El Español*, 25 de febrero de 2022. https://www.elespanol.com/zona_n/20220225/owlet-revolucion-cuidado-bebe/651185158_0.html (accedido 21 de junio de 2023).

- [46] «Owlet Smart Sock Extension Pack Mint BMEP1NNBBYH - Best Buy». <https://www.bestbuy.com/site/owlet-smart-sock-extension-pack-mint/6473547.p?skuld=6473547&intl=nosplash> (accedido 21 de junio de 2023).
- [47] «Smart Clothing Market Analysis By Textile Type, Sports & Fitness 2030», *MarketsandMarkets*. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-clothing-market-56415040.html> (accedido 21 de junio de 2023).
- [48] «Let's Connect», *UA Newsroom*. <https://about.underarmour.com/en/stories/2018/11/let-s-connect.html> (accedido 21 de junio de 2023).
- [49] F. I. Ibrahim, «Under Armour HOVR Phantom 2 Berikan Keselesaian & Pautan Bluetooth», *MASKULIN*, 8 de septiembre de 2020. <https://www.maskulin.com.my/under-armour-hovr-phantom-2-berikan-keselesaian-pautan-bluetooth/> (accedido 21 de junio de 2023).
- [50] «Smart Clothing Market Analysis By Textile Type, Sports & Fitness 2030», *MarketsandMarkets*. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-clothing-market-56415040.html> (accedido 22 de junio de 2023).
- [51] «Piezoelectricidad: dar luz con cada paso | Iluminet revista de iluminación», 4 de mayo de 2018. <https://iluminet.com/piezoelectricidad-luz-energia/> (accedido 28 de junio de 2023).
- [52] «El efecto “triboeléctrico” y los nuevos TENG», *El Economista*, 4 de febrero de 2021. <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/El-efecto-triboelectrico-y-los-nuevos-TENG-20210204-0064.html> (accedido 28 de junio de 2023).
- [53] «Wireless battery-free wearable sweat sensor powered by human motion», *Wevolver*. <https://www.wevolver.com/specs/wireless-battery-free-wearable-sweat-sensor-powered-by-human-motion> (accedido 28 de junio de 2023).
- [54] «What Is RF Energy Harvesting?», *MUO*, 13 de febrero de 2022. <https://www.makeuseof.com/what-is-rf-energy-harvesting/> (accedido 28 de junio de 2023).
- [55] «RF Energy Harvesting: Batteries Not Included», *DigiKey*. <https://www.digikey.com/en/articles/rf-energy-harvesting-batteries-not-included> (accedido 28 de junio de 2023).