



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

CAMA TERMO-REGULABLE

THERMO-ADJUSTABLE BED

Autor

Andres Ferrer Sierra

Director

Mónica Remacha Andrés

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia  
2017





**Universidad**  
Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**  
**DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

**MEMORIA**

**CAMA TERMO-REGULABLE**  
**THERMO-ADJUSTABLE BED**

**424.16.102**

Autor: Andres Ferrer Sierra

Director: Mónica Remacha Andrés

Fecha: 28-7-2017



# INDICE DE CONTENIDO

<b>1. RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>2. ABSTRACT</b>	<b>2</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
3.1. MOTIVACIÓN	4
3.2. OBJETIVOS	5
<b>4. ESTADO DEL ARTE TEXTILES Y TECNOLOGÍAS ELECTROTÉRMICAS</b>	<b>6</b>
4.1.1. <i>Evolución histórica</i>	6
4.1.2. <i>Confort</i>	7
4.1.2.1. Respuestas fisiológicas a la aplicación de calor terapéutico.	9
4.1.2.2. Seguridad	10
4.1.3. <i>Estudio de Textiles Tecnológicos</i>	10
4.1.3.1. Textiles Electrotérmicos	10
4.1.3.1.1. Tipos de Textiles Electrotérmicos	11
4.1.3.2. Textiles Inteligentes	19
4.1.3.2.1. Tipos de Textiles Inteligentes	20
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>22</b>
5.1. DISEÑO CARA A DEL COLCHÓN	22
5.1.1. <i>Partículas PCM (Phase Change Material)</i>	23
5.1.1.1. Funcionamiento	23
5.1.1.2. Tipos de PCM	26
5.1.1.2.1. PCM Orgánicos	27
5.1.1.2.2. PCM Inorgánicos	30
5.1.1.2.3. Comparación	32
5.1.1.3. Las parafinas como agente activo	32
5.1.1.3.1. Elección de micropartículas	33
5.1.2. <i>Resultados de las PCMs</i>	34
5.1.3. <i>Resultados propios de las PCMs con cámara termográfica.</i>	38
5.2. DISEÑO CARA B DEL COLCHÓN	45
5.2.1. <i>Textil Electrotérmico</i>	45
5.2.1.1. Diseño del colchón termorregulable	49
5.2.1.1.1. Desarrollo del Textil electrotérmico	49
5.2.2. <i>Electrónica de control del colchón termorregulable</i>	57

## INDICES

5.2.2.1.	Adquisición de datos. Feedback	57
5.2.2.1.1.	Linealización sensor de temperatura NTC	58
5.2.2.2.	Procesamiento de datos	62
5.2.2.3.	Control de actuadores	67
5.2.2.4.	Diseño de PCBs	71
5.2.2.5.	Alimentación electrónica	74
5.2.2.6.	Código de Arduino	76
5.2.2.7.	Montaje Físico	78
5.2.2.8.	Presupuesto	86
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS</b>	<b>87</b>
6.1.	CONCLUSIONES	87
6.2.	LÍNEAS FUTURAS	88
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>89</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 4. 1 Termografía del cuerpo humano [6].....	9
Figura 4. 2 Respuesta de calor de Fibra de carbono. [6] .....	12
Figura 4. 3 Respuesta de calor de Poliéster baño de Polypirrole [6] .....	12
Figura 4. 4 Respuesta de calor de PES / Acero Inox [6] .....	13
Figura 4. 5 Respuesta de calor de Hilo de cobre/aramida bordado [6] .....	14
Figura 4. 6 Heating Textile [10].....	15
Figura 4. 7 USB Heating Pad [10] .....	15
Figura 4. 8 Bobina de textil [10] .....	15
Figura 4. 9 Temperatura-Longitud del CMY .....	18
Figura 4. 10 Temperatura-Intensidad de Corriente.....	18
Figura 4. 11 Large CMY .....	19
Figura 5. 1 $T_{\text{ambiente}} > T_{\text{fusión PCM}}$ [15].....	24
Figura 5. 2 $T_{\text{ambiente}} < T_{\text{fusión PCM}}$ [15].....	24
Figura 5. 3 Absorción y liberación de calor en una microcápsula PCM [15] .....	24
Figura 5. 4 Diagrama de actuación de PCM [16] .....	25
Figura 5. 5 Vista microscópica de material textil con micropartículas PCM en sus fibras [15] .....	25
Figura 5. 6 Clasificación de los materiales que se utilizan para la acumulación de energía [16].....	26
Figura 5. 7 Comparativa de la capacidad calorífica de distintos materiales [16] .....	28
Figura 5. 8 (a) Curvas de temperatura de fusión, (b) curvas de temperatura de solidificación, los tres n-alcanos pares (C16, C18 y C20) [21] .....	35
Figura 5. 9 Differential scanning calorimetry thermograms (DSC) de: (a) C16, (b) C18 and (c) C20. ....	37
Figura 5. 10 Material PCM a temperatura ambiente con termográfica .....	39
Figura 5. 11 Material PCM a temperatura ambiente .....	39
Figura 5. 12 Estufa de desecación.....	40
Figura 5. 13 Estufa de desecación con Termográfica.....	40

## INDICES

Figura 5. 14 Termográfica 85.A .....	41
Figura 5. 15 Termográfica 85.B .....	42
Figura 5. 16 Termográfica 85.C .....	42
Figura 5. 17 Termográfica 85.D .....	42
Figura 5. 18 Termográfica 85.E .....	43
Figura 5. 19 Termográfica 85.F.....	43
Figura 5. 20 Termográfica 85.G .....	43
Figura 5. 21 Termográfica 85.H .....	43
Figura 5. 22 Termográfica 85.I.....	44
Figura 5. 23 Imagen termográfica PES / Acero Inox [6].....	46
Figura 5. 24 Imagen termográfica Hilo de cobre/aramida bordado [6] .....	46
Figura 5. 25 Imagen termográfica CMY.....	46
Figura 5. 26 Dimensionamiento textil electrotérmico .....	50
Figura 5. 27 Esquema del circuito eléctrico completo del textil electrotérmico...51	
Figura 5. 28 Cable común de 6A .....	52
Figura 5. 29 Cables independientes por pad de 3A .....	52
Figura 5. 30 Circuito eléctrico completo sobre la base textil. ....	52
Figura 5. 31 Izq Cableado textil para sensores; Der Bus textil de los sensores NTC .....	53
Figura 5. 32 Izq Sensor conectado a cable textil; Der Acabado se sensores NTC .....	53
Figura 5. 33 Colocación del textil electrotérmico .....	54
Figura 5. 34 Colchón convencional con textil electrotérmico .....	54
Figura 5. 35 Sensor NTC modelo B57861S0103F045, marca EPCOS .....	58
Figura 5. 36 Ejemplo de linealización de sensor NTC. ....	58
Figura 5. 37 Respuesta relación resistencia-temperatura NTC. ....	60
Figura 5. 38 Circuito completo de linealización NTC.....	61
Figura 5. 39 Respuesta NTC Linealizado .....	62
Figura 5. 40 Esquema general de la electrónica .....	63



Figura 5. 41 Arduino UNO .....	64
Figura 5. 42 Conexionado de NTCs a Arduino .....	64
Figura 5. 43 Conexionado de la parte de potencia de Arduino .....	65
Figura 5. 44 Diagrama de flujo del funcionamiento de nuestro control electrónico. .....	66
Figura 5. 45 FAIRCHILD SEMICONDUCTOR FDN360P.....	67
Figura 5. 46 FAIRCHILD SEMICONDUCTOR FDV301N .....	68
Figura 5. 47 Conexionado de los MOSFET con Arduino .....	68
Figura 5. 48 Detalle Conexionado de los MOSFET con Arduino .....	69
Figura 5. 49 Circuito NTCs en Kicad .....	71
Figura 5. 50 Diseño Placa PCB de las NTCs.....	72
Figura 5. 51 Placa PCB de NTCs en 3D.....	72
Figura 5. 52 Circuito de MOSFETs en kicad.....	73
Figura 5. 53 Diseño placa PCB de los MOSFETs.....	73
Figura 5. 54 Placa PCB de los MOSFET en 3D .....	73
Figura 5. 55 TRACOPOWER TML 40252C.....	74
Figura 5. 56 Distintos tipos dentro de la propia fuente y selección.....	75
Figura 5. 57 Dimensiones del TML 40112C.....	75
Figura 5. 58 Pines de la fuente .....	76
Figura 5. 59 Código Arduino (1).....	77
Figura 5. 60 Código Arduino (2).....	78
Figura 5. 61 Circuito linealizador con Arduino (1).....	79
Figura 5. 62 Circuito linealizador y Arduino (2) .....	79
Figura 5. 63 Sin tocar NTC (1).....	79
Figura 5. 64 Tocando NTC, valor medio (1) .....	79
Figura 5. 65 Tocando NTC, valor máximo (1) .....	79
Figura 5. 66 Sin tocar NTC (2).....	80
Figura 5. 67 Tocando NTC, valor medio (2) .....	80

## INDICES

Figura 5. 68 Tocando NTC, valor máximo (2) .....	81
Figura 5. 69 Imagen general primer montaje .....	81
Figura 5. 70 Circuito Sensores.....	82
Figura 5. 71 Circuito de potencia (1) .....	82
Figura 5. 72 Circuito de potencia (2) .....	83
Figura 5. 73 Conexiones con Arduino .....	83
Figura 5. 74 Circuito completo.....	84
Figura 5. 75 Funcionamiento del sistema, Pad apagado .....	84
Figura 5. 76 Funcionamiento del sistema, Programa.....	85
Figura 5. 77 Funcionamiento del sistema, Pad encendido .....	85

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla de diferencias entre posibles elementos calefactables alimentados a DC y AC.....	17
Tabla 2 Compuestos orgánicos que pueden utilizarse como PCMs [16] .....	29
Tabla 3 Compuestos orgánicos que pueden utilizarse como PCMs [16] .....	29
Tabla 4 Compuestos inorgánicos que pueden utilizarse como PCMs[16] .....	31
Tabla 5 Compuestos inorgánicos que pueden utilizarse como PCMs [16] .....	31
Tabla 6 Comparación entre materiales orgánicos e inorgánicos. [16] .....	32
Tabla 7 Propiedades de distintas parafinas lineales. [15] .....	33
Tabla 8 Temperaturas de Figura 5.10 .....	39
Tabla 9 Propiedades del material obtenido para las pruebas .....	41
Tabla 10 Resultados de temperaturas a la salida del horno (1) .....	41
Tabla 11 Resultados de temperaturas a la salida del horno (2) .....	42
Tabla 12 Resultados de temperaturas a la salida del horno (3) .....	42
Tabla 13 Resultados de temperaturas a la salida del horno (4) .....	42
Tabla 14 Resultados de temperaturas a la salida del horno (5) .....	43
Tabla 15 Resultados de temperaturas a la salida del horno (6) .....	43
Tabla 16 Resultados de temperaturas a la salida del horno (7) .....	43
Tabla 17 Resultados de temperaturas a la salida del horno (8) .....	43
Tabla 18 Resultados de temperaturas a la salida del horno (9) .....	44
Tabla 19 Tipos de Large CMY.....	48
Tabla 20 Secciones comerciales que aparece en la ITC-BT-19 para conductores de cobre. ....	56
Tabla 21 Valores del fabricante relación resistencia-temperatura del NTC .....	59



## 1. RESUMEN

El descanso es una de nuestras principales necesidades y en muchos casos, de nuestras aficiones. Todos sabemos que, si durante nuestro periodo de descanso no lo hacemos correcta o satisfactoriamente, esto puede influir en nuestras acciones futuras, así como, por ejemplo, nuestra eficacia en el trabajo, en nuestra vida cotidiana, es por esto por lo que es muy importante alcanzar nuestro objetivo de un descanso propicio.

El sueño ocupa un tercio de nuestras vidas, para llevarlo a cabo correctamente se desarrolla un sistema que trata de suprimir esas circunstancias que obstaculizan nuestra meta, siendo éstas, frío o calor, dependiendo de la estación o la persona. Para solventar dichas circunstancias, se desarrolla un sistema, que contará con una novedad en su composición frente a la mayoría de productos de este mismo mercado, ésta es la aparición de una parte química, además de una parte electrónica. Es esta combinación la que conforma nuestro sistema innovador

En primer lugar, está la cara A del colchón, cuyo uso será para las noches cálidas. Ésta estará compuesta por micropartículas PCM en sus fibras, las cuales mediante la reacción química que se produce a causa de sus propiedades, absorberán o cederán energía calorífica, en base a la temperatura del cuerpo que este en contacto con dicho colchón. Estas PCM estarán distribuidas por todo el colchón y además su acción es individual, por lo que no importa en qué zona esté el cuerpo del usuario, siempre que haya un cuerpo sobre el colchón, las PCM realizarán su cometido. El compuesto por el que estarán formadas dichas micropartículas será, n-Eicosane y la razón por la que se eligió este compuesto es por su punto de fusión, el cual es de 36.7°C, que es muy próxima a la temperatura a la que se encuentra un cuerpo humano en confort térmico.

Mientras que, en segundo lugar, está la cara B del colchón, diseñada para las frías noches de invierno. En ella tenemos un sistema de pads electrotérmicos que, en esencia, son resistencias, las cuales, mediante unos sensores, que medirán distintas temperaturas, y un sistema de MOSFETs controlados mediante Arduino, activarán o no dichos pads. Entonces se calentará el pad electrotérmico que sea preciso, se dará así la temperatura que precise el cuerpo del usuario y así alcanzará un estado de confort térmico.

## 2. ABSTRACT

Resting time is not only one of our main needs but also a hobby, in many cases. As we all know, if we do not get adequate sleep, it can have negative effects on our future actions, like our efficiency at work. Therefore, it is vital to have a good night's rest.

Consequently, it has been developed a system that tries to remove some circumstances which prevent us from reaching our objective: staying well-rested. These circumstances are "heat and cold", and they depend on someone's temperature or the time of year. The system includes a chemical part as well as an electronic circuit. This makes it more innovative than other competitors within the same market or sector.

Firstly, we find the A side of the mattress created for warm nights. It will be made up of PCM microparticles which allow heat energy to be transferred and returned according to the person who is in contact with. No matter where the body is, PCM will be distributed over the whole mattress and its function is individual. So, it will work as long as there is a body on top of the mattress. Conversely, N-Eicosane will compose these microparticles. The reason why I chose this is its melting point: 36.7°C, which is close to the human ideal temperature.

Secondly, there is the B side of the mattress created for cold winter nights. This is a thermo-electric pads system. It consists of resistances that measure different temperatures through some sensors. In addition to this, there is a MOSFET system controlled by Arduino. This system will decide whether or not to activate PADS in order to provide the temperature which the user needs. That is how we ensure thermal comfort.

### 3. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, el ser humano ha buscado la manera más adecuada de realizar un descanso cómodo, reparador y completo. Con el paso de los años se ha mejorado considerablemente la calidad de esta "acción" a causa de los numerosos estudios y avances sobre los materiales en los que se realiza el descanso.

A día de hoy los colchones se realizan con la máxima calidad y confort para garantizar un descanso reparador,[1] para que esto sea posible, se pretende hacer desaparecer casi cualquier objeto el cual pueda producir la más mínima sensación de incomodidad, como por ejemplo los muelles, los cuales ya no aparecen en casi ninguno de los nuevos colchones, pues la gran mayoría son, entre otras, de la tecnología textil "viscoelástica", en la cual no poseen muelle alguno.

Hasta hace unos años se pensaba que, en lo referente a la industria textil, casi todo estaba inventado. Hoy en día nos vemos sorprendidos casi a diario con la aparición de nuevos productos que están situando a esta industria como una de las punteras y pioneras en desarrollos tecnológicos. Con estos avances y nuevos productos nos referimos a las llamadas "prendas inteligentes", las cuales se caracterizan por llevar en sí mismas, determinados elementos o sistemas que les permiten reconocer con cierta autonomía las necesidades del cuerpo en función de las características del entorno. Pero a pesar de las buenísimas expectativas que han generado estos nuevos productos, muchos todavía están en fase de experimentación, aunque otros ya son una realidad [2].

Uno de los principales puntos pendientes que están en proceso de estudio es, en lo que al descanso se refiere, la sensación térmica. A día de hoy la principal solución es instalar un sistema de aire acondicionado, mediante el cual podemos regular la temperatura de nuestra habitación según nuestras preferencias. Según los estudios realizados y como refleja en el artículo del colegio profesional de fisioterapeutas de la comunidad de Madrid, la temperatura ideal para realizar un descanso reparador ha de ser de entre 18°C y 20°C, ya que un entorno demasiado caliente o demasiado frío puede influir negativamente en la calidad del sueño, provocando continuos despertares o dificultades para dormirse[3].

Como solución alternativa a estos "entornos" demasiado calientes o demasiado fríos se están desarrollando algunos colchones o cubre colchones, que, dependiendo del material y las características de las materias que lo componen, pueden calentarse y enfriarse, ya sea por que puedan conducir la electricidad o que, entre otras posibilidades, dispongan de micropartículas PCM (Phase Change Material), las cuales contribuyen a lograr un cierto aislamiento de su portador frente al calor o el frío[2].

Ya existen algunas empresas que han desarrollado productos similares, como un equipo de murcianos[4], los cuales han desarrollado un colchón refrigerante para las noches de calor. También se han realizado estudios sobre colchones calefactables, cuya función principal es la de calentar, aunque del mismo modo, según la configuración establecida, puede ser empleado para usos terapéuticos de relajación muscular, pero a la hora de poder habilitar esta funcionalidad, se hicieron estudios sobre las respuestas fisiológicas a la aplicación de calor terapéutico, para estudiar las distintas zonas del cuerpo en las que se puede aplicar unas temperaturas u otras [6].

### 3.1. MOTIVACIÓN

El descanso es una de las acciones más importantes en nuestra vida y a menudo es menospreciado cuando se habla de salud. Realizar un descanso correcto es imprescindible para mantener cuerpo y alma en buen estado durante toda la jornada, pues un sueño de mala calidad o corto nos puede llegar a producir un malestar generalizado que nos perseguirá a lo largo de todo nuestro día.

Alguna vez en nuestras vidas hemos tenido los síntomas de no haber tenido un sueño placentero y eso nos hace estar, cansados, de mal humor y a menudo hace empeorar nuestra presencia con la típica hinchazón de ojos, signos de expresión marcados e incluso palidez.

A día de hoy la tecnología de descanso ha avanzado bastante con respecto a años anteriores, los muelles, el látex, la viscoelástica, son las mejoras que poco a poco se han ido descubriendo, incorporando y sustituyendo en los colchones, lo que proporcionó una considerable mejora en lo que al descanso se refiere.

Pero hay una característica la cual todavía no ha sido apenas estudiada y por consiguiente tampoco ha sido implantada, que es además un punto importante para lograr un descanso más placentero, la sensación térmica.

Como sabemos la única forma de lograr una comodidad térmica es mediante las prendas de ropa o mediante un sistema de aire acondicionado o calefacción. Pues ante esto se plantea una nueva solución, y si pudiésemos realizar un sistema el cual controlase la temperatura corporal del usuario por medio del contacto.

Mi sistema consiste en un material que por medio de un proceso químico realiza un intercambio de calor o frío, dependiendo de la temperatura del usuario, mediante unas partículas que están introducidas en el propio colchón o en la propia ropa de cama, como podría ser un cubre-colchón.



Se presenta una idea innovadora la cual puede aportar un plus en cuanto al valor del producto ya existente en el mercado y que, debido a la gran cantidad de competidores existentes y a la sencillez del producto, ha quedado saturado, llegando a un punto en el que, desde un punto de vista funcional, las mejoras o avances no son suficientemente sustanciales para el individuo.

## 3.2. OBJETIVOS

El objetivo principal es llegar a desarrollar la combinación de tecnología textil, con la tecnología adecuada para realizar las variaciones de temperatura correspondientes y necesarias para lograr un confort completo por parte del individuo, incluyéndose la posibilidad de poder añadir al colchón, a gusto del usuario, un calor adicional, es decir, calentar la cama. Nuestro sistema estará conformado por dos partes, plenamente diferenciadas, una parte química, que designamos como cara A, en una cara del colchón y una parte electrónica, en la otra cara del colchón, designada como cara B.

La cara A del colchon, se utilizará en verano, se regirá por el funcionamiento de las microparticulas PCM, éstas, de manera automática, llevarán a cabo un control de la temperatura del usuario, controlando las fluctuaciones de temperatura del cuerpo para que dicho cuerpo, ni sienta frio, ni tenga que llegar a la sudoración.

Por otro lado, la cara B, que será utilizada para las noches de invierno, se basará en un control de temperatura regido por una placa controladora, que administrará el suministro de tensión o no, a tres pads electrotérmicos, en base a los datos obtenidos por unos sensores de temperatura. Estos pads electrotérmicos calentarán tres zonas diferentes: cabeza, torso y piernas y pies.

## 4. ESTADO DEL ARTE TEXTILES Y TECNOLOGÍAS ELECTROTÉRMICAS

En el objetivo de conseguir la sensación térmica deseada, muchas de las soluciones o son muy costosas o son poco eficientes u otros casos en los que éstas no son aplicables. He aquí un estudio sobre las distintas posibilidades existentes en este campo.

### 4.1.1. *Evolución histórica*

Antaño, en tiempos de la antigüedad, los hombres y mujeres primitivos, se acomodaban en lechos de hojas secas, pieles o cualquier otro material el cual les aislara del suelo y les sirviese para sentirse mínimamente cómodos, dormían todos juntos para, de esta forma, combatir el frío.

Sobre el siglo IV a.c. en la cultura egipcia se descubrieron los beneficios que acarrea el elevar una estructura en forma de cama, ésta tenía un rebuscado pie decorado con tallas y un simple apoyo en la zona de la cabeza.

Años adelante, esta vez los griegos, antepusieron la belleza a la comodidad, desechando los colchones y en su lugar, fabricando piezas de madera, piedra o mármol a las que únicamente les añadían una sencilla estructura de muelles, que estaba conformada por tiras de cuero entrelazadas y telas.

Por otro lado, las camas romanas se caracterizaban por una enorme sencillez, se recuperó el colchón y además se mejoró, se añadió paja como relleno, la cual fue sustituida más adelante por lana de Mileto y finas plumas de ave con las que se rellenaban las almohadas. Cabe destacar que en esta época el colchón tenía gran relevancia en cuanto a las reuniones que se sucedían, pues además de ser utilizado para dormir, también era utilizado para recibir visitas o tumbarse en él mientras se comía.

Durante los siglos XII y XIII, casi todos los castillos o mansiones señoriales contaban con camas, pero no se empezó a hablar de dormitorio como tal hasta el siglo XVIII, que fue el siglo en el que los franceses introdujeron el armazón de hierro, un poco más adelante, sobre el 1830 en Inglaterra aparecieron las primeras camas de latón, las cuales perduraron hasta el siglo XIX.

Si pasamos a hablar fuera de Europa podemos destacar, los maoríes neozelandeses dormían en camas hechas a base de corteza de madera, por otro lado, los japoneses tenían colchones rellenos de algodón los cuales apoyaban directamente sobre su suelo de tatami.

En cuanto al continente americano, existían dos elementos básicos para dormir los cuales todavía persisten a día de hoy, éstos son la hamaca y el petate. La hamaca está conformada por una red o tela, la cual describe un lecho colgante, mientras que el petate designa una estera hecha de tiras entretrejidas de hojas de palma que sirve para sentarse y acostarse sobre ella.

A mediados del siglo XIX, sobre el año 1850, aparece el muelle cónico, el cual se introdujo el colchón, dando paso al nacimiento del colchón de muelles actual, el cual ha ido evolucionando con el paso del tiempo.

Más adelante, en la década del 1930 apareció el colchón de látex, pero su uso se vio acotado a costa de su elevado precio en relación con el colchón de muelles. Aparecieron también otros materiales como la goma espuma de poliuretano y en la década de los 50 se utilizó mucho el colchón de picado de espuma.

En las últimas décadas se ha ido generalizando el uso del colchón de látex, pero también hay que nombrar que hay dos tipos de látex, uno 100% sintético hecho a raíz de un derivado del petróleo y otro 100% natural, fabricado a partir del árbol del caucho.

Hasta la década de los noventa la elección del colchón se basaba en la adaptabilidad del látex y la firmeza de los muelles, pero desde hacía un tiempo se empezaba a conocer un nuevo material estudiado en la NASA, el viscoelástico, el cual ayudaba a reducir las presiones en el cuerpo, además de otras características como su buena adaptabilidad y la involucencia que aporta al cuerpo durante el sueño.

Actualmente los colchones están buscando ser creados por materiales más sostenibles, en algunos laboratorios europeos se han eliminado hasta un 30% de los componentes derivados de petróleo, lo cual presenta una amplia acogida, pero todavía no termina de acomodarse en los hogares al 100%.

De cara al futuro, parece ser que las camas y colchones venideras deberán de cumplir los requisitos de la nueva ecología industrial, el "cuanto más barato mejor" será sustituido por el "cuanto más sostenible mejor", pero con el avance imparable de la tecnología a día de hoy seguro que aparecerán colchones capaces de realizar de nuestro sueño, una experiencia perfecta[7].

### *4.1.2. Confort*

El término confort es de hecho un galicismo que puede ser sustituido por el de bienestar, aunque este parece ser más amplio y relacionado directamente con la salud. La Organización Mundial de la Salud define, salud como el estado de completo bienestar físico mental y social del individuo y no solamente la ausencia de afecciones o

enfermedades. Por otro lado, entendemos por confort al estado físico y mental en el cual el hombre expresa satisfacción con el medio ambiente circundante. Como se puede apreciar no existe diferencia significativa entre las dos definiciones sin embargo conceptualmente la primera se refiere a un estado temporal más amplio y además abarcando aspectos que no son considerados por el segundo[8].

El desarrollo individual y social está fuertemente vinculado con el nivel de confort que brinda el hábitat donde se vive. El hábitat es el lugar que ofrece condiciones apropiadas para que viva un individuo y su comunidad, refiere a los factores que intervienen en un territorio: lo construido, el ambiente natural y las relaciones que en él se expresan y desarrollan. No es una mera idea teórica, sino una necesidad que hace a la salud física, psíquica y social.

Se considera confort al estado de bienestar físico, mental y social. Éste depende de factores personales y parámetros físicos que permiten o no que las personas se encuentren bien. Los límites de las condiciones de bienestar varían según edad, sexo, estado físico, aspectos culturales, modos de vida, prácticas cotidianas, actividad que desarrollan, la ropa usada, acostumbramiento a determinado clima o condición, etc.

Por lo tanto, es difícil fijar estándares porque los requisitos que debe reunir el ámbito urbano para que pueda calificarse de satisfactorio dependen de esas variables, no obstante, pueden establecerse parámetros de mínima, que de no cumplirse afectan el bienestar y el desarrollo humano.

Una de las necesidades fisiológicas más importantes del individuo, es mantener el balance entre el calor producido o ganado y el desprendido por el cuerpo humano que normalmente tiene entre 36.5°C y 37°C de temperatura. De no mantenerse en ese rango se pueden llegar a presentar, de acuerdo a la gravedad del desbalance, complicaciones en la circulación, coma e incluso en casos extremos, la muerte.

El cuerpo humano se adapta al medio hasta un cierto límite, superado el cual una forma de atender los requerimientos higrotérmicos es mediante el uso de acondicionamiento convencional, pero no es lo ideal porque conduce a un derroche de energía no renovable y contaminante, es caro y no siempre se consigue un real confort.

Desde el punto de vista bioclimático, varios autores han estudiado los límites de las condiciones en las cuales una persona se encuentra confortable, combinando principalmente humedad, temperatura y en algunos casos viento[9].

#### 4.1.2.1. Respuestas fisiológicas a la aplicación de calor terapéutico.

Desde hace siglos se sabe que el calor aplicado al cuerpo tiene un gran número de beneficios terapéuticos: los baños de agua caliente son muy relajantes, el calentar una cierta área del cuerpo provoca una aceleración en el metabolismo, produciendo vasodilatación e incremento en el flujo sanguíneo, lo que resulta benéfico para piel dañada, además también existen otros beneficios al cuerpo que surgen de la aplicación de calor:

- Produce un aumento de la circulación sanguínea y linfática.
- Aumenta la flexibilidad del tejido colágeno, por lo cual disminuye la rigidez articular.
- Alivia el dolor.

Pero como podemos observar en la Figura 4.1 hay zonas del cuerpo donde la aplicación de calor es aconsejable, y hay otras zonas en que es más crítica y debe precisarse.[6]

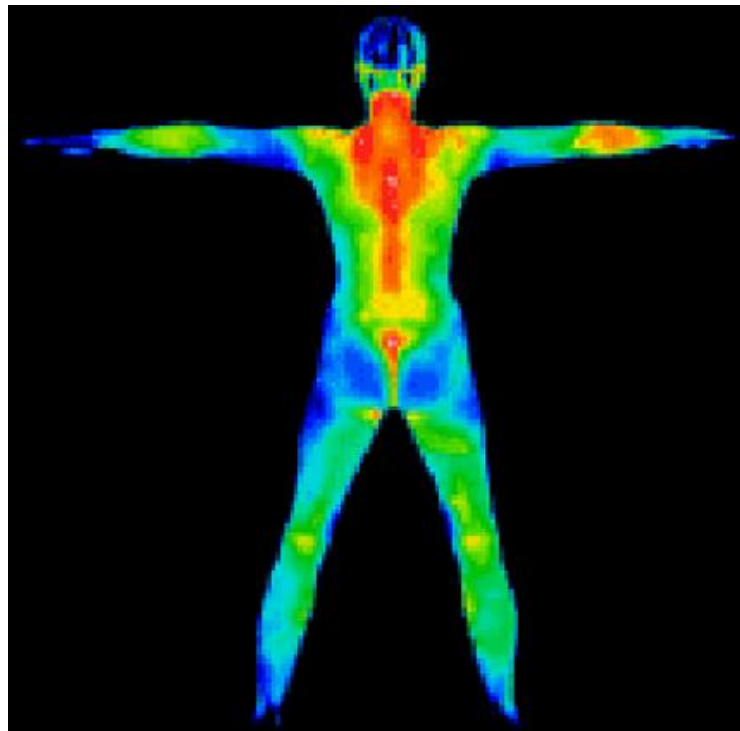


Figura 4. 1 Termografía del cuerpo humano [6].

#### ***4.1.2.2. Seguridad***

Esta aplicación requiere un cierto grado de seguridad al haber contacto directo con el cuerpo humano y al aplicar tensión eléctrica en el sistema.

Por una parte se requiere seguridad en el textil electrotérmico; el uso de un textil capaz de permitir el paso de corriente eléctrica a través de él, obliga a que se integre una capa de textil o material aislante adicional en la parte de contacto con la piel, de esta forma se asegura que no hayan posibles fugas de corriente a través del cuerpo humano cuando este entre en contacto con el textil electrotérmico, poner esta capa de protección también asegura que no se generen arcos voltaicos entre el textil electrotérmico y la piel.

Por otro lado, esta aplicación hace uso de electricidad y componentes electrónicos, es un sistema que estará al alcance de las personas y utilizará mismamente el paso de corriente eléctrica cerca del cuerpo humano. La ley obliga, según REBT MIBT-21/2.2, en productos con circunstancias de uso como las de la aplicación, que se limite la tensión eléctrica de uso para evitar daños en la persona si hubiera posibles fugas no deseadas de corriente eléctrica, la limitación es de hasta 24V DC en emplazamientos húmedos y de hasta 50V en emplazamientos secos, tanto para corriente continua como para corriente alterna esta con la condición de ser aplicada a 50Hz. La tensión con la que se alimentará todo el sistema será de 12V, tanto la electrónica de control como los actuadores electrotérmicos textiles[6].

#### ***4.1.3. Estudio de Textiles Tecnológicos***

A continuación, vamos a realizar un estudio por los diferentes tipos de textiles que existen actualmente y que están siendo utilizados hoy en día para la fabricación de colchones o material de confort o en su día se realizó un análisis sobre sus posibles usos en este sector. Podemos diferenciar dos campos principales:

- Textiles electrotérmicos
- Textiles inteligentes o Smart textiles

##### ***4.1.3.1. Textiles Electrotérmicos***

Los textiles electrotérmicos son textiles cuyas propiedades han sido modificadas en su fabricación para obtener de este modo un producto con funcionalidades térmicas. Estos textiles se clasifican según su conductividad, pero cabe destacar que, cuanto más conductor sea un material textil, al mismo tiempo tendrá peores características electrotérmicas, puesto que tiene que conducir la corriente sin fricciones de los electrones en él.

Para realizar el estudio de estos materiales se han seleccionado 4 tipos de textiles electrotérmicos diferentes con el fin de encontrar el textil que más se ajuste a nuestras necesidades en términos de calor-potencia eléctrica, éstos son:

- Tejido de calada con hilos de Fibra de carbono.
- Tejido calada poliéster bañado con Polímero conductor.
- Tejido de punto con mezcla de Poliéster/Acero Inox.
- Hilo de Cobre/Aramida bordado.
- Non-Carbon Fiber Electrical Heating Textile, CMY

Se han encontrado pruebas realizadas con cada uno de ellos [6] se realizaron pads de 50x90 cm para los 4 primeros tipos de textil, mientras que para el ultimo se realizaron pruebas con diferentes medidas[10]. Se cosió un electrodo de metal que aguanta una circulación de corriente a través de él de hasta 10A en cada lado del pad para, de esta forma, conseguir un buen contacto con la fibra, entonces a través del pad se hará circular corriente eléctrica para conseguir efecto de calor.

En los análisis pertinentes se estudiarán diferentes propiedades:

- Resistencia a altas temperaturas
- Relación Temperatura/Potencia eléctrica
- Variación de resistencia eléctrica al producirse cambios en su forma
- Flexibilidad y textura textil

Para que las pruebas se realicen por igual en cualquiera de los tejidos se establecen unos mismos criterios y condiciones.

- Se aumenta la tensión eléctrica entre electrodos para obtener una relación de temperatura-potencia.
- Temperatura ambiente de 23°C
- Con la persona en contacto, se mide la temperatura sobre la superficie[6].

#### *4.1.3.1.1. Tipos de Textiles Electrotérmicos*

- **Tejido de calada con hilos de fibra de carbono**

Este tejido es un material con un coste elevado y además hay un número reducido de proveedores. Tienen un coeficiente de temperatura positivo, lo que quiere decir que aumenta su resistencia eléctrica al aumentar su temperatura, lo que produce que el propio material limite el paso del corriente eléctrico a través de él cuando llega la su temperatura a un valor determinado.

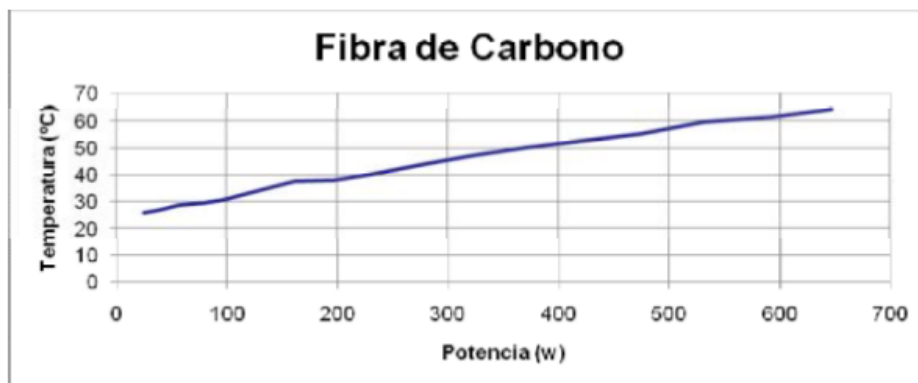


Figura 4. 2 Respuesta de calor de Fibra de carbono. [6]

- Resistencia eléctrica=0,5 Ohms
- Resistencia eléctrica textil arrugado=0,1 Ohms

Tras el estudio que se realizó se llegó a la conclusión de que, al ser un textil muy conductor, necesita una alta tensión para calentarse y por consiguiente necesitará una elevada potencia eléctrica, como vemos en la Figura 4.2, tiene una alta resistencia a altas temperaturas, es poco sensible a los cambios de forma en resistencia eléctrica lo cual presenta una ventaja pues mantiene un buen control del mismo aun cuando se realizan cambios en su forma, arrugas, dobleces etc [6].

- **Tejido de calada poliéster bañado con Polímero conductor**

De nuevo estamos ante un tejido de un coste elevado y que tampoco presenta unos proveedores considerables, pero cuenta con la posibilidad de poder ser fabricado por uno mismo. Cuenta con un coeficiente de temperatura positivo, pero pierde sus propiedades conductoras después de varios lavados.

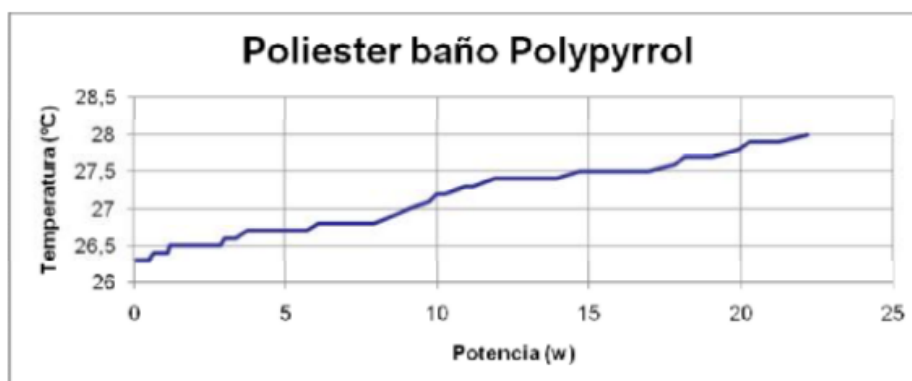


Figura 4. 3 Respuesta de calor de Poliéster bañado de Polypirrole [6]

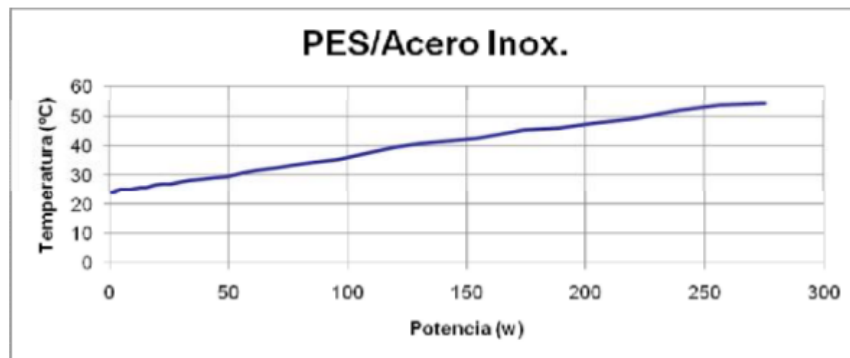
- Resistencia eléctrica=191,6 Ohms
- Resistencia eléctrica textil arrugado=25,5 Ohms



Para este textil, los resultados fueron diferentes, éstos nos informaron de que es un textil muy aislante, casi hasta el punto de no conducir la electricidad, ya que la fricción entre electrones es mínima, lo que produce que el material se caliente muy poco como podemos apreciar en la Figura 4.3, además, produce arcos voltaicos al necesitar una tensión entre electrones muy elevada para poder llegar a generar un mínimo de calor y por último en cuanto a resistencia eléctrica es sensible a las variaciones de ésta cuando se producen cambios de forma en el mismo[6].

- **Tejido de punto con mezcla de Poliéster/Acero Inox.**

Nos encontramos ante un textil que ofrece la posibilidad de diferentes estructuras o ligamentos. En este caso el coeficiente de temperatura es negativo, lo cual hace que baje su resistencia eléctrica al aumentar su temperatura, este efecto hace que el material se vaya calentando cada vez más al ir subiendo su consumo en función del tiempo y con una misma tensión aplicada constantemente, por tanto, es importante controlar su temperatura con más relevancia que un textil con coeficiente positivo, pues éste se auto limita en un valor determinado de temperatura.



*Figura 4. 4 Respuesta de calor de PES / Acero Inox [6]*

- Resistencia eléctrica=16,5 Ohms
- Resistencia eléctrica textil arrugado=5 Ohms

En este caso nos encontramos ante un tejido muy conductor, como vemos en la Figura 4.4, pues con una potencia reducida, alcanza de sobras la temperatura deseada, aguanta temperaturas de hasta 100°C sin afectar a sus propiedades textiles o electrotérmicas. También decir que es un material sensible en cuanto a resistencia eléctrica frente a cambios de formas del mismo[6].

- **Tejido de Hilo de cobre/aramida bordado.**

Tejido muy resistente a temperaturas de hasta 400°C, además de contar con una gran resistencia mecánica y térmica. Ofrece posibilidad de infinidad de diseños,

en los que el riesgo de rotura es muy bajo y cuenta con un coeficiente de temperatura negativo.

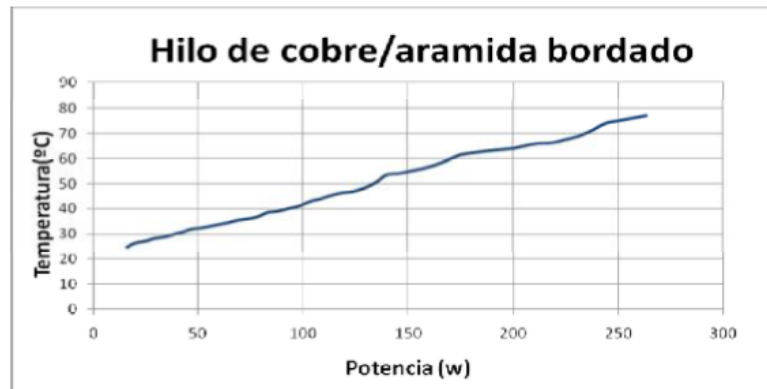


Figura 4. 5 Respuesta de calor de Hilo de cobre/aramida bordado [6]

- Resistencia eléctrica=8,75 Ohms
- Resistencia eléctrica textil arrugado= 10 Ohms

Por último, este textil, cuya temperatura es la más elevada cuando aplicamos calor de manera homogénea a todo el textil acorde a la Figura 4.5, a causa de esto es necesario poner otra capa de material textil encima del electrotérmico para que, de esta forma, se aislen los posibles excesos de temperatura que se acumulen en el hilo y así conseguir un mayor efecto homogéneo. Además, el coste de este material es relativamente bajo y frente a otros materiales o compuestos es mucho más eficiente, pero como desventaja aparece su fragilidad, pues en caso de quedarse de manera homogénea sin energía, puede romperse el hilo conductor en cualquier parte del recorrido [6].

- **Non-Carbon Fiber Electrical Heating Textile, CMY**

Este textil es un sistema de calefacción eléctrica de nueva generación que está especialmente diseñado para la calefacción móvil, el ahorro de energía y además cumple requisitos orientados a la seguridad con energía de CC. El conjunto está conformado por un hilo conductor el cual es introducido en el elemento textil, este hilo conductor es muy fuerte y muy fino, el grosor de éste puede variar, llegando a ser el menor grosor de 0.27mm [11]. Dicho hilo conductor debido a su avanzado diseño puede ser fácilmente mejorado en conductividad, resistencia y resistencia térmica para satisfacer las necesidades del cliente y en este caso de las características de nuestro producto. El hilo conductor de metal está perfectamente integrado con la tela por procesos textiles, por lo tanto, a raíz de estos procesos, el textil de calefacción es superior suave, ligero, delgado y fuerte. La mayor importancia es que el textil se puede conectar por medio del conector USB o cable eléctrico

tradicional, esta conexión tiene una mayor fiabilidad y tasa de rendimiento que la fibra de carbono o el hilo de polímero de chapado de metal, el cual es ampliamente utilizado como elemento de calentamiento hoy en día.[10]

A continuación, en las siguientes figuras vemos ejemplos de este material, una pequeña parte de 5 cm de ancho, seguida de su conexión mediante USB y por último una bobina de material.

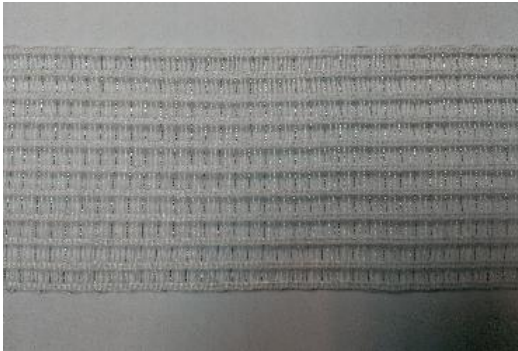


Figura 4. 6 Heating Textile [10]



Figura 4. 7 USB Heating Pad [10]

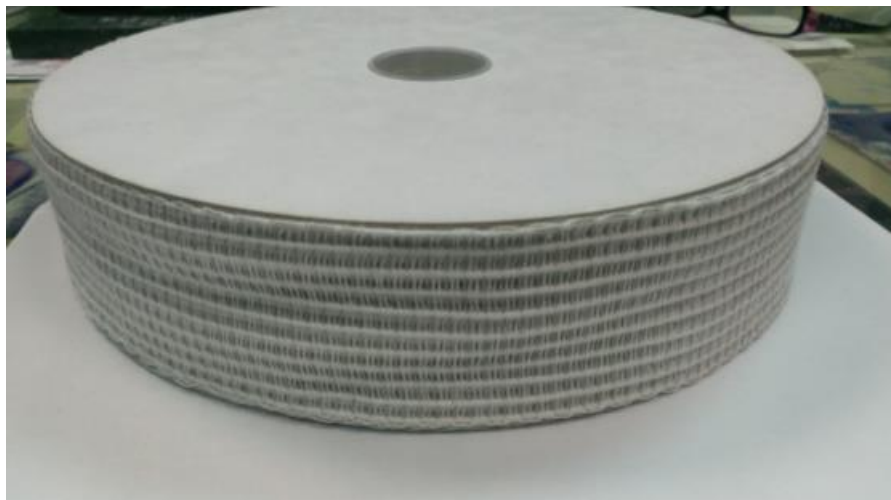


Figura 4. 8 Bobina de textil [10]

Las características de este material son las siguientes:

- Puede ser conectado mediante USB Drive suministrando a 5V
- Puede alcanzar la temperatura deseada en 5 segundos.
- Funciona mediante CC.
- Tiene una alta resistencia al contacto, incluyendo frotar y apretar.
- No se producen pérdidas de la producción.

- La temperatura de calentamiento uniforme y estable.
- Fácil de procesar y usar.
- Menor costo que otros materiales.
- Se considera material verde y cuenta con un bajo consumo de energía.

A continuación, a través de la tabla 1 se proporciona la siguiente información para facilitar la comparación entre la calefacción alimentada a DC/calefacción alimentada a AC y la eficiencia de los productos en el mercado[12].

*Tabla 1 Tabla de diferencias entre posibles elementos calefactables alimentados a DC y AC*

Heating Type	DC Power Heating	AC Power Heating
Heating Element	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Carbon Fiber/Carbon Fabric</li> <li>2. Flexible Printed Circuit Board( Film Heater)</li> <li>3. Stainless Steel Fiber</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Heating Wire</li> <li>2. Carbon Fiber/Carbon Fabric</li> </ol>
Merchandise	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Small and Medium Size Blanket</li> <li>2. Heating Pad</li> <li>3. Heating Jacket</li> </ol>	Large and Medium Size Blanket
Applied Voltage	7.5~12 Volt	110~240 Volt
Electromagnetic Radiation	Low Risk	In Doubt
Safety Design	No strict regulation needed	Need to meet strict regulation
Energy Consuming	Low	High
Weight	Light	Heavy
Retailer Price	About 80~150 USD in Taiwan	About 30~90 USD in Taiwan

Como podemos ver en esta tabla sabemos que la calefacción alimentada por DC, en comparación de la AC es más cara, pero sin embargo es mucho más segura.

En cuanto a su precio se debe a cuatro razones

- El elemento calefactor no se puede soldar directamente al cable o al PCB, y se necesita una solución de soldadura extra como el montaje en el terminal.
- El material calefactor es frágil, por lo que es necesario una solución de seguridad adicional.
- La mayoría de los fabricantes obtienen el material mediante trabajo realizado a mano o a través de equipos costosos.
- El coste de la materia prima es más alto que el alambre de la calefacción tradicional.

A continuación, se observan dos gráficos en las figuras 4.9 y 4.10 en los que podemos ver la relación Temperatura-Longitud del CMY y la Temperatura-Intensidad de corriente respectivamente, diferenciando mediante colores las diferentes posibles tensiones de entrada, 12, 24, 36.

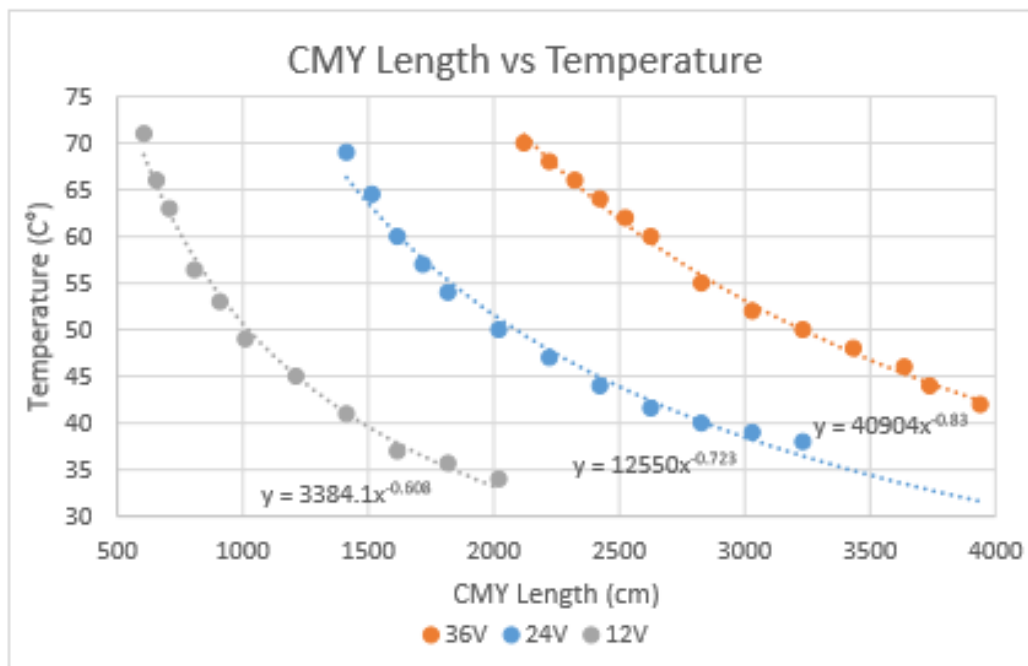


Figura 4. 9 Temperatura-Longitud del CMY

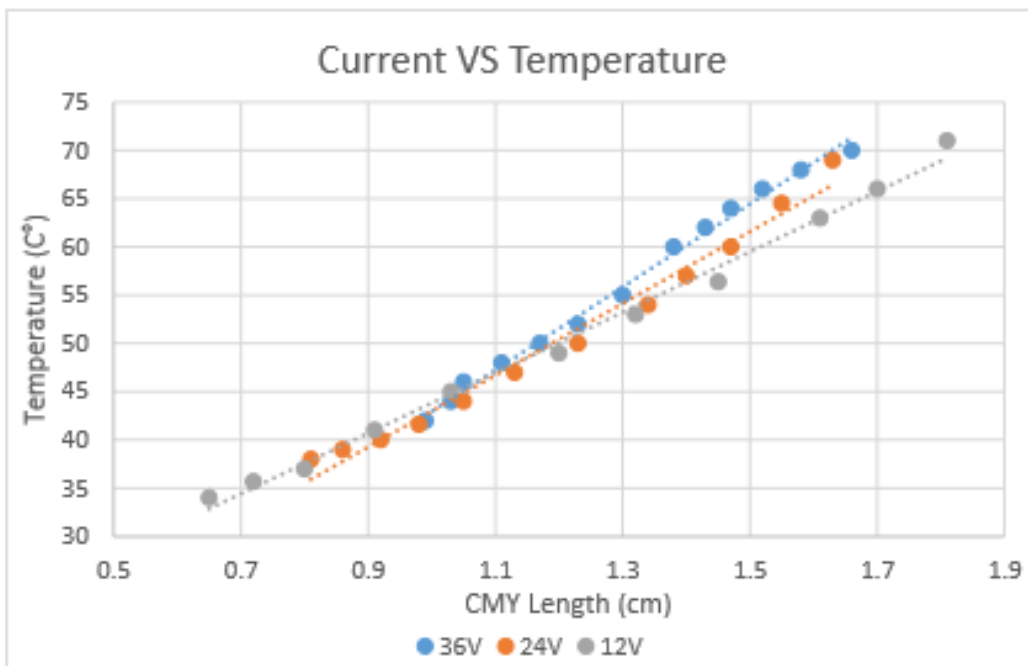


Figura 4. 10 Temperatura-Intensidad de Corriente

Por último, en la siguiente figura, vemos una imagen del propio material, en la que aparecen las distintas partes del material, así como el hilo conductor (Metal Yarn), la distancia del hilo conductor hasta el borde del textil (Sewing Edge) y, por último, también aparece indicado el ancho total de la pieza (Total Width)[12].

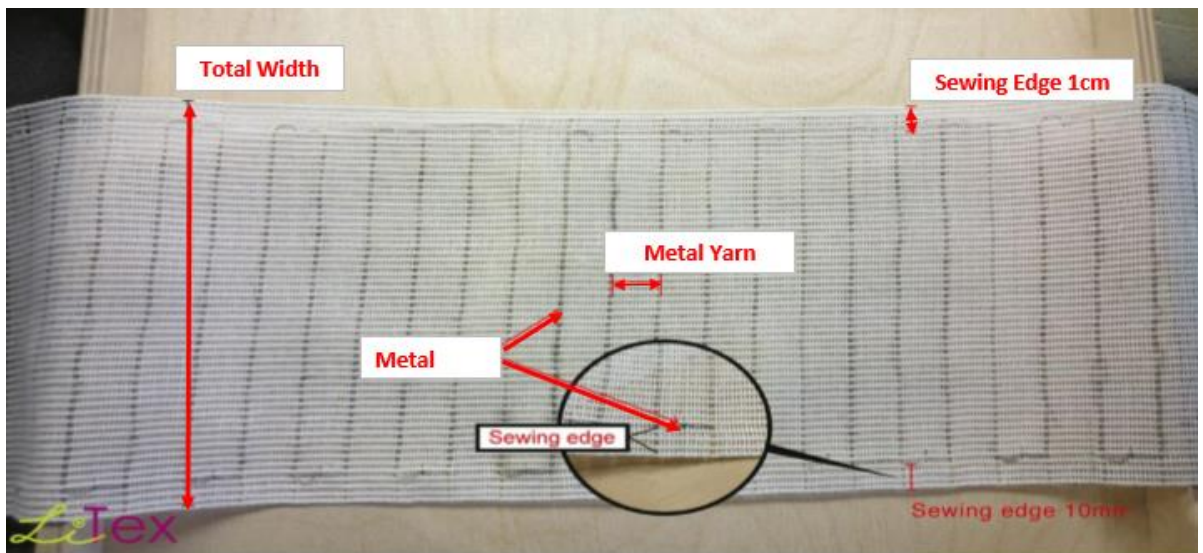


Figura 4. 11 Large CMY

#### 4.1.3.2. Textiles Inteligentes

Los textiles inteligentes o "Smart textiles" son productos, tejidos o materiales textiles que reaccionan de forma activa ante un agente o estímulo externo de tipo físico o químico,[13] principalmente con el objetivo de transferir beneficios adicionales a sus usuarios los podemos encontrar de diferentes tipos dependiendo de la funcionalidad que realicen o el estímulo al que respondan. Estos materiales se les conoce desde hace varios años, pero, aunque terminan de entrar en el mercado, debido a su elevado coste de inversión inicial, poco a poco se están haciendo un hueco, debido a sus numerosas y avanzadas características frente al producto convencional, las cuales son muy valoradas desde un punto de vista innovador.

Entre ellos hay de muchas clases y de muchos tipos dependiendo de su aplicación, su uso o su finalidad, por ejemplo, hay algunos que cambian de color, como pijamas que nos indican si un bebe tiene fiebre, otros tienen memoria de forma, como, por ejemplo, determinados materiales que actúan ante las fluctuaciones de temperatura, variando su permeabilidad para, ante una sensación térmica superior, poder permitir una mayor evaporación de la sudoración, también algunos pueden proporcionar calor o frio, dependiendo de las condiciones externas, otros pueden combatir bacterias, algunos protegen de los rayos ultravioletas, administran la distribución de medicamentos,

cosméticos, perfumes... Pero hablando en términos generales, éstos se clasifican en 3 categorías:

- Pasivos: Mantienen sus características independientemente del entorno exterior y solo "sienten" los estímulos exteriores
- Activos: Actúan específicamente sobre un agente exterior y "sienten" y reaccionan ante los estímulos exteriores.
- Muy activos: En este tipo, los tejidos adaptan automáticamente sus propiedades al percibir cambios o estímulos externo.

En cuanto a la obtención de los textiles inteligentes existen varios métodos, éstos pueden obtenerse empleando las denominadas fibras inteligentes, directamente en la fabricación del tejido, estas fibras son aquellas, las cuales pueden reaccionar ante la variación de estímulos como luz, calor, sudoración, etc, en donde se haya producido dicha variación, pero que en caso de no producirse dicho estímulo o variación, no actúe, un simple ejemplo es una fibra inteligente la cual cambia de color ante una variación de temperatura.

Otro método de obtención de estos textiles es mediante la aplicación posterior de ciertos tratamientos y/o determinados acabados sobre el tejido, los cuales produzcan los mismos o diferentes efectos que los obtenidos a partir de las fibras anteriormente citadas. En estos textiles además de tener su propio campo de investigación, sus estudios se están solapando con los de otras importantes tecnologías en creciente auge, como la microelectrónica, la informática, la nanotecnología y también los biomateriales.

Según testimonios de expertos, los textiles inteligentes pueden llegar a alcanzar un papel muy importante en muchos de los sectores más importantes de la población de hoy en día, puesto que tendrán una gran incidencia en ámbitos laborales como la seguridad, el ocio, la salud, decoración, etc [2].

#### *4.1.3.2.1. Tipos de Textiles Inteligentes*

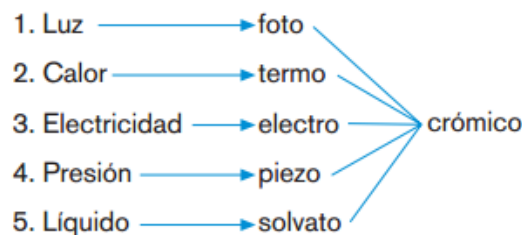
Anteriormente se han nombrado una clasificación por categorías de los distintos tipos de estos textiles, a continuación, se va a realizar una explicación detallada de cada uno de los distintos tipos de textil inteligente existentes a día de hoy.

- **Cosmetotextiles:** son textiles los cuales buscan mejorar la sensación de bienestar de la persona que los usa, además pueden ayudar a las pieles humanas, repeliendo bacterias, ayudando a prevenir infecciones de agentes externos, pero también tienen otras funciones como desprender aromas o fragancias. Las microcápsulas que contienen llevan a cabo la función de



estos microtextiles se activan al romperse ya sea por fricción, biodegradación, presión...

- **Textiles crómicos:** también se les denomina camaleónicos puesto que pueden cambiar su color a raíz de un estímulo en las conexiones exteriores. Dentro de éstos podemos establecer una clasificación dependiendo del estímulo al que respondan:



- **Textiles conductores de la electricidad:** son textiles cuyo uso principal es el de la disipación de cargas eléctrica, como, por ejemplo, las generadas por el roce entre fibras sintéticas. También se ha dicho que pueden llegar a tener propiedades antiestrés.
- **Materiales con memoria de forma:** en estos materiales, éste puede deformarse, generalmente por la acción del calor, de su forma actual hasta otra previamente fijada, aunque también hay ejemplos en los que el cambio se produce por acción magnética o de otros tipos. Estos materiales tienen un amplio abanico de aplicaciones puesto que el proceso puede ser repetido varias veces.
- **Desarrollos que incorporan la electrónica y la informática al mundo textil:** los tejidos en los cuales se ha implementado la electrónica hacen referencia a la unión de la microelectrónica y el textil a través de la incorporación de una nueva propiedad a los polímeros textiles, la conductividad. La incorporación de estos elementos a la vestimenta humana han sido claves en la tarea de sustituir las rígidas estructuras por éstas que son flexibles y en miniatura.[2]
- **Textiles con partículas PCM:** Las prendas con incorporación de microcápsulas pueden lograr aislamiento frente al frío o al calor pues son capaces de gestionar el calor corporal en función de las condiciones ambientales; absorbiendo, almacenando o liberando dicho calor. Las microcápsulas se añaden a la fibra sintética en el proceso de hilatura o durante el acabado del tejido [14].



## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

Un textil termorregulador es un textil inteligente que es capaz de reaccionar en función de la temperatura del medio externo que lo rodea. Si la temperatura externa alta, el textil provocará una sensación de frescor sobre el individuo y viceversa. De esta forma se mejora el confort térmico del individuo que esté en contacto con la prenda confeccionada con dicho textil.

En la mayoría de los casos, los textiles termorreguladores deben este comportamiento a la incorporación de microcápsulas que contienen en su interior una sustancia, la cual es capaz de "responder" adecuadamente a los cambios térmicos, ésta sustancia es denominada, agente activo. También se ha desarrollado ciertos tipos de fibras huecas que puedan contener el agente activo en su interior. Existen más de 50 materiales que han demostrado su capacidad termorreguladora, la elección entre uno u otro radica en el rango térmico a cubrir y en el sistema de incorporación al producto textil[15].

El colchón a realizar es básicamente una evolución del colchón convencional, no serán alteradas sus propiedades de comodidad como la viscosidad, elasticidad y flexibilidad, pero se le añadirán las propiedades de las partículas PCM y del textil electrotérmico con lo que podrá realizar funciones de variación de temperatura automáticas por medio del proceso químico de las PCM y mediante el textil electrotérmico, aumentar la temperatura del colchón en base a nuestra temperatura corporal.

### 5.1. DISEÑO CARA A DEL COLCHÓN

Todo el mundo ha pasado por esas noches de verano de calor inaguantable en las que por más te destapes no consigues llegar a una sensación de confort térmico en todo tu cuerpo, pues si te destapas, puede que tu parte superior del cuerpo entre en confort térmico, pero en cuanto a tu parte inferior, la que está en contacto con el colchón, esa no puedes enfriarla o al menos refrescarla y para ello recurrimos a la sudoración o nos limitamos a darnos la vuelta repetidas veces para alternar la zona del cuerpo en contacto con el colchón y eso conlleva a un descanso no profundo y en el caso de la sudoración además de un descanso no profundo, también antihigiénico.

A lo largo del tiempo han ido apareciendo sistemas de aire acondicionado, los cuales refrigeran el ambiente de nuestra habitación y con el paso del tiempo se han optimizado, así como mejorado sus características, pero siempre ha quedado sin resolver la parte del cuerpo en contacto con el colchón. A día de hoy se están estudiando nuevos materiales,

los cuales, mediante micropartículas en sus fibras, presentan la capacidad de absorber o ceder calor ante un foco emergente de energía con el que están en contacto, con lo que se solventaría el problema de, por ejemplo, tener la espalda caliente al estar ésta en contacto con el colchón. A continuación, vamos a hacer un recorrido por las partículas que se introducirán en las fibras del tejido para darle estas propiedades.

### *5.1.1. Partículas PCM (Phase Change Material)*

#### *5.1.1.1. Funcionamiento*

El microencapsulado es una técnica mediante la cual mínimas porciones de un principio activo ya sea gas líquido o sólido, son recubiertas por un envoltorio de un segundo material, que actúa como membrana, para proteger dicho principio activo del entorno que lo rodea.

Las membranas suelen ser muy finas, del orden de  $1\mu m$  de grosor, mientras que el diámetro habitual de las microcápsulas puede variar desde unas pocas micras hasta unos  $150\mu m$  aunque puede haber tamaños mayores.

Un caso particular son las prendas que incorporan microcápsulas PCM (Phase Change Material, en terminología inglesa) o Materiales de cambio de fase, las cuales contribuyen a lograr un cierto aislamiento de su portador frente al calor o el frío. Su actuación se basa en la gran cantidad de calor que, sin variar de temperatura se absorbe o cede cuando una sustancia cambia de fase, es decir, el calor latente.

Así, y en función de las condiciones ambientales, las microcápsulas incorporadas al textil son capaces de absorber, almacenar y liberar el calor corporal en función de las condiciones ambientales. Por ejemplo, cuando el cuerpo siente calor, la energía que éste desprende se utiliza para aportar el calor latente necesario para que la sustancia encerrada en las microcápsulas cambio de fase sólida a líquida, almacenando dicha energía. Cuando cambian las condiciones ambientales y el cuerpo siente frío, la energía previamente almacenada en las microcápsulas es liberada, pasando la misma sustancia del estado líquido al sólido, sin cambiar de temperatura, proporcionando así el calor necesario para que el cuerpo no se enfríe[2].

En el caso del textil, al pasar el individuo portador de la prenda de un ambiente frío a otro caluroso, experimentar una sensación de frescor debido a la absorción de calor que acompaña a la fusión del material como podemos ver en la Figura 5.1 y, al contrario, cuando pase un ambiente cálido aún no frío la solidificación del PCM liberará la energía de cambio de fase, originando en el individuo la sensación de calor, como se aprecia en la Figura 5.2[15].





Figura 5. 1  $T_{\text{ambiente}} > T_{\text{fusión PCM}}$  [15]

Figura 5. 2  $T_{\text{ambiente}} < T_{\text{fusión PCM}}$  [15]

Obviamente, si se pretende preservar indefinidamente el PCM y utilizar su efecto termorregulador en sucesivos ciclos térmicos, debe confinarse, para que no se extienda al pasar al estado líquido. Por ello, para muchas de sus potenciales aplicaciones, el agente activo se aloja en el interior de las microcápsulas recubierto por una membrana continua.

Las microcápsulas, que habitualmente son esféricas y de pequeño tamaño, ofrecen un área superficial de transmisión de calor relativamente grande, de forma que permiten una liberación uniforme y adecuada del calor generado en el interior de la microcápsula, durante el cambio de estado del material encapsulado, un ejemplo de este proceso aparece en la Figura 5.3 y una explicación a modo genérico en la Figura 5.4.



Figura 5. 3 Absorción y liberación de calor en una microcápsula PCM [15]

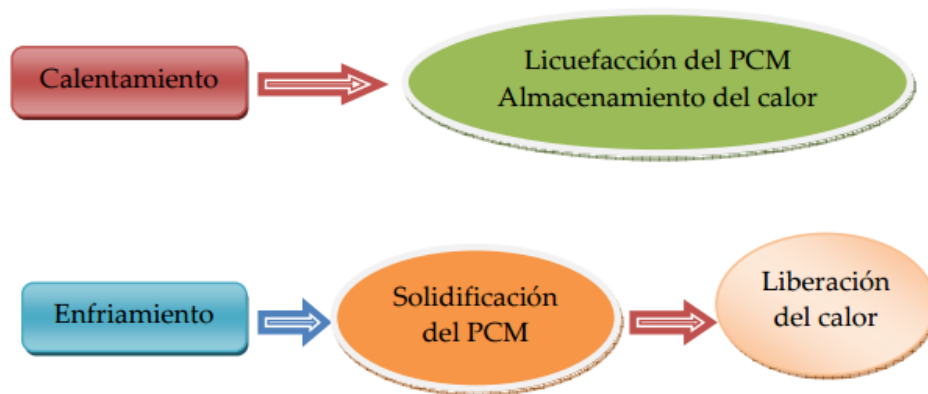


Figura 5. 4 Diagrama de actuación de PCM [16]

En cuanto al proceso de fabricación del textil termorregulador, consiste básicamente en adicionar las micropartículas PCM en la disolución del polímero antes de proceder a la extrusión de las fibras textiles, o bien, una vez confeccionada la fibra textil, aplicar las micropartículas PCM en forma de recubrimiento sobre su superficie, obteniéndose una estructura como la que vemos en la Figura 5.5.

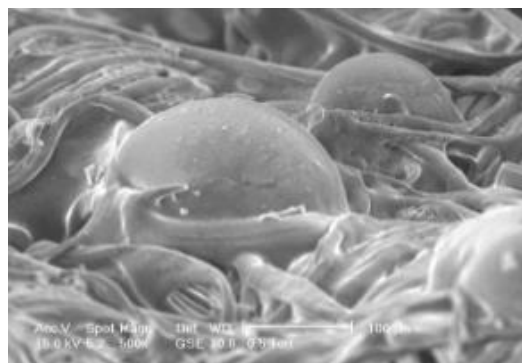


Figura 5. 5 Vista microscópica de material textil con micropartículas PCM en sus fibras [15]

Para que las microcápsulas PCM puedan ser empleadas en el sector textil, éstas tienen que tener unas propiedades características.

- **Compatibilidad:** con las fibras textiles tanto naturales como sintéticas e incorporables durante el proceso de fabricación.
- **Resistencia Mecánica:** las partículas deben ser mecánicamente estables puesto que al ser incorporadas a tejidos o prendas deportivas o de trabajo, éstas serán empleadas para actividades con gran esfuerzo físico y gran desgaste mecánico.
- **Resistencia Química:** deben ser resistentes a la acción de los detergentes u otros agentes químicos a los que se pudieran exponer.
- **Alto Calor de Cambio de Fase:** a causa de no poder incorporarse en grandes cantidades, la cantidad de calor intercambiado por partícula debe ser elevada

- **No Biodegradable:** para poder combatir la acción de hongos y bacterias que deterioran las características de la prenda o material.
- **No genere riesgos para la salud y el medio ambiente:** para que se pueda cumplir la legislación vigente en lo relativo al uso de productos químicos en la industria textil [15].

### 5.1.1.2. Tipos de PCM

En la Figura 5.6 podemos observar una posible clasificación de los materiales que pueden ser utilizados para la acumulación de energía térmica.

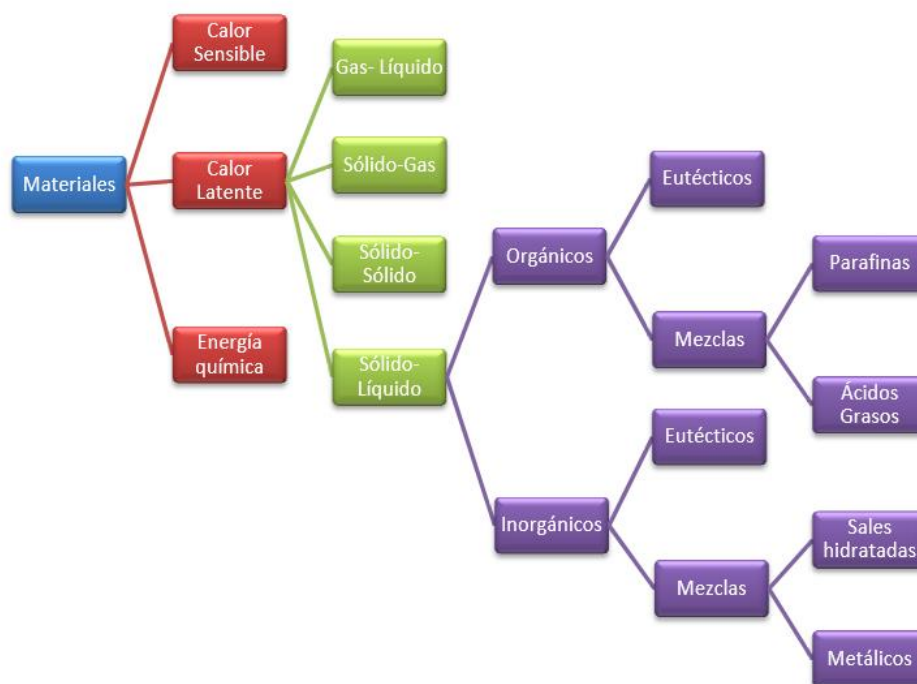


Figura 5. 6 Clasificación de los materiales que se utilizan para la acumulación de energía [16]

Principalmente los PCM se pueden clasificar en materiales orgánicos e inorgánicos y a su vez, cada uno de estos grupos puede dividirse en aquellos con propiedades eutécticas o mezclas.

Los PCM más utilizados, son aquellos denominados parafinas, el cual, aunque su coste sea altamente dependiente del precio del petróleo, las características que poseen las hacen idóneas para multitud de aplicaciones.

### 5.1.1.2.1. PCM Orgánicos

Los compuestos orgánicos son sustancias químicas basadas en carbono, hidrógeno y oxígeno y muchas veces también con nitrógeno, azufre, fósforo, boro o halógenos. Éstos destacan por las siguientes características:[17]

- Alto rango de temperaturas de fusión
- No segregación
- Químicamente estables
- Alto calor de fusión
- Seguros y no reactivos
- Compatibles con materiales convencionales en la construcción.

Entre los compuestos orgánicos utilizados como materiales de cambio de fase cabe destacar las parafinas. Las parafinas son mezclas de hidrocarburos saturados, normalmente consisten en una mezcla de numerosos alcanos obtenidos durante el proceso de refinamiento del crudo de petróleo o producidas sintéticamente mediante el proceso de Fisher-Tropsch. Después del refinamiento son un producto inodoro, insípido y no tóxico.

Su calor específico es de  $2,1 \frac{kJ}{kg} \cdot K$ , muy superior al de otros materiales utilizados como materiales de acumulación térmica, además aun siendo un material orgánico, poseen un elevado calor de fusión por unidad de peso, entre 180 y  $250 \frac{kJ}{kg}$ . La combinación de estos dos factores hace que tenga un excelente valor de densidad de energía acumulada. Consecuentemente, este material ofrece de cuatro a cinco veces mayor capacidad de acumulación por unidad de volumen o masa que el agua cuando se trabaja con bajos gradientes de temperatura.

Las parafinas son estables hasta 250°C aproximadamente y como vemos en la Figura 5.7, hay una gran diferencia con respecto a otros materiales, en cuanto a capacidad calorífica. Su viscosidad es baja en la fase líquida, además, es un líquido no polar, lo que significa que no se mezclará con otros líquidos polares como por ejemplo el agua o el alcohol. Como la mayoría de compuestos orgánicos, las parafinas tienen una baja conductividad térmica. Esto es una desventaja, que puede ser compensada aumentando la superficie de transferencia de calor en el interior del material[18].

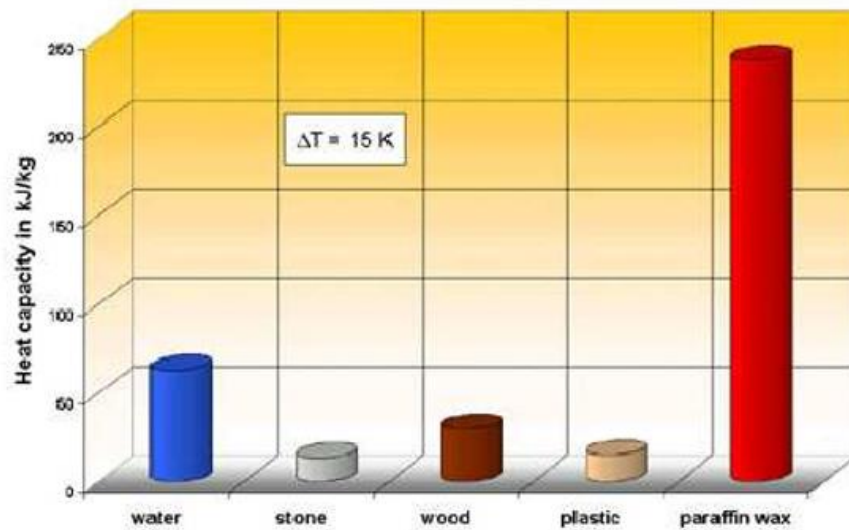


Figura 5. 7 Comparativa de la capacidad calorífica de distintos materiales [16]

La densidad de este material en estado líquido es de 750 a 850  $\frac{kg}{m^3}$ , y en estado sólido de 800 a 900  $\frac{kg}{m^3}$ , esto hace que su máximo volumen de expansión sea de aproximadamente de un 10% durante el proceso de cambio de fase, valor que se puede considerar como aceptable, si bien condiciona el dimensionado del contenedor[18].

A continuación, en las Tablas 2 y 3, podemos observar algunos compuestos orgánicos con sus respectivas propiedades termofísicas, aunque nos interesan más los de la tabla 2 pues son los que tienen puntos de fusión que están comprendidos en los que utiliza nuestra aplicación.



Tabla 2 Compuestos orgánicos que pueden utilizarse como PCMs [16]

PCM	T <sub>m</sub> [°C]	L [kJ/kg]	ρ (s/l) [kg/m <sup>3</sup> ]	λ(s/l) [W/m·K]	c <sub>p</sub> (s/l) [kJ/kg·K]
hetanone-4	-33.0	209.00	822	n.d.	2.25
n-undecane	-26.0	141.00	740	0.13	1.43/2.21
ethylene glycol	-11.5	179.00	1109	0.256	-/2.406
dodecane	-9.6	211.00	749	0.15	1.66/2.21
n-tetradecane	5.5	228.00	-/771	n.d.	-/2.21
polyglycol E400	8.0	100.80	1228/1125	0.186	n.d.
dimethyl-sulfoxide	16.5	85.78	1009	n.d.	n.d.
n-Pentadecane	10.0	205.00	-/768	n.d.	n.d.
n-Hexadecane	16.7	237.10	835/774	0.15	2.11
n-Heptadecane	21.7	213.00	-/778	n.d.	n.d.
polyglycol E600	22.0	127.20	1232/1126	0.188	n.d.
1-dodecanol	26.0	260.00	820	n.d.	-/2.36
n-Octadecane	28.0	243.00	814/774	0.15	2.16
nonadecane	32-34	222.00	785	n.d.	1.92/2.3
n-Eicosane	36.7	247.00	856/778	0.15	2.21
1-tetradecanol	38.7	205.00	858.77	n.d.	2.4/3.0
n-Heneicosane	40.2	200.00	-/756	n.d.	n.d.
n-Decosane	44.0	249.00	-/763	n.d.	n.d.
n-Tricosane	47.5	232.00	-/764	n.d.	n.d.
hexacosane	56-59	250.00	800	n.d.	1.9/2.4
heptacosane	58.8	235.00	802	n.d.	1.9/2.4

n.d. no disponible

Tabla 3 Compuestos orgánicos que pueden utilizarse como PCMs [16]

PCM	T <sub>m</sub> [°C]	L [kJ/kg]	ρ (s/l) [kg/m <sup>3</sup> ]	λ(s/l) [W/m·K]	c <sub>p</sub> (s/l) [kJ/kg·K]
octacosane	61-64	254.00	803	n.d.	1.9/2.4
nonacosane	63.2	239.00	805	n.d.	1.9/2.5
triacontane	65-67	252.00	806	n.d.	1.9/2.5
polyglycol E6000	66.0	190.00	1212/1085	n.d.	n.d.
stearic acid	67-69	203.00	941	0.17	2.35
dotriacontane	67-72	266.00	809	n.d.	1.9/2.4
biphenyl	69.85	120.45	1166/976	n.d.	1.08/1.46
hexatriacontane	77.7	259.00	815	n.d.	1.84/2.45
heptatriacontane	77.7	275.00	815	n.d.	1.84/2.45
propionamide	79.65	168.20	1088	n.d.	-/2.05
naphthalene	80.1	147.70	1145/976	0.32/0.132	-/1.52
polyethylene	90.0	276.50	-/910	0.16	1.56
xylitol	91.0	226.00	1422/1352	0.730/0.430	2.00/3.80
D-sorbitol	96.0	165.80	1490	0.2296	1.63/1.52
HDPE	100-150	200.00	n.d.	n.d.	n.d.
erythritol	122.1	339.80	1480/1300	0.731/0.326	1.38/2.77
lactitol	145-150	n.d.	800/600	n.d.	n.d.
D-mannitol	164-169	308.00	1540	n.d.	1.27/1.34
pentaerythritol	256-258	320.00	1380/885.36	0.1497	1.39/1.87
dulcitol	275-280	357.40	1470	n.d.	1.31

n.d. no disponible

### 5.1.1.2.2. PCM Inorgánicos

En cuanto a los compuestos inorgánicos cabe destacar las sales hidratadas. Una sal hidratada es una combinación de un compuesto y agua, encontrándose esta molécula de agua en el interior de una red cúbica. Dicha agua puede ser liberada cuando la sustancia es sometida a altas temperaturas. Poseen un alto calor de fusión, una conductividad térmica relativamente alta y son fácilmente disponibles y económicos. Además, al fundirse no se producen variaciones de volumen importantes, pero pierden progresivamente su reversibilidad y a menudo son corrosivos[16]. Las principales características de los PCM inorgánicos son:

- Alta capacidad volumétrica de almacenaje de calor latente.
- Bajo coste y alta disponibilidad.
- Alta conductividad térmica.
- Alto calor de fusión.
- Bajo cambio de volumen.
- Inflamable [18].

Sin embargo, los materiales inorgánicos son corrosivos a la mayoría de los metales y sufren descomposición y subenfriamiento, que pueden afectar a sus propiedades de cambio de fase. Por lo tanto, las aplicaciones de los PCM inorgánicos requieren el uso de agentes de nucleación y espesantes para reducir al mínimo el subenfriamiento y la segregación de fase [15].

Seguidamente, en las Tablas 4 y 5, observamos algunos compuestos orgánicos con sus respectivas propiedades termofísicas.

Tabla 4 Compuestos inorgánicos que pueden utilizarse como PCMs [16]

PCM	T <sub>m</sub> [°C]	L [kJ/kg]	ρ (s/l) [kg/m <sup>3</sup> ]	λ(s/l) [W/m·K]	c <sub>p</sub> (s/l) [kJ/kg·K]
LiClO <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	8.1	253.0	1720	n.d.	n.d.
ZnCl <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O	10.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	13.0	108.0	n.d.	n.d.	n.d.
NaOH·3½ H <sub>2</sub> O	15.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	18.0	n.d.	1483	n.d.	n.d.
KF·4H <sub>2</sub> O	18.5	231	1455/1447	n.d.	1.84
Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	25.8	125.9	1820	n.d.	n.d.
CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	27.0	190.6	1710	0.53/1.08	2.5/1.87
LiNO <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	30.0	296.0	1550/1430	n.d.	n.d.
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	32.0	251.1	1485/1460	0.23/0.46	1.92/3.26
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	32.0	267.0	1442	n.d.	n.d.
CaBr <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	34.0	115.5	2194/1956	n.d.	n.d.
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	35.0	281.0	1520	0.514	1.70
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	36.4	147.0	2065	0.464	1.34
KF·2H <sub>2</sub> O	41.4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
K(CH <sub>3</sub> COO)·1½ H <sub>2</sub> O	42.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	43.0	142.0	n.d.	n.d.	n.d.
K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	45.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	45.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O	48.0	201.0	1729	0.41/0.69	1.86/2.35
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	48.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	54.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Na(CH <sub>3</sub> COO)·3H <sub>2</sub> O	58.0	265.	1290/1440	0.65/0.41	3.18/2.07

Tabla 5 Compuestos inorgánicos que pueden utilizarse como PCMs [16]

PCM	T <sub>m</sub> [°C]	L [kJ/kg]	ρ (s/l) [kg/m <sup>3</sup> ]	λ(s/l) [W/m·K]	c <sub>p</sub> (s/l) [kJ/kg·K]
Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	59.5	n.d.	2455	n.d.	n.d.
Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	60.0	n.d.	2455	n.d.	n.d.
NaOH·H <sub>2</sub> O	64.0	272.0	1720	n.d.	1.51
Na <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	70.0	184.0	n.d.	n.d.	n.d.
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	75.0	n.d.	1730	n.d.	n.d.
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	75.0	216.0	1620	n.d.	1.98/1.58
Ba(OH) <sub>2</sub> ·8H <sub>2</sub> O	78.0	301.0	2180/1937	1.26/0.65	1.17/1.26
AlK(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O	80.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·18H <sub>2</sub> O	88.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·8H <sub>2</sub> O	89.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	89.0	150.0	1636/1550	0.67/0.50	n.d.
(NH <sub>4</sub> )Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	95.0	269.0	n.d.	n.d.	n.d.
Na <sub>2</sub> S·5½ H <sub>2</sub> O	97.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
CaBr <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	110.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·16H <sub>2</sub> O	112.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	117.0	169.0	1560/1440	0.69/0.57	1.72
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	130.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
NaNO <sub>3</sub>	310.0	174.0	2258	0.5	n.d.
NaOH	318.0	158.0	2135	n.d.	n.d.
KNO <sub>3</sub>	337.0	116.0	2110	0.5	n.d.
KOH	360.0	167.0	2044	0.5	n.d.
MgCl <sub>2</sub>	714.0	450.0	2140	n.d.	n.d.
NaCl	800.0	480.0	2160	5.00	n.d.
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	854.0	275.7	2533	2.00	n.d.
KF	857.0	452.0	2370	n.d.	n.d.
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	897.0	235.8	2290	2.00	n.d.

### 5.1.1.2.3. Comparación

Por último, en la Tabla 6, podemos apreciar una comparación de las ventajas e inconvenientes que tiene el uso de materiales orgánicos o inorgánicos, en cuanto a la acumulación térmica.

*Tabla 6 Comparación entre materiales orgánicos e inorgánicos. [16]*

Orgánicos	Inorgánicos
<i>Ventajas</i>	
No corrosivos	Mayor entalpía de cambio de fase
Bajo o nulo subenfriamiento	
Estabilidad térmica y química	
<i>Desventajas</i>	
Menor entalpía de cambio de fase	Subenfriamiento
Baja conductividad térmica	Corrosión
Inflamabilidad	Separación de las fases
	Segregación de las fases, falta de estabilidad térmica

### 5.1.1.3. Las parafinas como agente activo

Como se ha comentado en apartados anteriores, las parafinas son compuestos que pueden ser utilizados como agente activo de cambio de fase, esto es debido a sus buenas características, las cuales son, un abanico amplio de puntos de fusión en el rango de la temperatura ambiente convencional, son relativamente económicas y además presentan un calor latente de cambio de fase más elevado que los otros compuestos químicos de similar punto de fusión [19]. Algunos ejemplos de productos con dichas características son, el heptadecano y el octadecano, con unas temperaturas de fusión de 22°C y 28°C, respectivamente[20]. Las propiedades más importantes de las parafinas son:

- Son productos orgánicos, los cuales, tras el proceso de refinado son inodoros insípidos y no tóxicos.
- La temperatura de fusión que tienen las parafinas está relacionada con la longitud de la cadena siendo el rango de temperatura es habitual entre 30 y 90°C para longitudes de  $C_{18} - C_{50}$ . A causa de esto pueden seleccionarse las parafinas con la temperatura de fusión apropiada.
- Su entalpía de fusión es muy superior a otro tipo de sustancias, lo que presenta una desventaja, pero se compensa con la elevada área superficial de transferencia de energía.
- Tiene una baja conductividad eléctrica, propiedad la cual es responsable de sus excelentes características de aislamiento.

- Constan de una estabilidad durante el cambio de fase no existiendo reacción química, con lo que el proceso es reversible.
- Pero su punto de inflamación es de alrededor de 200°C un valor que nunca se alcanzará en las aplicaciones a las que están destinadas.
- No presentan problemas de corrosión, de hecho, las parafinas suelen emplearse con inhibidores de la corrosión en la industria automovilística.[15]

En la tabla 7 podemos ver a modo de ejemplo, el punto de fusión y calor latente de algunas parafinas lineales.

*Tabla 7 Propiedades de distintas parafinas lineales. [15]*

Parafina	Punto Fusión (°C)	Calor Latente Fusión (kJ/kg)
C <sub>12</sub>	-9,6	214,43
C <sub>20</sub>	36,4	217,36
C <sub>25</sub>	53,3	224,00
C <sub>33</sub>	71,1	225,72

Debido al elevado coste de las parafinas puras y la dificultad para adquirirlas en grandes cantidades, frecuentemente se utilizan mezclas parafínicas que proceden de las refinerías, éstas poseen un intervalo de puntos de fusión adecuados. Autores como Farid y col en 1990 utilizaron mezclas de parafinas con temperaturas de fusión de 44, 53 y 64°C y con calores latentes de 167, 200 y 210  $\frac{kJ}{kg}$ , respectivamente, para obtener microcápsulas PCM para su aplicación en textiles[15].

Las microcápsulas se pueden incorporar directamente a la propia fibra sintética mediante distintas formas de aplicación, el proceso de hilatura por extrusión[2], aplicación por fulardado, por estampación, por rasquetado o recubrimiento o por laminado[15], aunque durante este proceso también debemos tener en cuenta que, si el número fuera excesivo, afectaría a la resistencia la tracción. Pero también pueden añadirse durante el acabado con lo que habría que tener cuidado con el tacto, resistencia a la abrasión, al lavado, o al lavado en seco. Hay varias marcas comerciales que utilizan PCM, como Outlast, Thermabsorb, ConforTemp, Interactive, etc[2].

### *5.1.1.3.1. Elección de micropartículas*

El factor clave para seleccionar los PCM a incorporar al tejido es la temperatura de cambio de fase de la sustancia encerrada en las microcápsulas, que debe ser próxima a la temperatura de las distintas partes del cuerpo. Pero también hay que tener en cuenta

factores como el coste, la toxicidad y la disponibilidad. Los principales PCM empleados son ceras y parafinas (alcanos), cuyo calor latente puede estar alrededor de  $200 \frac{kJ}{kg}$ .

Para nuestra aplicación necesitamos unas partículas PCM con un punto de fusión cercano al a la temperatura media del cuerpo humano, de 36.5 a 37°C, pues su función es la de regular continuamente las posibles fluctuaciones de la temperatura del usuario para que este, ni tenga frío, ni llegue a producir sudor. De acuerdo a la tabla 1 en la que tenemos los compuestos orgánicos que pueden utilizarse como PCM, con su correspondiente punto de fusión, seleccionamos un compuesto el cual más acorde sea a la temperatura que queremos regular, pues de esta manera, el cuerpo del usuario se mantendrá dentro de los márgenes de temperatura deseados. Estas micropartículas estarán constituidas por el compuesto orgánico, n-Eicosane con punto de fusión 36.7°C y con un calor de latente de fusión de  $247 \frac{kJ}{kg}$  (Tabla 2). Por lo que se ha elegido este compuesto es por su punto de fusión, ya que es una temperatura en la cual el cuerpo se encuentra en confort térmico.

### *5.1.2. Resultados de las PCMs*

A continuación, vamos a explicar de manera breve el comportamiento de las micropartículas PCM ante una fuente de energía que incide calor sobre ello, la cual en nuestro caso será el cuerpo humano.

La eficiencia y la duración del efecto térmico proporcionado por las cápsulas, la resistencia físico-química de las mismas y su aplicación están determinados por múltiples factores entre los que se encuentran, el tamaño de la partícula, la capacidad térmica del PCM, la temperatura de cambio de fase, la proporción de PCM encapsulado con respecto a la cubierta de polímero y el tipo de polímero que forma la cubierta. Algunas de estas características son modificadas al variar las condiciones de síntesis, como son la temperatura de reacción, la cantidad de agente de suspensión, la proporción agente activo/cubierta, pero han sido escasamente estudiadas hasta el momento[15].

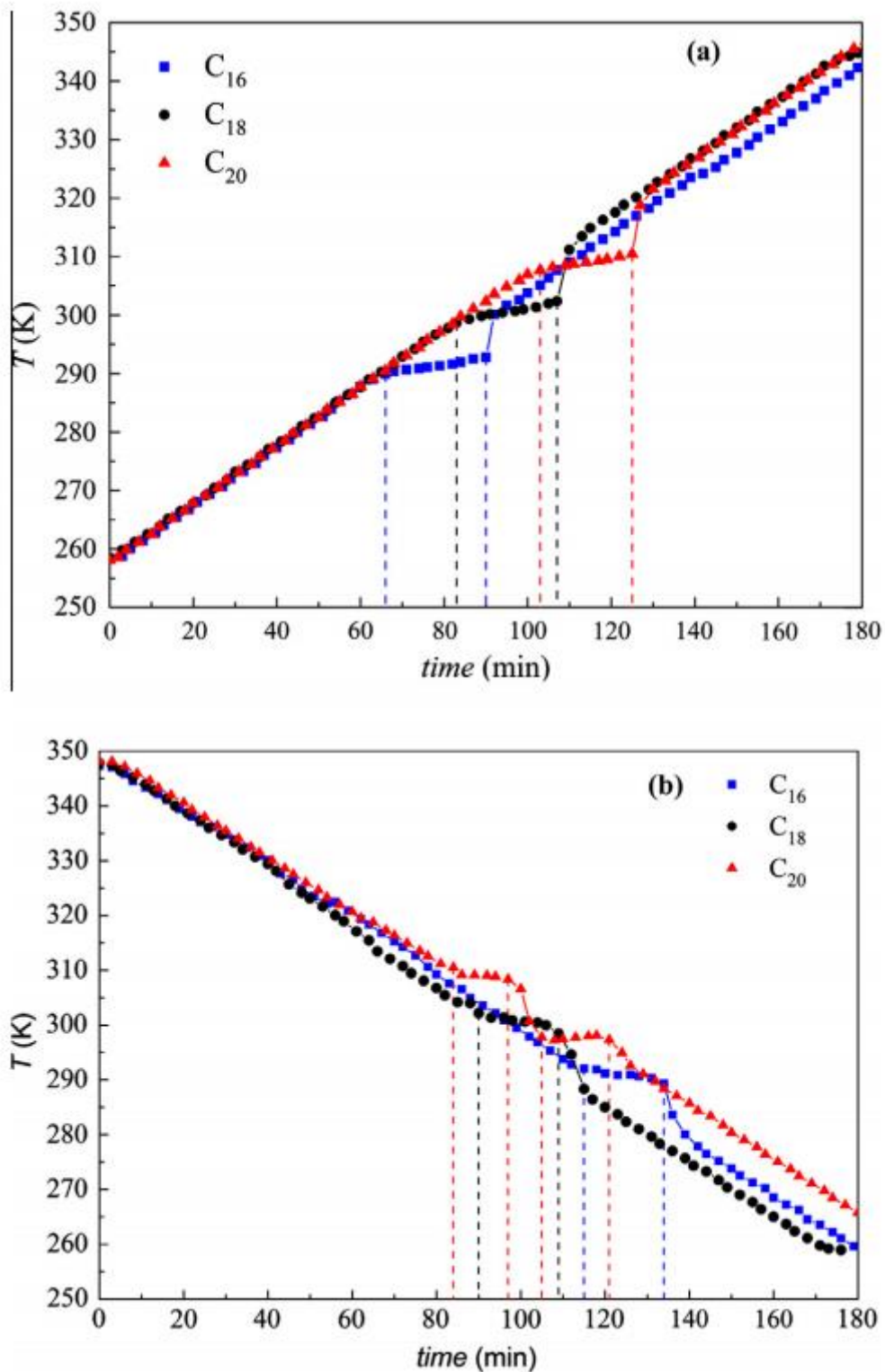


Figura 5. 8 (a) Curvas de temperatura de fusión, (b) curvas de temperatura de solidificación, los tres n-alcenos pares ( $C_{16}$ ,  $C_{18}$  y  $C_{20}$ ) [21]

En la figura 5.8 se muestra las curvas de variación de las temperaturas de fusión y cristalización con el tiempo de los tres n-alcenos. El tiempo de fusión se estimó a partir de las curvas de temperatura, así como el tiempo correspondiente a una temperatura

---

## Material es y Métodos

constante del n-alcano. Son 24 min, 24 min y 22 min, para C16, C18 y C20, respectivamente. El intervalo de temperatura de fusión detectado es (289,91-292,78 K), (298,67-302,35 K) y (307,68-310,45 K) para C16, C18 y C20, respectivamente. Debe señalarse que la reducción del tiempo de fusión corresponde al mayor valor  $\lambda$  del n-alcano o al mayor calor latente de fusión y masa.

Del mismo modo que para la curva de fusión, a partir de la curva de solidificación se determinaron el intervalo de temperatura y el tiempo de solidificación correspondiente para cada n-alcano. El tiempo de cristalización estimado fue de 19 min para C16 y C18, mientras que para C20 fue inferior, 16 min y 13 min para transición líquido/sólido y transición sólido/sólido, respectivamente. El intervalo de temperaturas de cristalización fue (292,05-289,30 K) para C16 y (298,43-302,16 K) para C18; Mientras que para C20 era (308,33-310,49 K) y (297,29-298,81 K) para las transiciones líquido/sólido y sólido/sólido, respectivamente[21].



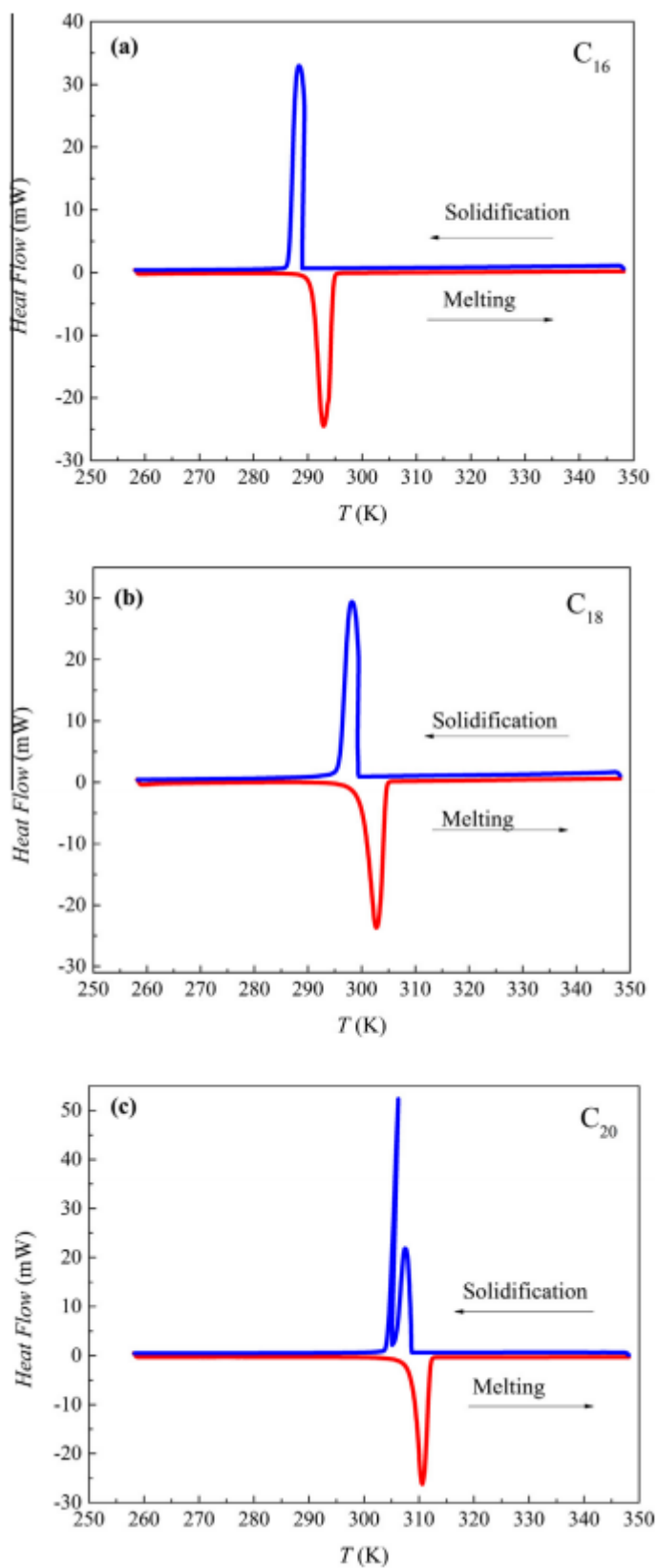


Figura 5. 9 Differential scanning calorimetry thermograms (DSC) de: (a) C<sub>16</sub>, (b) C<sub>18</sub> and (c) C<sub>20</sub>.

A continuación, en la figura 5.9 aparecen las curvas DSC de los tres n-alcános. Éstas han sido obtenidas partir del análisis cuantitativo de los termogramas DSC, la temperatura de fusión ( $T_m$ ), la temperatura de cristalización ( $T_c$ ), la temperatura de transición sólido / sólido ( $T_r$ ) de C20, el calor de fusión ( $DH_m$ ) y el calor de cristalización ( $DH_c$ ).

Puede verse en la figura 5.9 que los termogramas DSC de C16 y C18 tienen un solo pico tanto para calentar (es decir, para fundir) como para enfriar (es decir, para cristalización), mientras que C20 exhibe otro pico de fusión de absorción endotérmica, dos picos de cristalización casi superpuestos. El pico menor representa el cambio de fase líquido/sólido (es decir, la cristalización) mientras que el pico grande (llamado pico secundario) representa la transición sólido/sólido que indica el cambio de fase estructural en el sólido [28]. Debe señalarse que la presencia de dos picos para C20 es característica de los n alcános impares e hidrocarburos con un número de carbonos mayor o igual a 19 (es decir, nonadecano, C19H40).

### *5.1.3. Resultados propios de las PCMs con cámara termográfica.*

En este apartado se muestran las imágenes tomadas con la cámara termográfica de la EUPLA, de denominación, TESTO 882. Las imágenes se tomaron en el laboratorio de arquitectura técnica donde la temperatura ambiente es de 21°C, como se aprecia en las figuras 5.10 y 5.11 en la que se ha realizado una prueba sobre el material sin antes ser calentado, es decir, a temperatura ambiente.

Las imágenes de la cámara termográfica fueron procesadas mediante el software propio de la cámara, obtenido también mediante la escuela y sin el cual no habría sido posible obtener todos los resultados, pues las fotos realizadas, no cuentan con los valores de las temperaturas impresos en ellas, es necesario el software para poder obtenerlos.

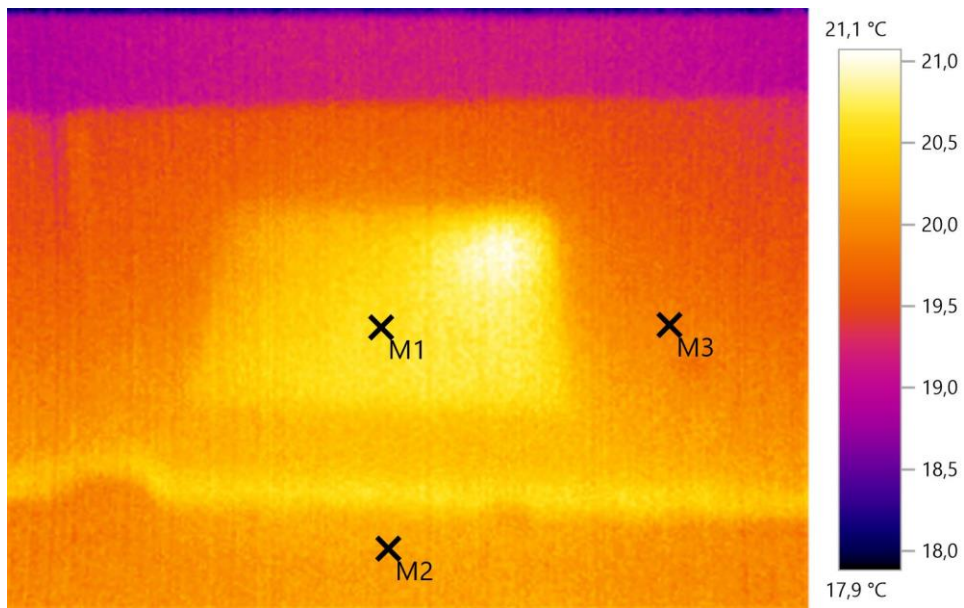


Figura 5. 10 Material PCM a temperatura ambiente con termográfica

A continuación, en la tabla 8 vemos las temperaturas de las zonas seleccionadas en la figura anterior.

Tabla 8 Temperaturas de Figura 5.10

N.º	Temperatura. [°C]
M1	20,5
M2	20,2
M3	20

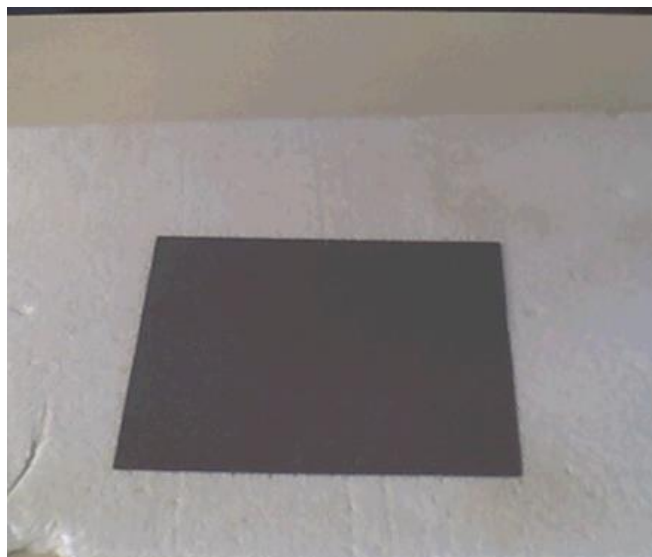


Figura 5. 11 Material PCM a temperatura ambiente

En lo referente a aplicar calor a nuestra muestra del material, contamos con una estufa de desecación, como vemos en las figuras 5.12 y 5.13. Dicha estufa abarca un amplio rango de temperaturas, pero para nuestro caso solo necesitamos como máximo hasta 100°C para realizar pruebas y obtener los resultados deseados.



Figura 5. 12 Estufa de desecación

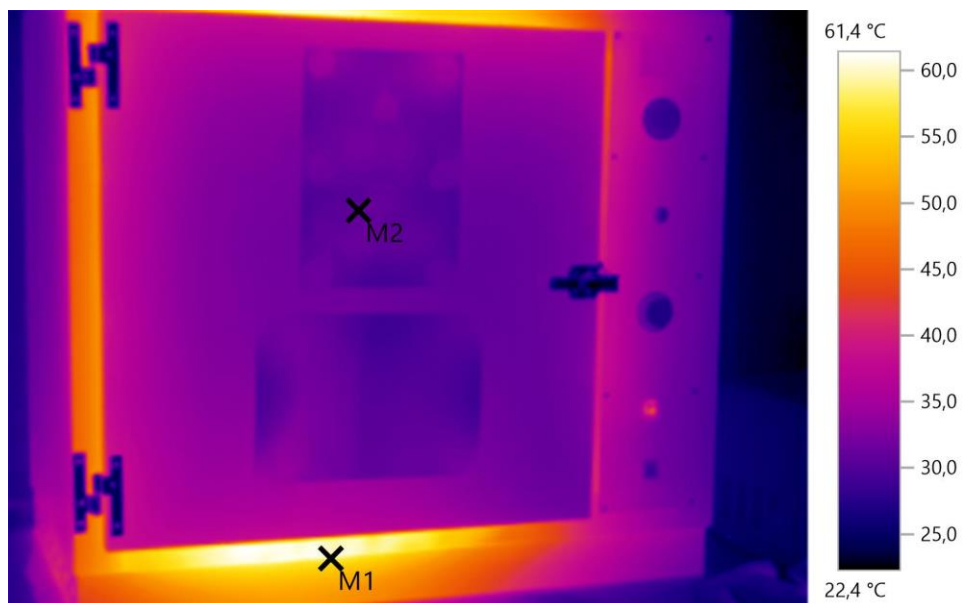


Figura 5. 13 Estufa de desecación con Termográfica

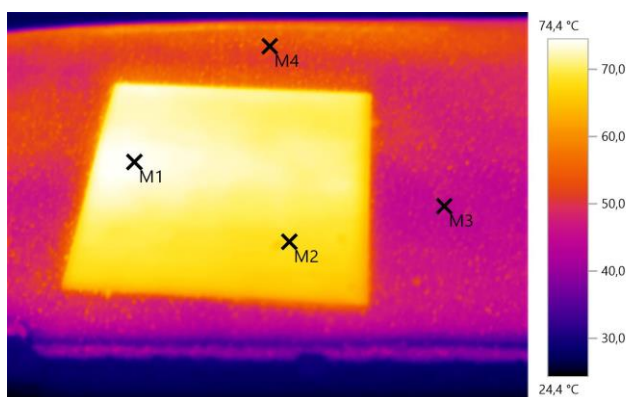
A continuación, se van a realizar las pruebas sobre el material incidiendo calor sobre él y midiendo su respuesta ante este con una cámara termográfica. El material sobre el que se realizan las pruebas no es el mismo que se utilizaría en nuestro proyecto, pero esto ha sido a razón de no poder conseguir un material cuyo intervalo de trabajo de las PCM sea el mismo que el del C20, el cual es de 35°C a 37.5°C. Nuestro material consta de las propiedades que aparecen en la tabla 9.

*Tabla 9 Propiedades del material obtenido para las pruebas*

Characteristic	Value
Colour	Grey
Thermal impedance °Cin <sup>2</sup> /w	0.035
Thermal conductivity W/mK	2.5
Phase changing temperature °C	50 ~ 60
Density g/cm <sup>2</sup>	1.2
Thickness mm	0.06 - 0.25
Storage temperature °C	<40
Operating temperature °C	-45 ~ 125
Shelf life (Months)	24

Para introducir el material en el horno utilizamos una base de EPS, poliestireno expandido.

La prueba que se realizó, consistió en establecer una temperatura superior al rango de trabajo para ver como reaccionaba el material ante dicha temperatura. Dicha temperatura fueron 85°C y el tiempo de calentamiento fue 2 minutos. Una vez transcurrido el tiempo, se saca el material del horno y se obtienen fotografías de cómo, en relación al tiempo, disminuye la temperatura.



*Figura 5. 14 Termográfica 85.A*

*Tabla 10 Resultados de temperaturas a la salida del horno (1)*

N.º	Temperatura. [°C]
M1	74,3
M2	68,3
M3	44,5
M4	52,6

Materiales y Métodos

En la figura 5.14, mediante la tabla 11, vemos que, en sus puntos de mayor temperatura, ésta todavía no ha entrado dentro del rango de trabajo de las PCMs

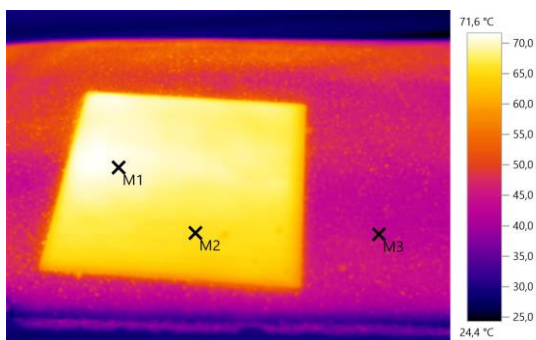


Figura 5. 15 Termográfica 85.B

Tabla 11 Resultados de temperaturas a la salida del horno (2)

N.º	Temperatura. [°C]
M1	70,9
M2	66
M3	43,7

Observamos que la temperatura ha bajado, lógicamente al haberla sacado del horno y como vemos en los resultados de la tabla 12, todavía no han entrado en el rango de trabajo.

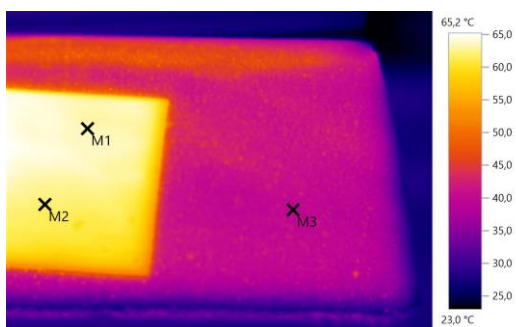


Figura 5. 16 Termográfica 85.C

Tabla 12 Resultados de temperaturas a la salida del horno (3)

N.º	Temperatura. [°C]
M1	63,4
M2	62,1
M3	39,9

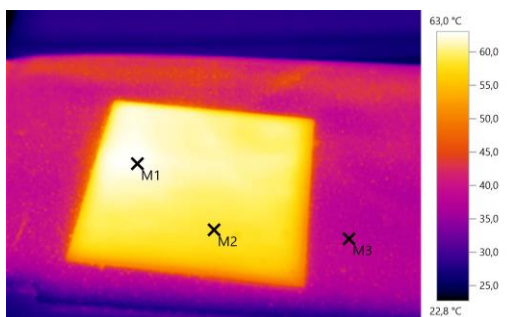


Figura 5. 17 Termográfica 85.D

Tabla 13 Resultados de temperaturas a la salida del horno (4)

N.º	Temperatura. [°C]
M1	62,8
M2	58,5
M3	37,6

Como vemos en los resultados de la tabla 14, el M2 ya está dentro del rango, lo que significa que las partículas PCM ya están en funcionamiento. Dicho comportamiento lo veremos reflejado en las siguientes imágenes.



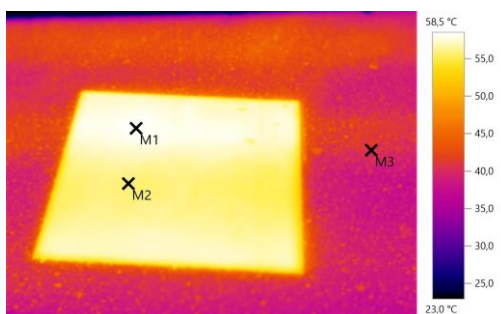


Figura 5. 18 Termográfica 85.E

Tabla 14 Resultados de temperaturas a la salida del horno (5)

N.º	Temperatura. [°C]
M1	58,4
M2	55,9
M3	40,1

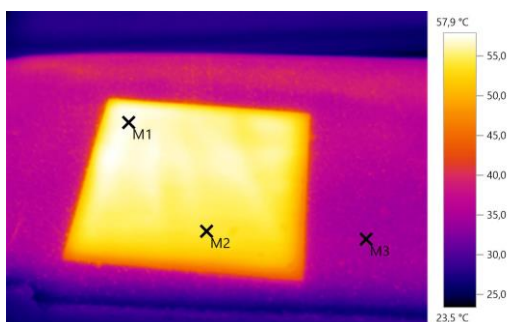


Figura 5. 19 Termográfica 85.F

Tabla 15 Resultados de temperaturas a la salida del horno (6)

N.º	Temperatura. [°C]
M1	57,6
M2	55,4
M3	38,5

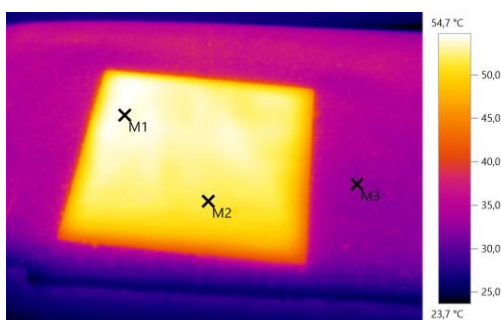


Figura 5. 20 Termográfica 85.G

Tabla 16 Resultados de temperaturas a la salida del horno (7)

N.º	Temperatura. [°C]
M1	54,2
M2	51,6
M3	32,7

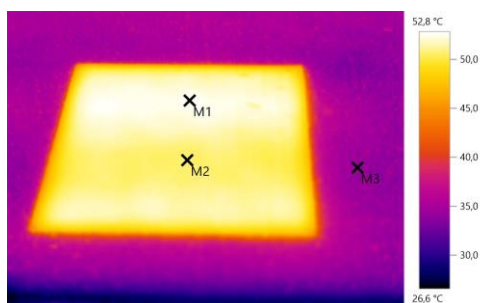


Figura 5. 21 Termográfica 85.H

Tabla 17 Resultados de temperaturas a la salida del horno (8)

N.º	Temperatura. [°C]
M1	52,7
M2	50,7
M3	34,4

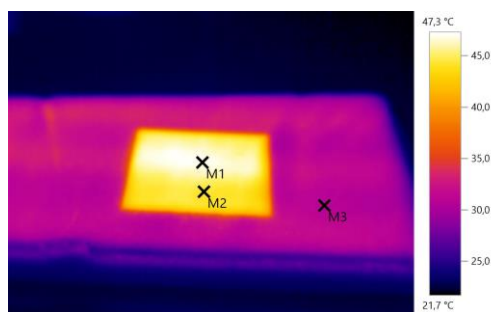


Tabla 18 Resultados de temperaturas a la salida del horno (9)

N.º	Temperatura. [°C]
M1	46,9
M2	44,3
M3	31

Figura 5. 22 Termográfica 85.I

Una vez que tenemos todas las imágenes (5.18-5.22) con sus respectivas temperaturas (Tabla 14-18), vemos que lo que se aprecia, en relación al tiempo, es un descenso de la temperatura mucho menor que de 75°C a 60°C en los cuales fue casi instantáneo.

La justificación por la que las partículas PCM se han comportado de esta manera es; Ante una incisión de calor éstas han actuado de manera conforme a mantener la temperatura dentro de unos márgenes el mayor tiempo posible puesto que, la fuente de calor ya no está incidiendo sobre el material.

Para obtener unos resultados que simulasen nuestro sistema necesitaríamos una fuente de calor "portátil" mediante la cual administrar calor continuamente y poder ir realizando mediciones y/o fotografías, al mismo tiempo, sobre su comportamiento ante una temperatura medianamente constante. [52-58°C]

A causa de que las fotografías se hayan realizado al sacarlo del horno y cambiarlo bruscamente a un entorno cuya temperatura es de 21°C, hace que el cuerpo pierda su energía calorífica muy deprisa, pero como vemos en los resultados en los que la temperatura está dentro del rango de trabajo de las PCMs, éstas entran en funcionamiento y el descenso de temperatura es mucho más lento y menor



## 5.2. DISEÑO CARA B DEL COLCHÓN

Del mismo modo que con la cara A del colchón se ha tratado de remediar, las noches de calor de verano, con la cara B se va a enmendar otro importante problema que dificulta el confort total de cara a la noche. En este caso vamos a incidir sobre el frío de invierno, esa sensación heladora de meternos en la cama en invierno y que el colchón esté completamente helado. Mediante un sistema electrónico basado en el concepto de calentar una resistencia al aplicarle una tensión, se va a realizar un colchón electrotérmico que nos salve de esas frías noches del invierno en las que tenemos que taparnos con muchísimas mantas o poner la calefacción muy alta.

### 5.2.1. *Textil Electrotérmico*

De los cinco tejidos analizados anteriormente, todos, serían viables para la aplicación, pero se seleccionará aquel cuyas propiedades se ajusten más a nuestro objetivo. Tanto el tejido de fibra de carbono, como el tejido con baño de polímero conductor, son textiles o compuestos, los cuales necesitan una tensión relativamente alta para calentarse, con lo que deja claro que, para aplicaciones de baja potencia calorífica, no son viables y, por consiguiente, no son adecuados para la aplicación del proyecto. Además, el tejido de fibra de carbono es un material de un coste demasiado elevado para no influir directamente en los costes de producción de un posible producto final.

Sin embargo, los tres últimos son muy adecuados, en comparación a los anteriores, para llevar a cabo la tarea de generar calor con una relativa baja potencia energética empleada. El tejido de punto con mezcla de Poliéster/Acero Inoxidable y el CMY, que a diferencia del tejido de Hilo de cobre/aramida bordado, estos dos son considerablemente buenos para nuestra aplicación pues cuando son calentados, el calor es repartido de manera homogénea por toda la superficie, mientras que en el tejido de Hilo de cobre/aramida bordado, no se reparte de manera tan homogénea, como podemos ver en las Figuras 5.23, 5.24 y 5.25 a causa de su naturaleza de composición del conjunto.

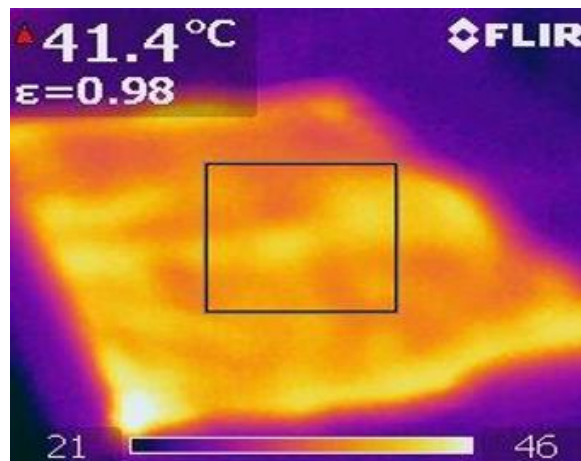


Figura 5. 23 Imagen termográfica PES / Acero Inox [6]

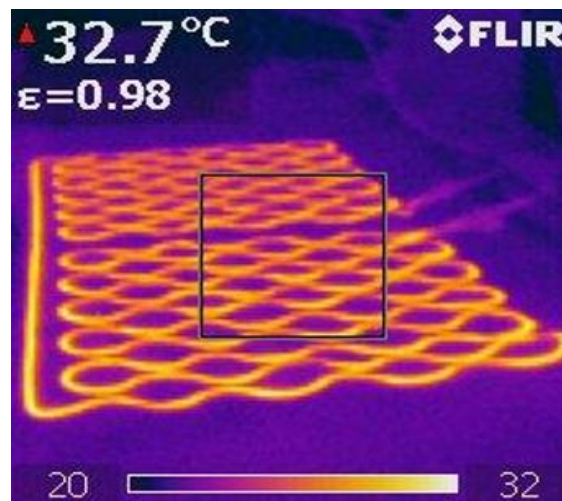


Figura 5. 24 Imagen termográfica Hilo de cobre/aramida bordado [6]

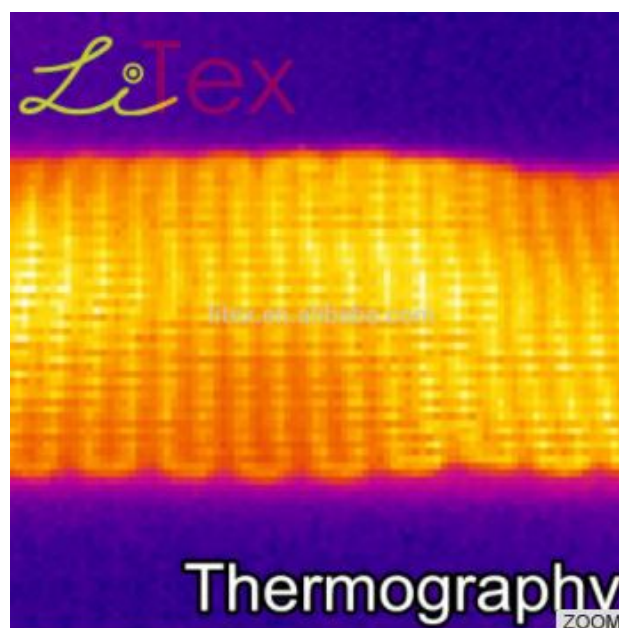


Figura 5. 25 Imagen termográfica CMY

El Tejido de punto con mezcla de Poliéster/Acero Inoxidable, además presenta unas características de textura, flexibilidad y elasticidad que no proporcionan en el mismo nivel los otros tejidos estudiados, excepto el CMY, en el cual el hilo conductor va integrado dentro del propio tejido, con lo que a través de su proceso de fabricación se conforma un material cuyo tacto, apariencia y confort, simulan el de cualquier tejido común, con lo que el Tejido de punto con mezcla de Poliéster/Acero Inoxidable y el CMY pueden llegar a parecer un textil completamente normal, esta propiedad de gran semejanza a un textil convencional proporciona mejor mantenimiento de las funcionalidades de confort que ya ofrece un colchón convencional, por tanto el nivel de alteración que sufrirá la confortabilidad, sería mínimo al integrar, en un colchón tradicional, este textil electrotérmico.

Otra ventaja con la que cuenta este tejido es que, en caso de producirse rotura o agujero en alguna zona del textil, éste puede seguir funcionando y emitiendo calor en todo el tejido excepto en la zona perpendicular a los electrodos cosidos y que ha quedado cortada por el agujero en cuestión. si se produjese esto en el tejido de Hilo de cobre/aramida bordado, dejaría de funcionar, ya que tiene un solo hilo conductor, sin embargo, el CMY cuenta con una gran resistencia mecánica además de una gran flexibilidad, lo que le permite resistir fuerzas que ejerzan presión o flexión sobre el material.

Tras haber realizado los análisis pertinentes a nivel de características tanto técnicas como experimentales de los cinco textiles, los cuales han sido elegidos como los más adecuados para cumplir y superar los objetivos de nuestra aplicación y proyecto, se ha escogido **Non-Carbon Fiber Electrical Heating Textile**, o como lo hemos llamado para abreviar, **CMY**, para utilizarlo en nuestro proyecto, como método para aplicar calor a un colchón debido a sus ventajas como textil electrotérmico frente a los otros tejidos analizados, contando como principal ventaja su eficacia en cuanto a la relación Temperatura/Tiempo y la baja intensidad y voltaje necesarios para alimentarlo.

Dentro de este material hay una gran variedad de distintos tipos, con un amplio abanico de diferentes características técnicas, nuestro fue escoger uno que se ajustase a las necesidades de nuestro proyecto, siendo las más restrictivas, las medidas. Las medidas de nuestros pads son las que aparecen en la figura 5.26 y son 48x88cm, 63x88cm y 48x88cm. Para seleccionar nuestro tipo de material tenemos que ir a la tabla 19, proporcionada por la empresa fabricante, Litex [12].

Tabla 19 Tipos de Large CMY

## Fabric Performance Under Different Conditions:

Item #	Heating Area Width (cm)	Textile Length (cm)	CMY Length (cm)	CMY Temp. (°C)	Input Volts (V)	Current (A)	Watts (W)
50201(46)- 20	46	60	1440	40	12	0.9	10.8
		44	1056	50	12	1.2	14.4
		32	768	60	12	1.5	18
		24	576	70	12	1.8	21.6
		116	2784	40	24	0.9	21.6
		84	2016	50	24	1.2	28.8
		68	1632	60	24	1.5	36
		60	1440	70	24	1.65	39.6
		164	3936	40	36	0.9	32.4
		136	3264	50	36	1.2	43.2
		108	2592	60	36	1.4	50.4
88	2112	70	36	1.65	59.4		
80	1307	40	12	0.9	10.8		
50201(46)- 30	46	60	980	50	12	1.2	14.4
		48	784	60	12	1.5	18
		36	588	70	12	1.8	21.6
		174	2842	40	24	0.9	21.6
		126	2058	50	24	1.2	28.8
		96	1568	60	24	1.5	36
		84	1372	70	24	1.65	39.6
		246	4018	40	36	0.9	32.4
		198	3234	50	36	1.2	43.2
		162	2646	60	36	1.4	50.4
		132	2156	70	36	1.65	59.4
		112	1400	40	12	0.9	10.8
		80	1000	50	12	1.2	14.4
		56	700	60	12	1.5	18
48	600	70	12	1.8	21.6		
50201(46)- 40	46	224	2800	40	24	0.9	21.6
		160	2000	50	24	1.2	28.8
		128	1600	60	24	1.5	36
		112	1400	70	24	1.65	39.6
		320	4000	40	36	0.9	32.4
		256	3200	50	36	1.2	43.2
		208	2600	60	36	1.4	50.4
		168	2100	70	36	1.65	59.4
		44	1386	40	12	0.9	10.8
		32	1008	50	12	1.2	14.4
		24	756	60	12	1.5	18
20	630	70	12	1.8	21.6		
65244(61)-20	61	88	2772	40	24	0.9	21.6
		72	2268	50	24	1.2	28.8
		52	1638	60	24	1.5	36
		44	1386	70	24	1.65	39.6
		128	4032	40	36	0.9	32.4
		104	3276	50	36	1.2	43.2
		84	2646	60	36	1.4	50.4
		68	2142	70	36	1.65	59.4
		66	1408	40	12	0.9	10.8
		48	1024	50	12	1.2	14.4
		36	768	60	12	1.5	18
30	640	70	12	1.8	21.6		
65244(61)-30	61	132	2816	40	24	0.9	21.6
		96	2048	50	24	1.2	28.8
		78	1664	60	24	1.5	36
		66	1408	70	24	1.65	39.6
		186	3968	40	36	0.9	32.4
		150	3200	50	36	1.2	43.2
		120	2560	60	36	1.4	50.4
		102	2176	70	36	1.65	59.4

65244(61)-40	61	88	1430	40	12	0.9	10.8
		64	1040	50	12	1.2	14.4
		48	780	60	12	1.5	18
		40	650	70	12	1.8	21.6
		176	2860	40	24	0.9	21.6
		128	2080	50	24	1.2	28.8
		96	1560	60	24	1.5	36
		88	1430	70	24	1.65	39.6
		248	4030	40	36	0.9	32.4
		200	3250	50	36	1.2	43.2
		160	2600	60	36	1.4	50.4
		128	2080	70	36	1.65	59.4

Como se aprecia la tabla está dividida en dos partes, 46 y 61 centímetros, cada una de éstas se refiere a la anchura del área que será calentada mediante el CMY. A razón de estas medidas están dimensionados nuestros pads, en cuanto a la longitud del textil se ha escogido en base a las medidas existentes de textil, las cuales corresponden a nuestras especificaciones técnicas (voltaje, intensidad, temperatura...).

Dentro de los tipos de tejido de anchura de 46cm, se ha escogido el 50201(46)-30 y dentro de este tipo, el que más se ajusta a nuestras características de medida, 80 cm de longitud, tensión 12V y temperatura de trabajo del CMY 40°C.

Por otro lado, para el textil que calentará la zona de torso y cadera la cual es más amplia que las otras dos, se selecciona uno que se encuentra en la zona de 61cm de anchura. Siguiendo un proceso similar al anterior, en base a nuestras necesidades, se escoge la clase 65244(41)-20, la cual cuenta con un tipo con 88cm de longitud, 12v y 40°C que, en cuanto a tensión y temperatura, es la que más se acerca a nuestras necesidades.

La razón por la que nuestros pads son 2 cm más anchos que lo que aparece en la tabla 20, es porque como aparece en la figura 4.11, hay 1cm de margen a cada extremo del borde del hilo del textil calefactable.

### 5.2.1.1. *Diseño del colchón termorregulable*

Como se ha explicado, el colchón va a contar con una parte química y una parte electrónica, las cuales corresponden a verano e invierno respectivamente y cada una estará implementada en una zona determinada del colchón. En este apartado trataremos la cara B del colchón, la cual conforma un conjunto electrónico.

A continuación, vamos a realizar el diseño del conjunto textil electrotérmico, éste estará compuesto por la parte del material textil electrotérmico, así como de la parte encargada de realizar el control electrónico del sistema.

#### 5.2.1.1.1. *Desarrollo del Textil electrotérmico*

Para el diseño del textil electrotérmico se ha realizado una división de éste en tres partes o zonas independientes, quedando un pad electrotérmico para cada zona; una zona para la cabeza y cuello, otra para el torso y cadera y el último para piernas y pies, como

## Materiales y Métodos

podemos observar en la Figura 5.26. El pad central será más grande que los otros dos, puesto que la superficie de contacto con el cuerpo será mayor, que la de las otras dos zonas. A causa de esta diferencia de dimensiones en los pads tenemos la condición de que, a nivel eléctrico, se necesite más energía para llegar al mismo valor de temperatura en el pad central, al ser de mayor área.

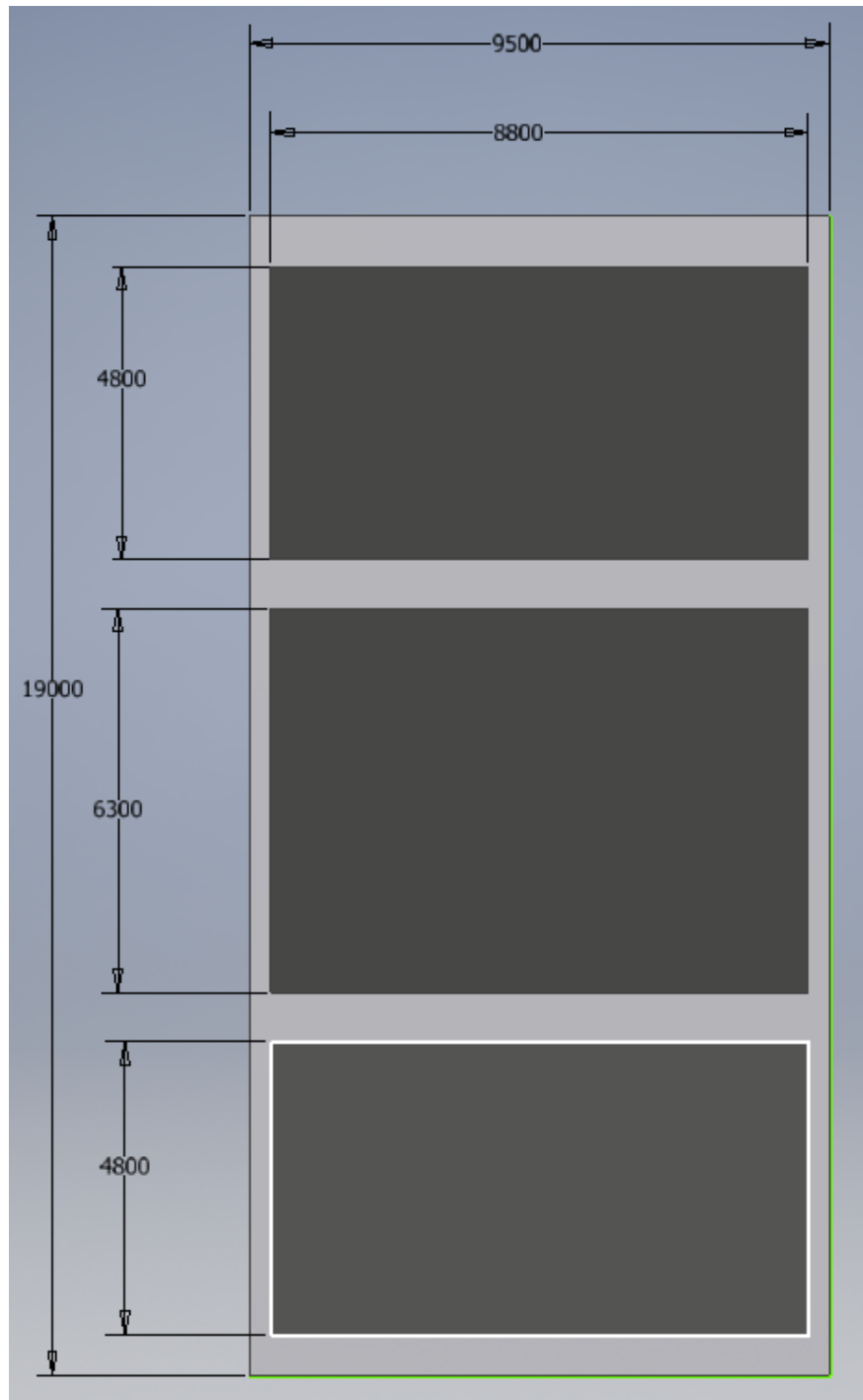


Figura 5. 26 Dimensionamiento textil electrotérmico

Cada uno de los pads es integrado sobre una base textil, la cual está conformada por un compuesto de fibras de poliéster entrelazadas entre sí, que es capaz de resistir temperaturas de hasta 200°C.

Para que la corriente eléctrica circule a través de la superficie de cada pad, se utiliza cable plano metálico integrable en el textil. Cada pad consta de electrodos, los cuales soportan hasta 5A de intensidad y el cable plano del conjunto total, soporta hasta 6A.

A la hora de la fabricación del textil electrotérmico, se cose el cable plano de 3A como electrodo de cada pad, de forma que, una vez dichos cables estén cosidos, tenga el máximo contacto con el pad.

Una vez que los 3 pads estén integrados sobre la base textil, se procede a la creación del circuito eléctrico, el cual conducirá la corriente eléctrica en cada pad de manera independiente. El circuito en cuestión a construir es el que vemos ilustrado en la figura 5.27, para el conductor común se cose el cable plano de 6A, que es mayor, puesto que por él circulará la suma de las corrientes de los tres pads, mientras que para los conductores independientes que cerraran el circuito en cada uno de los pads independientes, se cose cable plano de 3A, más delgado y de menor coste, al no tener que circular tanta corriente eléctrica, solo circulara la del propio pad, por último en las figuras 5.28, 5.29 y 5.30, podemos observar el resultado final del circuito eléctrico completo integrado en la base textil en el trabajo de Gabriel Álvarez Casellas, COLCHÓN DE TECNOLOGÍA ELECTROTÉRMICA TEXTIL[6].

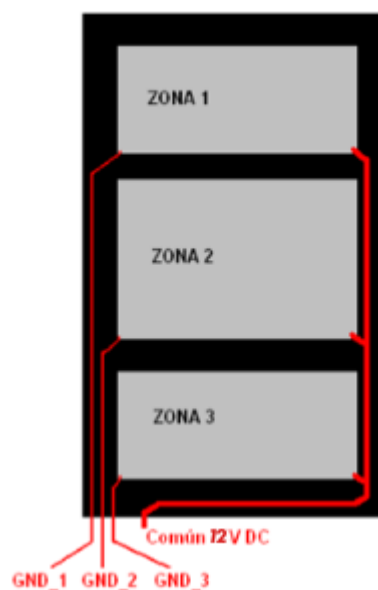


Figura 5. 27 Esquema del circuito eléctrico completo del textil electrotérmico





*Figura 5. 28 Cable común de 6A*



*Figura 5. 29 Cables independientes por pad de 3A*



*Figura 5. 30 Circuito eléctrico completo sobre la base textil.*

A continuación, pasamos a las mediciones de temperatura, los sensores seleccionados son los de tipo NTC, los cuales son resistencias que varían su valor óhmico reduciéndolo cuando se aumenta la temperatura en ellos, además son idóneos para la aplicación pues son muy pequeños y su aplicación al textil es muy simple. A nivel electrónico son sensores analógicos, los cuales presentan una gráfica de respuesta óhmica según temperatura no lineal, con lo cual, antes de introducir la señal en el microcontrolador debemos acondicionarla para, de esta forma, conseguir la máxima linealización y que la relación sea lo más proporcional posible entre resistencia-temperatura.

De cara al circuito eléctrico de los sensores, se integra un cable, de tipo textil que hace la función de bus de comunicación entre los sensores y la placa electrónica que



realizará el control. Este cableado es totalmente flexible y con apariencia completamente textil, lo que contribuye a mantener el concepto textil del conjunto. Se integra el bus textil en la base del conjunto cosiéndolo, de acuerdo al sistema realizado por Gabriel Álvarez Casellas, COLCHÓN DE TECNOLOGÍA ELECTROTÉRMICA TEXTIL[6] del cual son las figuras, 5.31 y 5.32:



*Figura 5. 31 Izq Cableado textil para sensores; Der Bus textil de los sensores NTC*



*Figura 5. 32 Izq Sensor conectado a cable textil; Der Acabado se sensores NTC*

A continuación, pasamos a establecer los valores máximos de potencia eléctrica aplicada para poder dimensionar la electrónica de potencia de cada pad. Éstos son:

- Pad 1 Cabeza → 12V 0.9A
- Pad 2 Torso y cadera → 12V 0.9A
- Pad 3 Piernas y pies → 12V 0.9A
- Arduino UNO → 12V 46mA
- Mosfet P x3 → 12V 42mA
- Mosfet N x3 → 12V 29mA
- Sensores NTC x6 → 12V 5mA

## Materiales y Métodos

Con lo que la Potencia total máxima será:

$$Pot_{Tot_{Max}} = 12 \cdot ((0.9 \times 3) + 0.046 + (0.042 \times 3) + (0.029 \times 3) + (0.005 \times 6)) = 35.868W \quad (5.1)$$

A través de este valor de potencia escogeremos una fuente de alimentación acorde a nuestras necesidades electrónicas, las cuales son tensión de 12V y una potencia de ~36W, a la cual le daremos un margen de hasta 40W por los posibles picos de tensión.

Por último, pasamos a la integración del textil electrotérmico en el colchón convencional. El colchón contará con la posibilidad de ser abierto por un lateral, es por esta abertura por donde se introducirá el textil electrotérmico, como vemos en las figuras 5.33 y 5.34, las cuales fueron de nuevo seleccionadas del TFG de Gabriel Álvarez Casellas, COLCHÓN CON TECNOLOGIA ELECTROTÉRMICA TEXTIL[6].



Figura 5.33 Colocación del textil electrotérmico



Figura 5.34 Colchón convencional con textil electrotérmico

El colchón terminado resulta un módulo calefactable el cual tiene 3 zonas diferentes, que pueden ser controladas de manera independiente y alcanzar temperaturas diferentes unas de otras, además mantiene las propiedades de flexibilidad y viscosidad ya existentes en el colchón.

El conjunto textil electrotérmico es adaptable como accesorio a cualquier colchón del mercado o integrable directamente en un colchón como producto con funciones térmicas.

Por último, se realiza un sencillo cálculo mediante el cual se obtiene la sección del hilo conductor necesario para nuestro sistema. Para ello utilizamos la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot W}{K \cdot \Delta V \cdot V} \quad (5.2)$$

Siendo:

- S: Sección del conductor en mm<sup>2</sup>

## Materiales y Métodos

- L: Longitud de la línea en metros
- W: Potencia transportada en Watios
- K: Conductividad eléctrica para el cobre
- $\Delta V$ : Caída de tensión desde el principio hasta el final de la línea en voltios
- V: Tensión de servicio en voltios

Con lo cual, sabiendo que nuestro sistema tiene una potencia de 36W, funciona a 12V y suponemos una caída de tensión del 1.5%, la sección de nuestro cable será el resultado de la ecuación (5.2):

$$S = \frac{2 \cdot 5 \cdot 36}{58 \cdot 0.18 \cdot 12} = 2.87 \text{mm}^2$$

Con lo cual, si vamos a la tabla 20, tenemos las distintas medidas estándar de hilos de cobre, seleccionamos:

*Tabla 20 Secciones comerciales que aparece en la ITC-BT-19 para conductores de cobre.*

	mm <sup>2</sup>
<b>Cobre</b>	1,5
	2,5
	4
	6
	10
	16
	25
	35
	50
	70
	95
	120
	150
	185
	240
300	

Se selecciona el de  $4 \text{mm}^2$  de grosor, que es el mínimo aceptable para el resultado de la sección. Todo lo que sea superior a nuestra sección, valdría, pero se selecciona el más cercano.

## 5.2.2. *Electrónica de control del colchón termorregulable*

Una vez terminado el diseño de nuestro colchón activo, necesitamos una electrónica de control para poder controlar todo el proceso. La electrónica se basará en seis termistores o sensores de temperatura NTC (Negative Thermal Coefficient), tres de ellos estarán colocados de manera que sea posible medir la temperatura del usuario y los otros tres en contacto con cada pad, los cuales medirán la temperatura del textil electrotérmico y según la temperatura que detecten, en relación a nuestra consigna, realizarán la activación o no del correspondiente pad.

### 5.2.2.1. *Adquisición de datos. Feedback*

Si queremos llevar a cabo el sensado de la temperatura que hay en todo momento en los puntos que vamos a medir necesitamos unos sensores de temperatura, existen de varios tipos:

- Termopares: su funcionamiento se basa en la variación de tensión que se genera en la unión de metales que están en contacto térmico, debido a sus diferentes comportamientos eléctricos
- Semiconductores: éstos están basados en la variación de la conducción de una unión p-n polarizada directamente
- Resistivos: en los que aparecen las RTD (Resistance Temperature Detector), los PTC (Positive Thermal Coefficient) y los NTC (Negative Thermal Coefficient)

Para la aplicación como ya se ha dicho anteriormente, se contará con sensores NTC, puesto que son idóneos ya que son muy pequeños y además son de fácil integración. Tanto en el textil electrotérmico como a la hora del conexionado al tener solo dos cables por ser resistencias, las cuales varían su valor óhmico al variar la temperatura que se les aplica ya sea por contacto directo o por radiación. También es una característica importante lo económicos que son, aunque cuentan con la necesidad de realizar un circuito acondicionador antes de procesar la señal que captan, pues su gráfica de respuesta resistencia-temperatura es logarítmica y necesitamos conseguir una lineal o que sea lo más parecido a una recta, para que, de esta manera, todos los valores sean proporcionales o lo más proporcionales posibles sin influenciar los factores de escala de medida en los que trabajara el sensor[6].

El sensor NTC elegido es el EPCOS B57861S0103F045 SENSOR, MINIATURA, NTC, 10K, es de 10K a 25°C, con una temperatura mínima de trabajo de -55°C y una máxima de 155°C, en la figura 5.35, podemos ver un ejemplo de este sensor.



Figura 5. 35 Sensor NTC modelo B57861S0103F045, marca EPCOS

### 5.2.2.1.1. Linealización sensor de temperatura NTC

La linealización o acondicionación de la señal obtenida de un sensor de temperatura, puede obtenerse de varias formas, en el caso de los NTCs un circuito que funciona suficientemente bien para la aplicación en cuestión ya que esta no necesita gran precisión en la captación de la magnitud temperatura, y es muy fácil de implementar por su sencillez, a la vez que es económico por utilizar solo un componente además del NTC. [6]

El circuito se compone de una resistencia  $R$ , la cual está en serie con el termistor, se confecciona un divisor de tensión que conectará en serie el termistor y una resistencia  $R_T$ , mientras que el conjunto estará alimentado por una fuente de tensión de 12V como podemos ver en el ejemplo de la figura 5.36.

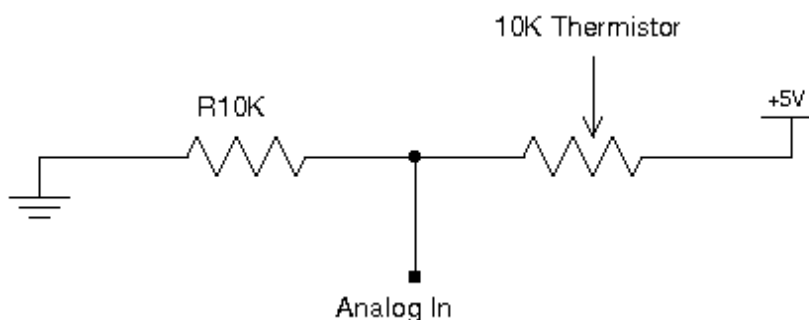


Figura 5. 36 Ejemplo de linealización de sensor NTC.

La tensión de salida  $V_s$  es medida en la resistencia  $R_T$ , es decir, es la caída de tensión que se produce a causa de esta resistencia puesto que se encuentra conectada a la referencia de potencial.  $V_s$  es la señal en tensión directamente proporcional a la temperatura captada por el termistor. Mediante la fórmula del divisor de tensión, se obtiene la  $V_s$ , que es la tensión del NTC ya linealizada[6].

$$V_s = V \cdot \frac{R_T}{R_T + R} \quad (5.3)$$

Para conseguir el valor de la resistencia  $R_T$  colocada en serie con el termistor y adecuada para obtener una linealización lo más cercana a una recta utilizamos:

$$R_T = R_{T_0} \cdot e^{B \cdot \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (5.4)$$

Siendo:

- $R_T$ : Es la resistencia a temperatura T en Kelvin
- $R_{T_0}$ : Es la resistencia de referencia a una temperatura  $T_0$  en Kelvin ( $T_0 = 25^\circ\text{C} + 273^\circ\text{C}$ )
- $B$ : Es un valor especificado por el fabricante del termistor

Mediante la fórmula 5.4 podemos averiguar el valor óhmico de la resistencia  $R_T$  en serie con el termistor a la temperatura concreta que tenga el termistor. Pero para llevar a cabo una linealización de la señal en nuestro rango de temperaturas necesitamos una fórmula adicional mediante la cual conseguir el valor de  $R_{T_{\text{rango}}}$  adecuado. Mediante la fórmula 5.4 y las  $T_{\text{max}}$  y  $T_{\text{min}}$  conseguimos las  $R_{T_{\text{max}}}$  y  $R_{T_{\text{min}}}$  respectivamente, una vez que tenemos dichas resistencias, utilizamos la siguiente fórmula:

$$R_{T_{\text{rango}}} = \left( \frac{R_{T_{\text{máxima}}} - R_{T_{\text{mínima}}}}{2} \right) + R_{\text{mínima}} \quad (5.5)$$

A continuación, en la tabla 21 aparecen los valores nominales de resistencia-temperatura y el coeficiente B, obtenidos por el fabricante:

Coeficiente B = 3988

Tabla 21 Valores del fabricante relación resistencia-temperatura del NTC

T(°C)	NTC (Ω)
-20	97070
-15	72929
-10	55330
-5	42315
0	32650
5	25388
10	19900
15	15708
20	12490
25	10000
30	8057
35	6531
40	5327
45	4369
50	3603
55	2986
60	2488
65	2083
70	1752
75	1481

80	1258
85	1072
90	917,7
95	788,5
100	680

A continuación, con los datos de esta tabla procedemos a hacer una gráfica de la relación Resistencia-Temperatura. La figura 5.37 nos muestra que la gráfica de respuesta del termistor en función la temperatura es logarítmica y no lineal, como deseáramos, con lo que, mediante las formulas mencionadas anteriormente, pasamos a linealizarla, para acondicionar la señal que posteriormente será procesada.

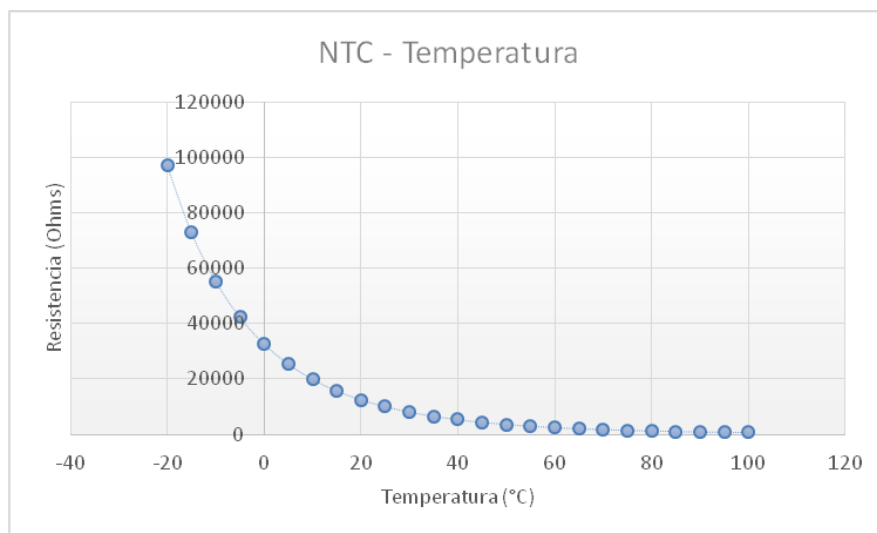


Figura 5. 37 Respuesta relación resistencia-temperatura NTC.

Nuestra aplicación trabaja en un rango de temperaturas de  $T_{mínima} = 15^{\circ}C$  y  $T_{máxima} = 40^{\circ}C$ , con lo que, utilizando las expresiones anteriores, obtenemos el valor de nuestra resistencia en nuestro rango de temperaturas.

$$R_T = R_{T_0} \cdot e^{B \cdot \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (5.4)$$

$$R_{T_{mínima}} = 10k \cdot e^{3988 \cdot \left( \frac{1}{288} - \frac{1}{298} \right)} = 15914.91\Omega$$

$$R_{T_{máxima}} = 10k \cdot e^{3988 \cdot \left( \frac{1}{313} - \frac{1}{298} \right)} = 5265.88\Omega$$

$$R_{T_{rango}} = \left( \frac{R_{T_{máxima}} - R_{T_{mínima}}}{2} \right) + R_{mínima} \quad (5.3)$$

$$R_{Trango} = \left( \frac{5265.88 - 15914.91}{2} \right) + 15914.91 = 10590.4\Omega$$

$$R_{Trango} = 10590.4\Omega$$

Para la tensión V de nuestro circuito linealizador, se determina que sea de 5V para que esté acorde a toda la alimentación de la placa electrónica, la cual tiene la condición de que lo conectamos a nuestro Arduino en la patilla de 5V.

El circuito de linealización del NTC es suficiente para cumplir correctamente su función, aunque no sería mala idea añadir un componente adicional que suavice las posibles fluctuaciones que podrían producirse en las mediciones del sensor como vemos en la figura 5.38. Se añade un condensador de  $1\mu\text{F}$  conectado en paralelo con el sensor para reducir las fluctuaciones de captura que puedan producirse y así obtener una señal será más fiable[6].

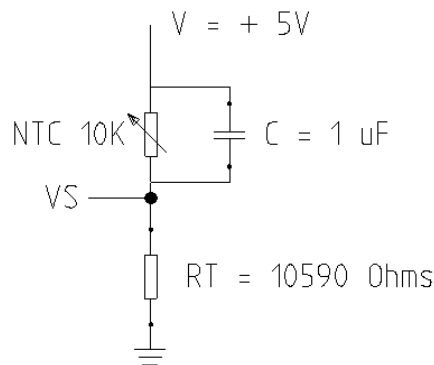


Figura 5. 38 Circuito completo de linealización NTC

Por último, en la Figura 5.39 se aprecia que la respuesta que se consigue con el circuito linealizador en el rango de trabajo de  $15^{\circ}\text{C}$  a  $40^{\circ}\text{C}$ , es prácticamente una recta y que el margen de error es prácticamente despreciable para la aplicación en la que se realizara la adquisición de datos.



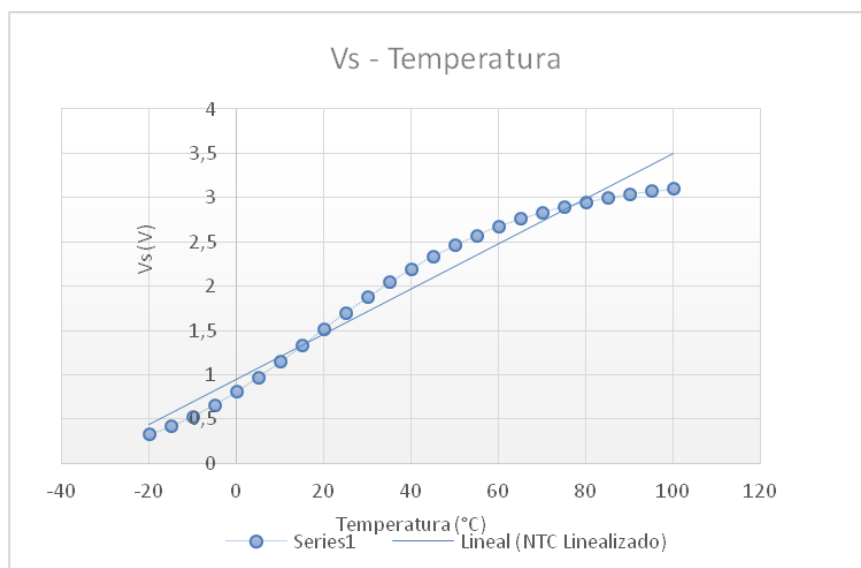
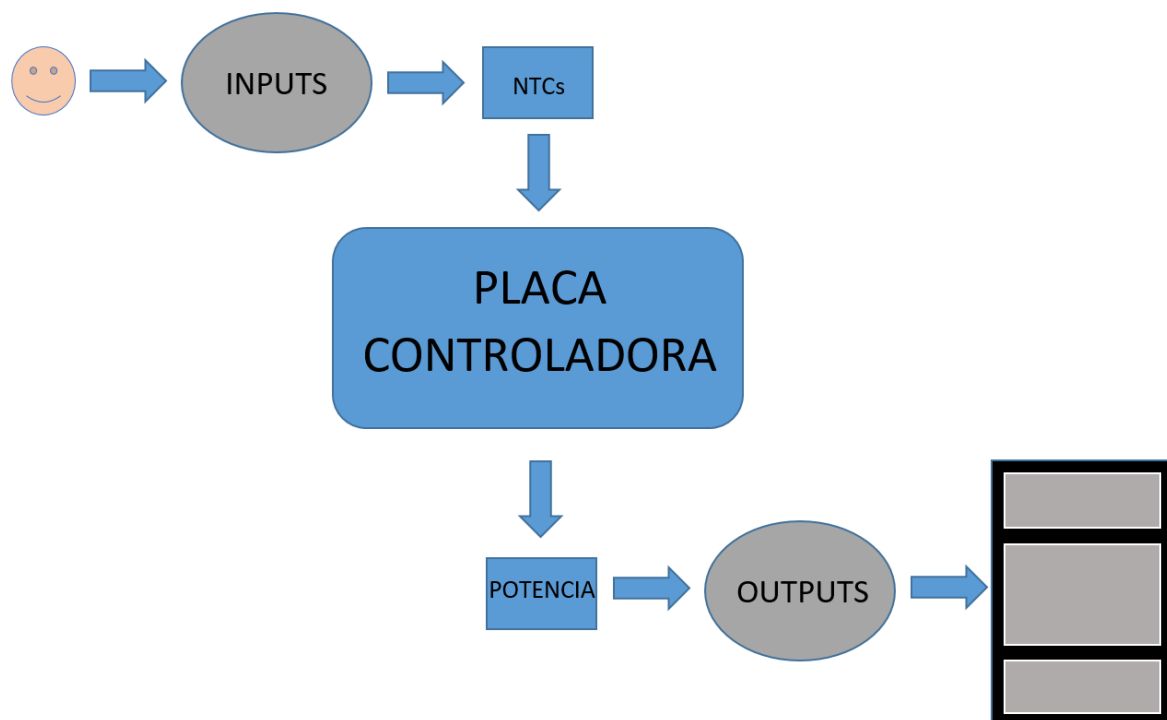


Figura 5. 39 Respuesta NTC Linealizado

### 5.2.2.2. Procesamiento de datos

Para procesar los datos que son recibidos desde los INPUTS que tiene el sistema; 3 sensores NTCs para medir la temperatura del usuario y otros 3 NTCs para medir la temperatura del textil electrotérmico, se necesita un componente que procese la información, para, así poder realizar las actuaciones de potencia correspondientes a cada situación del sistema. Dicho componente es el que vemos en la figura 5.40 en el esquema general como "placa controladora" y en la figura 5.41 como imagen del producto, un Arduino UNO, el cual es el cerebro de la placa electrónica y para nuestra aplicación, cumple las siguientes funciones:

- Convierte con un ADC a valores digitales, la señal  $V_s$  de los 3 sensores de temperatura. Multiplexa las 3 señales de forma que solo con un convertidor ADC puede convertir las 3 señales  $V_s$ .
- Mediante el programa que tiene configurado en su memoria de código, procesa los datos que recibe de los "inputs".
- Según el programa y los valores obtenidos de los inputs, activa o desactiva los componentes de potencia que activan o desactivan cada uno de los 3 pads del conjunto textil electrotérmico.



*Figura 5. 40 Esquema general de la electrónica*

La aplicación no necesita una alta capacidad de procesamiento, ya que se trabaja con temperatura y aunque trabajar con una magnitud física supone una cierta lentitud de respuesta, al ser temperatura dicha magnitud física y los cambios en ésta no son bruscos, el microcontrolador puede ser perfectamente de baja potencia de procesado[6].

Debe de contar con un ADC (Analog Digital Converter) el cual, como mínimo tenga 6 entradas analógicas multiplexadas para convertir las señales Vs de cada uno de los 3 NTCs integrados en los 3 pads térmicos, así como de los 3 NTCs que medirán la temperatura del usuario. También debe tener mínimo 3 pines de E/S para poder conectar como salida del Arduino los 3 componentes que activaran o desactivaran la potencia aplicada en cada pad. Por otro lado, la alimentación debe de ser de 5V para ir acorde con la tensión general de la placa electrónica de control.

Lo ideal para llevar a cabo esta aplicación sería emplear una placa de circuito impreso, pero debido a las características de nuestro sistema, utilizamos un Arduino UNO, porque únicamente necesitamos hacer establecer un control de un proceso de si o no, es decir, un proceso binario, con lo cual, para algo tan simple, un Arduino UNO, se ajusta a nuestras necesidades.

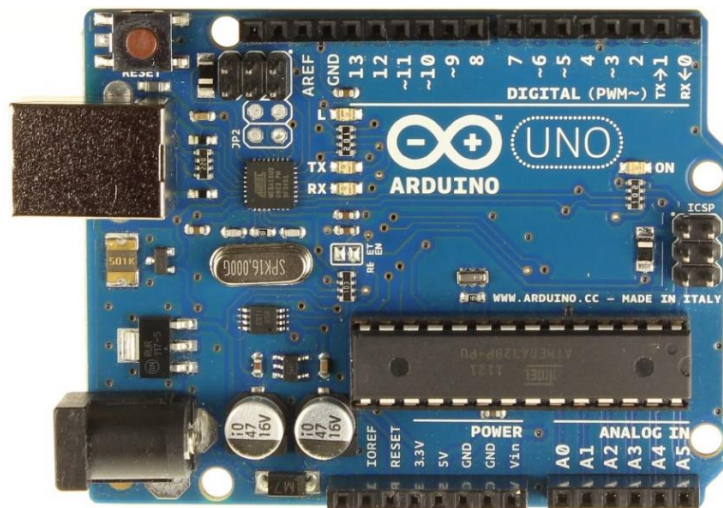


Figura 5. 41 Arduino UNO

El conexionado de Arduino es muy sencillo, en cuanto a las entradas, tenemos 6 NTCs las cuales irán conectadas a las entradas analógicas A0-A5 para la adquisición de datos, mientras que, para la alimentación, se conectarán las NTCs en serie entre ellas hasta conectarse a la entrada de 5V. A continuación, en la figura 5.42 vemos una ilustración del conexionado.

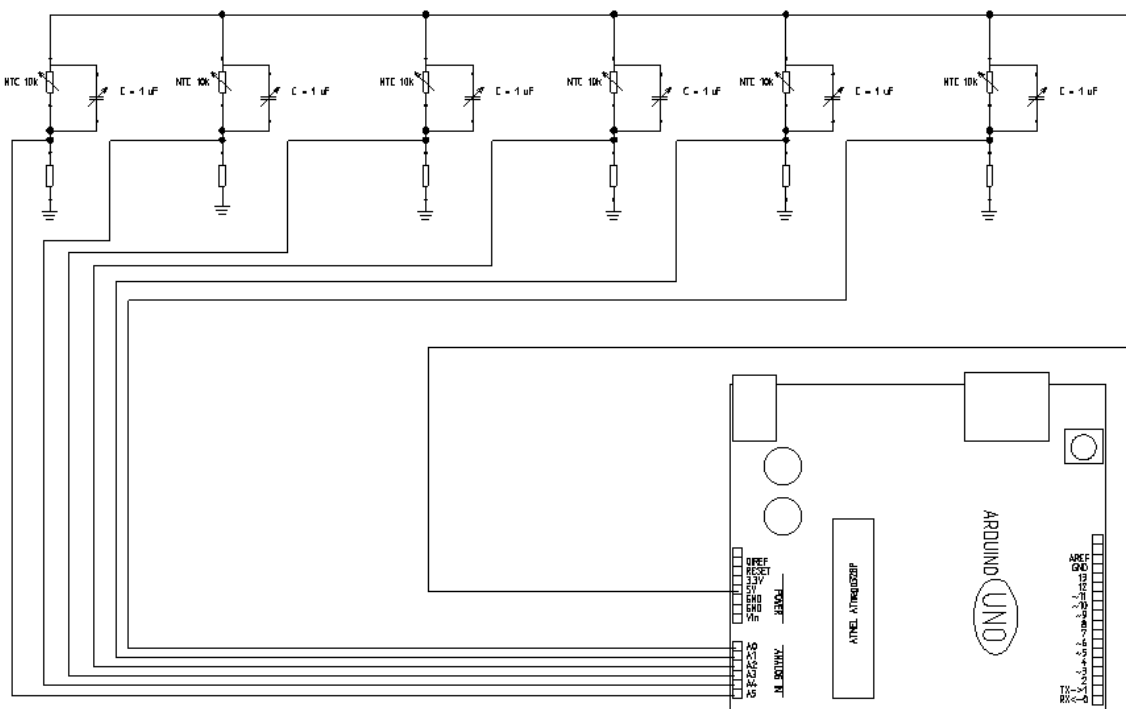


Figura 5. 42 Conexionado de NTCs a Arduino

Por otro lado, como aparece en la figura 5.43, se ilustra lo anteriormente citado, para encender o apagar cada pad del textil electrotérmico, empleamos dos MOSFET, uno

de canal P y otro de canal N, que interconectados llevan a cabo la función de interruptor, que será explicada en su correspondiente apartado.

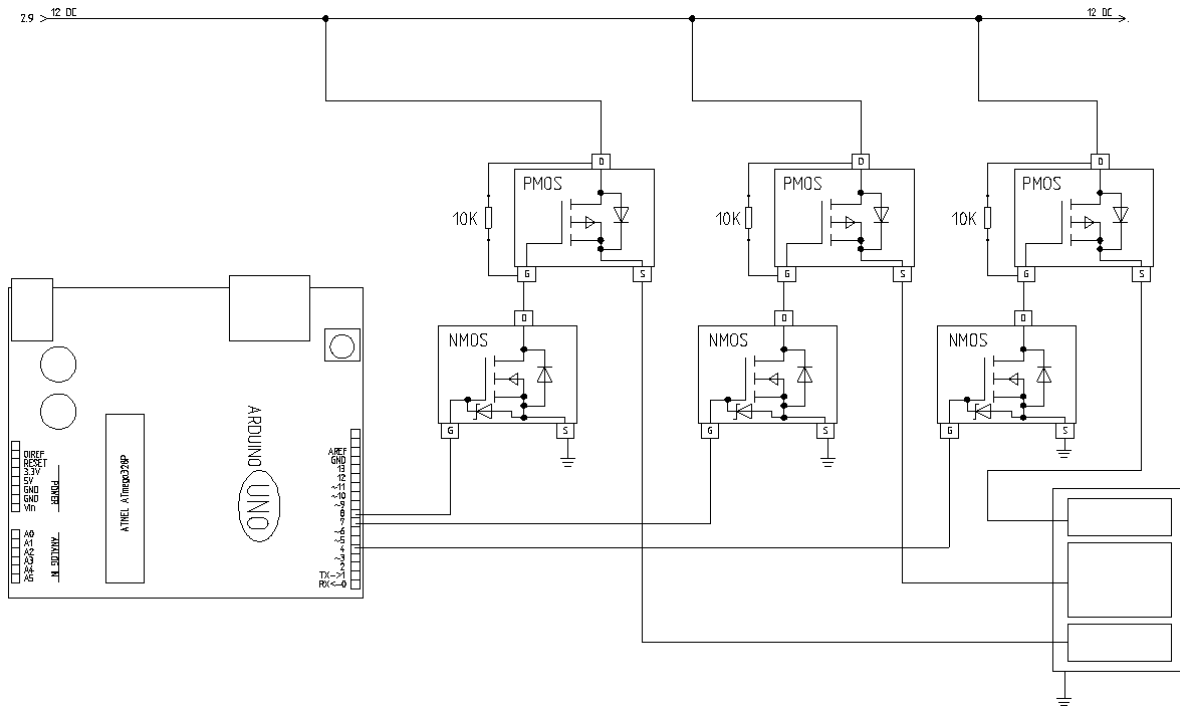


Figura 5. 43 Conexionado de la parte de potencia de Arduino

El funcionamiento del sistema se basa en un código sencillo, valores obtenidos por unos sensores, éstos son comparados con otros valores escritos en el programa y dependiendo de ellos y las acciones escritas, el sistema se activará o no.

El sistema comienza con la adquisición de la temperatura del usuario mediante 3 NTCs que medirán la temperatura de cabeza, torso y cadera y piernas y pies. Al mismo tiempo realizará otra medición, pero ésta con las NTCs que miden la temperatura de cada pad. Una vez obtenidas las 2 temperaturas correspondientes a cada zona (usuario y pad) se pasa al siguiente nivel.

A continuación, el sistema realiza una media entre las temperaturas medidas en el paso anterior, la cual, en el siguiente nivel será comparada con una temperatura de 37.5°C (36.5°C T<sup>a</sup>consigna + 1°C histéresis)

En este nivel se realiza la comparación entre la media y la suma de la temperatura de consigna y la histéresis. En caso de ser mayor, el textil electrotérmico permanecerá apagado o en caso de que el programa esté repitiendo ciclo y ya haya calentado lo suficiente, se apagará y seguirá haciendo la comparación hasta que sea menor, cuando sea menor pasará al siguiente nivel.

Ahora se realiza una comparación casi similar, pero esta vez con la condición diferente. Si la media es menor que la temperatura de consigna menos la histéresis, entonces se activará el textil electrotérmico y si no lo es, volverá de nuevo a realizar todo el proceso. A continuación, en la figura 5.44, vemos todo este proceso resumido en el siguiente diagrama de flujo.

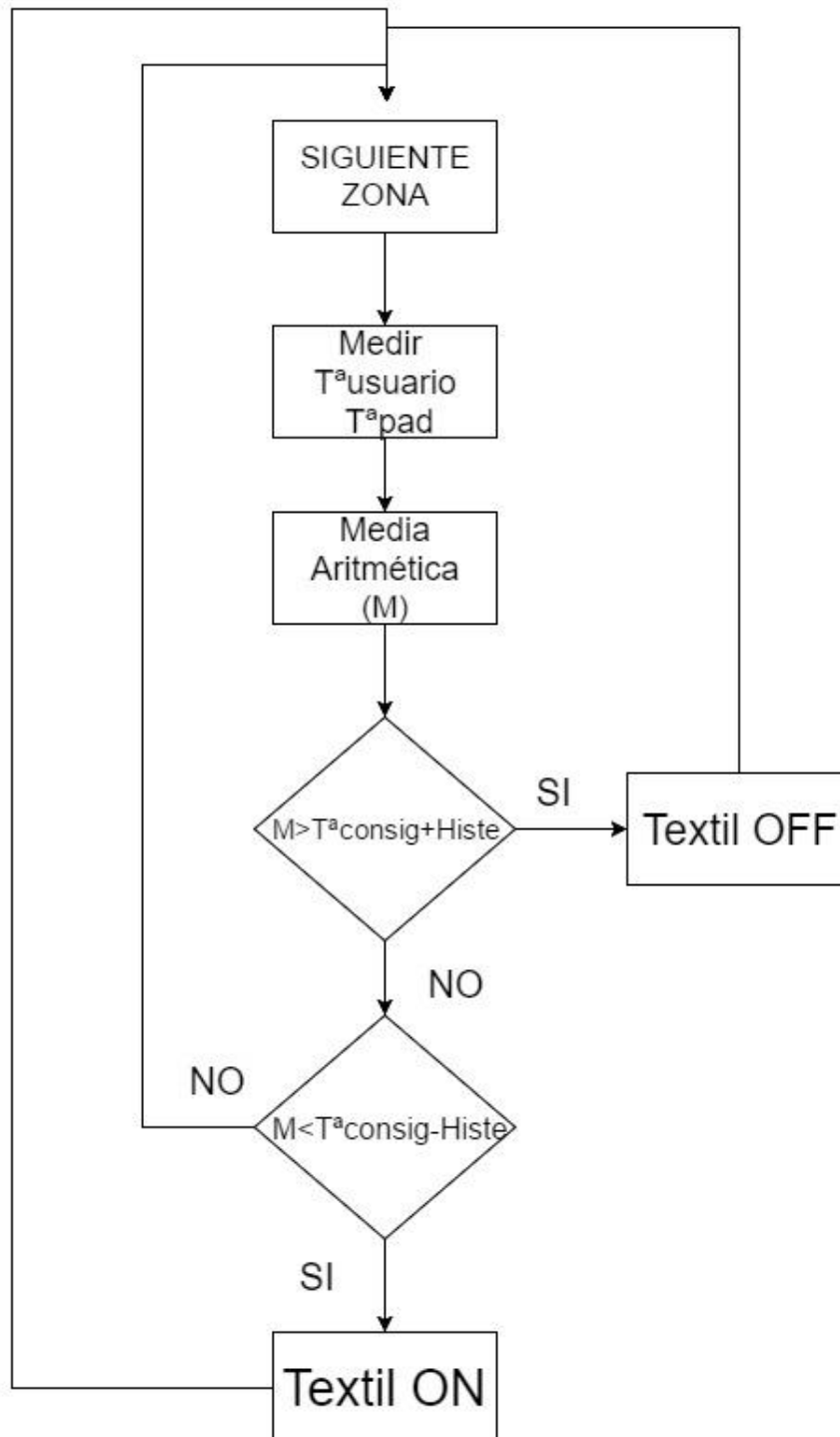


Figura 5. 44 Diagrama de flujo del funcionamiento de nuestro control electrónico.

### 5.2.2.3. Control de actuadores

Una vez que el control del sistema ha sido establecido, pasamos a implementar la parte de potencia encargada de suministrar energía de forma controlada e independiente a los pads electrotérmicos. Como sabemos los pads, a nivel eléctrico, son resistencias que son calentadas al circular la corriente eléctrica por ellas, con lo cual, necesitaremos un elemento que actúe como interruptor y que deje circular la corriente eléctrica cuando se active por medio de un control.

Para evitar complicaciones en la electrónica de potencia con elementos tipo triac o relés ruidosos que necesiten de un control software más complejo que un ON/OFF al tener semiciclos positivos y semiciclos negativos en la aplicación de la energía (AC), establecemos que la corriente eléctrica que circulará por los pads, sea continua (DC) y no alterna (AC), ya que con corriente continua, la energía es aplicada de manera constante y en un solo sentido, lo que conlleva a que tanto electrónica como componentes de potencia sean más sencillos, además de un análisis potencia-temperatura más preciso.

Para controlar el suministro de la energía en cada pad, se ha pensado en un sistema gobernado por dos MOSFETS, uno de canal N que irá conectado al Arduino y otro de canal P, que estará conectado a la alimentación (12V) y a través del control propiciado por Arduino, alimentará los pads electrotérmicos.

En el caso del MOSFET de canal P, se ha escogido el FAIRCHILD SEMICONDUCTOR FDN360P Transistor MOSFET, Canal P, 2A, -30V, 80 mohm, -10V, -1.9V, que aparece en la figura 5.45, estamos ante un componente de potencia de 3 pines, conectados internamente en el componente de forma que eléctricamente son 3 conexiones, las que tiene un MOSFET teórico; Gate, Drain y Source.



Figura 5. 45 FAIRCHILD SEMICONDUCTOR FDN360P

Mientras que para el canal N, el seleccionado ha sido el que aparece en la figura 5.46, FAIRCHILD SEMICONDUCTOR FDV301N Transistor MOSFET, Canal N, 220 mA, 25 V, 3.1 ohm, 4.5 V, 850 mV

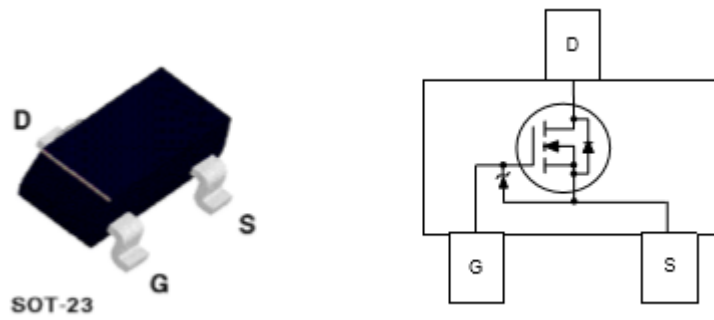


Figura 5. 46 FAIRCHILD SEMICONDUCTOR FDV301N

A continuación, en la figura 5.47 vemos una ilustración sobre el conexionado de los MOSFETS como interruptor para controlar el suministro de energía hacia los pads electro térmicos.

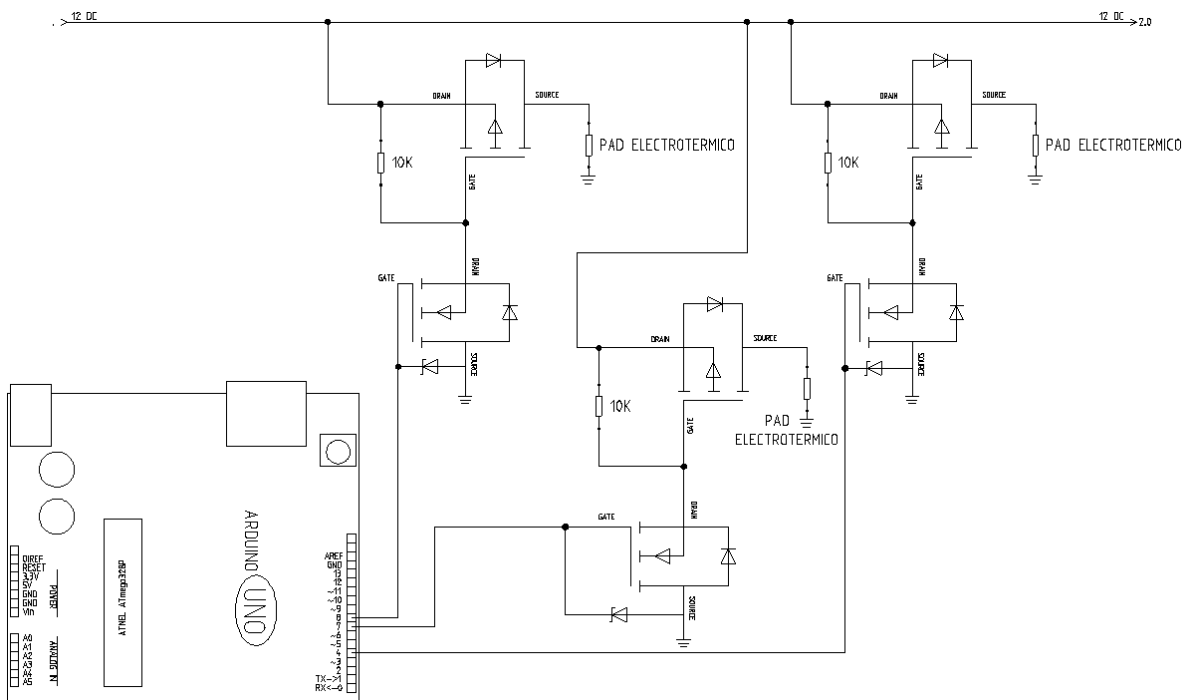


Figura 5. 47 Conexionado de los MOSFET con Arduino

Para ver mejor el conexionado de las entradas y salidas de los MOSFET, observamos la figura 5.48, en la que hacemos detalle sobre dicho conexionado para verlo con mayor claridad y que se entienda mejor.

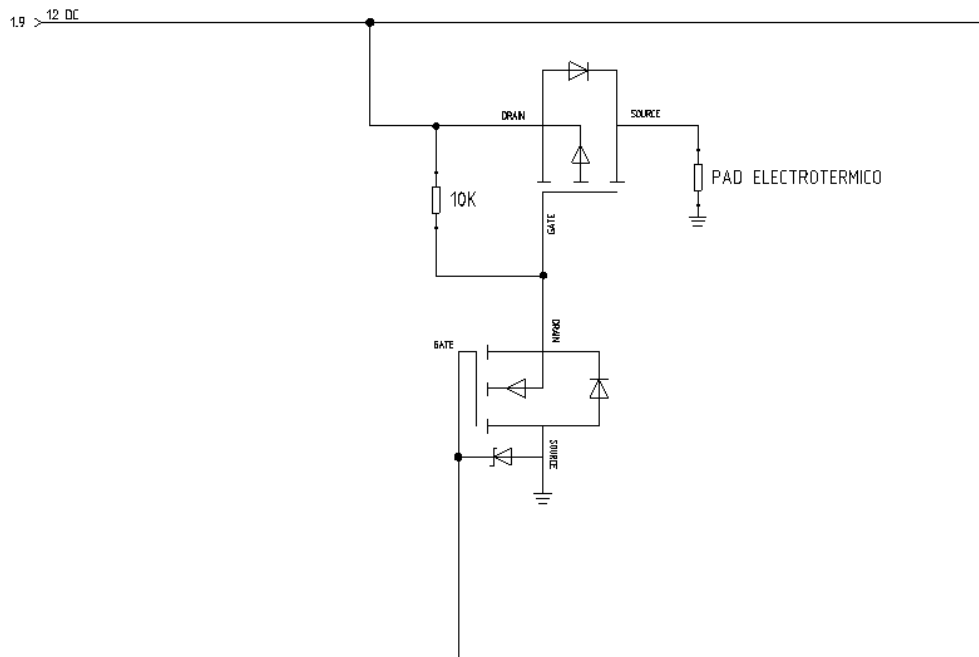


Figura 5. 48 Detalle Conexión de los MOSFET con Arduino

En primer lugar, está el MOSFET-N, el cual se conecta a una de las salidas digitales del Arduino mediante la conexión "GATE", después, se conecta la "SOURCE" a masa y, por último, en el canal N, la conexión "DRAIN" se conecta con la conexión "GATE" del canal P. En cuanto al canal P, la conexión "SOURCE" está conectada al suministro de 12V DC, mientras que la conexión "DRAIN", se conectará a cada pad electrotérmico.

Este sistema electrónico funciona mediante comparaciones de tensión y en base a los resultados obtenidos de estas comparaciones, que pueden ser 1 o 0, cumplirá la función "SWITCH ON" o "SWITCH OFF", respectivamente. Consta de dos partes, la comparación en el MOSFET-N y la comparación en el MOSFET-P.

La comparación realizada en el MOSFET-N compara el valor  $V_{GS}$  con el de  $V_{TH}$ .

- $V_{GS}$  es  $V_{GS} = V_G - V_s$ , en este caso, si la salida fuese 1 lógico, entonces  $V_G = 5V$  y  $V_s = 0$  con lo que  $V_{GS} = 5V$ . 5V es la tensión que saca el Arduino
- $V_{TH}$  es una tensión propia de cada MOSFET, indicada en el Datasheet del producto, "Gate Threshold Voltage", tiene un valor de 0.7V.

Entonces de acuerdo al funcionamiento, sí:

- $V_{GS} > V_{TH} \rightarrow$  SWITCH ON
- $V_{GS} < 0$  o  $V_{GS} = 0 \rightarrow$  SWITCH OFF

Por otro lado, la comparación del MOSFET-P de nuevo compara  $V_{GS}$  con  $V_{TH}$ , pero esta vez es a la inversa.



## Materiales y Métodos

- $V_{GS}$  es,  $V_{GS} = V_G - V_S$ 
  - $V_G$  dependerá de si el MOSFET-N está en "SWITCH ON" o en "SWITCH OFF". En caso de estar ON, significará que produce corto y entonces será 0V, mientras que si es OFF la tensión será 12V.
  - $V_S$  será la tensión de alimentación 12V
- $V_{TH}$  es la tensión propia de este MOSFET, indicada en el Datasheet del producto, "Gate Threshold Voltage", tiene un valor de -1.2V.

Con lo que sí:

- $V_{GS} < -V_{TH} \rightarrow$  SWITCH ON
- $V_{GS} > 0$  o  $V_{GS} = 0V \rightarrow$  SWITCH OFF

Entonces, si del MOSFET-N salen los 5V al ser éste "SWITCH ON", produce cortocircuito, con lo que  $V_G = 0V$  y como sabemos  $V_{GS} = V_G - V_S$  con lo cual al ser  $V_G = 0V$  y  $V_S = 12V$ ,  $V_{GS} = -12V$  y al ser  $-12V < -1.2V$  entonces el MOSFET-P estará ON. En caso de estar el MOSFET-N en "SWITCH OFF" la  $V_G = 12V$  con lo que  $V_{GS} = 12 - 12 = 0V$  y en ese caso  $-1.2V < 0V$  lo que dará un resultado de MOSFET-P en OFF, con lo que no circulará la corriente para los pads electrotérmicos. Este proceso estará controlado mediante el código del programa.

La razón de por qué todo este circuito es que para poder pasar el MOSFET-P a OFF, se ha de conseguir que  $V_{GS} = 0V$ , entonces, si conectásemos la salida de Arduino (5V o 0V) directamente a la conexión "GATE" del PMOS, sería imposible pasarlo a OFF pues si en el Arduino hubiese un 1 lógico entonces sacará 5V y  $V_{GS}$  sería  $\rightarrow V_{GS} = 5 - 12 = -7V$  que es mayor que el umbral de activación y en el caso de que en Arduino hubiese un 0 lógico, sacaría 0V y entonces tendríamos que  $V_{GS} = 0 - 12 = -12V$ . Como vemos en ninguno de los dos casos conseguimos  $V_{GS} = 0V$  que es lo que necesitamos para que  $V_{GS} < -V_{TH}$  y entonces nos de "SWITCH ON" en el PMOS.

También es importante mencionar la resistencia de 10k que aparece conectada en cada uno de los MOSFET-P, pues cumple una función muy importante ya que nos asegura que  $V_{GS}$  se baje a 0, porque en caso de no descargar la tensión en el sistema, esta resistencia actuará para que el sistema se descargue sobre ella y así cambie a su estado inicial (de 1 a 0).

### 5.2.2.4. Diseño de PCBs

A continuación, se diseñan las placas PCBs correspondientes para los diferentes circuitos electrónicos, dichos circuitos son los que aparecen en las figuras 5.42 y 5.47, las cuales fueron explicadas en su correspondiente apartado. Siendo éstas el circuito de las NTCs mediante el cual se realiza la obtención de la temperatura y su correspondiente linealización. Y el circuito en el que aparecen los MOSFET-N y los MOSFET-P, a través del cual se realiza la función de ON/OFF de los pads.

Para cada uno de los circuitos se realizan un número determinado de placas. En primer lugar, para el circuito correspondiente a las NTCs se realizan 6, puesto que tenemos 6 NTCs, mientras que, en cuanto al circuito correspondiente a los MOS, se realizan 3, uno para cada pad. A continuación, por medio del software Kicad, se procede al diseño de dichas placas, comenzando por la correspondiente a las NTCs.

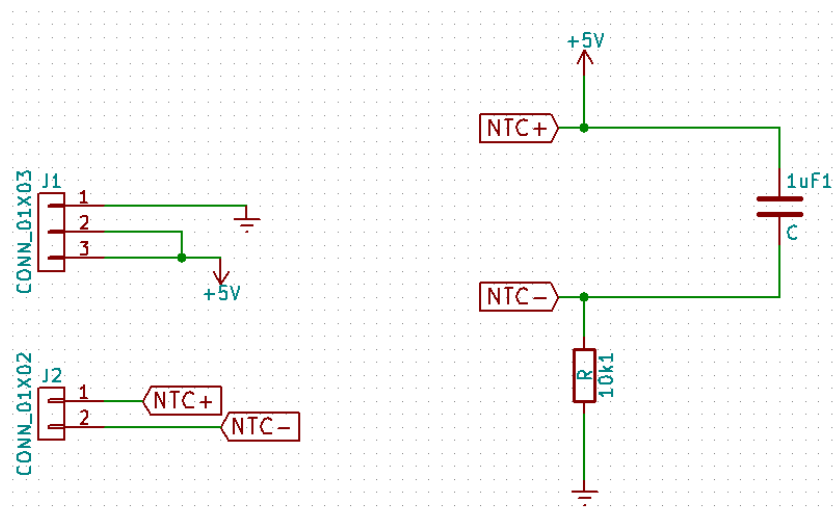


Figura 5. 49 Circuito NTCs en Kicad

Como se ve en la figura 5.49, el circuito consta de un conector de 3 entradas, una a masa y dos a 5v, el hecho de que haya dos a 5V es porque como aparece en la figura 5.42, los circuitos de las NTCs están conectados en serie y necesitamos un conector para 5v de entrada y otro conector para los 5V que irán a la siguiente placa NTC. La razón por la que la NTC no está en la placa es porque, físicamente, no está en la placa, las NTCs se encuentran en contacto con los pads o el usuario, con lo cual, por eso va a un conector.

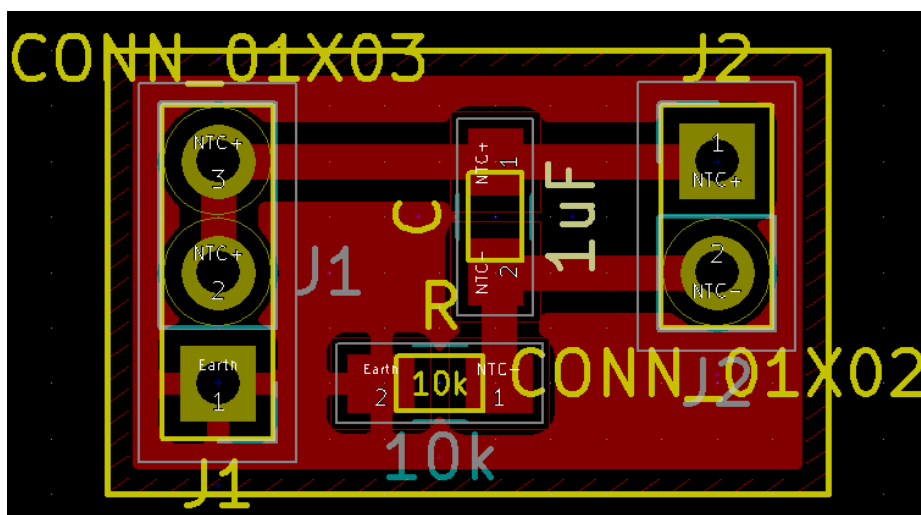


Figura 5. 50 Diseño Placa PCB de las NTCs

En la figura 5.50 vemos la placa PCB ya diseñada y con sus correspondientes conexiones, acorde al circuito que aparece en la 5.49.

Por último, en cuanto a las NTCs, para dar una imagen más “física” y menos virtual, tenemos la figura 5.51, en la que observamos nuestra placa PCB en 3D, lista para ser instalada en nuestro sistema.

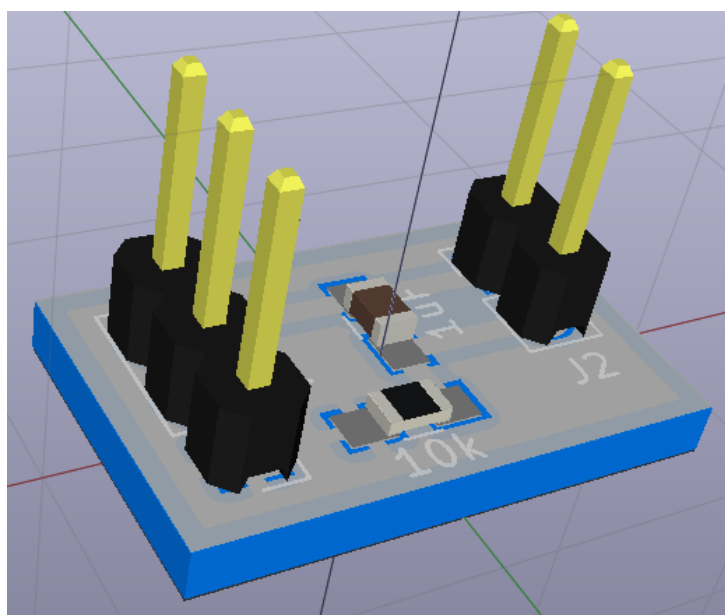


Figura 5. 51 Placa PCB de NTCs en 3D

En segundo y último lugar, el circuito correspondiente a los MOSFET N y P, mediante los cuales se lleva a cabo la conexión o desconexión de los pad electrotérmicos a través de las órdenes del programa ejecutado por la placa controladora. En la figura 5.52, se muestra el circuito de dichos MOSFETs, éste se repetirá 3 veces, uno por cada pad.

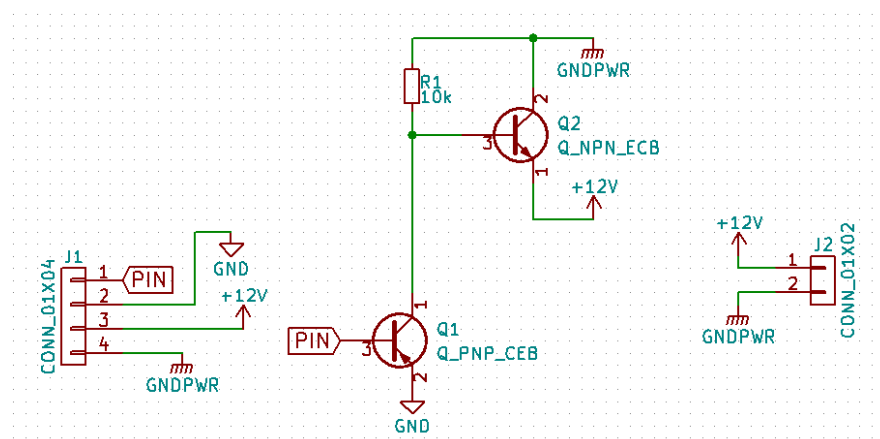


Figura 5. 52 Circuito de MOSFETs en kicad

A continuación, como en el caso anterior pasamos al diseño de la placa PCB, en base al circuito previamente mostrado. El diseño de ésta aparece en la figura 5.53. Una vez terminado dicho diseño, se realiza una imagen en 3D, como vemos en la figura 5.54, de la placa PCB lista para ser construida.

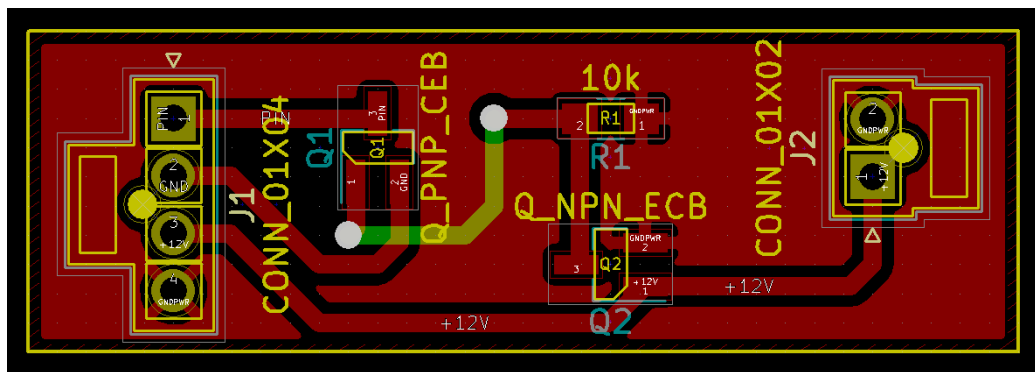


Figura 5. 53 Diseño placa PCB de los MOSFETs

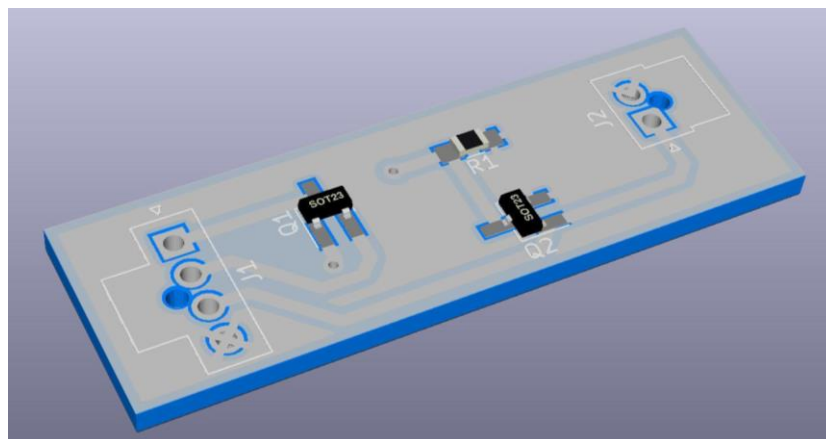


Figura 5. 54 Placa PCB de los MOSFET en 3D

### 5.2.2.5. Alimentación electrónica

La alimentación de todo el sistema es la misma, tanto la parte de potencia, como la parte de control, se alimentan a la misma tensión DC, con lo que se unifica en una sola fuente de alimentación general de 12V, que cumple de sobras las normativas de seguridad de baja tensión en contacto con el cuerpo humano mencionadas anteriormente en el punto 4.1.2.2.

Para alimentar el sistema se ha elegido una fuente de alimentación de la marca TRACOPOWER, pues es una de las marcas más competentes del mercado y además al tener una gran variedad de fuentes con diferentes características, se ha escogido una que se ajusta perfectamente a nuestras necesidades.

La fuente seleccionada se muestra en la figura 5.55 y es la fuente de alimentación de modo conmutado (SMPS) integrada, 40W, 2 salidas, Tensión 5 V dc, 12 V dc y corriente 1.25A-5A y como vemos en estas características, se ajusta de sobras a nuestras necesidades, pues la potencia de nuestro sistema era 35.8W y se alimenta a 12v, este es el margen comentado en el punto 5.2.1.1.1, con respecto a los posibles picos de tensión que pudiesen aparecer durante el funcionamiento de nuestro sistema. Dentro de este modelo de fuente, aparecen muchas variantes, con distintas características cada una, dichas variantes aparecen en la figura 5.56 y la que se ha escogido para nuestra aplicación es la TML 40112C de "chasis mount", o montaje en panel con terminales roscados, pues la "PCB mount" o Montaje en PCB con pines de soldadura, se utilizaría en aquellas aplicaciones en las que se utilizase una PCB y como se comentó, en este proyecto, lo utilizado ha sido un Arduino UNO.



Figura 5. 55 TRACOPOWER TML 40252C

40 Watt Models					
Order code		Output power max.	Output 1	Output 2	Output 3
PCB mount	Chassis mount				
TML 40103	TML 40103C	26.4 W	3.3 VDC/8000 mA		
TML 40105	TML 40105C		5.0 VDC/8000 mA		
TML 40112	TML 40112C		12 VDC/3333 mA		
TML 40115	TML 40115C		15 VDC/2666 mA		
TML 40124	TML 40124C		24 VDC/1667 mA		
TML 40205	TML 40205C	40 W	+5.0 VDC/4000 mA	-5.0 VDC/4000 mA	
TML 40212	TML 40212C		+12 VDC/1666 mA	-12 VDC/1666 mA	
TML 40215	TML 40215C		+15 VDC/1333 mA	-15 VDC/1333 mA	
TML 40252	TML 40252C		*5.0 VDC/5000 mA	*12 VDC/1250 mA	
TML 40254	TML 40254C		*5.0 VDC/5000 mA	*24 VDC/625 mA	
TML 40512	TML 40512C		*5.0 VDC/5000 mA	+12 VDC/600 mA	-12 VDC/600 mA
TML 40515	TML 40515C		*5.0 VDC/5000 mA	+15 VDC/500 mA	-15 VDC/500 mA

Figura 5. 56 Distintos tipos dentro de la propia fuente y selección

Dicha fuente de alimentación está completamente encapsulada y esta ultracompactada con densidad de potencia aumentada, entra dentro de la conformidad EMI con EN 55022, clase B y FCC nivel B y también cuenta con protección contra cortocircuito y sobrecarga, además, tiene las medidas que aparecen en la figura 5.57, un tamaño que al ser bastante pequeño es idóneo para nuestra aplicación, por otro lado, los pines de la fuente son los que se aprecian en la figura 5.58.

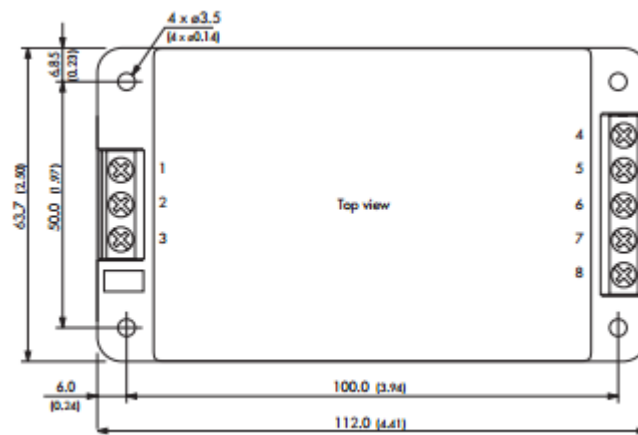


Figura 5. 57 Dimensiones del TML 40112C

Pinout / Connection				
Pin/ con.	Single output	Dual sym. output	Dual asym. output	Triple output
1	no pin / nc			
2	AC in (L)			
3	AC in (N)			
4	+Vout 1	Vout 1	+Vout 2	Vout 2
5	no pin / nc	no pin / nc	+Vout 1	+Vout 1
6	-Vout 1	com. 1/2	-Vout 2	com. 2/3
7	no pin / nc	no pin / nc	-Vout 1	-Vout 1
8	nc	Vout 2	no pin / nc	Vout 3

nc = not to connect

Figura 5. 58 Pines de la fuente

### 5.2.2.6. Código de Arduino

A continuación, se explica de manera breve la estructura y función de cada una de las partes del código mediante el cual se llevará a cabo el control de operación del funcionamiento de nuestro sistema.

El código está dividido en 4 partes o zonas diferenciadas.

La primera consta de la definición de las variables que afectan a nuestro sistema y del tipo de cada una de ellas, éstas son la temperatura de consigna, la histéresis, los seis sensores y los 3 MOSFET, serán los canal N, pues, a diferencia de los de canal P, son los que reciben tensión de ARDUINO.

La segunda parte del código realiza la medición de temperatura, tanto de la zona del cuerpo del usuario, así como del pad el cual esté en contacto con la su zona correspondiente. Por último, el programa realiza una media aritmética entre estos dos resultados cuyo significado se expresa en el siguiente punto.

La tercera parte se ocupa de, mediante la comparación de la temperatura obtenida a través de la media aritmética con la temperatura de consigna más la histéresis, decidir si se debe calentar o no en base al resultado obtenido de dicha comparación.

Esta media aritmética se realiza por la simple razón de la transmisión de energía entre cuerpos que están en contacto y quiere decir que el cuerpo u objeto más caliente de los dos, siempre cederá calor al cuerpo u objeto más frío de los dos. Con lo cual si el pad electrotérmico, se encuentra a unos 32°C y el cuerpo del usuario a 37°C y se hace la media, 34.5°C, ese valor será el cual se comparará con la  $T^a$ consigna + histéresis. En caso de que el valor de comparación fuese el del pad, en vez de la media, cuando éste alcanzase el valor requerido para superar la  $T^a$ consigna + histéresis, sería un calor

excesivo, pues está energía se cedería al cuerpo del usuario, generando así una temperatura demasiado elevada en el conjunto pad-usuario.

Por último, la cuarta parte es la encargada de dar la orden de actuar o no, la cual se realiza mediante el envío de la decisión anterior a Arduino, si la decisión fuese "CALENTAR" entonces el pin en el cual esté conectado el MOSFET-N se volverá HIGH (1 lógico) con lo que circulará tensión y entonces mediante el proceso de interruptor explicado anteriormente, el pad correspondiente a la zona medida calentará. Por el contrario, si la decisión fuese "NO\_CALENTAR" entonces el pin del MOSFET-N estará LOW (0 lógico) y de nuevo, a través del funcionamiento de dichos MOSFET como interruptores, no permitirá el paso de la corriente eléctrica suministrada por Arduino.

A continuación, en las siguientes figuras observamos el código de Arduino.

```
Codigo_cama

float T_Consigna = 36.4;
float histeresis = 1.0;
bool estado;

class Zona{
public:
    int PIN_SensorPad, PIN_SensorCuerpo, PIN_MOSFET;
    float Temp_1,Temp_2,Temp_med, T_Consigna, histeresis;
    Zona(int _PIN_SensorPad, int _PIN_SensorCuerpo, int _PIN_MOSFET, float _T_Consigna, float _histeresis);
    void medir_temperatura();
    void decidir();
    void actuar();
};

Zona::Zona(int _PIN_SensorPad, int _PIN_SensorCuerpo, int _PIN_MOSFET, float _T_Consigna, float _histeresis){
    T_Consigna = _T_Consigna;
    histeresis = _histeresis;
    PIN_SensorPad = _PIN_SensorPad;
    PIN_SensorCuerpo = _PIN_SensorCuerpo;
    PIN_MOSFET = _PIN_MOSFET;
}

void Zona::medir_temperatura(){
    Temp_1 = map(analogRead(PIN_SensorPad), 410, 600, 15.0, 40.0);
    Temp_2 = map(analogRead(PIN_SensorCuerpo), 410, 600, 15.0, 40.0);
    Temp_med = (Temp_1+Temp_2)*0.5;
}

void Zona::decidir(){

    if(Temp_med>(T_Consigna+histeresis)) estado=LOW;
    if(Temp_med<(T_Consigna-histeresis)) estado=HIGH;
}

void Zona::actuar(){
    if (estado==HIGH){
        digitalWrite(PIN_MOSFET, HIGH);
    }
    if (estado==LOW){
        digitalWrite(PIN_MOSFET, LOW);
    }
}
```

Figura 5. 59 Código Arduino (1)



## Materiales y Métodos

```
Zona Zona1(A0 ,A3 ,4, T_Consigna, histeresis);
Zona Zona2(A1 ,A4 ,7, T_Consigna, histeresis);
Zona Zona3(A2 ,A5 ,8, T_Consigna, histeresis);

void setup() {
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A2, INPUT);
  pinMode(A3, INPUT);
  pinMode(A4, INPUT);
  pinMode(A5, INPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
}

void loop() {
  Zona1.medir_temperatura();
  Zona1.decidir();
  Zona1.actuar();

  Zona2.medir_temperatura();
  Zona2.decidir();
  Zona2.actuar();

  Zona3.medir_temperatura();
  Zona3.decidir();
  Zona3.actuar();
}
```

Figura 5. 60 Código Arduino (2)

### 5.2.2.7. Montaje Físico

En este apartado se va a realizar un montaje de una parte de la electrónica del sistema, para observar si dicho montaje funciona tal y como se explica en la parte teórica.

El montaje llevado a cabo, se realiza en una placa prototipo, pero éste solo recoge la esencia de nuestro proyecto, pues se realizó con componentes diferentes a los que llevaría el sistema original, por ejemplo, la NTC, que en vez de 10K, es de 100K. Esto provocó que se tuvieron que hacer cambios y aproximaciones.

En primer lugar, se estudia el circuito linealizador. En él se emplea, una NTC de 100K, con una R de 100K conectada en serie y un condensador de  $10\mu F$  conectado en paralelo (también se cambió el condensador, pero no era necesario).

El sistema, una vez montado en la placa prototipo, como vemos en las figuras 5.61 y 5.62, se conecta a Arduino a 5V y GND.

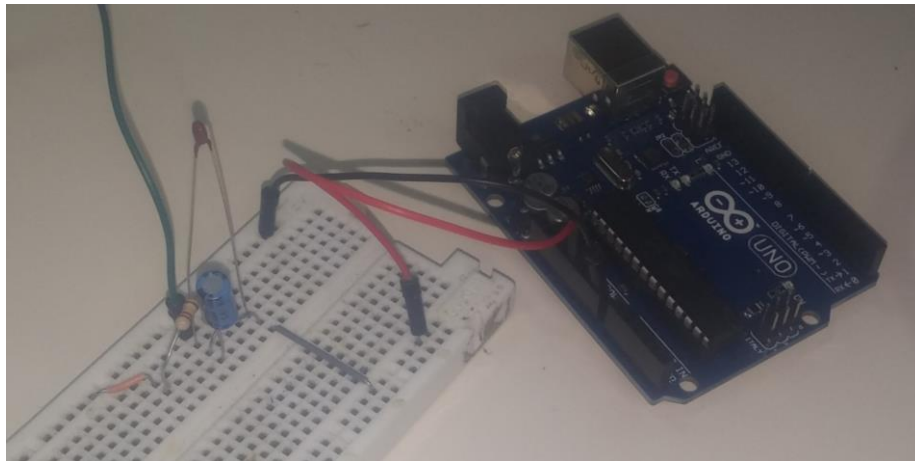


Figura 5. 61 Circuito linealizador con Arduino (1)

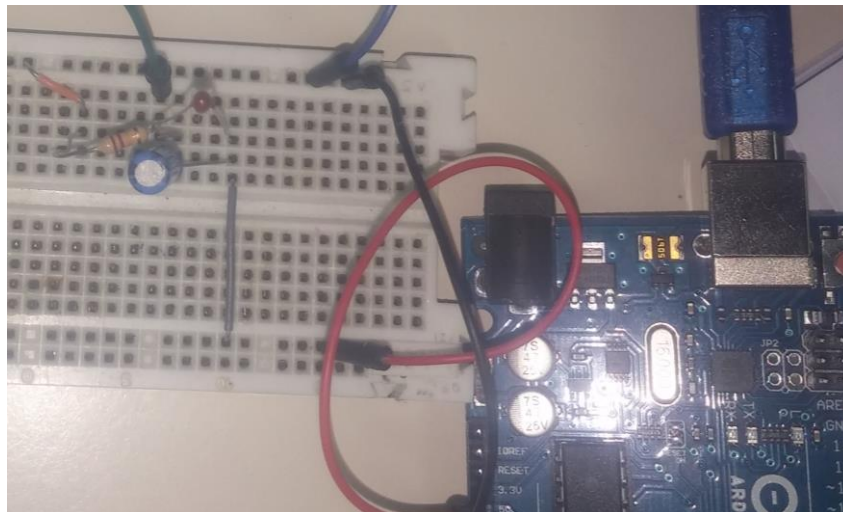


Figura 5. 62 Circuito linealizador y Arduino (2)

Con el sistema conectado se procede a utilizar el osciloscopio para estudiar el comportamiento de la NTC cuando al tocarla con nuestros dedos le transmitimos calor. En las figuras 5.63, 5.64 y 5.65, podemos apreciar un incremento de la Tensión.

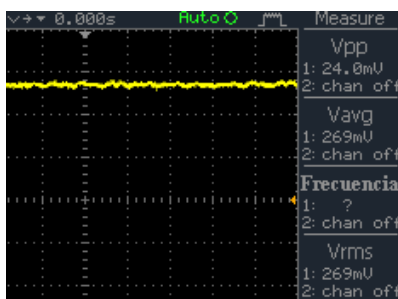


Figura 5. 63 Sin tocar NTC (1)

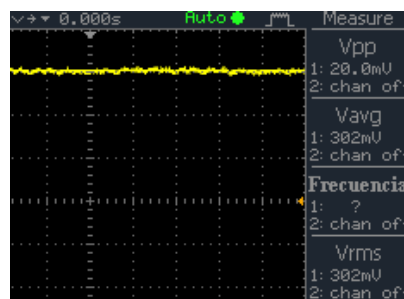


Figura 5. 64 Tocando NTC, valor medio (1)

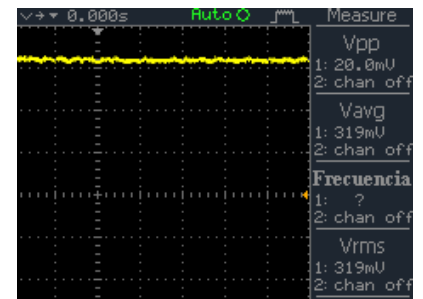


Figura 5. 65 Tocando NTC, valor máximo (1)

Esto significa que, ante un incremento de la temperatura de la NTC, se produce un descenso de la resistencia, lo que conlleva a un aumento de la V, para verlo con más

## Materiales y Métodos

claridad se grabó un video, el cual será adjuntado y explicado en el acto de defensa del TFG, estas figuras son capturas del video.

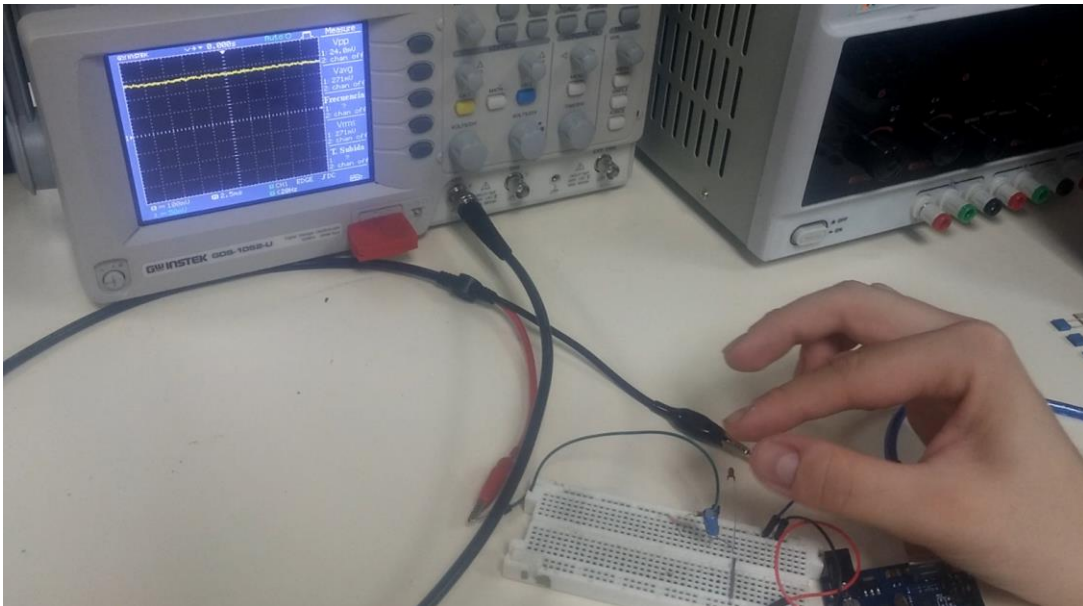


Figura 5. 66 Sin tocar NTC (2)

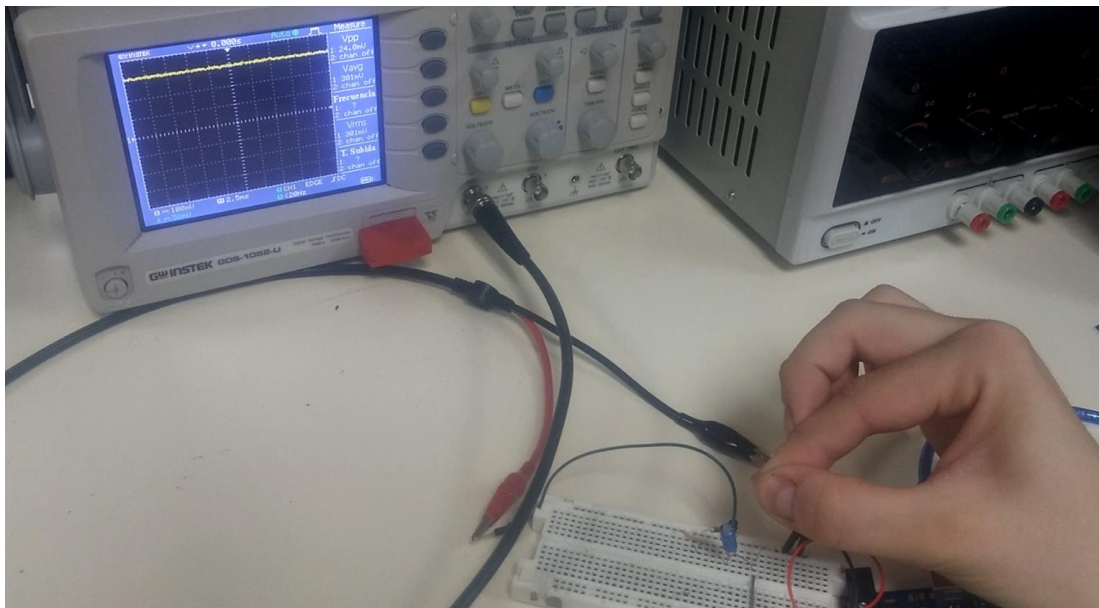
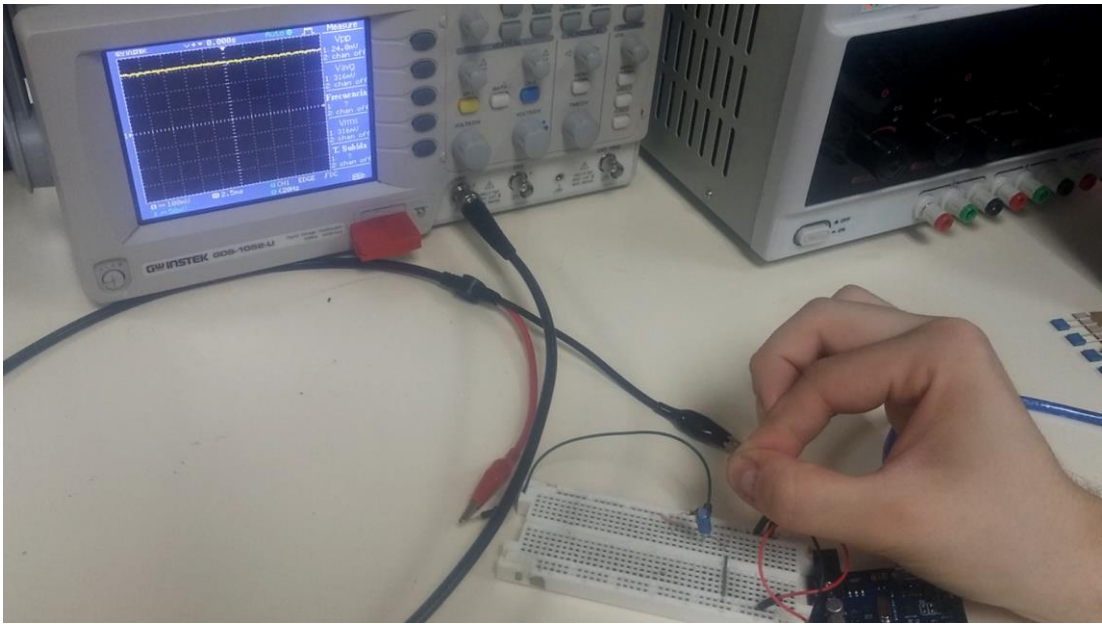
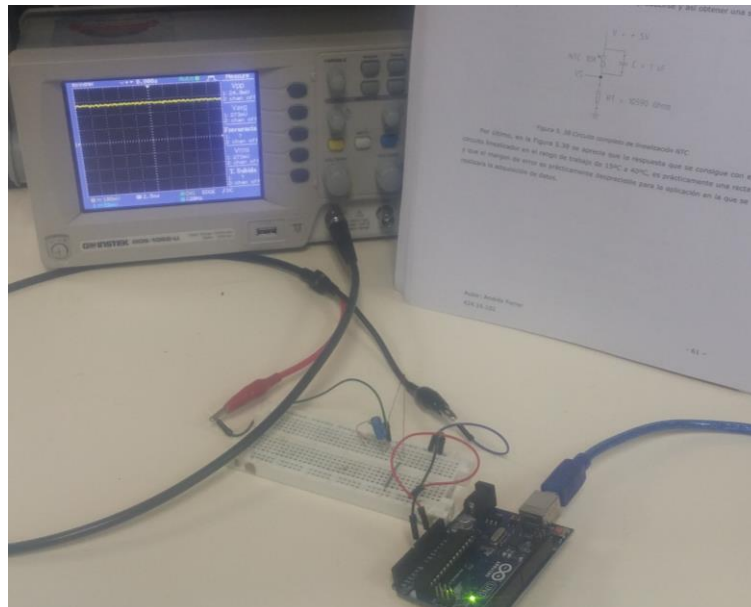


Figura 5. 67 Tocando NTC, valor medio (2)



*Figura 5. 68 Tocando NTC, valor máximo (2)*

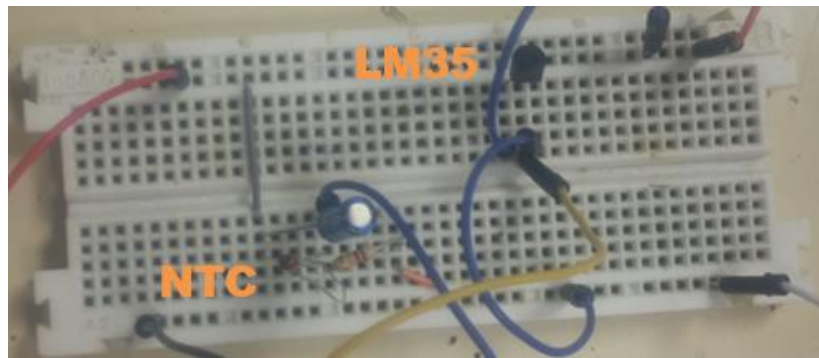
Por último, como imagen general del conjunto tenemos la figura 5.69 en la que vemos el esquema y el circuito conectado al osciloscopio y a Arduino.



*Figura 5. 69 Imagen general primer montaje*

A continuación, se realiza el montaje de lo que sería un pad electrotérmico mediante el que se suministraría calor al usuario, con su control por Arduino. Para dicho montaje se utilizarán, como se aprecia en la 5.70, dos sensores de temperatura, una NTC y un LM35 (No se encontró otra NTC) simulando los sensores que medirán temperatura pad y temperatura cuerpo, respectivamente.





*Figura 5. 70 Circuito Sensores*

En otra placa prototipo se realizará un circuito de potencia, que simulará al de nuestra aplicación, pero con la característica de un solo NPN, en vez de dos MOSFETs. Éste será el BC547 y las conexiones serán una resistencia de  $220\Omega$  en serie a base, mediante la cual se controlará la corriente de base e irá conectada al pin 4 de Arduino, el colector se conectará a alimentación y al emisor se le conectará una resistencia de  $560\Omega$  en serie, que a su vez estará conectada a un LED, dicha resistencia controlará la intensidad que circule por el LED. Este LED interpretará al pad electrotérmico y lucirá cuando, en base al programa y los datos obtenidos, sea preciso. Dichas conexiones se ven las figuras 5.71 y 5.70.

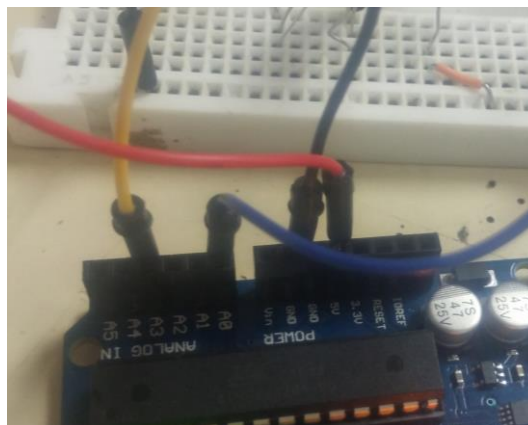


*Figura 5. 71 Circuito de potencia (1)*



*Figura 5. 72 Circuito de potencia (2)*

Por último, en las figuras sucesivas, aparece el circuito completo, con sus correspondientes conexiones a Arduino, como se explicó en las figuras 5.42 y 5.43 y que también se ve reflejado en el código de Arduino (figuras 5.59 y 5.60), por ejemplo, sensor pad Z1→A0 y sensor cuerpo Z1→A3.



*Figura 5. 73 Conexiones con Arduino*

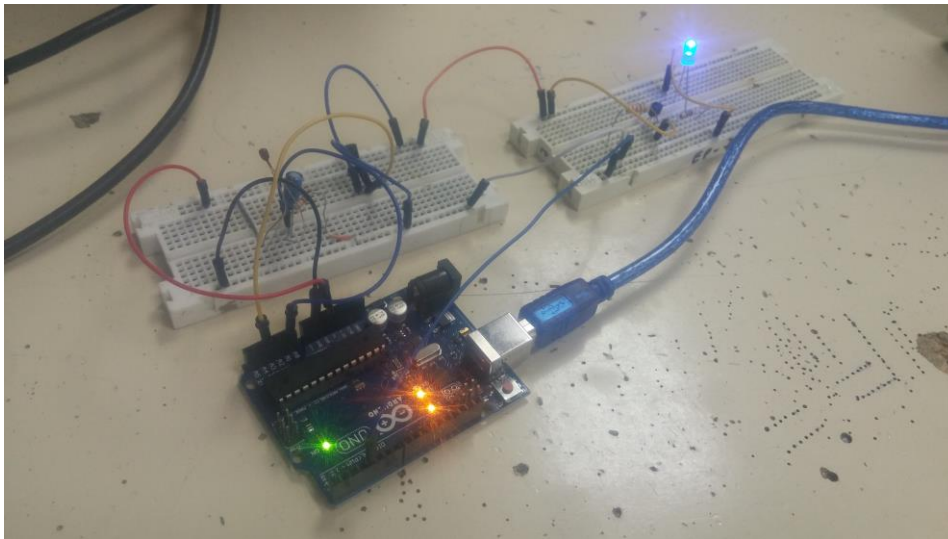


Figura 5. 74 Circuito completo

Para observar el funcionamiento, de nuevo, se grabó un video, el cual será explicado durante la defensa. Por último, en las siguientes figuras, aparecen capturas de dicho video en las que se ve el funcionamiento del programa.

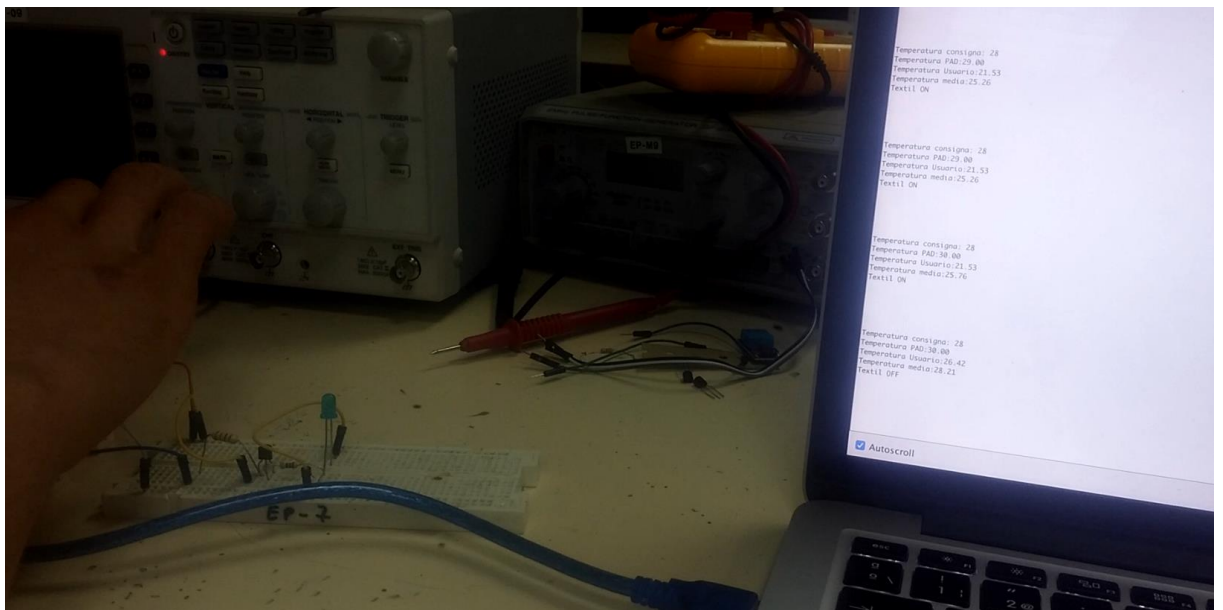


Figura 5. 75 Funcionamiento del sistema, Pad apagado

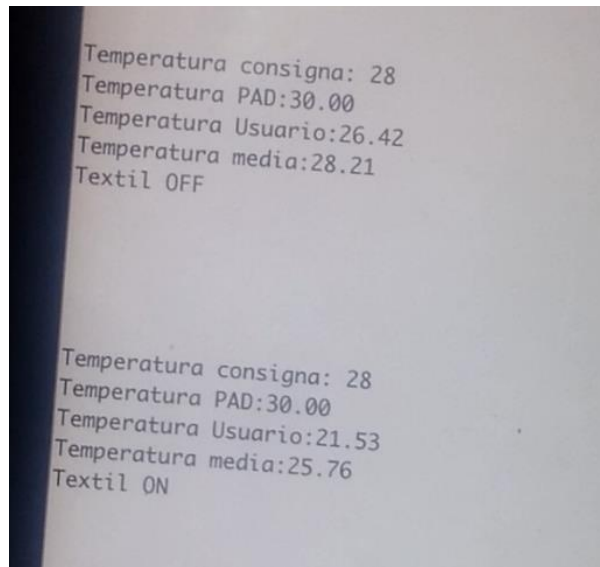


Figura 5. 76 Funcionamiento del sistema, Programa

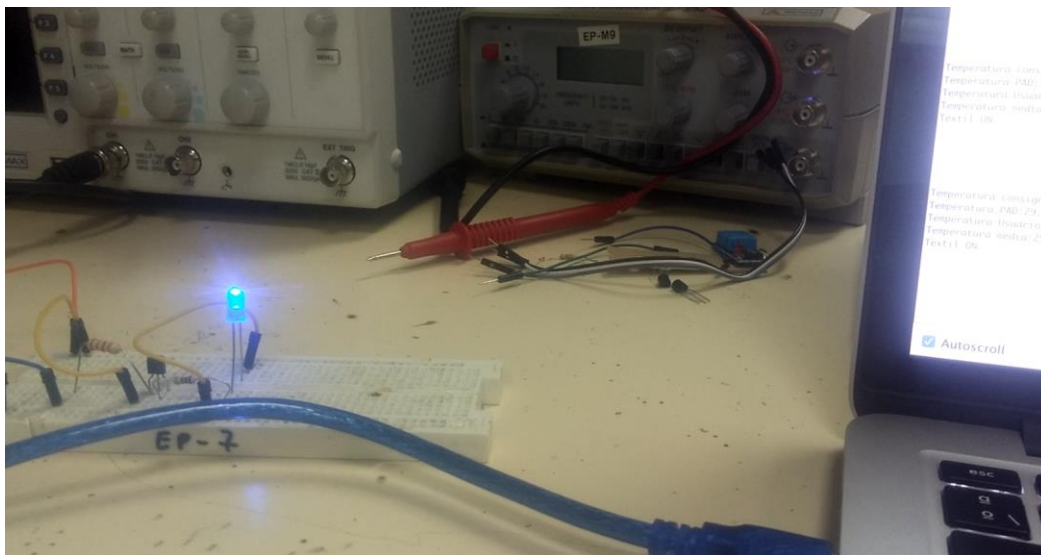


Figura 5. 77 Funcionamiento del sistema, Pad encendido



*5.2.2.8. Presupuesto*

<b>ARTÍCULO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO €</b>
COLCHÓN	1	189
PCM	1	200
CMY	3	195
ARDUINO UNO	1	21.26
MOSFET-N	3	0.529
MOSFET-P	3	1.311
NTC	6	24.24
R10K	6	0.18
C 1uF	6	0.612
TRACOPOWER	1	104.19
BASE TEXTIL	1	16.40
PCB	9	60
	<b>TOTAL</b>	<b>812.722€</b>

## 6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 6.1. CONCLUSIONES

En el proyecto actual se ha realizado un estudio de un sistema que presenta la novedad de la combinación de lo químico y lo electrónico en un mismo conjunto textil orientado a alcanzar el objetivo de un descanso lo más confortable y completo posible, pudiendo, con estas mejoras, dejar a un lado los factores externos que nos obstaculizan en el cumplimiento de nuestro objetivo.

Como hemos visto en los resultados obtenidos en cuanto a la cara A del colchón, el material con PCM, cuando las temperaturas incipientes están dentro de su rango de trabajo, reacciona como se esperaba, produciendo un descenso mucho menor de la temperatura en relación al tiempo. Como se explicó en su correspondiente apartado, si hubiese una fuente de calor (un usuario tumbado en una cama), de temperaturas prácticamente similares al rango de trabajo de dichas partículas, en contacto con el material, las propiedades de las PCM, llevarían a que se produjese una temperatura siempre constante dentro de los márgenes de trabajo de éstas, consiguiendo así el confort térmico deseado. Estos últimos resultados han sido obtenidos de manera teórica a través de diversos estudios y tesis que se han realizado en los últimos años sobre este material que poco a poco se está introduciendo más y más en el mercado debido a su infinito abanico de posibilidades.

Como es un material que está todavía en estudio y éste es a nivel microscópico y nanométrico, su precio es elevado, pero ya hay varias empresas, como por ejemplo OUTLAST, que lo están estudiando y mejorando, para obtener un material con las mejores prestaciones posibles y al mismo tiempo lo más económico posible para su comercialización y aplicación en distintos ámbitos.

Por otro lado, la cara B del colchón está complementada por un sistema electrónico, mediante el cual, a través de los sensores, pads electrotérmicos y el sistema de potencia diseñado, se suministra, o no, calor al usuario de manera independiente, para que éste alcance el confort térmico para disfrutar de un sueño placido y duradero. El material que se eligió fue el CMY, debido a su rápida y eficaz relación Temperatura/Tiempo, además de su bajo consumo, los componentes fueron escogidos tratando de alcanzar la mayor optimización posible, en lo referente a calidad/precio y los resultados, obtenidos a través de la propia empresa creadora del material, Litex, son bastante buenos para adaptar su tecnología a nuestra aplicación.

## 6.2. LÍNEAS FUTURAS

Bien es cierto que durante la realización del trabajo han ido surgiendo complicaciones o más bien limitaciones como, por ejemplo, el radio de captación de temperatura de las NTCs, el cual es bastante limitado al haber solo una. Esto podría ser solventado con la integración de más sensores dentro de la misma zona, para así, en caso de que el usuario se moviese, que siguiese teniendo una radio de captación propiciado por otra NTC, otra solución sería cambiar el sistema casi por completo. Consistiría en la instalación de una cámara térmica en la habitación y que ésta mediante su funcionamiento y sensado, activase o desactivase cada uno de los pads, se puede pensar que es una opción inviable debido al elevado coste de dichas cámaras, pero a día de hoy se están diseñando cámaras térmicas, de prestaciones medianamente avanzadas, a un precio económico.

Por otro lado, comentar el presupuesto, como se esperaba es un sistema pensado para el alto standing debido al elevado coste de los materiales, aunque seguro que, si se llegase a comercializar, se optimizaría el proceso y podría llegar a darse un producto mucho más eficaz y económico.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «El principio del descanso: Colchones» .
- [2] Javier Ramón Sánchez Martín, «Los tejidos inteligentes y el desarrollo tecnológico de la industria textil».
- [3] Colegio profesional de Fisioterapeutas Comunidad de Madrid, «Guía del descanso saludable».
- [4] ABC.es, «Ingenieros murcianos desarrollan un colchón refrigerable». [En línea]. Disponible en: <http://www.abc.es/videos-espana/20120719/inventores-murcianos-desarrollan-colchon-1743333090001.html>.
- [5] ABC.es, «Ingenieros murcianos desarrollan un colchón refrigerable» .
- [6] G. Álvarez Casellas, «Colchón con tecnología electrotérmica textil», 2009.
- [7] Haiku-Futon, «La cama en el pasado, presente y futuro.» .
- [8] Victor Armando Fuentes Freixanet, «Confort». 1995.
- [9] Marta Vigo, «Confort humano». .
- [10] «HEATING+TEXTILE.pdf».
- [11] LITEX Technology, «Noncarbon+fiber+heating». .
- [12] LITEX Technology, «Wearable+heating+spec+v5». .
- [13] Carlos J. Climent, «Smart Textiles: La moda puede esperar».
- [14] Gabriel Farias Iribarren, «Tejidos técnicos e inteligentes.», 08-oct-2015. [En línea]. Disponible en: <http://gabrielfariasiribarren.com/tejidos-tecnicos-e-inteligentes/>.
- [15] María Luz, Sanchez Silva, «Microencapsulación de materiales de cambio de fase para su aplicación textil», Ciudad Real, 2009.
- [16] Bárbara Vidal Jiménez, «Modelización cambio de fase sólido líquido. Aplicación a sistemas de acumulación de energía térmica.», 2007.
- [17] A. Pasupathy, R. Velraj, y R. V. Seeniraj, «Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 12, n.º 1, pp. 39-64, ene. 2008.
- [18] María Almudena Ruano San José, «Análisis Térmico de la Aplicación de Materiales de Cambio de Fase en Climatización», 2011.
- [19] M. Mishra, *Handbook of Encapsulation and Controlled Release*. CRC Press, 2015.
- [20] M. M. Farid, A. M. Khudhair, S. A. K. Razack, y S. Al-Hallaj, «A review on phase change energy storage: materials and applications», *Energy Convers. Manag.*, vol. 45, n.º 9-10, pp. 1597-1615, jun. 2004.
- [21] C. Vélez, M. Khayet, y J. M. Ortiz de Zárate, «Temperature-dependent thermal properties of solid/liquid phase change even-numbered n-alkanes: n-Hexadecane, n-octadecane and n-icosane», *Appl. Energy*, vol. 143, pp. 383-394, abr. 2015.

## Relación de documentos

<input checked="" type="checkbox"/> Memoria .....	89	páginas
<input type="checkbox"/> Anexos .....	30	páginas

La Almunia, a 28 de 07 de 2017

Firmado: Andres Ferrer Sierra



Etiquetas para CD/DV

