



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Diseño de un sistema ultra-smart textile para evitar golpes de calor en entornos hostiles mediante refrigeración forzada en cuello de camisa.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Textil

AUTOR/A: Cuevas Melguizo, Ángela

Tutor/a: García Breijo, Eduardo

Cotutor/a: Contat Rodrigo, Laura

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

RESUMEN

La fusión entre el sector tecnológico y textil lleva pocos años desarrollándose, pero cada vez está más presente en nuestra vida cotidiana, lo que hace más fácil el acceso y crecimiento de este tipo textiles. Gracias a esta combinación, hemos dejado de concebir las prendas como un tejido cuya única finalidad es vestir a las personas. El progreso en este campo nos ha proporcionado textiles inteligentes y funcionales dentro de gran abanico de sectores como la medicina, la industria o la alimentación entre otros muchos sectores.

Con este proyecto se quiere obtener un sistema "wearable" que permite enfriar o reducir la temperatura de distintas partes del cuerpo. Para ello se emplea, por una parte, un tejido con efecto refrescante para realizar una camisa/chaleco/etc y, por otra, un dispositivo en el cuello que provoque una reducción térmica. Reduciendo la temperatura en la zona de la nuca y en las arterias carótidas, el cerebro experimenta una bajada de temperatura que permite evitar el golpe de calor. Para ello se van a utilizar 3 células Peltier que permiten crear zonas de refrigeración mediante un control electrónico. Dichas células necesitan un sistema de refrigeración para evacuar el calor generado. La parte electrónica consiste en diseñar el sistema electrónico de control de las Peltier y su sistema refrigerante, así como, su control electrónico con arduino.

PALABRAS CLAVE

Textil Inteligente; E-Textil; Golpe de calor; Termorregulación

ABSTRACT

The fusion between the technological and textile sector has been developing for a few years, but it is increasingly present in our daily lives, which makes easier the access and growth of this type of textile. Thanks to this combination, we have stopped conceiving garments as a fabric whose only purpose is to dress people. Progress in this field has provided us with intelligent and functional textiles in medicine, industry or food, among many other sectors.

This project aims to obtain a "wearable" system that allows cooling or reducing the temperature of different parts of the body. For this purpose, on the one hand, a fabric with a cooling effect will be used to make a shirt/vest/etc. and, on the other hand, a device will be incorporated in the neck to cause a forced thermal reduction. It has been proven that by reducing the temperature in the neck area and in the area of the carotid arteries, the brain experiences a drop in temperature that prevents heat stroke. For this purpose, 3 Peltier cells will be used in these three areas. Peltier cells allow the creation of electronically controlled cooling zones. These cells in turn need a cooling system to evacuate the heat generated. The electronic part of the project consists, on the one hand, in designing the electronic control system of the Peltier cells and their temperature control by means of arduino; and on the other hand, in designing the cooling system thermally and its electronic control, also with arduino.

KEY WORDS

Smart Textile; E-Textile; Heatstroke; Thermoregulation

ÍNDICE

1.	Introducción	7
1.1	Motivación del proyecto	8
1.1.1	Golpe de Calor	9
1.2	Termoregulación	13
1.2.1	Introducción a la transferencia de calor	13
1.2.2	Células Peltier	14
1.3	Textiles Inteligentes	17
1.3.1	Textiles Termoreguladores	20
2.	Objetivos	24
3.	Estado del Arte	24
	Artículo 1	24
	Artículo 2	26
	Artículo 3	31
	Producto Comercial 1	33
	Producto Comercial 2	34
4.	Diseño	37
4.1	Requisitos Electrónicos	37
4.2	Requisitos textiles	38
4.3	Normativa	39
4.4	Solución adoptada	39
4.4.1	Diseño Electrónico	39
4.4.2	Diseño software	49
4.4.3	Soporte Textil	52
4.4.4	Proceso de integración del bloque electrónico y de disipación con el textil.	54
5.	Conclusiones	58
6.	Líneas Futuras	59

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Correlación de temperaturas sanguíneas y cerebrales durante actividades físicas [12].</i>	10
<i>Figura 2. Prototipos de estudio de aparatos de enfriamiento. A: durante actividades deportivas. B: Collarín cervical estabilizador antes sospecha de lesiones [12].</i>	11
<i>Figura 3. Resultados de la prueba de contrarreloj [12].</i>	11
<i>Figura 4. Temperaturas en la zona del cuello durante la prueba a contrarreloj [12].</i>	12
<i>Figura 5. Conducción. [16]</i>	13
<i>Figura 6. Convección. [16]</i>	14
<i>Figura 7. Radiación. [16]</i>	14
<i>Figura 8. Módulo Peltier [16].</i>	15
<i>Figura 9. Funcionamiento del Módulo Peltier [16].</i>	15
<i>Figura 10. Unidad de refrigeración Peltier [18]</i>	16
<i>Figura 11. Ejemplo de E-textile. Fuente: Textile Word.</i>	17
<i>Figura 12. Ejemplo de Bordado/costura. Microcontrolador conectado por hilos conductores. Fuente: Textile Technology.</i>	19
<i>Figura 13. Ejemplo de tejeduría. Hilo conductor tejido entre hilos no conductores.</i>	19
<i>Figura 14. Ejemplo de laminación. Poliuretano termosellado sobre textil.</i>	19
<i>Figura 15. Ejemplo de impresión. Tinta conductora de plata impresa sobre textil.</i>	20
<i>Figura 16. Funcionamiento de las microcápsulas PCM.</i>	21
<i>Figura 17. Textil deportivo con la tecnología Dri Fit de Nike [21].</i>	22
<i>Figura 18. Textil deportivo con la tecnología Climacool de Adidas [22].</i>	22
<i>Figura 19. Textil deportivo con la tecnología HeatGear de Under Armour [23].</i>	23
<i>Figura 20. Textil deportivo con la tecnología Dry Cell de Puma [24].</i>	23
<i>Figura 21. Diseño de un sistema refrigerante para la zona del cuello [25].</i>	25
<i>Figura 22. Resultado de la aplicación del sistema refrigerante en ensayos deportivos [25].</i>	25
<i>Figura 23. Resultados comparativos de temperatura entre usar cuello refrigerante y no durante el ensayo deportivo [25].</i>	26
<i>Figura 24. Diseño del dispositivo de enfriamiento de cuello mediante placas Peltier, esponjas o almohadillas conductoras térmicas, sistema de refrigeración de agua y sensores de temperatura [8].</i>	28
<i>Figura 25. Sistema de refrigeración de la placa Peltier basado en el enfriamiento de conductos de agua [8].</i>	28

<i>Figura 26. Resultados de sensación de sudor en una habitación con calor sin y con collar refrigerante diseñado [8].....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 27. Resultados de la cantidad de sudor con collar (barra azul claro), sin collar (barra marrón) y variación de la cantidad de sudor con collar (línea azul) y sin collar (línea granate) [8].....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 28. Diseño de TED flexible y portátil [13].....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 29. Especificaciones técnicas y dimensionales [13].....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 30. Diseño de doble capa [13].....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 31. Efecto del dispositivo de varias condiciones metabólicas y de convección [13].....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 32. Torras Coolify: aire acondicionado portátil para cuello [26].....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 33. Diseño de sistema de enfriamiento para cuello por la empresa Fujistu [27].....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 34. Premio en 2021 [27].....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 35. Módulo Peltier CP076581-238. Fuente CUI Devices.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 36. Principales características eléctricas y térmicas de la CP076581-238. Fuente CUI Devices.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 37. Características dimensionales y de material de la CP076581-238. Fuente CUI Devices.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 38. Gráfica para la determinación del calor absorbido de la CP076581-238. Fuente CUI Devices.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 39. Termopar tipo K. Fuente RS Amidata.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 40. Circuito electrónico de aplicación del MAX6675. Fuente RS Amidata.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 41. Transistor MOSFET FDS6630A. Fuente RS Amidata.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 42. Fotografía del ventilador y dimensiones. Fuente RS Amidata.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 43. Fotografía de la bomba y dimensiones. Fuente TCS Micropumps.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 44. Plataforma Arduino Nano Every. Fuente RS Amidata.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 45. Reguladores 173010335 y 173010535. Fuente RS Amidata.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 46. RS Pro 18650 26H Li-ion Battery. Fuente RS Amidata.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 47. Esquema electrónico. Fuente propia.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 48. Circuito impreso del diseño electrónico. Fuente propia.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 49. Prototipo del diseño electrónico. Fuente propia.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 50. Disipadores por líquido para las Peltier. Fuente propia.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 51. Sistema de refrigeración central. Fuente propia.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 52. Prototipo completo. Fuente propia.....</i>	<i>48</i>

Figura 53. Control Todo/Nada. La salida del controlador se activa cuando la señal está por debajo del setpoint y se desactiva cuando está por encima [28]...... 49

Figura 54.. Control Todo/Nada. La salida del controlador se activa cuando la señal está por debajo del setpoint y se desactiva cuando está por encima [28]. 50

Figura 55. Control Todo/Nada, para una Peltier con un punto de consigna de 20 °C. Fuente propia. 50

Figura 56. Cuello de camisa para el prototipo.....53

Figura 57. Corte de la parte interna del cuello de la camisa. Fuente propia..... 54

Figura 58.. Adhesivo conductor térmico de doble cara. Fuente propia55

Figura 59. Peltier pegadas en su posición, la nuca y las carótidas. Fuente propia55

Figura 60. Circuito eléctrico protegido con la capa exterior del cuello dejando a la vista la cara caliente de las Peltiers. Fuente propia 56

Figura 61. Punta del termopar en contacto con el cuello. Fuente propia..... 56

Figura 62. Conexión eléctrico y circuito de disipación. Fuente propia..... 57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de integración de E- Textile..... 18

Tabla 2. Especificaciones técnicas de los componentes del dispositivo de enfriamiento [8]..... 29

Tabla 3. Resumen de pros y contras de los principales desarrollos.....35

Tabla 4. Características técnicas de la batería. Fuente RS Amidata 45

1. Introducción

Actualmente, la tecnología está presente en cualquier actividad de nuestra vida cotidiana y es un pilar fundamental para el avance y progreso en cualquier sector, incluido el textil.

La optimización y la perfección están ligadas a la digitalización de procesos y productos. La implantación de la tecnología ha aportado una infinidad de beneficios a los seres humanos. Sus diferentes utilidades han sido el motor como solución a un sinnúmero de problemáticas, consiguiendo siempre soluciones que implican una vida mejor y más cómoda.

Desde sus comienzos siempre ha sido utilizada para mejoras en todo tipo de sectores como la alimentación, vestimenta, protección, relaciones sociales y económicas, etc.

En lo que concierne a la tecnología textil, esta fue la primera en desarrollarse en Europa con tal impacto que dicho progreso se prolonga hasta los días de hoy.

Hoy en día, el avance de la tecnología textil ha ayudado a dicha industria a la transformación de fibras, incorporando al sector tejidos sintéticos. Además, ha simplificado y mejorado tareas de confección, tratamiento, transporte, así como la especialización de diseños textiles.

Los textiles inteligentes son una clara preferencia para empresas y consumidores, ya que estos nuevos desarrollos proporcionan un rendimiento excepcional. Son capaces de cumplir funciones con total eficacia impropias de simples tejidos gracias a la incorporación de sistemas electrónicos (e-textile) o a la funcionalización de las fibras textiles.

Entre la multifuncionalidad de los tejidos podemos encontrar fácilmente tejidos antibacterianos, con filtros UV, repelentes, luminiscentes en todo tipo de prendas casual, ropa de playa, deportiva, etc.

Por todo ello, se puede decir que ya es un hecho notable que las empresas optan por tejidos funcionales, que no solo sean capaces de vestirnos, sino que nos ofrezca siempre una funcionalidad extra que signifique un beneficio o mejora en la vida del usuario.

Por tanto, podemos decir que la tecnología junto a cualquier otro sector, no solo en referencia al textil, es un recurso ilimitado que contribuye a la mejora de la calidad de vida y el bienestar humano.

1.1 Motivación del proyecto

El incremento súbito de la temperatura corporal, también conocido golpe de calor o shock térmico, por una exposición prolongada al sol o por realizar un esfuerzo físico en ambientes calurosos y/o poco ventilados, puede llevar, en casos extremos, a la muerte. En España unas 1.300 personas fallecen al año por golpes de calor [1], en concreto, en Junio de 2020 han fallecido 714 personas por exceso de temperatura. Además de los habituales métodos preventivos, puede ser muy interesante crear un sistema termorregulador

Los dispositivos de enfriamiento personal podrían encontrar aplicaciones para controlar la temperatura corporal de los atletas, personas con ocupaciones especiales (bomberos, trabajadores expuestos a fuente de calor) o personas enfermas o mayores con especial vulnerabilidad. Estos dispositivos también podrían usarse potencialmente para controlar múltiples síntomas y afecciones, como esclerosis, fiebre, heridas por quemaduras y trastornos neurológicos [2]. La aplicación de dispositivos de termorregulación personal en el ejército también tiene un gran potencial; los dispositivos no sólo serían capaces de proporcionar protección térmica, sino también podrían ser capaces de ocultar la firma térmica infrarroja (IR) del cuerpo humano para el camuflaje térmico contra la detección IR.

El enfriamiento de la cabeza y el cuello ya ha demostrado su eficacia en varios usos médicos. Usando una prenda de enfriamiento de la superficie de la cabeza y el cuello, Wang et al. [3] mostró una reducción de la temperatura promedio de 1.84 °C en pacientes con lesiones cerebrales graves. La tecnología de enfriamiento de cabeza y cuello puede tener efectos beneficiosos sobre la temperatura cerebral en el mundo atlético cuando la temperatura corporal, y presumiblemente la temperatura cerebral, son elevadas [4], [5]. Jackson et al. [6] demostraron que la tecnología de enfriamiento de la cabeza y el cuello puede representar una estrategia sensata, práctica y eficaz para mejorar potencialmente la recuperación de la función cognitiva después de una conmoción cerebral relacionada con el deporte. Además, el enfriamiento del cuello provoca variaciones en la temperatura del cerebro y el flujo sanguíneo cerebral [7], [8].

El diseño permite mantener una apariencia totalmente normal y natural en la prenda mientras se dota a esta de una nueva funcionalidad. El sistema electrónico a utilizar goza de pequeñas dimensiones, lo que sin duda favorece un gran uso de aplicaciones, pues este sistema puede ser aplicado a diferentes y muy variados tejidos. Actualmente, la presencia de los textiles inteligentes es cada vez más notable, ya que estos han permitido grandes avances tecnológicos durante los últimos años. La finalidad del proyecto es dar a conocer la idea que un textil no es solo una mera prenda de ropa, sino que esta puede tener diversas funciones.

Además del equipo puramente electrónico de termorregulación se utiliza un textil termoregulable, combinando, de esta forma, el efecto del sistema electrónico con el efecto del textil funcional.

A lo largo de los siguientes epígrafes se detallan las ventajas que conlleva la termoregulación en la zona del cuello, muchas de ellas por cuestiones médicas o comodidad. Asimismo, se realizará un estado del arte donde se compararán proyectos y productos similares o relacionados con el presente proyecto, especificando la tecnología utilizada hasta la fecha y los logros conseguidos. De esta manera se podrá visualizar ventajas y desventajas de los desarrollos establecidos hasta la fecha en cuanto a refrigeración del cuerpo humano haciendo gran hincapié en la zona cervical.

El sistema planteado está pensado para ser aplicado tanto en sistemas de confort en equipamiento técnico para operarios que trabajan a altas temperaturas, como en ámbitos deportivos o médicos para tratar lesiones cervicales, o también, por ejemplo, para proporcionarnos una mayor sensación de confort y comodidad que nos alivie en los días de altas temperaturas, mejorando así, en la medida de lo posible, nuestro día a día. Se pretende, de esta forma, conseguir un producto moderno, práctico, funcional, adaptable a cualquier vestimenta, es decir, dirigido para todos los públicos, y, en líneas generales, económico.

1.1.1 Golpe de Calor

Este apartado va a proporcionar ayuda para entender el concepto de golpe de calor, cómo diseñar una solución térmica adecuada para gestionarla mediante un textil y como todo ello es capaz de producir sensación de frío y evitar golpes de calor. Para ello se aportan diferentes estudios recientes, que analizan el comportamiento de la temperatura a nivel cerebral.

El estrés por calor ocurre cuando la temperatura corporal central está por encima del rango fisiológico normal, alrededor de 37 °C [9]. Se puede inducir un golpe de calor cuando la temperatura corporal central es igual o superior a 41 °C [10], [11]. Después del inicio del golpe de calor, la tasa de flujo sanguíneo se vuelve insuficiente para proporcionar oxígeno a los órganos vitales (Figura 1). Este flujo sanguíneo reducido disminuye aún más la disipación de calor. Las complicaciones del golpe de calor incluyen insuficiencia renal y hepática, coagulación intravascular diseminada, rabdomiolisis y síndrome de dificultad respiratoria, y muerte [12]. Se estima que el golpe de calor provoca la muerte aproximadamente el 20 % de las veces [13].

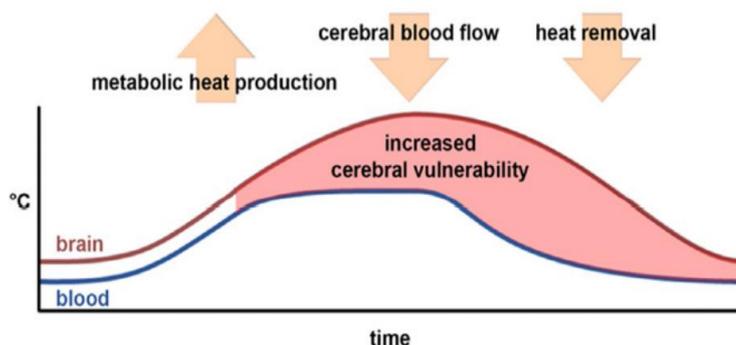


FIGURA 1. Correlación de temperaturas sanguíneas y cerebrales durante actividades físicas [12].

En los estudios de laboratorio realizados hasta la fecha, la hipotermia cerebral, representa la técnica neuroprotectora más potente. Sin embargo, un enfoque sistémico para lograr la hipotermia regional, es decir, el enfriamiento de todo el cuerpo para lograr secundariamente la hipotermia cerebral, hasta ahora no ha logrado generar una estrategia de intervención eficaz.

Un enfoque alternativo a la hipotermia sistémica es el enfriamiento selectivo, es decir, dirigido terapéuticamente a la región de interés. Teóricamente, el enfriamiento selectivo de la cabeza y el cuello evitaría las respuestas fisiológicas sistémicas y las posibles complicaciones asociadas con el enfriamiento de todo el cuerpo, esto puede representar una estrategia ideal para brindar beneficios terapéuticos al órgano objetivo previsto: el cerebro.

La cabeza y el cuello comprenden solo ~10% del área de superficie corporal total, pero tienen varias propiedades físicas y fisiológicas que favorecen la transferencia de calor. Por lo tanto, el enfriamiento de la cabeza antes o durante un esfuerzo físico puede ser un medio eficiente y efectivo para reducir el estrés por calor. Sin embargo, un fuerte suministro aferente de frío de los termorreceptores cutáneos y/o una disminución de la temperatura hipotalámica debido al enfriamiento selectivo de la cabeza también podría proporcionar una representación falsa del verdadero estado térmico del cuerpo y dar como resultado respuestas termorreguladoras fisiológicas y conductuales inapropiadas. Esto aceleraría el almacenamiento de calor y posiblemente provocaría lesiones debido al calor.

En resumen, el esfuerzo o ejercicio físico intenso puede perturbar el equilibrio térmico entre la producción de calor cerebral y la eliminación de calor a través de la circulación cerebral. En consecuencia, el gradiente térmico cerebro-cuerpo se amplía, creando potencialmente una ventana temporal de mayor vulnerabilidad cerebral a los efectos nocivos de las lesiones cerebrales. Sin embargo, esta misma ventana temporal puede representar una oportunidad para el manejo selectivo óptimo de la temperatura cerebral con el objetivo de poder disminuir potencialmente la vulnerabilidad cerebral a las lesiones o conmociones cerebrales (Figura 2).

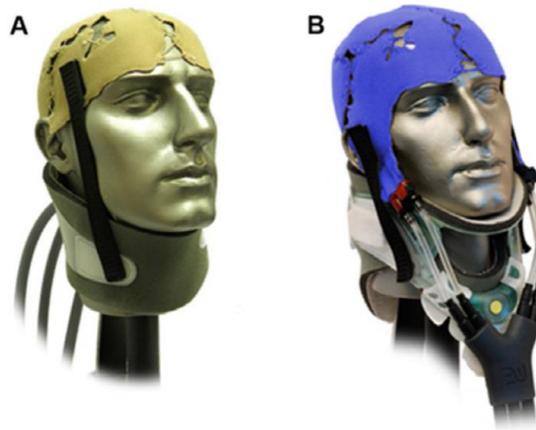


FIGURA 2. Prototipos de estudio de aparatos de enfriamiento. A: durante actividades deportivas. B: Collarín cervical estabilizador antes sospecha de lesiones [12].

En un estudio realizado en 2011 por el Colegio de Medicina Deportiva [14], se analizó el rendimiento de diferentes pruebas físicas contrarreloj bajo diferentes condiciones climáticas y con diferentes dispositivos de enfriamiento, como una prenda perfundada con agua y un collar refrigerante.

El estudio concluyó que ambos dispositivos mejoran el rendimiento. La prenda perfundada conseguía mejores estimaciones en pruebas contrarreloj en ambientes calurosos, mientras que el collar refrigerante mejoraba significativamente el rendimiento de la prueba contrarreloj en cinta precargada de 15 minutos, y en capacidades de funcionamiento de la cinta rodante, todo ello, en condiciones ambientales calurosas (30 °C a 32 °C).

Asimismo, se destacó que el uso del collar sin refrigeración perjudicó el rendimiento en comparación con las pruebas, pero no tuvo ningún efecto en comparación con las pruebas de control sin refrigeración. Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica de la Figura 3.

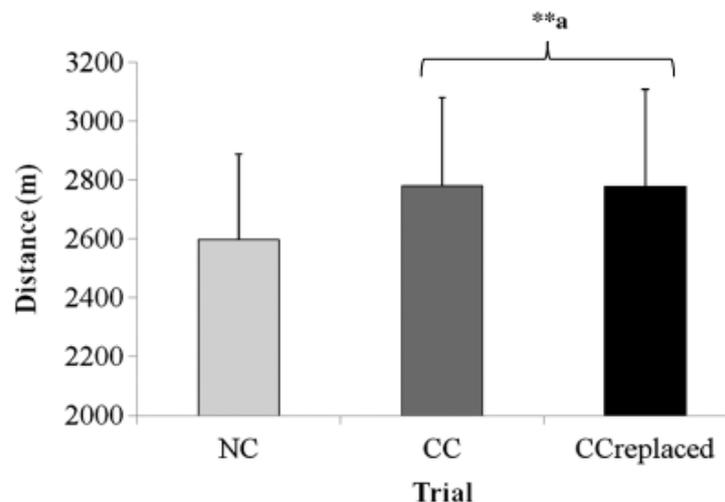


Figura 3. Resultados de la prueba de contrarreloj [12].

Como se aprecia en la Figura 3, en la prueba contrarreloj se pudo recorrer menos distancia en el caso de sin ningún aparato de refrigeración (NC) la persona pudo recorrer 2.600m. En el mismo tiempo, una persona con un sistema de refrigeración en el caso del collar (CC) y en el caso de la prenda perfundada (Ccreplaced) en la cabeza pudo recorrer 2.800m, es decir 200 metros más que en el caso anterior.

Además de comprobar el rendimiento, el estudio también monitoriza la temperatura de la zona del cuello, para determinar qué sistema de refrigeración es más eficiente con el paso del tiempo.

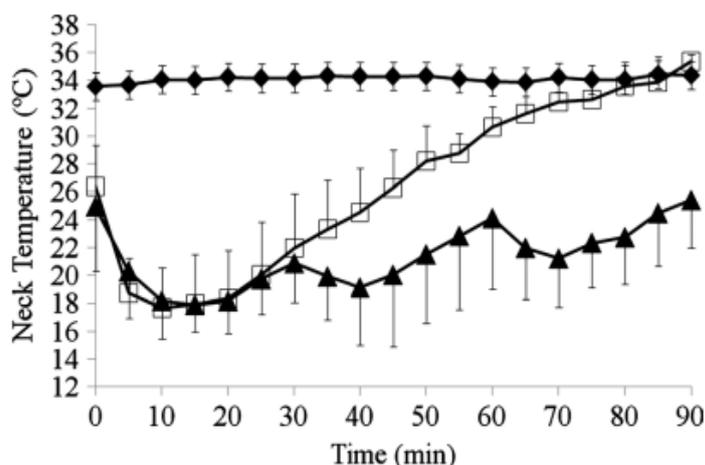


FIGURA 4. Temperaturas en la zona del cuello durante la prueba a contrarreloj [12].

En este caso contemplamos (Figura 4), que las temperaturas marcadas con círculo, que pertenecen a la prueba sin refrigeración se mantienen a una temperatura de 34 °C, bastante elevada. En el caso del sistema de prenda perfundada, durante los primeros minutos se es capaz de reducir la temperatura hasta los 18 °C pero con el paso del tiempo esta va aumentando hasta conseguir valores similares al ensayo anterior. En cambio, en el caso del collar refrigerante, triángulos, se consigue mantener una temperatura alta durante toda prueba entre los 18 °C y 24 °C grados. Con estos resultados, se obtiene que el sistema más eficiente es el sistema de refrigeración en la zona del cuello, ya que se obtiene un mayor rendimiento y una estabilidad a bajas temperaturas mayor que en el resto de los casos.

Asimismo, este sistema mejora la calificación subjetiva de los participantes del ensayo respecto al confort térmico, y esta mejora en el confort térmico puede ser la responsable de mejorar el rendimiento al enmascarar la tensión térmica del cuerpo.

1.2 Termoregulación

La termorregulación tiene implicaciones sustanciales para el consumo de energía y la comodidad y la salud humana. Sin embargo, la tecnología de refrigeración se ha mantenido prácticamente sin cambios durante más de un siglo y aún depende de la refrigeración de todo un espacio, independientemente del número de ocupantes. La termorregulación personalizada mediante dispositivos termoeléctricos (TED) puede reducir notablemente el volumen de refrigeración y satisfacer las necesidades de refrigeración individuales.

Los elementos de enfriamiento termoeléctricos [15], los llamados elementos Peltier, se utilizan cada vez más para enfriar varios elementos de pequeño tamaño en dispositivos electrónicos, como microprocesadores, matrices CCD y CCD. Sus importantes ventajas prácticas incluyen pequeñas dimensiones y peso, la ausencia de refrigerantes, la capacidad de enfriar el dispositivo significativamente por debajo de la temperatura ambiente.

1.2.1 Introducción a la transferencia de calor

Para analizar los efectos del frío en la zona de la nuca se debe conocer el concepto de transferencia de energía calorífica. Los tres modos comunes de transferencia de calor son conducción, convección y radiación. Si bien se utilizan diferentes combinaciones de los tres para enfriar los componentes electrónicos, su implementación y efectividad varían mucho [16].

La conducción es la transferencia de energía térmica entre dos objetos en contacto físico, donde el objeto más frío extrae energía del más caliente (Figura 5). Este es el método más efectivo de transferencia de energía ya que requiere la menor cantidad de superficie para transferir la mayor cantidad de energía.

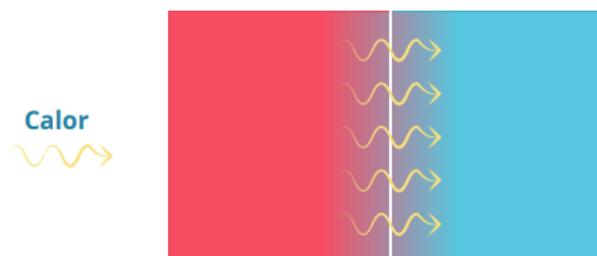


FIGURA 5. Conducción. [16]

La convección usa el movimiento del aire para redistribuir el calor (Figura 6). Cuando el aire frío pasa por un cuerpo caliente, extrae el calor del cuerpo y lo eleva. Luego entra más aire frío para reemplazar el aire que se elevó y es este proceso continuo el que reduce la temperatura del cuerpo.



FIGURA 6. Convección. [16]

La radiación es la emisión de energía (Figura 7), lejos de un cuerpo, en forma de onda electromagnética. La interacción y el movimiento de partículas cargadas en la materia generan campos eléctricos y magnéticos acoplados, convirtiendo la energía cinética térmica en energía electromagnética que se propaga desde la fuente (por ejemplo, el sol). A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no requiere un medio para la transferencia de calor. Sin embargo, debido a que es menos efectivo, solo se considera en los cálculos térmicos para aplicaciones que requieren operar en vacío.

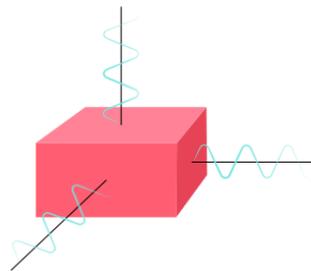


FIGURA 7. Radiación. [16]

Estudiados y analizados los métodos de transferencia de calor, se puede determinar que el modo de transferencia de calor por conducción es que se ajusta al diseño de proyecto. Puesto que el textil va a estar en contacto muy pequeño como es la zona del cuello con el cuerpo humano. Por otra parte, se utiliza la convección para disipar el calor del sistema electrónico de refrigeración.

1.2.2 Células Peltier

Los científicos de principios del siglo XIX, Thomas Seebeck y Jean Peltier [16], descubrieron por primera vez los fenómenos que son la base de la industria termoeléctrica actual. Seebeck descubrió que, si colocaba un gradiente de temperatura en las uniones de dos conductores diferentes, fluiría la corriente eléctrica. Peltier, por otro lado, aprendió que al pasar corriente a través de dos conductores eléctricos diferentes, se emitía o absorbía calor en la unión de los materiales. Sin embargo, fue sólo después de los avances de mediados del siglo XX en la tecnología de semiconductores que las aplicaciones prácticas para dispositivos termoeléctricos se hicieron más factibles. Con técnicas modernas, ahora se pueden producir módulos termoeléctricos que brindan un bombeo de calor de estado sólido eficiente tanto para

refrigeración como para calefacción; muchas de estas unidades también se pueden usar para generar energía con una eficiencia reducida.

En cuanto a la estructura de las placas Peltier (Figura 8), estas consisten en un módulo termoeléctrico que consta de una matriz de semiconductores de telururo de bismuto que han sido dopados para que un tipo de portador de carga, ya sea positivo o negativo (P/N), lleve la mayor parte de la corriente. Los pares P/N están configurados para que estén conectados eléctricamente en serie, pero térmicamente en paralelo. Los sustratos cerámicos metalizados proporcionan la plataforma para los gránulos y las pequeñas pestañas conductoras que los conectan. El número de termopares puede variar según el diseño y contar varios cientos, lo que reducirá el grosor del módulo termoeléctrico de unos pocos milímetros a fracciones de milímetro. Al mismo tiempo, la potencia del módulo puede alcanzar varias decenas de vatios [17].

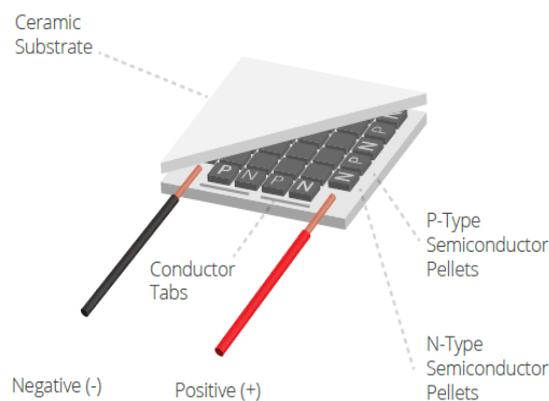


FIGURA 8. Módulo Peltier [16].

Cuando se aplica voltaje de corriente continua (CC) al módulo, los portadores de carga positiva y negativa en la matriz absorben energía térmica de la superficie de un sustrato y la liberan al sustrato en el lado opuesto. La superficie donde se absorbe la energía térmica se enfría; la superficie opuesta donde se libera energía térmica se calienta. Invertir la polaridad dará como resultado lados fríos y calientes invertidos (Figura 9).

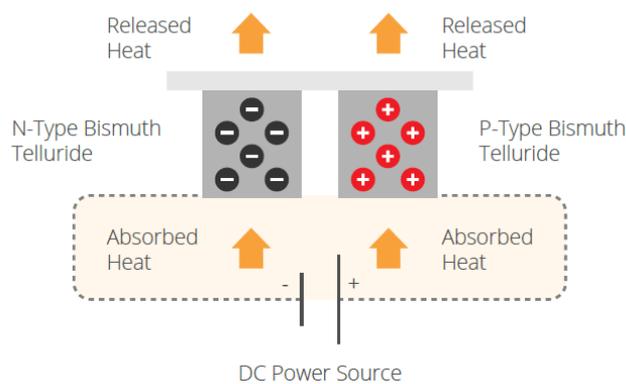


FIGURA 9. Funcionamiento del Módulo Peltier [16].

Cuando una corriente continua pasa a través de un módulo Peltier, el lado de baja temperatura absorbe calor y el lado de alta temperatura emite calor, de modo que existe una diferencia de temperatura entre las superficies. Sin embargo, dado que el calor emitido es más reactivo a la cantidad de electricidad que ingresa al módulo que el calor absorbido, si una corriente continua pasa continuamente a través del módulo, el calor emitido excederá el calor absorbido y ambos lados de la unidad se calentarán. Por esa razón, es necesario conectar el módulo a un radiador como aletas de aluminio para dispersar eficientemente el calor emitido. Un módulo Peltier instalado entre un radiador y un extractor de calor como un bloque de aluminio para su uso como dispositivo de refrigeración se denomina unidad de refrigeración (Figura 10).



FIGURA 10. Unidad de refrigeración Peltier [18]

1.3 Textiles Inteligentes

El proyecto propuesto forma parte de los llamados textiles inteligentes, más concretamente de los E-Textile. Los textiles son una parte crucial de nuestras vidas, su aplicación ha evolucionado a lo largo de los años, dejando de ser visto como simple vestimenta o complemento de hogar. En los últimos años, ha podido introducirse en todo tipo de sectores mediante el uso de la tecnología avanzada y no se sabe dónde están sus límites.

Se habla mucho de los tejidos inteligentes y su promesa, pero también hay muchas dudas sobre lo que son en sí y lo que son capaces de hacer este tipo de materiales. Para ello, es necesario desarrollar el concepto de textil inteligente y otros conceptos similares para poder definirlo [19]:

- ✓ **Smart Textile, Textil Inteligente o Sistema textil:** Fibra, hilo o tela con una o más propiedades que cambian por diseño en respuesta a estímulos, como los de fuentes mecánicas, térmicas, químicas.
- ✓ **E-Textile:** Fibra, hilo, tejido que comprende elementos que dan como resultado un circuito eléctrico o electrónico, con o sin capacidad de procesamiento, o los componentes del mismo (Figura 11).

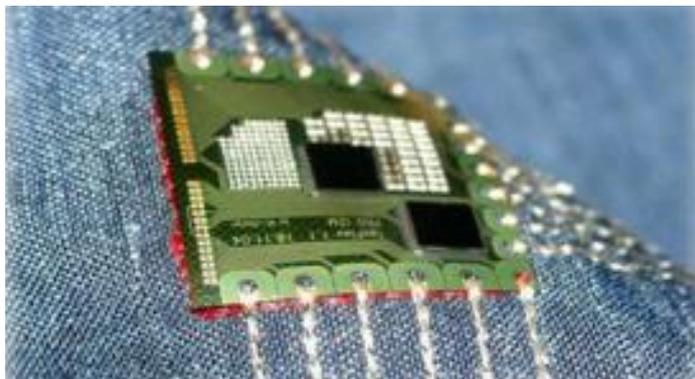


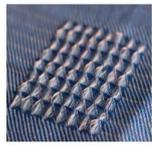
FIGURA 11. Ejemplo de E-textile. Fuente: Textile Word.

Las grandes mejoras en los últimos tiempos en el sector textil, han permitido su fusión con los componentes eléctricos. Esto es gracias en parte a que ahora los sistemas electrónicos ocupan menos espacio, lo que hace posible empaquetar componentes en placas de circuito impreso y ubicarlos en recintos cada vez más pequeños y flexibles como son los textiles.

Siguiendo esta línea, la naturaleza de estos sistemas externos añadidos al textil es generalmente de carácter mecatrónica. Estos tipos de sistemas abarcan todo tipo de elementos eléctricos, electrónicos, mecánicos, informáticos, telemáticos o de control. Asimismo, dentro de este tipo de elementos podemos distinguir cuatro niveles de integración (Tabla 1) de los componentes electrónicos [20]:

- ✓ **Nivel 1:** Permite la extracción del componente electrónico sin comprometer al textil. El textil y la electrónica son dos elementos independientes.
- ✓ **Nivel 2:** Los componentes eléctricos están unidos a la tela de manera que no es posible separarlos sin daños., el uno forma parte del otro.
- ✓ **Nivel 3:** Uno o más componentes electrónicos son textiles o de acabado textil. La parte integrada está en la tela, incluido en los hilos.
- ✓ **Nivel 4:** La parte electrónica está hecha de tela.

TABLA 1. Niveles de integración de E- Textile

	Side-by-Side	Híbrido	Integrado	Intrínseco
Denominación CEN WG31	Nivel 1 Integración	Nivel 2 Integración	Nivel 3 Integración	Nivel 4 Integración
	Electrónica aplicada al textil		Electrónica embebida en el textil	
	Retirable	No Retirable	Integrada en el textil	tela/hilo son activos
				

Una clasificación “no normalizada”, pero ampliamente utilizada es en base al comportamiento:

- ✓ **Pasivos (Passive Smart Textile):** cuando actúan como meros sensores
- ✓ **Activos (Active Smart Textile):** cuando además de actuar como sensor, actúan sobre un estímulo.
- ✓ **Ultra Inteligentes (Ultra Smart Textile):** además, de sensar y actuar, son capaces de adaptarse al entorno.

En cuanto a los métodos de integración de un sistema electrónico al textil destacan:

- ✓ Bordado/ costura (Figura 12).
- ✓ Tejeduría (Figura 13).
- ✓ Laminación (Figura 14).

- ✓ Impresión (Figura 15).

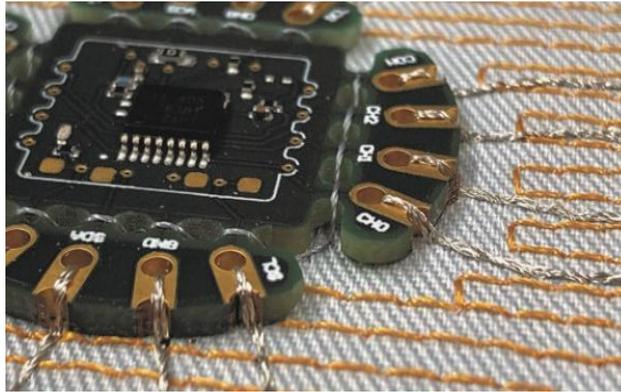


Figura 12. Ejemplo de Bordado/costura. Microcontrolador conectado por hilos conductores. Fuente: Textile Technology

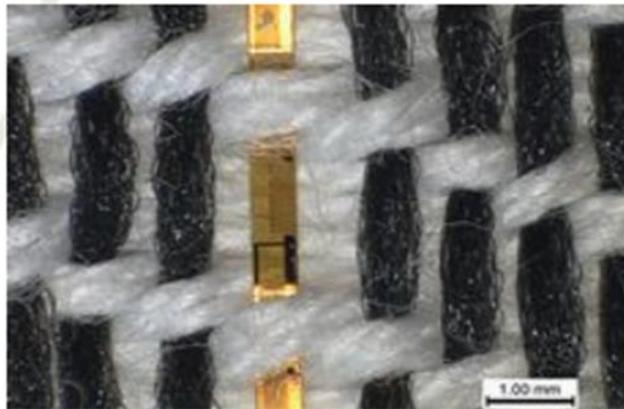


FIGURA 13. Ejemplo de tejeduría. Hilo conductor tejido entre hilos no conductores



FIGURA 14. Ejemplo de laminación. Poliuretano termosellado sobre textil.



FIGURA 15. Ejemplo de impresión. Tinta conductora de plata impresa sobre textil.

La elección del método depende de la aplicación del textil, el tipo de material y la tecnología desarrollada hasta ese momento.

En este proyecto se pretende diseñar un sistema electrónico, incorporado a un soporte textil ubicado en el cuello que permita la termorregulación del usuario. De los conocimientos en la materia, este proyecto se engloba dentro de nivel 1 de integración, puesto que queremos desarrollar un sistema adaptable a cualquier textil.

1.3.1 Textiles Termoreguladores

El objetivo de este proyecto es diseñar un circuito eléctrico que complemente y contribuya a conseguir un estado de confort mediante sensación de frío junto a un soporte textil.

Dentro de la gran variedad de fibras textiles que tenemos, destacan algunas como el algodón, seda natural o lino, ya que estos tejidos transpiran, desprenden el calor que el cuerpo lleva y nos evita la sensación de calor en mayor medida.

El primero de ellos, el algodón, es la fibra más utilizada en el sector textil, es de origen vegetal pues está compuesto por celulosa pura. Esta fibra es muy interesante para el proyecto por su transpirabilidad, es una fibra que absorbe el sudor y permite a la piel respirar. Asimismo, es un tejido hipoalergénico, de tacto suave, versátil y resistente.

En cuanto a la seda, es una fibra natural de origen animal. Entre sus características destacan su suavidad, brillo, alta resistencia y tenacidad. Posee un tacto seco y gran absorción de la humedad. Al estar compuesta por proteínas estas conforman una estructura que absorbe el calor y la humedad, permitiendo que la piel respire y se mantenga fresca.

La última de estas fibras, el lino, también es una fibra textil de origen vegetal. Destaca por su particularidad de tacto frío y su biodegradabilidad y al igual que el resto de las fibras por su absorción de humedad y transpirabilidad. También posee propiedades antialérgicas y antibacteriano con alta resistencia a abrasión y al estiramiento.

Asimismo, la nanotecnología también ha avanzado en el sector de los textiles termorreguladores con el desarrollo de PCMs (material de cambio de fases). Estas microcápsulas incorporadas al tejido, por hilatura por extrusión o por un proceso de acabado, son capaces de absorber, almacenar y liberar energía calorífica.

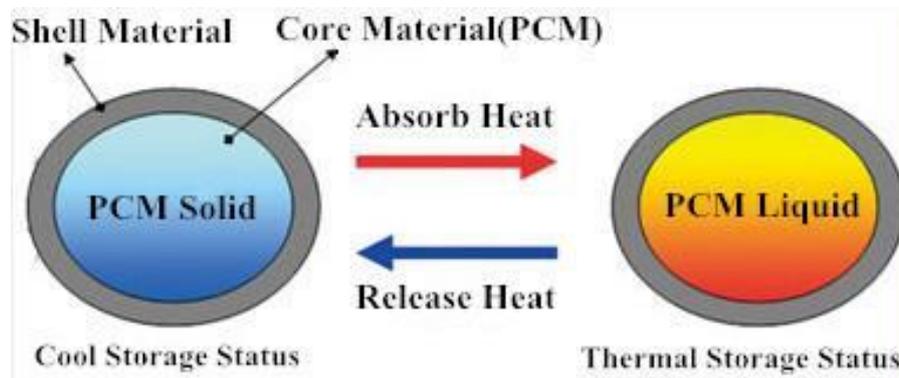


FIGURA 16. Funcionamiento de las microcápsulas PCM

Estas microcápsulas poseen una membrana externa impermeable, en su interior se encuentra parafina escogida según su punto de fusión que se desee. En estado normal, esta se encuentra en estado sólido y cuando absorbe calor y alcanza el punto de fusión de la parafina se vuelve a estado líquido liberando el cuerpo de calor, a medida que se va enfriando va liberando energía volviendo a estado sólido.

Por último, dentro del sector textil deportivo, las grandes compañías han desarrollado tecnologías propias para sus prendas deportivas. Entre ellas destacamos cuatro:

- **Dri Fit** [21]: Es una tecnología desarrollada por la empresa multinacional estadounidense Nike. Utiliza tejido de poliéster diseñado para mantener la transpirabilidad y ofrecer así una mayor comodidad para trabajar y rendir más y mejor. La confección única del tejido Dri-FIT a base de microfibras de alto rendimiento favorece el sistema de refrigeración natural del cuerpo por medio de una tecnología capaz de capilarizar el sudor y distribuirlo por la superficie del tejido, donde se evapora rápidamente.

Las prendas Dri-FIT son una opción perfecta tanto como capas base como para llevar solas. El contacto directo con el cuerpo asegura una mayor transpirabilidad. Además, las propiedades de tratamiento del sudor del Dri-FIT se mantendrán como el primer día durante toda la vida útil de la prenda.



FIGURA 17. Textil deportivo con la tecnología Dri Fit de Nike [21].

- **Climacool** [22]: tecnología creada por la marca Adidas, aplicada a algunos tejidos, normalmente técnicos, consistente en tejidos con microporos, los cuales permiten una óptima ventilación. Esta tecnología textil persigue mantener el cuerpo (en función del tipo de prenda) libre de la humedad proveniente de la sudoración y del calor.

Se desarrolló en el año 1999 y tras varias renovaciones, siendo la última en el año 2004, ha conseguido unos resultados óptimos. Podemos encontrar prendas con la tecnología Climacool en muchos deportes como camisetas de fútbol, dobok de taekwondo, karategis de Kárate o zapatillas de deporte.



FIGURA 18. Textil deportivo con la tecnología Climacool de Adidas [22].

- **HeatGear** [23]: Esta es la tecnología aplicada por la marca UnderArmour para combatir el calor durante el ejercicio físico. Esta tecnología está hecha de una mezcla de microfibra de algodón que absorbe la transpiración del cuerpo, proporcionando prendas de ropa que permiten que el cuerpo siempre se encuentre a una temperatura óptima y bien seco.



FIGURA 19. Textil deportivo con la tecnología HeatGear de Under Armour [23].

- **Dry Cell [24]:** La marca Puma tampoco se ha quedado atrás en cuanto a la tecnología en su ropa deportiva para conseguir efectos de transpirabilidad y buena sensación térmica durante actividades deportivas. Puma ha ideado la tecnología Dry Cell, la cual mantiene al deportista con una temperatura corporal adecuada durante la práctica deportiva. Esto ayuda a que el rendimiento sea mayor al poder mantener las condiciones físicas intactas durante más tiempo. Entre sus beneficios se encuentra el control temperatura corporal, repele la humedad y el sudor durante más tiempo que un tejido normal y mantiene la condición física más tiempo durante el ejercicio físico.



FIGURA 20. Textil deportivo con la tecnología Dry Cell de Puma [24].

2. Objetivos

Tal como se ha ido exponiendo en la introducción, el objetivo principal de este trabajo de fin de máster es el diseño de un sistema ultra-smart textile para evitar golpes de calor en entornos hostiles mediante refrigeración forzada en cuello de camisa. Para ello se han tenido que cumplir una serie de objetivos particulares:

- Selección de un textil termoregurable para la confección de la base textil del sistema.
- Selección de los módulos Peltier adecuados al proyecto.
- Diseño del sistema de refrigeración de los módulos Peltier.
- Diseño del sistema de control y medida de temperatura de los módulos Peltier.

3. Estado del Arte

En el estado del arte del presente proyecto se va a analizar diseños y otros proyectos similares que se han desarrollado en los últimos años. Además de textiles inteligentes se analizarán todo tipo de sistemas cuyo objetivo es el control térmico.

Artículo 1

Cooling the Neck Región during Exercise in the Heat [25]

Este estudio analiza y desarrolla un cuello de enfriamiento para aplicaciones deportivas. Pretende determinar si es capaz de aumentar el rendimiento de los deportistas durante actividades físicas. Fue realizado en 2011 por las universidades inglesas Whitelands College, Universidad de Roehampton (Londres), Escuela de Ciencia y Tecnología de Nottingham Trent University (Nottingham) y publicado por la revista de entrenamiento atlético.

Como se ha apreciado en el apartado de antecedentes, enfriar la región del cuello puede mejorar la capacidad de hacer ejercicio en un ambiente caluroso. Además, podría mejorar el rendimiento al amortiguar el nivel percibido de tensión térmica, lo que permitiría a las personas anular las señales inhibitorias. Es por ello que, el objetivo de este estudio es investigar si la capacidad mejorada para hacer ejercicio en un ambiente cálido observada cuando se enfría la región del cuello se debe a la disminución del nivel percibido de tensión térmica experimentada y la subsiguiente anulación de las señales inhibitorias.

Para llevar a cabo el ensayo, se utilizó, un collar de refrigeración modelo CCX; Black Ice LLC, Lakeland, TN, cuyo diseño se aprecia en la siguiente Figura 2]:



FIGURA 21. Diseño de un sistema refrigerante para la zona del cuello [25].

Este collar de refrigeración personal Black Ice es un cómodo sistema de dos piezas que se lleva en el cuello. El material textil de su envoltura es de material textil neopreno que proporciona suavidad y flexibilidad para todo tipo de actividades. Se trata de dos paquetes indivisibles, por una parte, el neopreno que se adhiere con velcro a la especie de cubitera que contiene agua que previamente se congela antes de su uso. Este producto es capaz de aportar una temperatura de 14 °C durante aproximadamente una hora y media y tarda en congelarse unos 20 minutos.

Para el estudio, el equipo decidió modificar el agua que se congela por un gel refrigerante, ya que confirmaron mediante trabajo interno, que el gel proporcionaba una mayor magnitud de enfriamiento sin dañar los tejidos.

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica de la Figura 22:

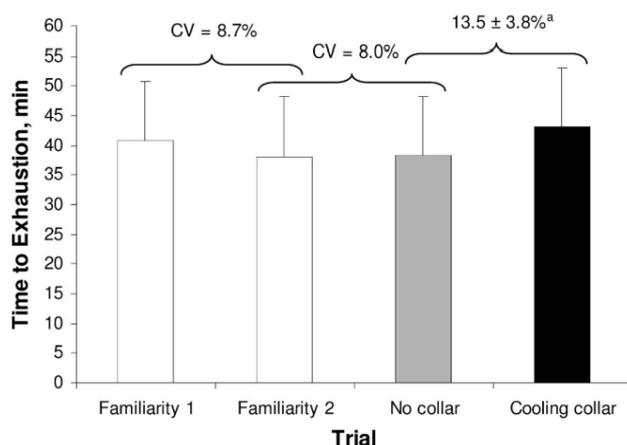


FIGURA 22. Resultado de la aplicación del sistema refrigerante en ensayos deportivos [25].

En este caso, se estudió el tiempo de agotamiento, como se aprecia los tres primeros ensayos que no poseen sistema de refrigeración tienden a un tiempo de agotamiento menor, entre 40-35 segundos de media. En el caso de los ensayos con el collar refrigerante, el tiempo se aumentó hasta alcanzar algo más de 45 segundos de media.

Asimismo, también se monitorizó la temperatura del cuello durante la prueba para determinar la eficacia del cuello refrigerante (Figura 23).

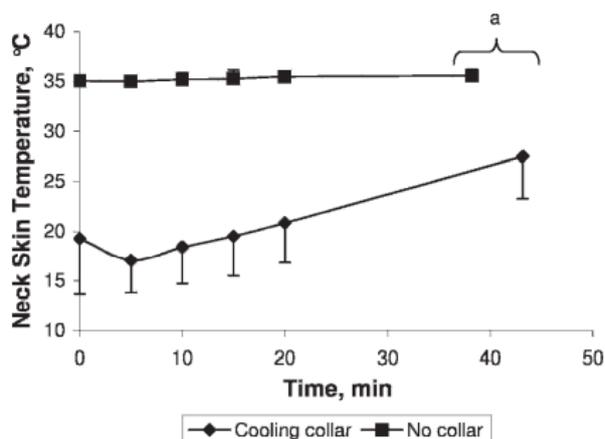


FIGURA 23. Resultados comparativos de temperatura entre usar cuello refrigerante y no durante el ensayo deportivo [25].

Como resultado, el collar enfría la zona del cuello hasta los 15 °C, este frío se va disipando con el paso del tiempo llegando a 26 °C a los 50. como se aprecia tiene una disipación muy lenta.

Artículo 2

Effect of direct neck cooling on psychological and physiological state in summer heat environment [8]

Este estudio se centra en el análisis y diseño de un collar de enfriamiento para mejorar el confort del usuario bajo condiciones climatológicas calurosas. El estudio fue realizado en 2015 por diferentes universidades y departamentos tecnológicos japoneses. Demuestran que la tecnología de enfriamiento de la cabeza y el cuello puede representar una estrategia sensata, práctica y eficaz para mejorar potencialmente la recuperación de la función cognitiva después de una conmoción cerebral relacionada con el deporte, desarrollaron un enfriador de cuello inteligente.

Este dispositivo portátil basado en elementos Peltier enfría directamente el cuerpo humano a través del enfriamiento del cuello. En trabajos internos preliminares estudiaron cómo el enfriamiento del cuello en climas cálidos afecta la sensación subjetiva de calor y frío en un pequeño número de sujetos y se obtuvieron significativos resultados. Desde entonces, desarrollaron el estudio siguiendo la línea de la efectividad del enfriamiento directo del cuello en un entorno de oficina en condiciones de verano. Las pruebas llevadas a cabo muestran cómo el enfriamiento del cuello afecta a la evaluación subjetiva de la sensación de sudor, térmica y comodidad.

En primer lugar, se diseña el dispositivo de enfriamiento. Para ello se deja atrás la aplicación del hielo, como sí que se aplica en el estudio anterior. Se descarta esta aplicación ya que se necesita ajustar la temperatura del hielo antes de su aplicación y, además, el dispositivo no está diseñado para su uso en la vida diaria, la temperatura de

la unidad de cabeza y cuello no se puede configurar en detalle ni controlar durante su uso. Por todo ello, se han propuesto para este estudio soluciones portátiles para aplicaciones militares, como el Sistema de control ambiental de peso ligero (LWECS) de RINI Technologies, que afirma ser la solución de enfriamiento personal más pequeña, liviana y eficiente jamás desarrollada. El LWECS emplea tecnología patentada en un ciclo de compresión de vapor para enfriar el agua a 22 °C que circula a través de un chaleco refrigerante que se usa cerca de la piel. Sin embargo, pesa 3 kg y la temperatura del chaleco no se puede programar más allá de los 22 °C ni se puede regular durante el uso. Recientemente, Thanko Inc. lanzó un sistema de enfriamiento de elemento Peltier portátil alimentado por USB de tamaño muy pequeño (65x40x35 mm) y liviano (60 g). Aunque se supone que la temperatura del elemento Peltier alcanza un mínimo de 15 °C con un promedio de 22 °C, las variaciones de temperatura durante el uso no se pueden controlar.

Para desarrollar el cuello, se basan en tecnología Peltier. El dispositivo pesa menos de 650 gramos y su consumo máximo de energía es inferior a 27.95W. Se colocan tres elementos Peltier en la parte del dispositivo que se lleva en el cuello y que es capaz de regular linealmente la temperatura del cuello del usuario entre 18 °C y 28 °C. También incorpora sensores que miden la temperatura de la parte del cuello, así como la temperatura y la humedad del entorno. Cuando se aplica un voltaje a través del elemento Peltier, como resultado, se acumula una diferencia de temperatura entre los dos lados. El control de la dirección de la corriente eléctrica permite enfriar el accesorio lateral a la piel, enfriando directamente el cuerpo. El lado opuesto del elemento Peltier se calienta proporcionalmente, por lo que hace necesario un circuito de refrigeración, en este caso utilizan agua (tubos y radiadores).

La temperatura de los elementos Peltier en el cuello se controla mediante las lecturas de los sensores de temperatura y humedad del aire, y la temperatura del cuello para evitar el sobrecalentamiento y el enfriamiento. El dispositivo incorpora un microcontrolador que puede regular de forma autónoma la temperatura de la parte del cuello a través de un algoritmo patentado que utiliza una ecuación bilineal de temperatura y humedad para estimar el índice de incomodidad. Las Figura 24 y Figura 25 muestran las conexiones eléctricas y el circuito de refrigeración, respectivamente . Las especificaciones técnicas del dispositivo se resumen en la Tabla 2.

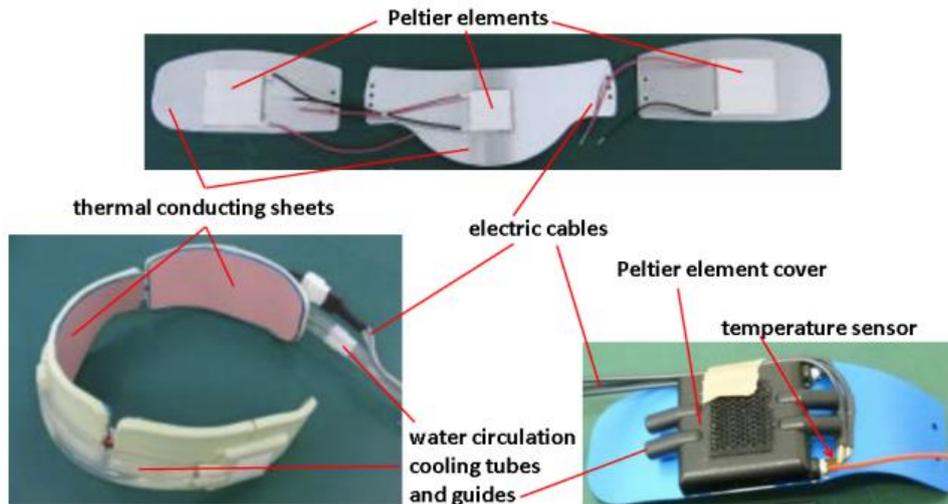


FIGURA 24. Diseño del dispositivo de enfriamiento de cuello mediante placas Peltier, esponjas o almohadillas conductoras térmicas, sistema de refrigeración de agua y sensores de temperatura [8].

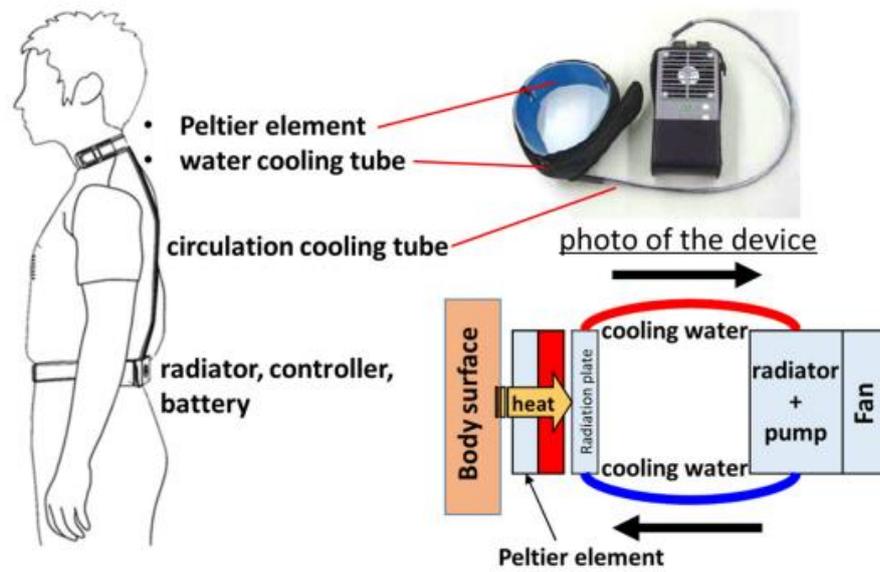


FIGURA 25. Sistema de refrigeración de la placa Peltier basado en el enfriamiento de conductos de agua [8].

TABLA 2. Especificaciones técnicas de los componentes del dispositivo de enfriamiento [8].

	Especificaciones	Consumo de energía [W]
elementos peltier	30 mm cuadrado 15,7 V, 6 A x2 20 mm cuadrado 8,8 V, 6 A x1	< 15.65 (verano)
Ventilador del radiador	60 mm x 15 mm 12 V, 0,17 A	2
Bomba	12 V, 0,25 A	3
Unidad de control	MPU de 16 bits	0.05
Monitor	4 LED verdes 5 V, 0,01 A	0.2
Convertidor	CC-CC síncrono	95% (eficiencia de conversión)
adaptador de CA (para cargar)	19,5 V, 2,3 A	78,7% (eficiencia de conversión)

Una vez diseñado el dispositivo, se realizan ensayos de confort, sensación térmica y de sudor. Como ejemplo se muestran los resultados de sudor en la Figura 26 y Figura 27 . Los sujetos sometidos al ensayo evaluaron sus sensaciones térmicas del 1 al 10, siendo la 1 sensación de frío y el 10 de calor. Los resultados presentados indican que todos los sujetos desarrollan una sensación de frío con el cuello, por lo que es un sistema válido y eficaz.

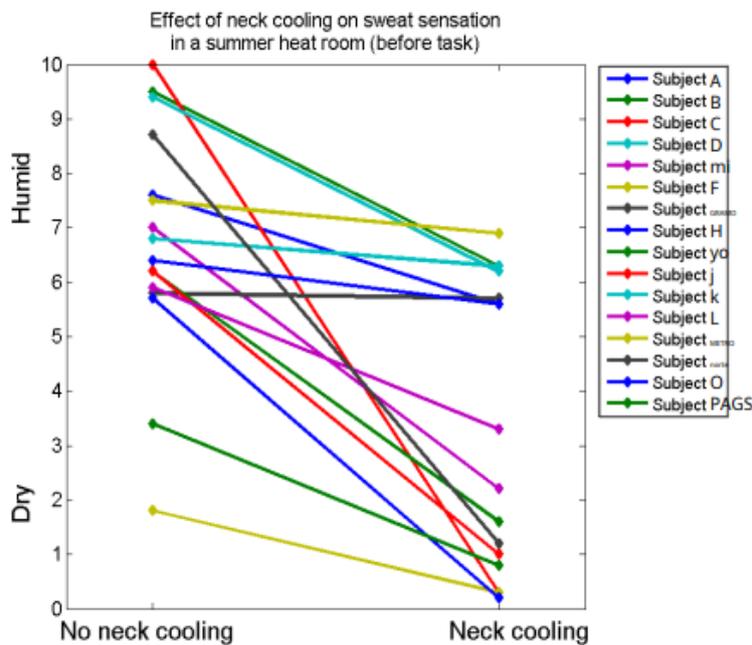


FIGURA 26. Resultados de sensación de sudor en una habitación con calor sin y con collar refrigerante diseñado [8].

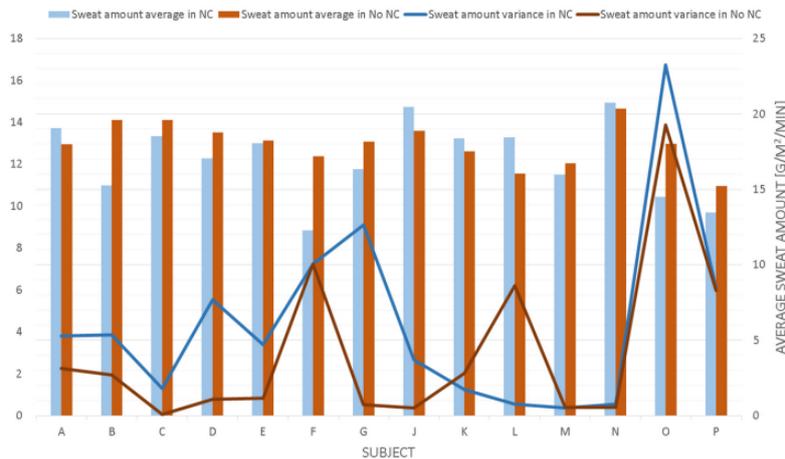


FIGURA 27. Resultados de la cantidad de sudor con collar (barra azul claro), sin collar (barra marrón) y variación de la cantidad de sudor con collar (línea azul) y sin collar (línea granate) [8].

Como se aprecia en la gráfica de la Figura 27, la mayoría de los sujetos con el collar tienen una sensación más seca y con menos sudor, y por tanto, de mayor confort.

Como conclusión a los experimentos desarrollados y expuestos, el estudio confirma que el enfriamiento del cuello afecta la psicología y la fisiología en un ambiente de calor de verano. Más del 80% de 16 sujetos reportaron un nivel de comodidad significativamente mejor en condiciones de enfriamiento del cuello.

La sensación térmica de calor como la sensación de sudoración en la piel se ven directamente afectadas por el enfriamiento del cuello, haciéndose menor. También se puede confirmar acerca de la cantidad de sudor que, aunque los sujetos estaban en un estado de sudoración continua en el ambiente de calor habitual del verano, la sudoración se inhibió intermitentemente por el enfriamiento del cuello. Por lo tanto, se puede suponer que estos cambios en las sensaciones hidrotérmicas y la fisiología tienen una fuerte influencia en la mejora del nivel de comodidad

Hasta ahora, muchos estudios tanto en el apartado de antecedentes como en el actual nos han aportado información sobre evaluaciones del efecto del enfriamiento de la cabeza o el cuello sobre el rendimiento, la atención y algunos problemas médicos. Este estudio es el primero en plantear el tema de las sensaciones hidrotérmicas y de confort, tanto en enfoques cualitativos como cuantitativos.

Asimismo, nos ha aportado información relevante sobre el diseño del sistema de enfriamiento a nivel electrónico mediante la tecnología Peltier, que se puede aplicar sobre nuestro proyecto. Es muy interesante ya que es un sistema flexible, muy pequeño y de bajo peso, además presenta muy buena autonomía y consumo de energía. El único problema que presenta es el sistema de refrigeración ya que por una parte de la placa se transfiere energía calorífica y sería necesario un sistema de refrigeración, que puede estar secundado por un tejido que aporte sensación de frescura.

Artículo 3

Wearable thermoelectrics for personalized thermoregulation [13]

En este artículo publicado en 2019 por la revista americana ScienceAdvances, se muestra el desarrollo y diseño de un dispositivo termoeléctrico (TED) flexible capaz de producir enfriamiento activo a largo plazo. Este TED portátil puede ofrecer un efecto de enfriamiento de más de 10 °C con un alto coeficiente de rendimiento y está hecho con capas dobles de elastómero y pilares rígidos con sistemas de refrigeración termoeléctricos (TE) de alto rendimiento (Figura 28).

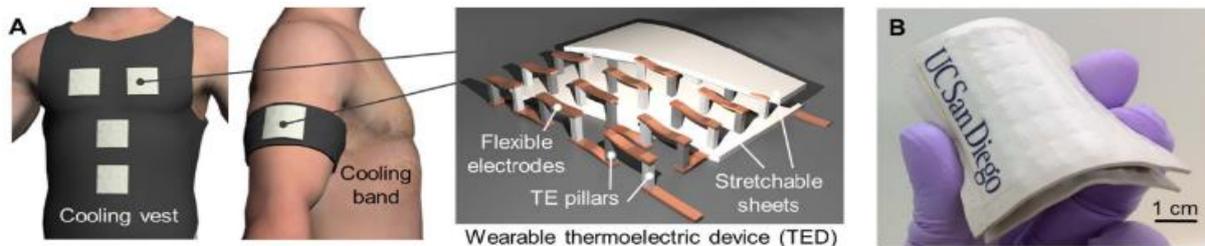


FIGURA 28. Diseño de TED flexible y portátil [13].

Para lograr flexibilidad mecánica y un alto rendimiento de refrigeración, se utiliza doble capa de elastómero, intercalando pilares TE rígidos (1 mm por 1 mm de sección transversal y 5 mm de altura, con un espacio entre pilares de 3 mm) entre dos láminas Ecoflex estirables de 1 mm de espesor separadas por un espacio de aire de 4 mm. Los segmentos superior e inferior de 0.5 mm de largo de los pilares TE se incrustaron en las láminas Ecoflex (Figura 29).

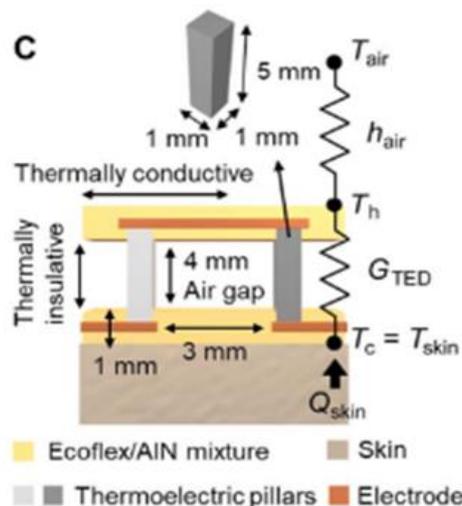


FIGURA 29. Especificaciones técnicas y dimensionales [13].

El diseño de doble capa (Figura 30) proporciona suficiente flexibilidad a pesar de la rigidez y la alta relación de aspecto de los pilares TE mejora en gran medida el efecto de enfriamiento. Cuando se dobla el TED con el diseño de doble capa, la hoja estirable superior se expande, mientras que la hoja inferior se contrae, y una simulación de elementos finitos mostró que la rigidez a la flexión del diseño de doble capa es de solo

30 % del diseño convencional de una sola capa de elastómero. Incluyendo todos los componentes, el TED sigue siendo fino (6 mm) y ligero (0.56 g·cm²) en comparación con las prendas refrescantes convencionales u otros TED con disipadores de calor voluminosos. Con el diseño realizado se obtuvo una variación de 7 °C de enfriamiento máximo solo con convección y radiación naturales.

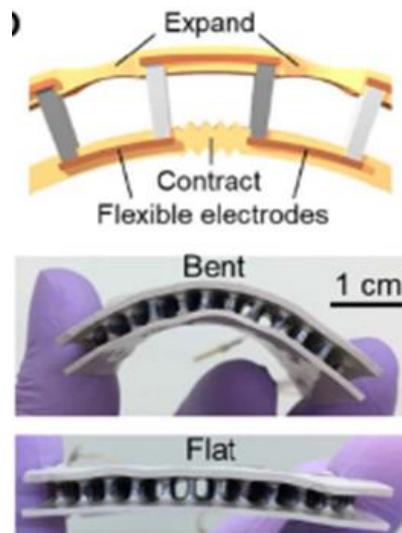


FIGURA 30. Diseño de doble capa [13].

La movilidad y funcionamiento de este dispositivo termoregulable ha sido probado mediante un paquete de baterías flexibles. El paquete de energía consiste en 10 baterías de tipo botón en una matriz Ecoflex y conectándose entre sí con electrodos de cobre serpenteantes de modo que su flexibilidad coincidiera con la del TED. El dispositivo se probó en tres condiciones realistas:

- ✓ Sentarse en un ambiente interior sin viento para representar las condiciones típicas de una oficina,
- ✓ Caminar en el interior a una velocidad de 5 km por hora para probar el efecto de enfriamiento en condiciones de convección.
- ✓ Caminar al aire libre a una velocidad de 5 km por hora bajo condiciones de viento suave.

De esta manera se investiga el efecto del dispositivo de varias condiciones metabólicas y de convección, el resultado se muestra en la Figura 31.

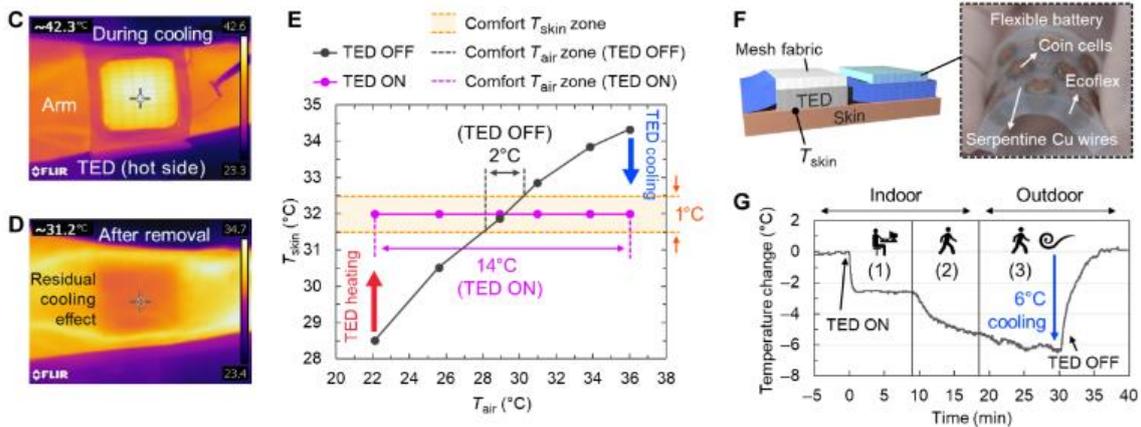


FIGURA 31. Efecto del dispositivo de varias condiciones metabólicas y de convección [13].

El logro de una termorregulación controlable con precisión usando el TED flexible tiene implicaciones significativas, que se pueden ilustrar mejor con las respuestas claramente diferentes de la temperatura de la piel a la variación de la temperatura ambiente con y sin el funcionamiento del TED. El rango de temperatura de confort típico de la piel humana es de 31.5° a 32.5°C, lo que corresponde a un rango de temperatura ambiente de 28 °C a 30 °C sin el TED. Sin embargo, cuando el TED está en funcionamiento, la temperatura de la piel se puede mantener a una temperatura de confort constante de 32 °C, incluso dentro del rango más amplio de temperatura ambiente de 22 °C a 36 °C, lo que amplía simultáneamente la zona de temperatura ambiente confortable.

Producto Comercial 1

Torras Coolify: aire acondicionado portátil para cuello [26]

Uno de los primeros dispositivos que nos viene a la mente si pensamos en ventilación portátil de cuello, son estos aparatos fáciles de encontrar en cualquier tienda de dispositivos electrónicos. Este equipo (Figura 32) genera un flujo de aire que permite reducir la temperatura unos 12 oC en pocos segundos y durante 30 minutos como modo de protección, pudiéndose reiniciar después de este periodo. Se basa en un módulo peltier de 23x23 mm y un ventilador de 5000 rpm que distribuye el aire frío por las 36 rejillas disponibles. Dichas rejillas de ventilación se posicionan hacia arriba en dirección hacia la cara y hacia abajo para evitar molestias durante largas tandas de funcionamiento. Además, su sistema permite tres tipos de ajuste: brisa ligera, viento suave y viento frío. Trabaja con una batería de 4000 mAh que permite 8 horas de funcionamiento en la velocidad 1 (brisa ligera).



FIGURA 32. Torras Coolify: aire acondicionado portátil para cuello [26].

Producto Comercial 2

Neck collar de FUJITSU [27]

Posiblemente, gracias al estudio del artículo 2, la líder japonesa del sector de las TIC Fujitsu desarrolló en 2020 un cuello refrigerante basado en la misma tecnología (Figura 33 y Figura 34).

Este equipo es el más similar al que se quiere diseñar en este proyecto. En este caso el soporte del sistema es plástico. Como ya se ha comentado, el objetivo del proyecto es desarrollar un sistema similar pero adaptado a un soporte textil.

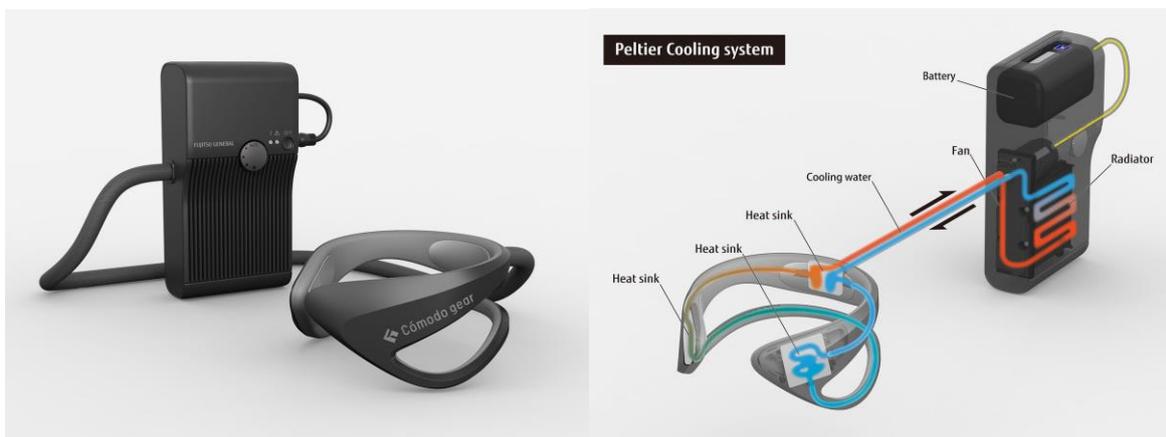


FIGURA 33. Diseño de sistema de enfriamiento para cuello por la empresa Fujitsu [27].



FIGURA 34. Premio en 2021 [27].

A continuación, vamos a realizar una pequeña tabla resumen donde determinar pros o ventajas que poseen los desarrollos anteriores como desventajas o ciertas ideas de las que debemos alejarnos a la hora de diseñar y desarrollar nuestro proyecto.

TABLA 3. Resumen de pros y contras de los principales desarrollos

	Pros	Contras
Artículo 1: Cooling the Neck Region during Exercise in the Heat	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo Peso - Portátil - Medición Regulable por velcro - Tecnología muy simple: hielos - Eficacia(14°C) 	<ul style="list-style-type: none"> - Textil utilizado neopreno, apto para deportes acuáticos, más inconveniente para otro tipo de actividades - Poca durabilidad (1,5h) - Necesidad de congelación previa - Flexibilidad limitada
Artículo 2: Effect of direct neck cooling on psychological and physiological state in summer heat environment	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo Peso - Portátil - Medición Regulable por velcro - Tecnología: Peltier - Flexible - Eficacia(15°C) 	<ul style="list-style-type: none"> - No hay textil, utiliza espumas - Bajo rendimiento (10°C) - No hay información sobre la durabilidad
Artículo 3: Wearable thermoelectric for personalized thermoregulation	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo Peso - Portátil - fácil de aplicar la Textil - Tecnología: Peltier 	<ul style="list-style-type: none"> - Laminas zona de abdomen. Difícil de aplicar al cuello - Bajo rendimiento (10°C)

	- Flexible	
Producto Comercial 1: Torras Coolify	- Bajo Peso - Portátil - Medición de velocidad - Tecnología: Peltier - Durabilidad de 8h	- Baja flexibilidad - Diseño único, no se puede adaptar ni regular - Se utiliza viento frío, no hay sensación de frío - Incomodo para actividades deportivas o que impliquen cierto movimiento - Difícil de adaptar al textil
Producto Comercial 2: Neck Cooler de FUJITSU	- Bajo Peso - Portátil - Tecnología: Peltier - Flexible - Eficaz y temperatura regulable	- No hay textil, pero se podría aplicar - Incomodo para actividades deportivas o que impliquen cierto movimiento - No hay información sobre la autonomía del producto

Como conclusión a este apartado, se ha podido realizar una búsqueda exhaustiva de productos e investigaciones relacionadas con este proyecto y que han aportado una base sobre la que comenzar a desarrollarlo. La primera parte de este estado del arte ha consistido en estudios, desarrollo y diseño de dispositivos de enfriamiento relacionados con los beneficios que aporta esta actividad, sobre todo en la zona del cuello; abarcando desde diseños voluminosos hasta flexibles, con tecnologías asentadas en el mercado y otras que están por desarrollar.

Todo ello, ha ayudado a aclarar objetivos y determinar especificaciones que puedan adaptarse al proyecto, dados los conocimientos actuales sobre la materia. La vía más factible es realizar un diseño basado en la última entrada del estado del arte, es decir, el uso de la tecnología Peltier sobre un soporte textil en la zona de cuello que sea flexible, portátil, de bajo peso, que nos permite realizar actividades físicas durante su uso, con una autonomía y eficacia adecuada.

4. Diseño

Una vez definido el camino que se quiere seguir, gracias al estado del arte realizado y la documentación aportada en el presente proyecto, se van a definir unos requisitos que debe cumplir el proyecto. Y, en base a estos requisitos, se desarrollará en diseño en si del equipo.

4.1 Requisitos Electrónicos

El bloque electrónico del diseño debe ser el encargado de generar el frio necesario mediante células Peltier. Se emplearán 3 células, una para la zona de la nuca (espinas dorsal) y dos para la zona de las carótidas, tal como se indica en [8].

Además, será necesario un método de control de dichas células y un sistema que lo implemente. Existen distintas formas de control precisas y complejas, pero para este proyecto se puede optar por un control Todo/Nada o por un PID (Proportional Integral Derivative (PID)).

El control Todo/Nada consiste en fijar un objetivo, en este caso un umbral de temperatura e ir suministrando potencia a las Peltier hasta conseguir el umbral e inmediatamente dejar de suministrar si lo supera. De esta forma el control consigue una temperatura permanente. La ventaja de este método es su sencillez, pero la desventaja es la falta de precisión.

El PID es un método clásico de control, es muy eficiente, permite un control muy preciso de la consecución del objetivo. El valor proporcional depende del error actual, el integral depende de los errores pasados y el derivativo es una predicción de los errores futuros. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar el proceso. La ventaja la da su precisión, pero la desventaja es la complejidad matemática para desarrollar el algoritmo, ya que necesita de una caracterización matemática de cada una de las partes que conforman las etapas de entrada y salida del sistema de control.

Tanto el control Todo/Nada como el PID deben generar una señal que controle la etapa de potencia, es decir la que permite funcionar a las células Peltier. La señal más habitual es generada mediante modulación por ancho de pulso o PWM (Pulse Width Modulation). Esta señal se aplica sobre transistores MOSFET que actúan como interruptores de las células Peltier, permitiendo o no el paso de la corriente hacia dichas células.

También para los dos métodos se necesita medir la temperatura de las células Peltier en contacto con el cuerpo y así conocer si se ha alcanzado la temperatura umbral.

Las células Peltier necesitarán su propio sistema de evacuación del calor generado. El método más habitual es la refrigeración por líquido, lo que implica utilizar radiadores refrigerados por líquido por cada célula Peltier y, además, una unidad de refrigeración del líquido en circulación. Dicha unidad puede estar formada por un

intercambiador, un radiador y un ventilador. Para provocar la circulación del líquido será necesaria una bomba.

El dispositivo utilizado actualmente para hacer el control, generar las señales necesarias y realizar la medida de temperatura, es el microcontrolador. El cual deberá estar dotado de salidas PWM, salidas digitales y entradas analógicas. Se debe desarrollar un programa específico para dicho microcontrolador que se encargue de realizar los algoritmos Todo/Nada o PID y de generar las señales de control según la temperatura medida.

El bloque electrónico deberá estar dotado de una batería portátil, con la potencia necesaria para el funcionamiento de las células Peltier, la bomba y el ventilador, así como el microcontrolador.

En cuanto a la parte de materialización del sistema electrónico, debería ser lo más pequeña y ligera posible, al tratarse de un equipo portátil.

4.2 Requisitos textiles

En primer lugar, al tratarse de un circuito eléctrico que va a estar en contacto con la piel, necesitamos una fibra o un sistema aislante eléctrico que, en caso de algún fallo o anomalía en el circuito eléctrico, proteja y garantice la seguridad del usuario. De esta misma manera, también es conveniente que sea una fibra lo más ignífuga posible

Además, aunque el sistema debe ser válido para cualquier fibra textil es muy oportuno que se prioricen fibras transpirables que proporcionan sensación de frescura y que absorban la humedad producida por el cuerpo humano, como algodón, lino o seda. Así se conseguiría una coalición entre el textil y el sistema eléctrico refrigerante para conseguir óptimos resultados de sensación de frescura, dando mayor comodidad al usuario y potenciando su rendimiento para cualquier tipo de actividad.

Es importante también, que la fibra textil contribuya lo mínimo posible a que el calor generado por el circuito eléctrico lo conduzca hacia el interior de la camisa.

Dado que el objetivo del sistema eléctrico es proporcionar un aumento del efecto de frescura, ya proporcionado por el propio textil, cualquier de las vías expuestas en el apartado 1.3.1 sería posible.

Por falta de tiempo en el desarrollo del proyecto, no se ha podido analizar cuál de todas las propuestas establecidas hoy en día en el mercado obtiene un mayor efecto. Lo correcto hubiera sido probar el sistema desarrollado con las distintas fibras naturales (algodón, seda y lino), con textil impregnado con PCM y con los diferentes tejidos que han implementado las primeras marcas de textil deportivo a escala mundial.

4.3 Normativa

En este apartado se expone la normativa a tener en cuenta para el proyecto. En ella se tendrá en cuenta regulaciones a nivel eléctrico y textil.

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.)

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.)

UNE-CEN/TR 17620:2021. Directrices para la selección, uso, cuidado y mantenimiento de prendas inteligentes que protegen contra el calor y las llamas (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en mayo de 2021.)

PNE-prEN 17673. Ropa de protección. Protección contra el calor y las llamas. Requisitos y métodos de ensayo para prendas con elementos textiles y no textiles inteligentes integrados.

UNE-CEN/TR 16298:2012 IN. Textiles y productos textiles. Textiles inteligentes. Definiciones, categorización, aplicaciones y necesidades relativas a la normalización.

ISO 24584:2022. Textiles — Smart textiles — Test method for sheet resistance of conductive textiles using non-contact type

En este apartado hemos recogido el conjunto De normativas relacionadas con el diseño de nuestro smart textile. Una vez, diseñado y validado el producto final, de debería comprobar que cumple todas ellas con la máxima eficacia para su posible venta e introducción en el mercado.

4.4 Solución adoptada

4.4.1 Diseño Electrónico

Módulo Peltier

Para determinar qué tipo de célula Peltier se debe emplear en este proyecto, habría que realizar una serie de cálculos termodinámicos que, por tiempo y complejidad, exceden los límites de este trabajo. Así que, basándose en los cálculos realizados en otros trabajos, se ha optado por una Peltier CP076581-238 de CUI Devices (Figura 35). Cuyas características técnicas y térmicas se muestran en la Figura 36, siendo la diferencia de temperatura máxima (ΔT_{max}), la diferencia de temperatura entre los lados del semiconductor cuando la absorción de calor es 0 (W). Además, la máxima absorción de calor, Q_{max} , se alcanza cuando la diferencia de temperatura entre los lados del semiconductor es 0. La T_h es la temperatura en el lado caliente de la

Peltier y la T_c es la temperatura en el lado frío de la Peltier. En la se muestran las características físicas del módulo.

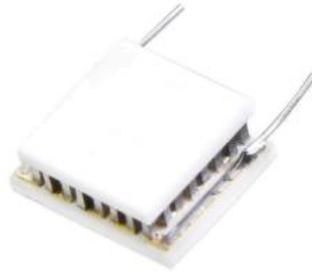


FIGURA 35. Módulo Peltier CP076581-238. Fuente CUI Devices.

MODEL	input voltage ¹ max (Vdc)	input current ² max (A)	internal resistance ³ typ ($\Omega \pm 10\%$)	output Qmax ⁴		output ΔT_{max} ⁵	
				$T_h=27^\circ\text{C}$ (W)	$T_h=50^\circ\text{C}$ (W)	$T_h=27^\circ\text{C}$ ($^\circ\text{C}$)	$T_h=50^\circ\text{C}$ ($^\circ\text{C}$)
CP0734-238	0.5	0.7	0.52	0.2	0.2	70	77
CP0734-277P ⁶	0.5	0.7	0.52	0.2	0.2	70	77
CP073450-238	1.0	0.7	1.04	0.4	0.5	70	77
CP074933-238	1.3	0.7	1.43	0.6	0.7	70	77
CP074933-277P ⁶	1.3	0.7	1.43	0.6	0.7	70	77
CP074965-239	2.1	0.7	2.35	0.9	1.0	70	77
CP074965-238P ⁶	2.1	0.7	2.35	0.9	1.0	70	77
CP076581-238	3.9	0.7	4.17	1.7	1.9	70	77
CP076581-238P ⁶	3.9	0.7	4.17	1.7	1.9	70	77

- Notes:
1. Maximum voltage at ΔT max and $T_h=27^\circ\text{C}$
 2. Maximum current to achieve ΔT max
 3. Measured by AC 4-terminal method at 25°C
 4. Maximum heat absorbed at cold side occurs at I_{max} , V_{max} , and $\Delta T=0^\circ\text{C}$
 5. Maximum temperature difference occurs at I_{max} , V_{max} , and $Q=0\text{W}$ (ΔT max measured in a vacuum at 1.3 Pa)
 6. Gold plating on both sides.

FIGURA 36. Principales características eléctricas y térmicas de la CP076581-238. Fuente CUI Devices.

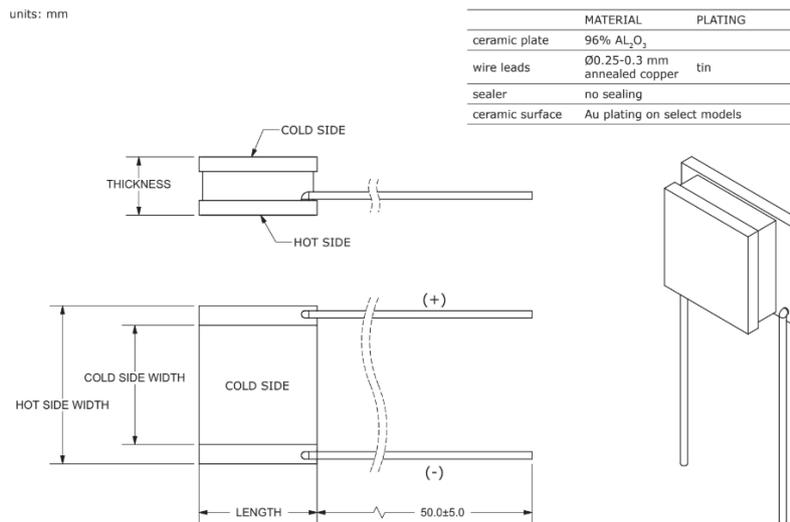


FIGURA 37. Características dimensionales y de material de la CP076581-238. Fuente CUI Devices.

Se supondrá que la T_h no debe exceder los 30°C y al T_c se va a fijar en 15°C , de esta forma el ΔT es de 15°C . La tensión de alimentación se fija a 3.3 V por ser una tensión estándar en baterías portátiles. De la gráfica de la Figura 38, se obtiene que el consumo

de corriente será de 0.6 A y el calor absorbido por la Peltier de 1.25 W menor que el valor máximo admisible de 1.7 W.

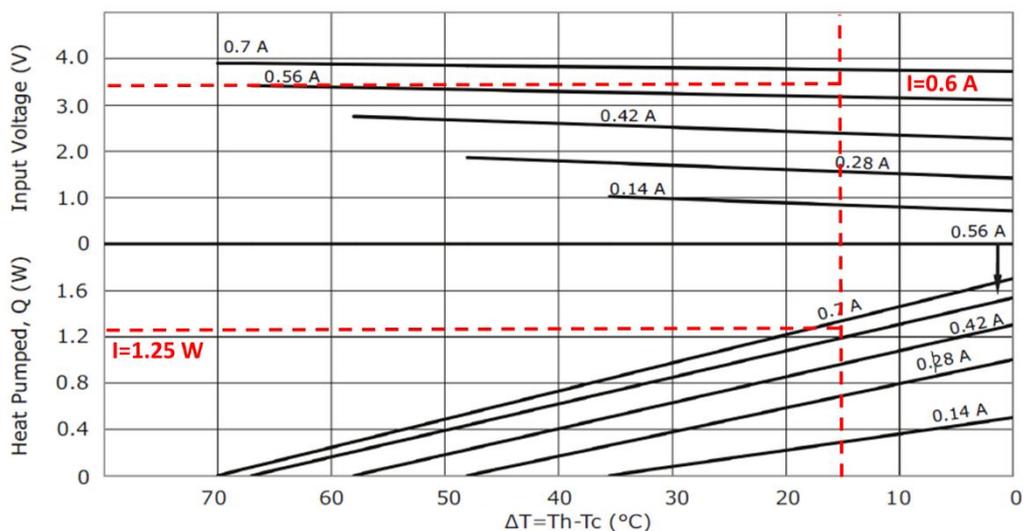


FIGURA 38. Gráfica para la determinación del calor absorbido de la CP076581-238. Fuente CUI Devices.

Sensor de temperatura y circuito de adaptación

Para medir la temperatura se ha optado por un termopar por su precisión, facilidad de medida y pequeño tamaño. El termopar utilizado es de tipo K (Figura 39) con un rango de temperatura de -75 a 250 °C, con una punta sensora de 0.2 mm. Trabaja entre 3 y 5 V de alimentación, con un consumo de máximo de 1.5 mA.



FIGURA 39. Termopar tipo K. Fuente RS Amidata.

El circuito de adaptación el MAX6675 de Maxim (Figura 40). El MAX6675 realiza una compensación de unión fría y digitaliza la señal de un termopar tipo K. Los datos se emiten en una resolución de 12 bits, formato de solo lectura compatible con SPI™. Este convertidor resuelve temperaturas a 0.25 °C, permite lecturas de hasta +1024 °C y muestra una precisión de termopar de 8 LSB para temperaturas que van de 0 °C a +700 °C.

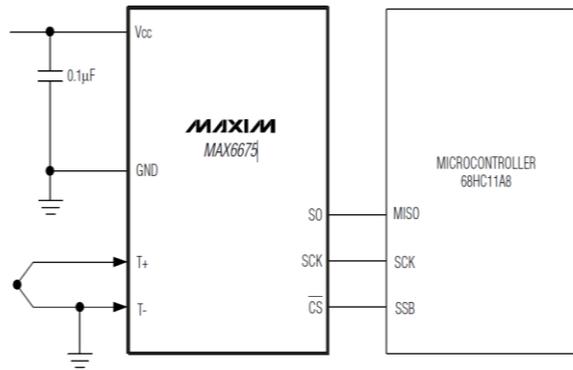


FIGURA 40. Circuito electrónico de aplicación del MAX6675. Fuente RS Amidata.

Transistor MOSFET

El transistor MOSFET elegido es el FDS6630A de FAIRCHILD (Figura 41), el cual puede manejar una corriente de 6.5 A con una potencia de 2.5 W.



FIGURA 41. Transistor MOSFET FDS6630A. Fuente RS Amidata.

Ventilador

Ventilador axial de CC de 1.800 rpm, una tensión de 5 V, consumo de potencia de 1.92 W y un flujo de aire de 11.9 m³/h (Figura 42).



FIGURA 42. Fotografía del ventilador y dimensiones. Fuente RS Amidata.

Bomba

Bomba de diafragma para líquidos D250-L de TCS Micropumps (Figura 43). Opera a 5 V con una potencia de 1.5 W. El flujo de líquido es de 200 ml/min con una presión de 13 psi.

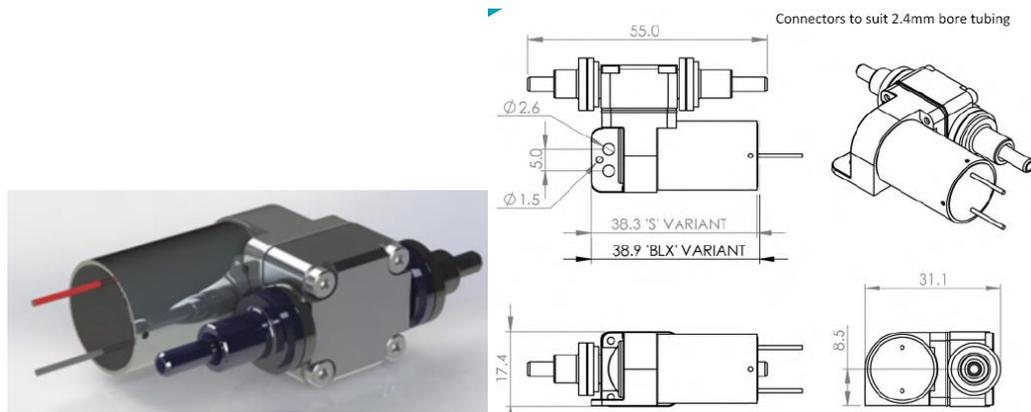


FIGURA 43. Fotografía de la bomba y dimensiones. Fuente TCS Micropumps.

Microcontrolador

Se ha elegido la plataforma Arduino Nano Every (Figura 44) con el microcontrolador ATmega4809 de 8 bits.

- ✓ **Microcontrolador:** ATmega4809
- ✓ **Alimentación:** 5V o mediante USB
- ✓ **Potencia consumida máxima:** 2.2 W a 5 V
- ✓ **Velocidad de reloj:** 20 MHz
- ✓ **Memoria Flash:** 48KB
- ✓ **Memoria RAM:** 6KB
- ✓ **EEPROM:** 256 bytes
- ✓ **Pines PWM:** 5 (D3, D5, D6, D9, D10)
- ✓ **Pines analógicos:** 8 (ADC 10 bit)
- ✓ **Buses:** UART, SPI, I2C
- ✓ **Todos los pines soportan interrupciones**
- ✓ **Dimensiones:** 45x18mm
- ✓ **Peso:** 5 gramos

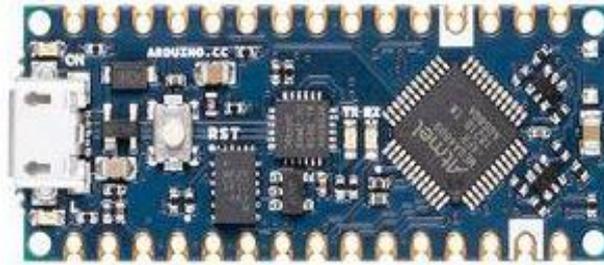


FIGURA 44. Plataforma Arduino Nano Every. Fuente RS Amidata.

Sistema de Alimentación

El sistema electrónico necesita 2 tipos distintos de tensiones de alimentación: 5V y 3.3 V. Para conseguir estas tensiones se han utilizado los reguladores 173010335 y 173010535 de la serie FDSM de WÜRTH Elektronik (Figura 45). La corriente máxima de salida es de 1 A con un rango de entrada entre 6 y 36 V.



FIGURA 45. Reguladores 173010335 y 173010535. Fuente RS Amidata.

Se ha elegido una batería recargable RS Pro 18650 26H Li-ion Battery Pack (Figura 46) de 7.4 V y 2600 mAh. Dado que el consumo máximo calculado no supera los 1000 mA se puede obtener un periodo de trabajo de hasta 2.6 H (Figura 47).



FIGURA 46. RS Pro 18650 26H Li-ion Battery. Fuente RS Amidata.

TABLA 4. Características técnicas de la batería. Fuente RS Amidata.

Item		Parameters
Nominal Voltage		7.4 V
Typical capacity		2.6 Ah (At 0.2C, 5.44 V discharge)
Discharge	Max. Discharge Current	> 5 A (ambient temperature 25°C)
	Cut-off voltage	5.44 V
Charge	Voltage	8.40 ±0.05 V
	Current	Standard Charge: 0.5°C Rapid Charge: 1°C
	Max. Current	1°C (ambient temperature 25°C)
	Charge mode	CC/CV, use special lithium charger
Inner resistance	Discharging Inner resistance	≤ 100 mΩ
Operation temperature / humidity range	Charge	0°C to +52°C
	Discharge	-20°C to +60°C
		When the environment temperature is higher than 45°C, pay attention to ventilation and heat rejection.
Storage temperature/ humidity range	Temperature	1 year: -20 to 20°C 3 months: -20 to 45°C 1 month: -20 to 60°C
Protection function	Over charge protection, Over discharge protection	
Shell material	PVC	
Weight	94 g	
Size (L x W x H) mm	37 x 69 x 19 ± (1-2-2 mm)	

Circuito Electrónico

En la Figura 48 se muestra el esquema electrónico empleado para el prototipo. Las conexiones de entrada y salida del microcontrolador son:

Medida de temperatura:

- ✓ **TSCK** pin digital D6
- ✓ **TCCS** pin digital D5
- ✓ **TCDO** pin digital D4

Control Peltier:

- ✓ **Peltier_1** pin PWM D3
- ✓ **Peltier_2** pin PWM D9
- ✓ **Peltier_3** pin PWM D10

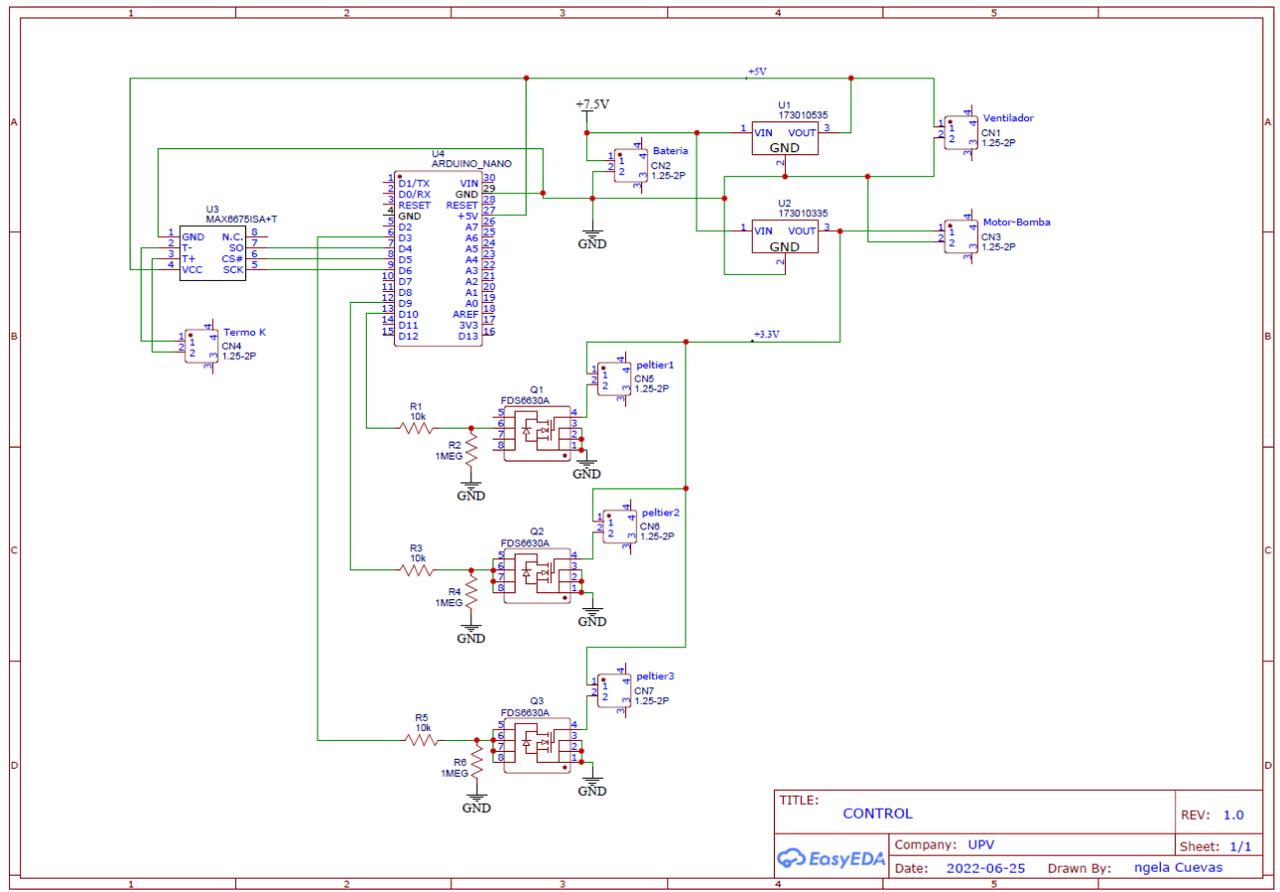


FIGURA 47. Esquema electrónico. Fuente propia.

En la Figura 49 se muestra el diseño del circuito impreso y en la Figura 50 se puede observar todo el sistema completo.

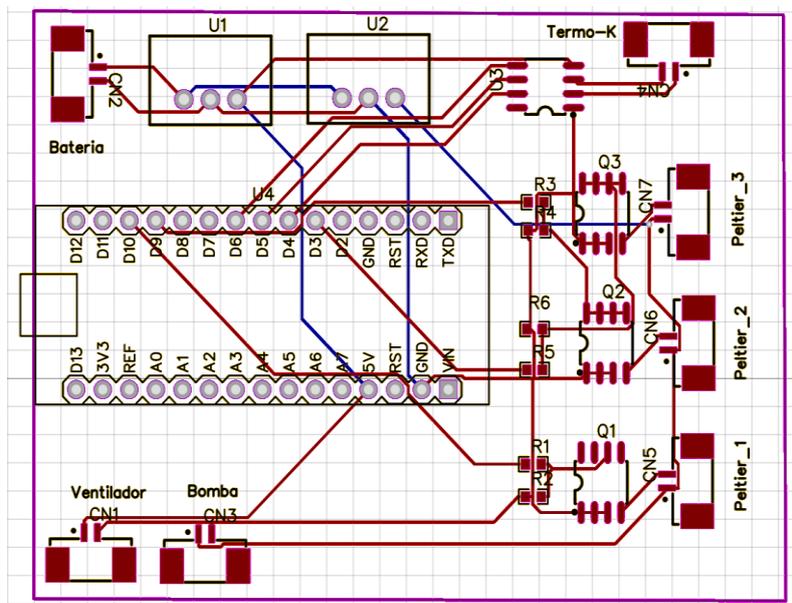


FIGURA 48.. Circuito impreso del diseño electrónico. Fuente propia.

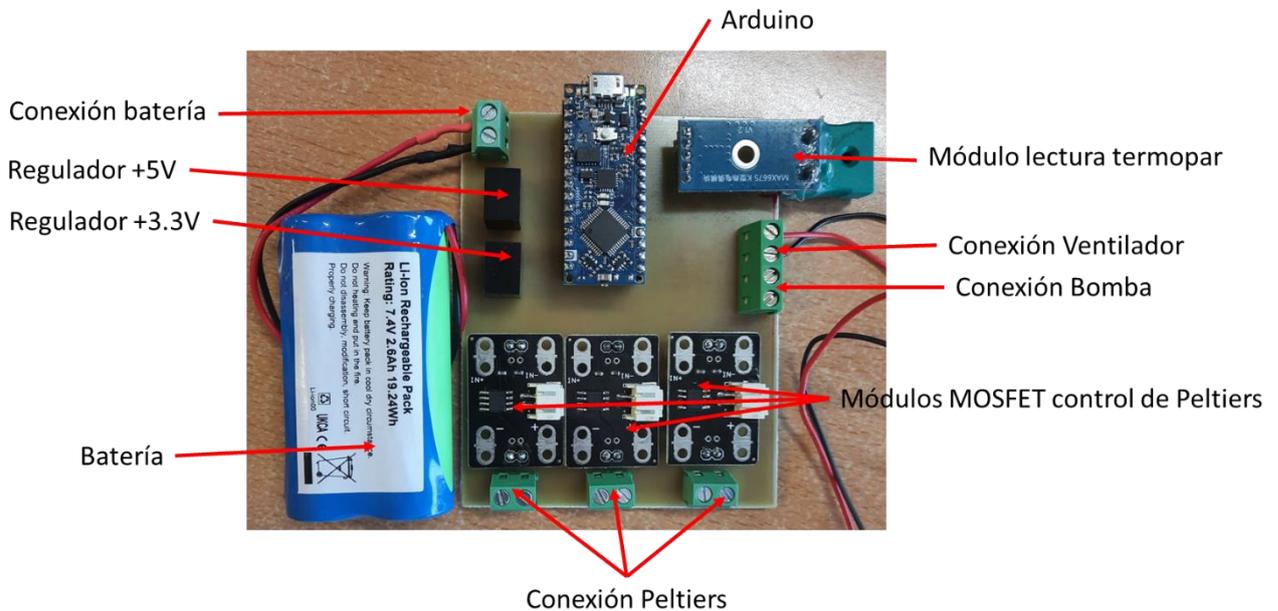


FIGURA 49. Prototipo del diseño electrónico. Fuente propia.

Bloque térmico e hidráulico

Se han utilizado 3 disipadores por agua por cada célula Peltier de 15x15x10 mm en aluminio y uno para el intercambiador de 40x40x10 mm (Figura 51). Todos los disipadores por su tamaño no estándar han sido fabricados a medida. Para el intercambiador también se ha utilizado un radiador ATS-CPX040040010-113-C1-R0 de Advanced Thermal Solutions de 40x40x10 mm con una resistencia térmica entre 5 y 2 °C/W (Figura 52).

Las mangueras de conexión son el TU0425BU-20 de SMC de poliuretano con diámetro externo de 4mm para los disipadores y TYUTH95-18066-50-TRBL de Omega de poliuretano de 3.2 mm para la bomba. Para la conexión entre ambos se ha utilizado un racor neumático SMC KQ2, adaptador de tubo a tubo recto, con encaje a presión de 3.2 mm a encaje a presión de 4 mm.

Para unir la Peltier con su disipador y el intercambiador de calor con su radiador se ha empleado una cinta de doble cara térmicamente conductora. La cinta escogida es la FCTL73-25 de AMEC THERMASOL, su referencia es FCTL73-25. La cinta adhesiva térmica está compuesta con polimérico acrílico conductor, portador de fibra de vidrio y tiene un espesor de 0.25 mm, además posee una conductividad térmica de 1W/mK.

La Figura 52 muestra el sistema electrónico y el disipación al completo.



FIGURA 50. Disipadores por líquido para las Peltier. Fuente propia.

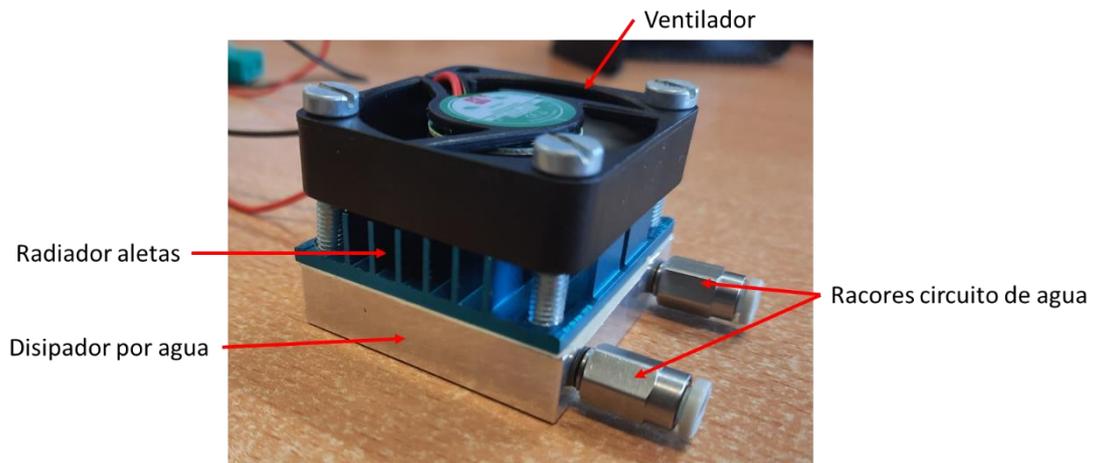


FIGURA 51. Sistema de refrigeración central. Fuente propia.

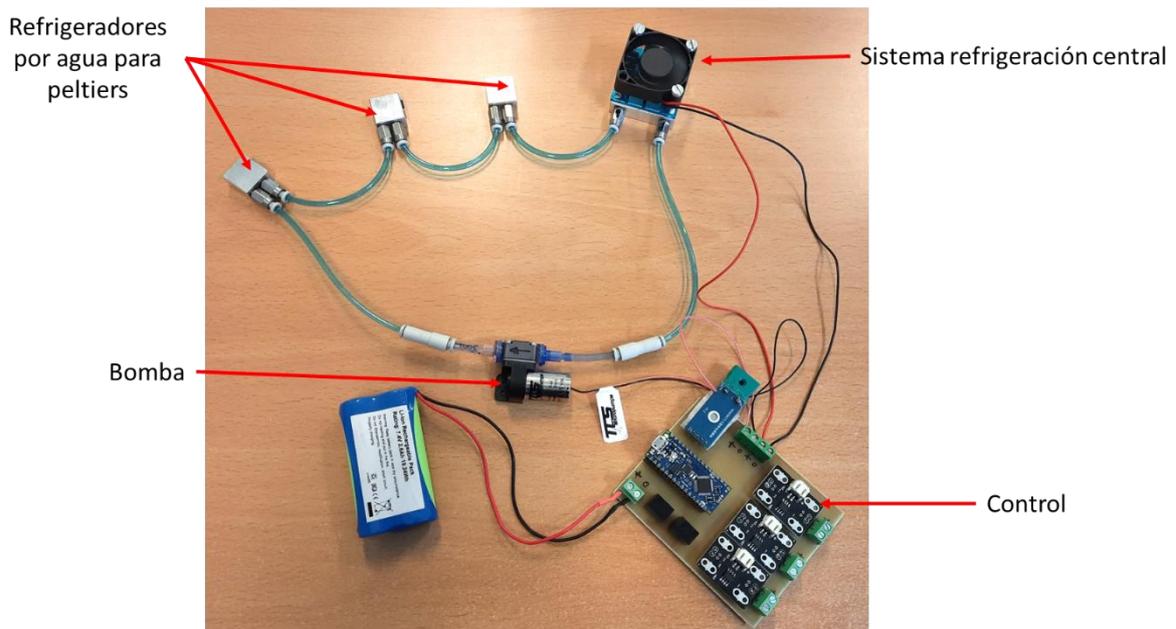


FIGURA 52. Prototipo completo. Fuente propia.

4.4.2 Diseño software

Tal como se ha comentado en el punto 4.1 de requisitos electrónicos, el algoritmo de control puede ser un Todo/Nada o un PID. Se ha optado por el Todo/Nada ya que el PID requiere mucho tiempo de desarrollo, modelización y test, aunque para este proyecto sería el controlador adecuado.

El controlador Todo/Nada usa un algoritmo simple para revisar si la variable de proceso está por encima o por debajo de una consigna o setpoint determinado. En términos prácticos, la variable manipulada o la señal de control del controlador cambia entre “totalmente ON” o “totalmente OFF”, sin estados intermedios (Figura 54). Este tipo de accionamiento provoca un control muy impreciso de la variable de proceso, además depende mucho de la inercia de los sistemas a controlar.

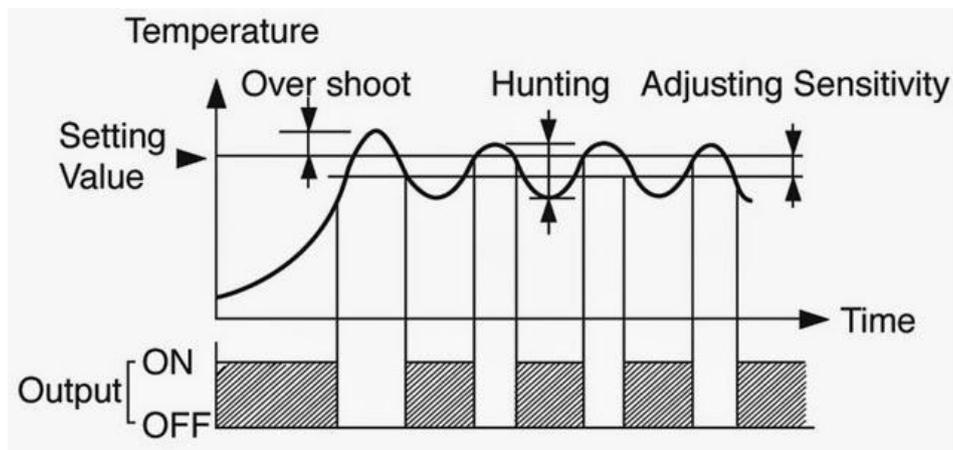


FIGURA 53. Control Todo/Nada. La salida del controlador se activa cuando la señal está por debajo del setpoint y se desactiva cuando está por encima [28].

El algoritmo de control puede ser fácilmente generado utilizando el lenguaje C++ de Arduino con una instrucción IF-THEN_ELSE (Figura 55), donde A es la comparación de la temperatura actual con el punto de consigna fijado, si la temperatura actual, en este proyecto, está por debajo de la consigna el controlador pasa a modo OFF (NADA) para que las Peltiers no sigan enfriando; si está por encima, el controlador pasa a modo ON(TODO) para que las Peltiers sigan enfriando. Si se fija un punto de consigna de 15 °C, el programa podría ser:

```

if (celsius > 15.0)
{
    digitalWrite(PIN, HIGH);
}
else
{

```

```
digitalWrite (PIN, LOW) ;
}
```

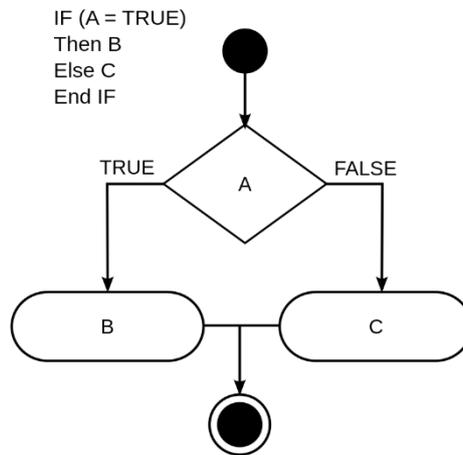


FIGURA 54.. Control Todo/Nada. La salida del controlador se activa cuando la señal está por debajo del setpoint y se desactiva cuando está por encima [28].

La Figura 56 muestra la respuesta de una célula Peltier a este tipo de control, dicha respuesta fue obtenida durante el proceso de pruebas para el desarrollo de este proyecto.

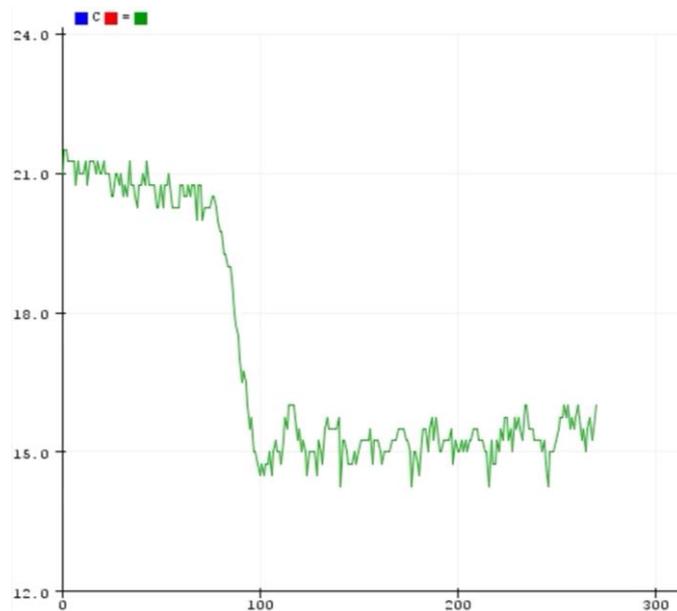


FIGURA 55. Control Todo/Nada, para una Peltier con un punto de consigna de 20 °C. Fuente propia.

El resto del programa se encarga de la lectura del valor de temperatura procedente del MAX6675, configurando la comunicación con dicho dispositivo. Se debe destacar que para no consumir rápidamente la batería se han activado secuencialmente las células Peltier, de tal forma que solo hay consumiendo (unos 600 mA) cada 20 ms. El programa desarrollado es el siguiente:

```

#include "max6675.h" //librería del MAX6675

#define PEL1 3 //Asignación de la patilla digital D3 a la Peltier_1
#define PEL2 5 //Asignación de la patilla digital D5 a la Peltier_2
#define PEL3 6 //Asignación de la patilla digital D6 a la Peltier_3

// CONFIGURACION DE LOS PINES DIGITALES UTILIZADOS PARA LA COMUNICACIÓN CON
EL
// MAX6675
#define CONFIG_TCCK_PIN      10
#define CONFIG_TCCS_PIN      11
#define CONFIG_TCDO_PIN      12

// OBJETO UTILIZADO PARA LA COMUNICACION CON EL MAX6675
MAX6675 thermocouple(CONFIG_TCCK_PIN, CONFIG_TCCS_PIN, CONFIG_TCDO_PIN);

void setup() {
    // PREPARAR LA INTERFAZ SERIAL
    Serial.begin(9600);

    pinMode(PEL1, OUTPUT);
    pinMode(PEL2, OUTPUT);
    pinMode(PEL3, OUTPUT);
}

void loop() {
    while(true) {

        celsius=thermocouple.readCelsius(); //Lectura en celsius de la
temperatura

        //suministrada por el termopar
    }
}

```

```
if (celsius > 15.0)
{
    //ON. Se enciende secuencialmente para consumir menos batería.
    digitalWrite(PEL1, HIGH);
    digitalWrite(PEL2, LOW);
    digitalWrite(PEL3, LOW);
    delay(50); //retraso
    digitalWrite(PEL1, LOW);
    digitalWrite(PEL2, HIGH);
    digitalWrite(PEL3, LOW);
    delay(50); //retraso
    digitalWrite(PEL1, LOW);
    digitalWrite(PEL2, LOW);
    digitalWrite(PEL3, HIGH);
    delay(50); //retraso
}
else //OFF
    digitalWrite(PEL1, LOW);
    digitalWrite(PEL2, LOW);
    digitalWrite(PEL3, LOW);
}

//permite visualizar en el PC la temperatura
Serial.print("C = ");
Serial.println(thermocouple.readCelsius());

}

}
```

4.4.3 Soporte Textil

En cuanto a los materiales utilizados para llevar a cabo nuestro diseño vamos a partir de un cuello de camisa 100 % algodón. Como es un primer prototipo solo vamos a utilizar el cuello de un tallaje de mujer con medidas comunes. El diseño y dimensiones se muestran en la Figura 56.



FIGURA 56. Cuello de camisa para el prototipo

Para el prototipo hemos decidido escoger la fibra de algodón ya que es la más común en el mercado. Esta fibra nos proporciona un tacto suave, de origen natural, por tanto, hipoalergénico y sin productos químicos. Además, es una fibra que nos proporciona transpirabilidad por lo que es perfecto para altas temperaturas y además es capaz de absorber la humedad del cuerpo. Esto permite la extracción del calor de la piel y ayuda al nuevo sistema de refrigeración incorporado.

Asimismo, es un material barato y de larga duración, que una vez separado del circuito puede ser lavable tanto a mano como en lavadora sin ningún tipo de problema.

Cabe destacar que el sistema es capaz de adaptarse a todo tipo de fibra. El hecho de coger algodón simplemente es para el prototipo y porque comúnmente es el material más utilizado globalmente en la industria textil.

Por falta de tiempo, no se ha podido probar el sistema con el resto de los materiales más comunes como seda y lino, cuyas fibras son transpirables y son capaces de absorber el sudor dando sensación de frescura. Quizás podemos descartar el uso de PCM ya que tras varios estudios está demostrado que su implementación por hilatura por extrusión puede causar la disminución de la resistencia a tracción del textil y por un proceso de acabado, no suele durar excesivamente el efecto de las PCM ya que se van perdiendo tras el uso.

También, hubiera sido buena opción comprobar el funcionamiento del sistema con las nuevas tecnologías ClimaCool, Dri fit o HeatGear establecidas por las firmas más punteras de textil deportivo. Así como realizar una comparativa general de todas ellas y determinar con que combinación se consigue sacarle el mayor rendimiento al producto final.

4.4.4 Proceso de integración del bloque electrónico y de disipación con el textil.

Para comenzar el prototipo diseñado se parte de la camisa sobre la que se incorpora el circuito. En primer lugar, se hace un recorte de unos 25 cm como se indica en la Figura 58 en la parte interna del cuello de la camisa para colocar los módulos Peltier.



FIGURA 57. Corte de la parte interna del cuello de la camisa. Fuente propia.

A continuación, se adhiere la cinta adhesiva térmica de doble cara, en la Figura 58 se puede observar una de las caras pegadas al textil y la superior con la cubierta aun sin quitar. Se retira está cubierta y se colocan los módulos Peltier en su posición correspondiente (Figura 59). Por último, se cubren con la parte cortada del cuello de la camisa, dejando al aire la cara caliente de las Peltiers, de tal forma que se puedan colocar encima los disipadores (Figura 60). Se ha colocado la punta del termopar tipo K en la parte de la camisa en contacto con la nuca para determinar la temperatura real entre el cuello, camisa y Peltier (Figura 61). El sistema, sin la parte electrónica se muestra en la Figura 64.



FIGURA 58.. Adhesivo conductor térmico de doble cara. Fuente propia.

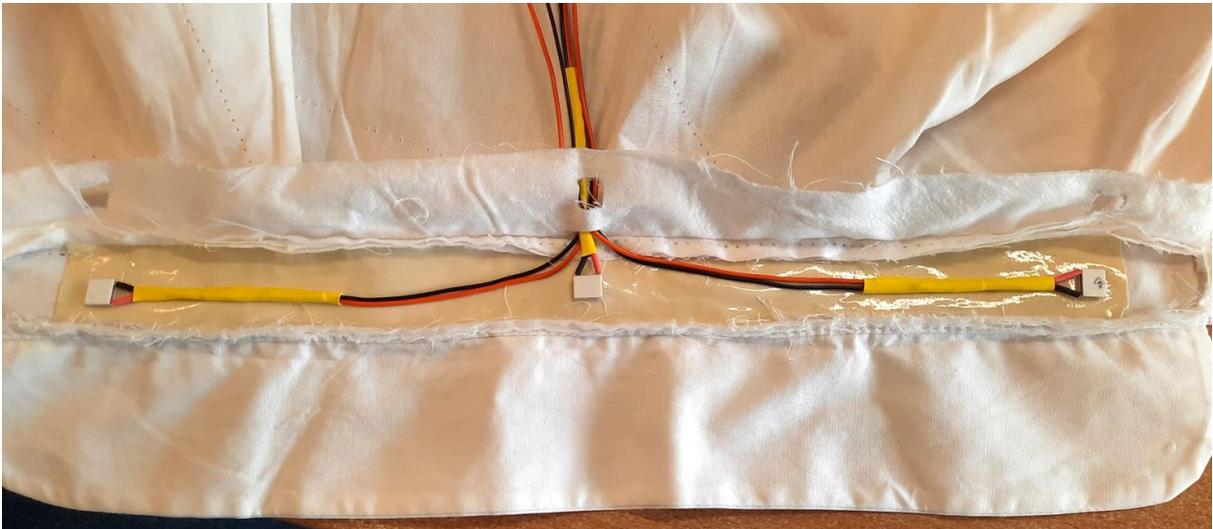


FIGURA 59. Peltier pegadas en su posición, la nuca y las carótidas. Fuente propia.

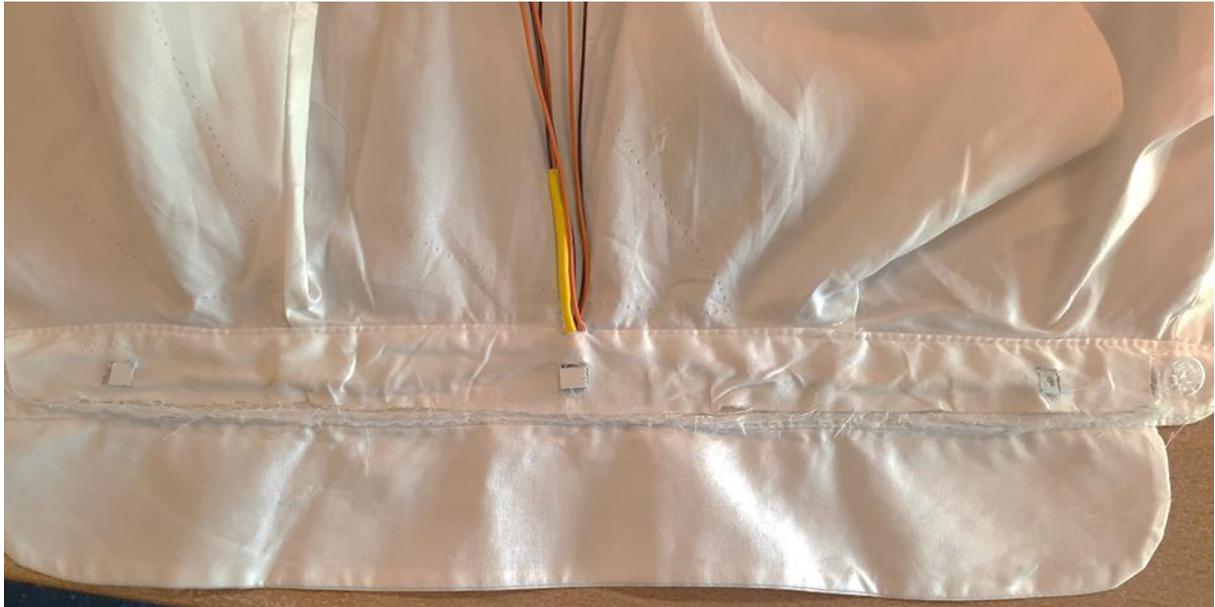


FIGURA 60. *Circuito eléctrico protegido con la capa exterior del cuello dejando a la vista la cara caliente de las Peltiers. Fuente propia.*



FIGURA 61. *Punta del termopar en contacto con el cuello. Fuente propia.*

Refrigeradores por agua sobre cada una de las Peltiers

Cableado de las Peltier

Mangueras del circuito hidráulico

Terminal del termopar tipo K

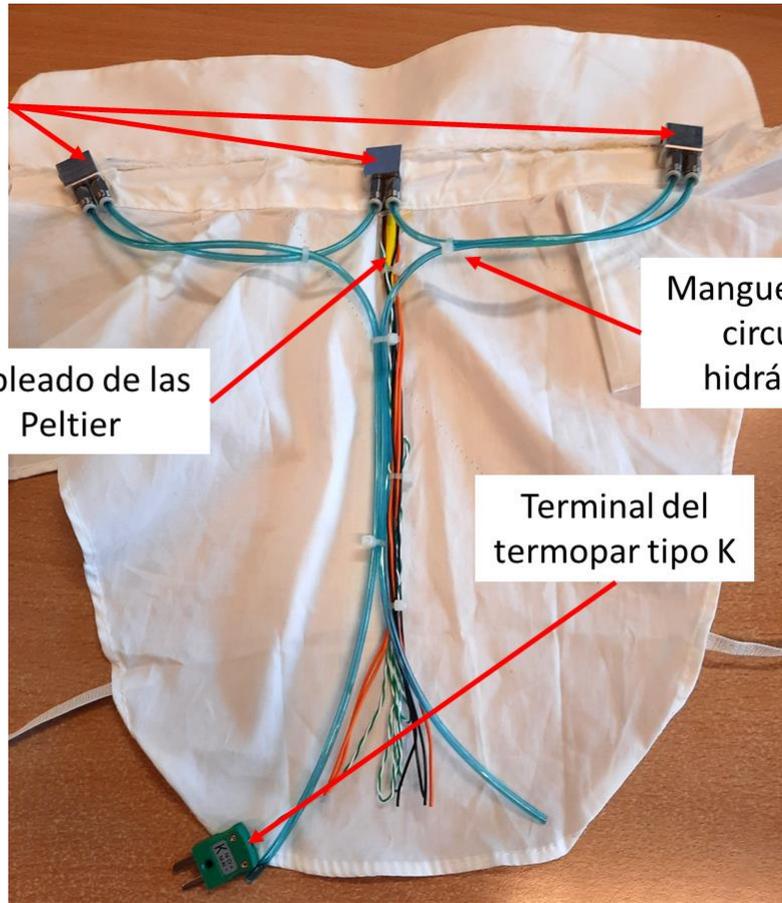


FIGURA 62. Conexión eléctrica y circuito de disipación. Fuente propia.

5. Conclusiones

Se puede afirmar que el desarrollo de prendas refrescantes activas es desafiante y en gran medida inexplorado. Dados estos inconvenientes inherentes a las prendas refrescantes personales basadas en fluidos, los estudios actuales se centran principalmente en tecnologías de estado sólido como la electrocalórica, magnetocalórica y nuevos sistemas de refrigeración termoeléctricos (TE). Sin embargo, a pesar de los extensos estudios a nivel de materiales, aún no se han desarrollado dispositivos portátiles con un alto rendimiento de enfriamiento.

En este proyecto se ha conseguido desarrollar un sistema de refrigeración por tecnología Peltier integrado en un textil con el objetivo de evitar golpes de calor en entornos hostiles. Se ha desarrollado la electrónica de medida y control, así como el sistema de refrigeración y el software de control. Del sistema se ha implementado en formato prototipo con una camisa de algodón y la electrónica sin depurar, es decir, que su tamaño puede reducirse sustancialmente en un posterior prototipo. Además, tampoco se ha conseguido integrar el sistema en una prenda con un textil especialmente desarrollado para provocar sensación de frescura en el usuario, esto es debido a la dificultad de encontrar dicho material, además de la dificultad de confeccionar dicha prenda.

Asimismo, en el siguiente apartado se detallan las líneas futuras pendientes para seguir desarrollando el proyecto de forma idónea, barajando las propuestas posibles y eligiendo la óptima.

También cabe destacar que ha sido imposible realizar medidas in situ debido a los plazos del TFM, tan solo se ha comprobado el correcto funcionamiento de todas las partes del equipo.

A pesar de no estar el sistema completamente desarrollado, se han conseguido todos los objetivos propuestos al inicio del proyecto:

- Selección de un textil termoregulable para la confección de la base textil del sistema.
- Selección de los módulos Peltier adecuados al proyecto.
- Diseño del sistema de refrigeración de los módulos Peltier.
- Diseño del sistema de control y medida de temperatura de los módulos Peltier.

Con todo ello, se da por finalizado el proyecto con la obtención de un primer prototipo mejorable pero funcional y eficaz.

6. Líneas Futuras

- Controlador PID. Dada la falta de tiempo y la complejidad del control PID, se ha optado por realizar un control sobre la regulación de temperatura mediante un sistema de todo o nada. Como línea futura del proyecto sí que se propone establecer un control PID que permite un control y regulación sobre la temperatura del sistema.
- Tela óptima. Como se ha mencionado a lo largo del proyecto, se ha realizado un prototipo con tela algodón, unas de las fibras que más sensación de frescura proporciona al usuario, pero cabe destacar que hay más y que también hay distintas tecnologías desarrolladas donde sería muy interesante probar el sistema eléctrico y comprobar la eficacia en cada caso para poder desarrollar un producto final lo más eficaz posible.
- Cálculos de la Peltier óptima. Para realizar el prototipo se ha escogido la Peltier si haber considerado los cálculos térmicos necesarios para su correcta elección. El siguiente paso sería realizar estos cálculos.
- Cálculos sistema de refrigeración. Además de los cálculos térmicos de la Peltier, es necesario determinar matemáticamente las dimensiones de los disipadores, radiadores, flujo del agua refrigerante y flujo de aire.
- Medidas. Para realizar el prototipo se ha escogido una talla común para el cuello, pero sería interesante para el desarrollo del producto final realizar un análisis antropométrico y dimensional para establecer las posiciones idóneas de las placas Peltier y así determinar las posiciones exactas entre ellas y el soporte textil para conseguir mayor efecto de frescura. Además, se debería plantear un experimental para determinar los resultados con un número suficiente de individuos.

1 Referencias

- [1] "No Title." <https://www.20minutos.es/salud/medicina/cuanta-gente-muere-por-calor-al-ano-en-espana-4726757/> (accessed Apr. 20, 2022).
- [2] M. Mokhtari Yazdi and M. Sheikhzadeh, "Personal cooling garments: a review,"

- <http://dx.doi.org/10.1080/00405000.2014.895088>, vol. 105, no. 12, pp. 1231–1250, Dec. 2014, doi: 10.1080/00405000.2014.895088.
- [3] H. Wang *et al.*, “Rapid and selective cerebral hypothermia achieved using a cooling helmet,” *J. Neurosurg.*, vol. 100, no. 2, pp. 272–277, Feb. 2004, doi: 10.3171/JNS.2004.100.2.0272.
- [4] Z. Gao, Y. Zhang, N. Song, and X. Li, “Towards flexible lithium-sulfur battery from natural cotton textile,” *Electrochim. Acta*, vol. 246, pp. 507–516, 2017, doi: 10.1016/j.electacta.2017.06.069.
- [5] H. Wang *et al.*, “A novel head-neck cooling device for concussion injury in contact sports,” *Transl. Neurosci.*, vol. 6, no. 1, pp. 20–31, Jan. 2015, doi: 10.1515/TNSCI-2015-0004/MACHINEREADABLECITATION/RIS.
- [6] K. Jackson, R. Rubin, N. Van Hoeck, T. Hauert, V. Lana, and H. Wang, “The effect of selective head-neck cooling on physiological and cognitive functions in healthy volunteers,” *Transl. Neurosci.*, vol. 6, no. 1, pp. 131–138, Jan. 2015, doi: 10.1515/TNSCI-2015-0012/MACHINEREADABLECITATION/RIS.
- [7] N. Gaoua, S. Racinais, J. Grantham, and F. El Massioui, “Alterations in cognitive performance during passive hyperthermia are task dependent,” <https://doi.org/10.3109/02656736.2010.516305>, vol. 27, no. 1, pp. 1–9, Feb. 2011, doi: 10.3109/02656736.2010.516305.
- [8] Y. Kawahara, M. Takahashi, H. Takahashi, and G. Lopez, “Effect of neck refrigeration by the neck cooler on worker’s physiological and psychological performance,” *Lect. Notes Inst. Comput. Sci. Soc. Telecommun. Eng. LNICST*, vol. 100, pp. 51–57, 2014, doi: 10.1007/978-3-319-11564-1_6/TABLES/1.
- [9] J. D. Countryman and D. E. Dow, “Historical development of heat stroke prevention device in the military,” *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS*, pp. 2527–2530, 2013, doi: 10.1109/EMBC.2013.6610054.
- [10] M. B.-J.-R. A. M. CORPS and undefined 1995, “Heat illness-a review of military experience (Part 1),” *scholar.archive.org*, vol. 141, pp. 157–166, 1995, doi: 10.1136/jramc-141-03-06.
- [11] R. O’Hara, E. Eveland, S. Fortuna, ... P. R.-M., and undefined 2008, “Current and future cooling technologies used in preventing heat illness and improving work capacity for battlefield soldiers: review of the literature,” *academic.oup.com*, Accessed: Jul. 18, 2022. [Online]. Available: <https://academic.oup.com/milmed/article-abstract/173/7/653/4557856>
- [12] E. Hadad, M. Rav-Acha, Y. Heled, Y. Epstein, and D. S. Moran, “Heat stroke: A review of cooling methods,” *Sport. Med.*, vol. 34, no. 8, pp. 501–511, 2004, doi: 10.2165/00007256-200434080-00002.
- [13] S. Hong *et al.*, “Wearable thermoelectrics for personalized thermoregulation,” *Sci. Adv.*, vol. 5, no. 5, May 2019, doi: 10.1126/SCIADV.AAW0536/SUPPL_FILE/AAW0536_SM.PDF.
- [14] C. Tyler, C. S.-M. S. S. Exerc, and undefined 2011, “Neck cooling and running performance in the heat: single versus repeated application,” *Citeseer*, vol. 43, no. 12, pp. 2388–2395, 2011, doi: 10.1249/MSS.0b013e318222ef72.

- [15] M. Mitsik, M. B.-2020 I. E.-W. D. & Test, and undefined 2020, "Thermoregulation of smart clothing based on Peltier Elements," *ieeexplore.ieee.org*, Accessed: Jul. 18, 2022. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9224805/>
- [16] H. W. Cui *et al.*, "Ultra-fast photonic curing of electrically conductive adhesives fabricated from vinyl ester resin and silver micro-flakes for printed electronics," *RSC Adv.*, vol. 4, no. 31, 2014, doi: 10.1039/c4ra00292j.
- [17] D. Zhao, G. T.-A. thermal engineering, and undefined 2014, "A review of thermoelectric cooling: materials, modeling and applications," *Elsevier*, Accessed: Jul. 18, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431114000854>
- [18] "No Title." <https://www.tiendavirtual.com/tienda/arduino-y-raspberry/componentes-varios/kit-de-refrigeracion-diy-12-v-ideal-celda-peltier-disipador> (accessed Apr. 20, 2022).
- [19] ASTM, "ASTM D8248 - 20 Standard Terminology for Smart Textiles."
- [20] CEN/, "CEN/TC 248/WG 31-Smart textiles."
- [21] "Nike Dri Fit." <https://www.nike.com/es/help/a/nike-dri-fit> (accessed Jul. 23, 2022).
- [22] "ADIDAS CLIMACOOOL." <https://preview.thenewsmarket.com/Previews/ADID/DocumentAssets/326699.pdf> (accessed Jul. 23, 2022).
- [23] "HEATGEAR ARMOURVENT." <https://www.underarmour.com.mx/es-mx/tecnologia/> (accessed Jul. 23, 2022).
- [24] "DRYCELL PUMA." <https://championsleagueshirts.com/puma-drycell-explained> (accessed Jul. 23, 2022).
- [25] C. Tyler, C. S.-J. of athletic training, and undefined 2011, "Cooling the neck region during exercise in the heat," *meridian.allenpress.com*, Accessed: Jul. 18, 2022. [Online]. Available: <https://meridian.allenpress.com/jat/article-abstract/46/1/61/111220>
- [26] "Torrás Coolify." https://www.mobileplaystore.com.co/MCO-824483475-torras-coolify-portable-air-conditioner-neck-fan-hands-fre-_JM (accessed Apr. 20, 2022).
- [27] "Neck Cooler." <https://ifdesign.com/en/winner-ranking/project/neck-cooler/309816> (accessed Apr. 20, 2022).
- [28] "CEIISA." <http://ceiisa.blogspot.com/2015/01/control-todo-o-nada-on-off.html> (accessed Jul. 18, 2022).