

E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática
y de Telecomunicación

Diseño de calefactor eléctrico impreso sobre sustrato flexible



Grado en Ingeniería
en Tecnologías Industriales

Memoria de Trabajo Final de Grado

Iñigo Lasarte Lasarte Lasarte

Ángel M^a Andueza Unanua

Pamplona, 4 de junio de 2021

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



Agradecimientos

Para empezar, me gustaría expresar mi agradecimiento a mis padres Javier e Izaskun, y mi hermano Unai, sin los cuales no hubiese llegado a donde estoy ahora. Su apoyo incondicional y valores transmitidos, junto con el apoyo económico han sido indispensables para mi educación.

Mostrar el agradecimiento a la Universidad Pública de Navarra por permitirme cursar mis estudios, en especial a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicación y a mi tutor del Trabajo de Fin de Grado, Ángel M^a Andueza Unanua, quién desde el primer día mostró un gran interés por el proyecto, ayudando y aconsejando siempre que lo he necesitado. Muchas gracias, Ángel.

Del mismo modo, agradecer a todo el equipo de NAITEC y a mi tutora en la empresa, M^a Puy Zudaire por darme la oportunidad de aprender y realizar mis Prácticas en Empresa, así como realizar mi Trabajo de Fin de Grado. Sin duda, una experiencia inolvidable y un bonito recuerdo que siempre guardaré.

Me gustaría también expresar mi gratitud a Torrecid, por darme la oportunidad de emplear las indispensables muestras experimentales de sus productos durante el desarrollo del proyecto.

Finalmente, a mis compañeros de promoción, gracias por los años vividos trabajando, aprendiendo y disfrutando de esta experiencia tan importante para nuestras vidas.



Resumen

El principal objetivo del presente trabajo es el diseño de un calefactor eléctrico mediante electrónica impresa sobre sustrato flexible. El proyecto se lleva a cabo en la empresa NAITEC, en los edificios de Noáin y Estella, con el fin de desarrollar un producto electrónico híbrido, totalmente integrado en el sustrato flexible.

El diseño hardware del proyecto se realiza mediante un software de diseño electrónico, mientras que la fabricación del prototipo se lleva a cabo en el edificio de Estella de Impresión Funcional, mediante los equipos de impresión electrónica por Serigrafía, Inkjet e impresión Láser (LIFT). Posibilitan realizar impresiones de distintos tamaños con distintos materiales.

Se ha fabricado un prototipo impreso sobre sustrato flexible, el cual lleva integrados todos los componentes de un producto electrónico convencional sobre el mismo, sirviendo de base para la realización de futuros proyectos similares.

Abstract

The main purpose of the present work is the design of an electric heater printed over a flexible substrate. The development of the Project takes place at NAITEC, company located in Noáin and Estella, and it tries to lay the groundwork for the development of similar products in the future. This Project has been developed as an end of degree project in Industrial Engineering by the Public University of Navarre.

The project includes the hardware specifications needed for the fabrication of the product as well as software ones.

Palabras clave

- Soldadura.
- Diseño.
- Impresión.
- Componentes.
- Tinta.



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	9
2. OBJETIVOS	10
3. ANTECEDENTES	11
3.1. Antecedentes históricos	11
3.2. Métodos de impresión	13
3.2.1. Serigrafía	13
3.2.2. Inkjet	14
3.2.3. Láser (LIFT)	16
3.3. Tinta conductora	17
3.3. Sustrato	20
3.5. Alcance actual	22
3.6. Normativa	23
4. SOFTWARE EMPLEADO	25
4.1. Altium Designer	25
4.1.1. Aprendizaje de Altium Designer	27
4.2. PSoC Creator/Designer	28
4.2.1. Aprendizaje de PSoC Creator	29
5. DISEÑO HARDWARE	31
5.1. Funcionalidad	32
5.2. Componentes impresos	32
5.2.1. Slider capacitivo	32
5.2.2. Calefactor	35
5.3. Componentes no impresos	36
5.3.1. Sensor de temperatura	36
5.3.2. LED RGB	37
5.3.3. Microcontrolador	38
5.3.4. Relé de estado sólido	40
5.4. Componentes pasivos	41
5.5. Diseño en Altium Designer	41
5.5.1. Esquemático	42
5.5.2. Diseño PCB	43
5.6. Método de soldadura	45
5.6.1. Soldadura por estañador	45



5.6.2.	Soldadura por stencil.....	46
5.6.3.	Soldadura manual por adhesivo de soldadura.....	48
5.6.4.	Soldadura manual por pasta conductiva.....	49
5.7.	Elección de método de soldadura	49
6.	DISEÑO SOFTWARE.....	51
6.1.	Bloque PWM.....	51
6.2.	Bloque Conversor Analógico Digital (CAD)	52
6.3.	Control del sensor capacitivo	53
6.4.	Programación.....	55
6.5.	Especificaciones de programación	57
7.	ENSAYOS DE IMPRESIÓN.....	58
7.1.	Serigrafía	58
7.2.	Láser (LIFT)	58
7.3.	Inkjet	60
7.3.1.	Prueba 1	62
7.3.2.	Prueba 2	65
7.3.3.	Impresión de la resistencia del calefactor.....	66
7.4.	Pruebas de soldadura	69
7.4.1.	Soldadura manual 1: Pasta de soldadura.....	69
7.4.2.	Soldadura manual 2: Adhesivo de soldadura.....	71
7.4.3.	Soldadura por sinterizado láser.....	72
7.5.	Elección de muestra tras proceso de soldadura	73
8.	Elección de batería	74
8.1.	Tipos de baterías de litio	74
8.2.	Elección de batería	75
9.	Presupuesto	76
10.	Conclusiones y líneas futuras	78
11.	Bibliografía.....	79
ANEXOS	81



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación de la Ley de Moore a lo largo de los años [1]	9
Figura 2: Imprenta original de Gutenberg [2]	11
Figura 3: Proceso de impresión por serigrafía [3].....	14
Figura 4: Detalle de la pantalla de serigrafía [4].....	14
Figura 5: Proceso de impresión mediante inkjet [5].....	15
Figura 6: Esquema del funcionamiento de la deposición por Inkjet [6].....	15
Figura 7: Proceso de impresión mediante láser (LIFT) [7].....	16
Figura 8: Ejemplo de teclado conformado por tinta conductora [8]	18
Figura 9: Tratamiento de la tinta durante el proceso de impresión	19
Figura 10: Ejemplo de circuito impreso sobre Kapton [9].....	20
Figura 11: Lámina de PET [10].....	20
Figura 12: Fibra de carbono [11]	21
Figura 13: Ejemplo de circuito impreso sobre textil [12]	21
Figura 14: Sustrato de vidrio [13]	22
Figura 15: CI flexible de American Semiconductors [14]	22
Figura 16: Impresión electrónica 3D mediante filamento ALFAOHM [15]	23
Figura 17: Logo de Altium Designer [16]	25
Figura 18: Espacio de trabajo del esquemático.....	25
Figura 19: Menú de componentes.....	26
Figura 20: Diseño PCB de circuito electrónico en Altium	26
Figura 21: Logo de PSoC Creator [17].....	28
Figura 22: Espacio de trabajo de la herramienta gráfica	28
Figura 23: Interfaz de carga de proyectos ejemplo	29
Figura 24: Acceso a la hoja de datos de un bloque de programación	30
Figura 25: Tipos de encapsulado de CI electrónico [18]	31
Figura 26: Ejemplo de soldadura pasante (izquierda) y soldadura superficial (derecha) [19]	31
Figura 27: Sensor capacitivo y Modelo de Cuerpo Humano [20].....	33
Figura 28: Diferencia de contacto entre superficie de sensor grande y pequeña [21]	33
Figura 29: Ejemplo de Slider capacitivo [22]	33
Figura 30: Slider en forma de flecha simple [23]	34
Figura 31: Pruebas Slider capacitivo.....	34
Figura 32: Ejemplo de calefactor electrónico impreso [24]	35
Figura 33: Calefactor vertical (izq) y calefactor radial (dch).....	35
Figura 34: Diseños radiales con menor ocupación de área	36
Figura 35: CI encapsulado SOT-23 de 3 pines [25].....	36
Figura 36: Curva Tensión de salida (V) frente a Temperatura ambiente (°C) [26].....	37
Figura 37: LED RGB de montaje superficial [27]	38
Figura 38: Resistencia de montaje superficial y métrica 1206 [28]	38
Figura 39: CI en formato SOIC-16 [29].....	39
Figura 40: Relé de estado sólido OMRON G3VM-21DR [30]	41
Figura 41: Esquemático del proyecto	42
Figura 42: Organización de pines del microcontrolador.....	43
Figura 43: Diseño PCB sin rutado	44
Figura 44: Diseño PCB con grosor de pista de 0,25mm	45
Figura 45: Estañador eléctrico [31]	45
Figura 46: Pantalla Stencil [32]	46
Figura 47: Pasta de soldadura [33].....	47
Figura 48: Recubrimiento aislante.....	48



<i>Figura 49: Adhesivo de soldadura loctite EDAG 5915 100G</i>	<i>49</i>
<i>Figura 50: Control PWM de nivel de iluminación LED [34]</i>	<i>51</i>
<i>Figura 51: Ciclo de trabajo de señal PWM en modo comparación [35]</i>	<i>52</i>
<i>Figura 52: Ejemplo de Conversión Analógico-Digital [36]</i>	<i>52</i>
<i>Figura 53: Diagrama de flujo de funcionamiento.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 54: Conexiones de programación [37].....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 55: Prueba de impresión sobre Kapton defectuosa</i>	<i>59</i>
<i>Figura 56: Puntos de soldadura impresos por láser en kapton (izq) y PET (der).....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 57: Impresión de circuito completo sobre sustrato PET</i>	<i>60</i>
<i>Figura 58: Impresora Inkjet ARDEJE Origin D100</i>	<i>61</i>
<i>Figura 59: Funcionamiento Inkjet multi-pass [38].....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 60: Muestra N° 10.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 61: Diseño PCB con grosor de pista de 0,5mm</i>	<i>64</i>
<i>Figura 62: Muestra N°3 del segundo ensayo Inkjet.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 63: Circuito calefactor recién impreso.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 64: Imágen infrarroja de la muestra 01 a 5V</i>	<i>68</i>
<i>Figura 65: Soldadura en pasta Chipquick [39].....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 66: Componente soldado (izq) y detalle de daño al circuito impreso (der)</i>	<i>70</i>
<i>Figura 67: Vista inferior del condensador despegado con pista adherida al conector.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 68: Dispositivo soldado mediante adhesivo de soldar.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 69: Daños en el sustrato a consecuencia de la soldadura por sinterizado láser</i>	<i>72</i>
<i>Figura 70: LED verde (izq) y LED rojo (der)</i>	<i>73</i>
<i>Figura 71: Batería Li-Po [40].....</i>	<i>75</i>





1. INTRODUCCIÓN

Desde su aparición, la electrónica ha seguido una tendencia progresiva a lograr una mayor capacidad y velocidad en espacios cada vez más reducidos dentro de los circuitos integrados. Según la Ley de Moore, representada en la *Figura 1*: Representación de la Ley de Moore a lo largo de los años [1] junto a la evolución de procesadores INTEL los transistores que componen los circuitos integrados ven reducido su tamaño a la mitad cada dos años aproximadamente, lo cual se ha cumplido hasta el día de hoy.

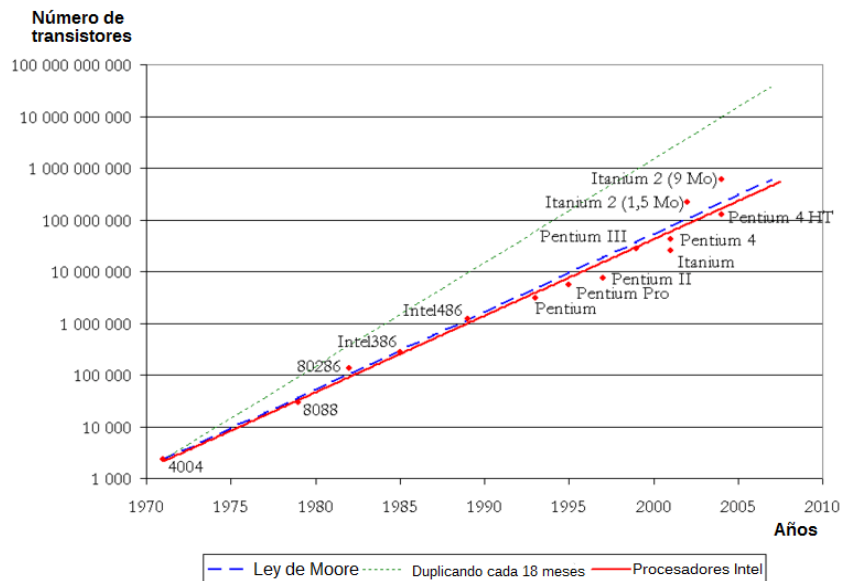


Figura 1: Representación de la Ley de Moore a lo largo de los años [1]

Sin embargo, el problema no reside únicamente en el tamaño de los transistores (los cuales cada vez ven más complicada la reducción de su tamaño), pues la geometría de las placas y sus componentes ocupan un espacio considerable en muchas ocasiones. Es aquí donde la electrónica impresa entra en juego.

La característica de la electrónica impresa de adaptarse a una gran variedad de sustratos le otorga una capacidad enorme de adaptación a geometrías irregulares, que, gracias a los sustratos flexibles, es posible incluso adherir a superficies curvas. Además de esto, la electrónica impresa ofrece una ligereza y delgadez sin precedentes.

Todas estas ventajas han situado a la electrónica impresa en el punto de mira de la investigación, puesto que, a pesar de sus muchas ventajas, hace falta mejorar distintos aspectos de ella, especialmente la soldabilidad de componentes. Es por ello que este proyecto se centra en la integración de todos los componentes de silicio presentes en una placa electrónica tradicional, en una placa flexible mediante soldadura.

Este proyecto se realiza en la empresa de Investigación y Desarrollo NAITEC, dedicada al ensayo mecánico y EMC además del desarrollo de soluciones de automoción y mecatrónica, en la que existe una línea de investigación y desarrollo de tecnología de la electrónica impresa.



2. OBJETIVOS

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de un calefactor electrónico con control de temperatura sobre sustrato flexible, mediante impresión electrónica. El proyecto abarca tanto el diseño del hardware como del software, donde todos los componentes se encuentran totalmente integrados en el sustrato flexible.

Para asegurar un correcto funcionamiento del circuito lo primero es el proceso de impresión, teniéndose en especial cuenta la tinta electrónica a emplear y el sustrato en el que se imprime, de manera que se obtenga una conductividad suficientemente alta como para garantizar el correcto funcionamiento del circuito.

Dado que existen diferentes métodos de soldadura electrónica enfocada a los sustratos flexibles, se realizarán diferentes ensayos de soldadura con el fin de determinar mediante la obtención de resultados la opción que mejor se adapte tanto al sustrato como a la tinta empleada.

Puesto que se trata de un diseño electrónico flexible, se analizará la posibilidad de integrar la alimentación mediante baterías flexibles, en función de la potencia final requerida en el diseño.



3. ANTECEDENTES

3.1. Antecedentes históricos

- La imprenta:

Desde la aparición de la escritura, el desarrollo de una capacidad de reproducción rápida de libros y escritos ha sido prioritaria en todo el mundo. Hoy en día los libros son un elemento común que, gracias a los avances tecnológicos, poco a poco está comenzando a ser reemplazado por medios digitales que cumplen la misma función.

Sin embargo, durante la mayor parte de la historia el libro era un objeto muy valioso. Se trataba de uno de los pocos medios (o el único) de transmisión de conocimiento y cultura fácilmente transportable que existía, además de las personas mediante la voz. Si a esto se le añade la escasez de personas que sabían leer y escribir, y que se trataba de la única alternativa a la hora de reproducir los escritos, es posible hacerse una idea del lujo que representaba la posesión de un libro.

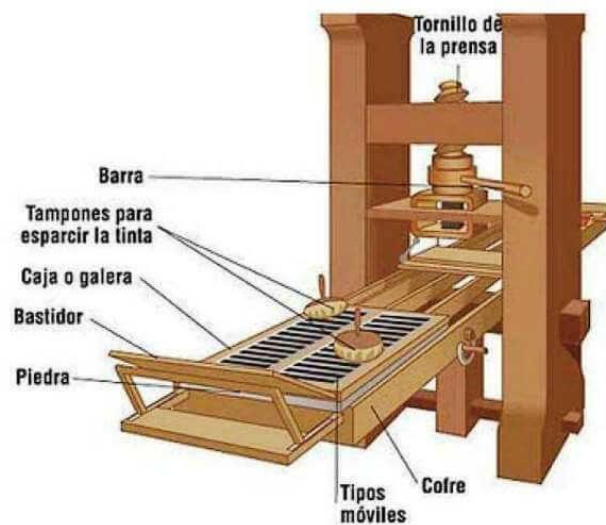


Figura 2: Imprenta original de Gutenberg [2]

Por estas razones, desde la aparición del libro se ha intentado desarrollar la tecnología que permita reproducirlos de manera rápida y barata. Durante la historia, muchos han sido los intentos de desarrollar distintos sistemas, pero ninguna se acercó al éxito y eficiencia de la imprenta de Johannes Gutenberg, inventada en el año 1451, la cual no podría haber sido concebida sin muchos otros desarrollos relacionados con esta durante la historia.

Más adelante, a finales del siglo XIX, Ottmar Mergenthaler inventó la linotipia, la cual mecanizaba el proceso de composición de un texto, ahorrando mucho tiempo y trabajadores. Esto permitió aumentar considerablemente la longitud de los periódicos entre otras cosas.



- El papel (sustrato):

El predecesor más antiguo del papel podría decirse que se trata del papiro egipcio. Remontándose al año 3000 aC, se trataba del primer material con propiedades asociadas al papel tal y como es concebido hoy en día. Su fabricación se basaba en las propiedades de la planta *Cyperus Papyrus*, abundante en la orilla del río Nilo.

La primera aparición del predecesor directo del papel ocurrió en China en el año 105 dC, el cual consistía en la mezcla de la parte interior de la corteza del árbol de la morera, bambú, cáñamo y restos de trapos de tela y redes de pesca. Este material se conoció solo en Asia hasta que, en 1150, los árabes lo introdujeron en España, extendiéndose a través de Europa sustituyendo al pergamino.

Finalmente, con el paso de los años se fue modificando poco a poco el proceso de fabricación del papel, hasta dar con la fórmula empleada hoy en día. Además, distintos tipos de papel han ido surgiendo poco a poco, especialmente el último siglo, los cuales presentan propiedades diferentes que los hacen ideales para distintas aplicaciones.

- La tinta:

La tinta, concebida como el material depositado para escribir o dibujar, se desarrolla de manera independiente en distintas partes del mundo a lo largo de la historia. Las primeras tintas se remontan a las utilizadas en la prehistoria para plasmar dibujos en las paredes de las cuevas. Estas consistían principalmente en restos de hollín de las hogueras.

Las primeras tintas predecesoras a las conocidas hoy en día consistían en productos vegetales o minerales como el grafito, el cual en China se molía con agua y se aplicaba después con un pincel. La variedad de estas creció rápidamente gracias a los colorantes, los cuales originalmente consistían en pigmentos obtenidos de metales o vegetales. También, se utilizaban pigmentos obtenidos de animales como el calamar, el pulpo o insectos.

Más adelante, gracias a la evolución de la industria química, productos artificiales han dado lugar a tintas fáciles de almacenar y de secado rápido, basadas en resinas y barnices que aseguran la adhesión a la superficie de papel, y evitan ser removidas por abrasión mecánica.

- La prensa:

A pesar de no haber sido concebido para la imprenta, la prensa es un elemento esencial de su mecanismo. Basado en el principio de la prensa agrícola, Gutenberg la adaptó para poder servir en el proceso de estampado de la tinta sobre papel. Para este proceso, se utilizaban planchas de metal con los caracteres del texto estampados en él y sobresaliendo ligeramente.

La prensa aplicaba la presión necesaria entre el papel y las planchas metálicas mojadas en tinta para que se estampara el texto. Gracias a las dimensiones de la máquina, este proceso permitía imprimir una gran cantidad de hojas de una vez de manera precisa. Bastaba con fabricar una



única vez las planchas de metal modelo de un libro para poder imprimirlo tantas veces como se deseara.

Gracias a los avances de la tecnología en todas las disciplinas relacionadas a la impresión, todos los elementos que conforman el proceso de la imprenta han ido evolucionando hasta la aparición de la electrónica impresa, la cual ha permitido la digitalización de todo material escrito y su impresión rápida y precisa mediante distintos métodos.

Todos estos conocimientos y avances han provocado que, recientemente, se intente trasladar este método de impresión al mundo de la electrónica. Principalmente debido a la velocidad y facilidad de su reproducción, además de las características de ligereza y poco espacio ocupado.

3.2. Métodos de impresión

Mediante la impresión electrónica, se generan dispositivos electrónicos tanto pasivos como activos. La combinación de los dispositivos y sustratos ofrecen una gran variedad de funcionalidades, desde pantallas flexibles hasta células solares o baterías flexibles, incluyendo algunas aplicaciones más convencionales como etiquetado o envasado inteligente.

La impresión electrónica hace ya un tiempo que se utiliza en diversas aplicaciones, por ejemplo, en espacios con geometrías complejas en las que haya que introducir muchos conectores, como en pantallas de plasma o LED. Sin embargo, es la combinación de la electrónica impresa y componentes de la electrónica convencional la que ofrece mejores resultados, para la cual existen distintas técnicas de impresión. Los métodos a emplear en el presente proyecto son los métodos por Serigrafía, Inkjet y LIFT.

3.2.1. Serigrafía

Este método consiste en la transferencia de una tinta a través de una malla tensada en un marco portable. Toda superficie de la malla que no forme parte de la imagen que se quiera imprimir se encuentra recubierta por una emulsión o barniz, evitando que la transferencia de tinta se produzca en las zonas no deseadas.



Figura 3: Proceso de impresión por serigrafía [3]

Se trata de un método con precisión aceptable y alta reproducibilidad, pues el marco puede usarse numerosas veces sin perder precisión. Por lo tanto, este método es más usado para diseños consolidados que se encuentren en producción. Su principal ventaja reside en la capacidad de imprimir sobre cualquier tipo de superficie o sustrato, además de que, en función del grosor del mallado, es posible emplear la mayoría de tintas conductivas existentes.

Se trata del método más tradicional de todos, necesitando un elemento mecánico diferente y único para cada diseño, de donde viene su principal desventaja: En el caso de que se quiera cambiar mínimamente un diseño, es necesario fabricar una pantalla nueva. Teniendo en cuenta su alta amortización no resulta una medida cara, pero su fabricación lleva cierto tiempo.



Figura 4: Detalle de la pantalla de serigrafía [4]

3.2.2. Inkjet

Consiste en la formación de una imagen a partir de la deposición controlada de gotas, las cuales se unen y forman dicha imagen sobre el sustrato. Este tipo de impresión no necesita contacto con la superficie, ya que emplea boquillas colocadas en el cabezal que emiten la tinta a la superficie debajo de esta. Las boquillas que emiten la tinta se mueven horizontalmente,



soltando tinta en los puntos que necesite a cada pasada. Se trata de una técnica de impresión de gran precisión y muy alta reproducibilidad.

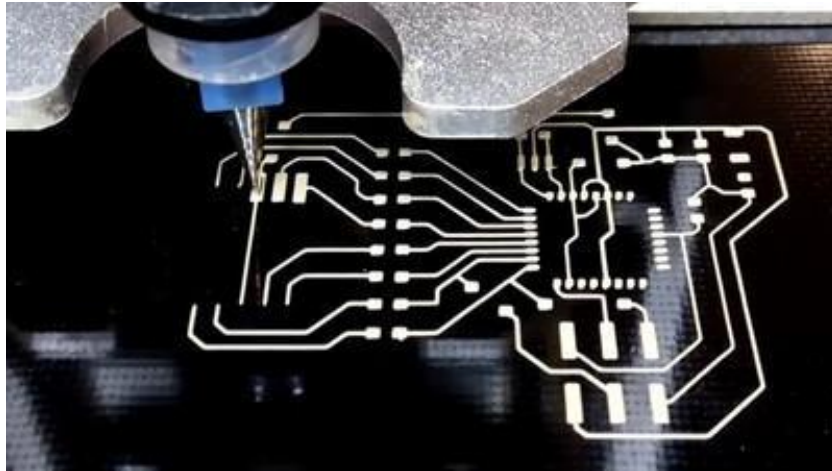


Figura 5: Proceso de impresión mediante inkjet [5]

Las tintas conductivas están compuestas por pequeñas partículas de material conductivo, por lo que para la impresión por inyección se deben usar las denominadas como tintas líquidas, aquellas cuyas partículas son, como máximo, algo menores que el orificio de la boquilla. Por lo tanto, si se busca una mayor precisión se debe emplear una boquilla menor, lo que también requiere que el tamaño de las partículas disminuya, por lo que la oferta de tintas se ve limitada.

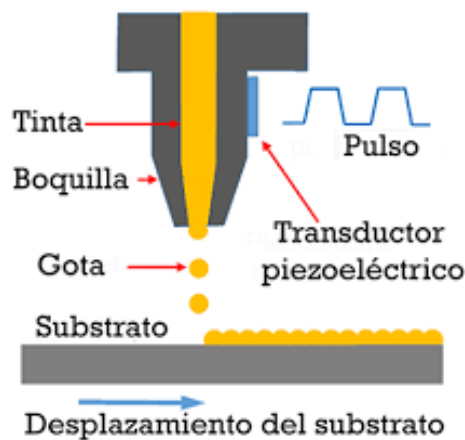


Figura 6: Esquema del funcionamiento de la deposición por Inkjet [6]

Tal y como se aprecia en la *Figura 6*, la tinta presente en el interior de la boquilla se precipita mediante el fenómeno inverso de un transductor piezoeléctrico. Un pulso eléctrico es enviado a la boquilla en el momento en que se quiera depositar una gota, de manera que el transductor piezoeléctrico se deforma ligeramente ante la llegada del pulso, empujando la gota hacia el sustrato.

Los equipos de impresión por inkjet son los que necesitan de un mayor mantenimiento, o al menos de una mayor frecuencia en sus revisiones. Esto se debe a que las boquillas de las



impresoras suelen obstruirse con relativa frecuencia, especialmente si dejan de usarse por un tiempo, y necesitan ser limpiadas con disolventes no abrasivos.

Se trata de un método revolucionario en la electrónica impresa, pues es el primero de ellos que emplea diseños en formato digital para su impresión. Esta cualidad permite una capacidad de distribución de los diseños mucho más rápida que la ofrecida por las demás, la cual, junto con el hecho de que hoy en día el diseño de los circuitos se lleva a cabo de manera digital, evita el paso de trasladarlos a un medio físico. Además, gracias a la cualidad de la digitalización los diseños pueden ser modificados en cualquier momento, sin requerir ningún cambio mecánico en el proceso de impresión, como sí ocurre por ejemplo con la pantalla de serigrafía.

Aun así, se trata de un método de impresión menos maduro que, frecuentemente, pierde precisión más fácil que otros métodos. Por todo esto, se trata de una técnica de impresión muy empleada durante el desarrollo de los diseños, ya que permite cambiar los diseños fácilmente para poder probar distintas versiones de un diseño de manera muy rápida.

3.2.3. Láser (LIFT)

Este método consiste en la colocación sobre el sustrato de una pantalla de vidrio, transparente a la longitud de onda del láser, con la tinta depositada en la cara orientada al sustrato flexible, en la cual se incide el haz en los puntos en los que se quiere depositar la tinta. Tal y como se describe en la *Figura 7: Proceso de impresión mediante láser (LIFT)* [7], el sustrato que contiene la tinta se llama sustrato donante, y sobre el que se imprime el circuito sustrato receptor. Se puede lograr una alta precisión en función de las especificaciones del láser.

Principalmente, esta técnica se utiliza para imprimir los puntos de soldadura de los circuitos tradicionales PCB o sustratos flexibles. Es posible imprimir el circuito completo, pero los resultados suelen ser menos satisfactorios que con otras técnicas.

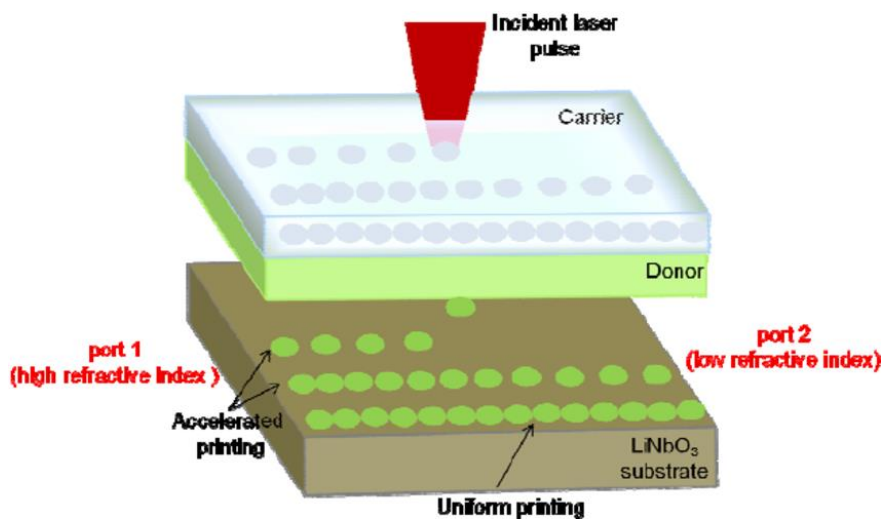


Figura 7: Proceso de impresión mediante láser (LIFT) [7]



Se trata de un método con muy alta tasa de reproducibilidad, y con gran potencial de velocidad de producción. Ofrece también una gran precisión, pero esta se encuentra limitada por las especificaciones del láser (configuración, potencia, etc...).

A pesar de ser bastante reciente, esta técnica se encuentra consolidada a la hora de realizar la soldadura de componentes electrónicos superficiales. Sin embargo, para realizar la impresión de diseños de mayor tamaño sobre sustratos flexibles se requieren procesos cuidadosos, de manera que no se dañen, pues son significativamente más frágiles que los sustratos tradicionales. La impresión láser produce un aumento significativo de la temperatura que puede llegar a quemar el sustrato, especialmente en ensayos que requieren de cierto tiempo de impresión, como lo son los diseños más grandes.

3.3. Tinta conductora

Las tintas conductoras consisten en una mezcla polimérica en la que se encuentran en suspensión partículas conductoras de distintos tamaños y concentraciones que, una vez depositada y seca, queda en forma de película sólida. Debido a que los circuitos impresos tienen pequeños espesores de pistas, las tintas electrónicas deben estar fabricadas con materiales conductores excelentes tales como el oro, la plata o el cobre. También existen tintas de materiales orgánicos con peores conductividades, como las tintas de carbono. Existe una gran variedad de tintas conductoras para distintas aplicaciones.

Una tinta funcional o conductora se compone de los siguientes elementos:

- **Vehículo:** Medio líquido de viscosidad variable encargado de transportar los pigmentos de la máquina de impresión al sustrato. Sus componentes son el Disolvente, la Resina y el aceite.
El disolvente se encarga de disolver la resina, evaporarse progresivamente, no deteriorar la máquina de impresión y ser compatible con el sustrato sobre el que se imprime. Puede ser un material disolvente (alcohol, cetona, agua...), una resina (hidrocarburo, fenol...) o un aceite (vegetal o mineral).
- **Pigmentos:** Se trata de sustancias insolubles que forman un polvo fino capaz de dispersarse por el vehículo, pudiendo ser inorgánicos u orgánicos. En el caso de tintas conductoras se trata de las partículas de material conductor suspendidas en la tinta.
- **Aditivos:** Son las sustancias que se añaden a las tintas con el fin de modificar alguna de sus propiedades. Se pueden añadir durante su fabricación o una vez han sido fabricadas, inmediatamente antes de realizar una impresión.
Existen muchos tipos de aditivos que ofrecen diferentes resultados, pero unos de los más utilizados son los siguientes: secantes, los cuales aceleran la polimerización de aceites; anti-secantes, retardan el secado e impiden la



formación de ciertas imperfecciones; ceras, disminuyen la resistencia al deslizamiento y mejoran la resistencia ante fricción.

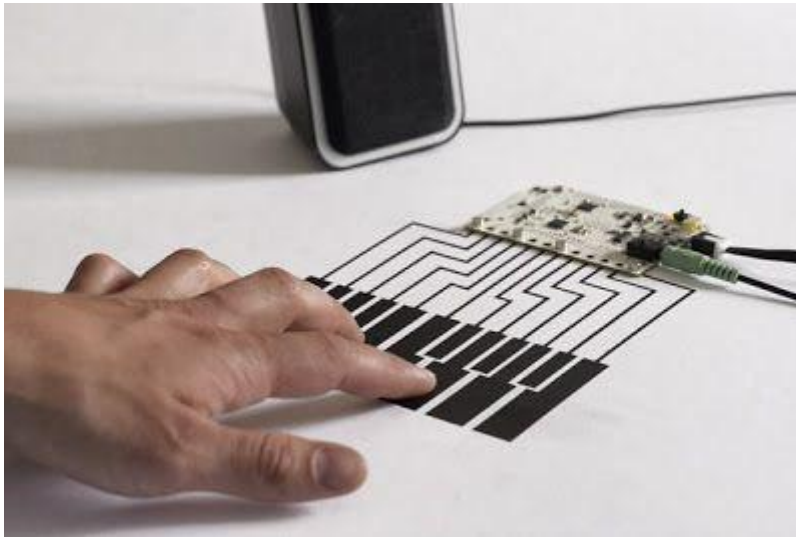


Figura 8: Ejemplo de teclado conformado por tinta conductora [8]

En función de la técnica de impresión las propiedades de la tinta varían sus características, especialmente el tamaño de las partículas y su viscosidad. La viscosidad se mide en centiPoises, unidad de viscosidad dinámica del Sistema Cegesimal de Unidades. Un Poise equivale a $1 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{s})$ ó $0,1 \text{ Pa} \cdot \text{seg}$, siendo el término “Stoke” (s) la unidad de viscosidad cinemática del Sistema Cegesimal de Unidades. El centiPoise no es más que $10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{seg}$. Los tipos de tinta más empleados son los siguientes:

- Tintas líquidas: Estas tintas están basadas en disolventes poco viscosos como hidrocarburos, alcoholes o glicoles. Su viscosidad recomendada es menor a 40cP y las partículas en suspensión y sus espesores de capa son muy finos, del orden de nanómetros o micras. Principalmente se utilizan en impresión por inkjet, donde la tinta debe pasar a través de boquillas muy finas, resultando imposible el uso de tintas con mayor viscosidad y/o partículas más grandes que el orificio a atravesar.
- Tintas grasas: Son tintas empleadas especialmente en serigrafía, por lo que deben presentar una viscosidad de entre 100cP y 100.000cP, idónea para pasar a través de la malla cuando se presiona sobre ella. En este caso los espesores no resultan una gran limitación, ya que se recomienda que tengan espesores de hasta 30 micras.

El precio de la tinta varía en función del material conductor, el tamaño de las partículas y el tipo de disolvente, siendo el material conductor el mayor indicador del precio. Las tintas de oro son, habitualmente, las más caras, por lo que suelen utilizarse principalmente las de plata, las cuales presentan conductividades más que suficientes para la mayoría de las aplicaciones. Las de cobre funcionan correctamente para aplicaciones menos exigentes o circuitos en los que las pistas son significativamente más cortas.



El tratamiento de la tinta es la parte más costosa del proceso de impresión, necesitando los pasos detallados en la *Figura 9*: Tratamiento de la tinta durante el proceso de impresión:

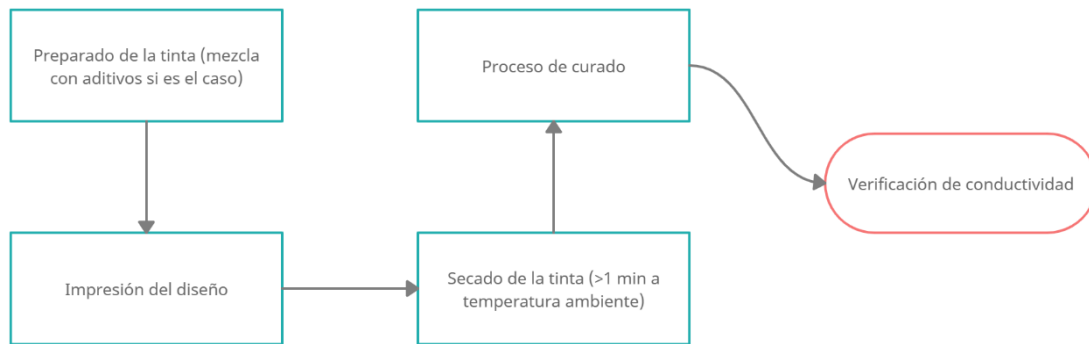


Figura 9: Tratamiento de la tinta durante el proceso de impresión

- **Preparado de la tinta:** Tal y como se ha señalado anteriormente, si se desea aportar unas características diferentes a la tinta o una variación en los tiempos de su procesado es necesario añadirle aditivos. Si bien es verdad que existen tintas con aditivos a la venta, estos pueden ser añadidos justo antes de realizar la impresión.
- **Impresión del diseño:** Una vez preparada la tinta se carga en la impresora y se produce su impresión.
- **Secado:** Al finalizar la impresión (especialmente en tintas líquidas) es necesario dejarlas secar aproximadamente 1 minuto antes de recoger la muestra, de manera que se evapore el disolvente. En caso de ignorar este paso, es posible que la tinta continúe húmeda y se esparza provocando cortocircuitos. Es posible acelerar este proceso mediante una cama caliente a una temperatura moderada en función del disolvente de la tinta (50°C-70°C).
- **Curado:** A pesar de que la tinta esté seca y su conductividad sea buena, su resistencia mecánica todavía no es la óptima. Para solucionar esto se debe introducir la muestra en una estufa a una temperatura entre 100°C-150°C durante cierto tiempo (desde 5 minutos hasta 1 hora), todo en función de la tinta y el sustrato empleado.
- **Verificación:** En este momento el diseño se encuentra preparado para su uso, a falta de verificar su conductividad eléctrica mediante un polímetro.

En este proceso, cabe destacar que normalmente las tintas soportan temperaturas de curado mayores que los sustratos, por lo que habitualmente se dejan curando más tiempo a menor temperatura.

Frecuentemente, los circuitos impresos son conectados a placas electrónicas convencionales desde las que se realiza su control. Para su conexión suele emplearse un conector plano que se adhiere al sustrato mediante un mecanismo de pinza, lo cual suele acabar dañando la tinta electrónica por rozamiento. Para proteger la zona de los conectores se emplea una segunda capa superior de tinta transparente, basada normalmente en el carbono, la cual a pesar de no



poseer propiedades conductoras igual de buenas que las demás, presenta una gran resistencia. Gracias a este método, diversos circuitos electrónicos impresos han podido ser implementados con éxito durante las últimas dos décadas.

3.3. Sustrato

Se trata del medio sobre el que se imprime la tinta conductiva. El material más utilizado hasta el día de hoy es el Kapton, un polímero de color anaranjado muy flexible y resistente, poco elástico y resistente a temperaturas significativamente altas. La flexibilidad permite que el sustrato se adapte a diferentes geometrías. Además, su alta resistencia a las temperaturas hace que la impresión electrónica sobre él resulte más sencilla, sobre todo debido a su aguante a las altas temperaturas de curado de las tintas.

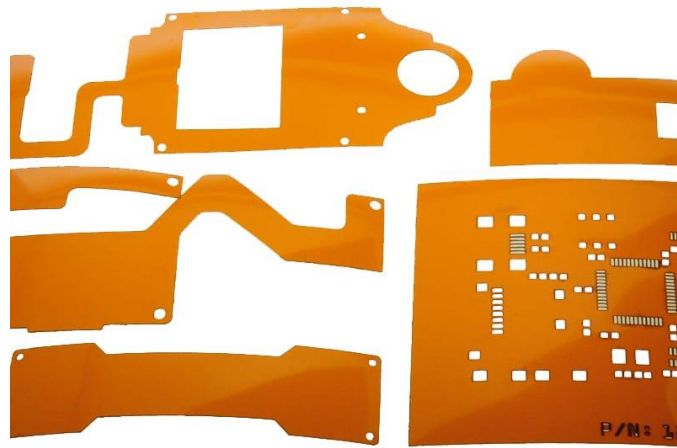


Figura 10: Ejemplo de circuito impreso sobre Kapton [9]

Sin embargo, debido al precio elevado del material, su implementación en el resto del mercado electrónico se ciñe solamente a las aplicaciones en las que es completamente necesaria, lo cual ha llevado a buscar opciones más económicas para poder implementar en nuevos diseños. Los materiales adaptados a la impresión electrónica son los siguientes:

Materiales poliméricos

Dentro de este grupo se encuentran materiales como el PET, poliimidas o poliésteres. Generalmente, se trata de materiales que, a pesar de no soportar muy altas temperaturas, presentan una gran flexibilidad y un buen agarre de la tinta electrónica una vez es depositada, evitando que se disperse excesivamente. Estas características convierten aquellas tintas que no requieren de temperaturas muy altas durante su proceso de curado en perfectas candidatas.



Figura 11: Lámina de PET [10]



Otra de las características que los convierten en atractivos para su implementación a gran escala es su reducido precio, pudiendo ofrecer productos electrónicos flexibles a precios mucho más asequibles que con otros materiales.

- Materiales compuestos



Figura 12: Fibra de carbono [11]

Los materiales compuestos son ampliamente conocidos debido a sus características únicas de resistencia, flexibilidad y ligereza, las cuales los convierten en materiales ideales para la automoción o el aeromodelismo. Al igual que los materiales poliméricos, pueden servir como sustrato para la electrónica flexible, a pesar de que la implementación en ella sea más compleja, siendo una buena manera de reducir el peso de los vehículos, así como dotarlos de una mayor sencillez.

Son los materiales más caros empleados a modo de sustrato. Aun así, se utilizan como sustrato en aplicaciones extremas debido a sus altas prestaciones.

- Textiles

Los sustratos textiles son empleados generalmente en ropa, los cuales, gracias al auge de los wearables, han visto aumentado su uso, ya sea para calefactores de ropa o aplicaciones médicas como monitorización del pulso cardíaco. También, se realizan impresiones sobre textil en aplicaciones tales como recubrimientos de asientos de vehículos, sofás... etc.



Figura 13: Ejemplo de circuito impreso sobre textil [12]



- Materiales no flexibles

En este grupo se engloban aquellos materiales rígidos y no flexibles que pueden ser empleados como sustrato, como pueden ser los vidrios o los materiales cerámicos. No se emplean materiales metálicos debido a su alta conductividad de la electricidad. Los vidrios ofrecen aplicaciones únicas mediante su combinación con tintas transparentes, dando lugar, por ejemplo, a circuitos calefactables en la luna de los coches, los cuales evitan la condensación del agua.

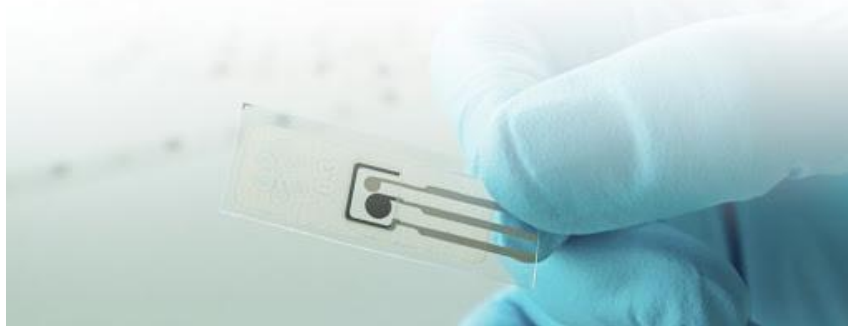


Figura 14: Sustrato de vidrio [13]

En cuanto a los materiales cerámicos, por el momento no han tenido una gran implementación, pues suelen ser materiales que forman parte de elementos puramente mecánicos debido a sus características de rigidez, dureza y resistencia a las temperaturas. Sin embargo, sus aplicaciones en la industria aeroespacial lo convierten en un material muy atractivo de cara al futuro, por lo que se encuentra en investigación.

3.5. Alcance actual

Hasta el día de hoy, la electrónica impresa disponible en el mercado se limita a la sustitución de cables de conexión entre terminales eléctricos, o la sustitución de accionadores mecánicos, como botones, por pulsadores capacitivos. A pesar de ello, la investigación ha ido más allá, y los circuitos integrados impresos son ya una realidad que tarde o temprano serán implementados en cada vez más dispositivos. Cabe destacar que esta tecnología se encuentra aún en una fase temprana de desarrollo, a pesar de que se haya conseguido fabricar ciertos modelos funcionales de circuitos integrados sencillos, pero que sin duda es el futuro de la electrónica.

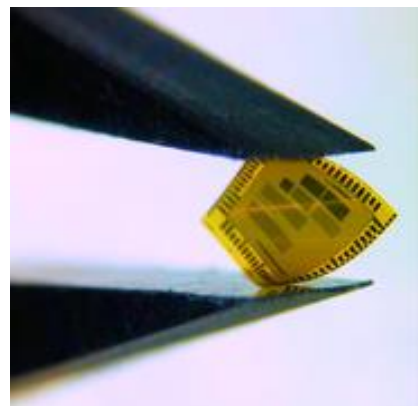


Figura 15: CI flexible de American Semiconductors [14]



Por mucho que la sustitución de conectores y pulsadores conformen la mayoría del mercado de la electrónica impresa de hoy en día, el futuro se encuentra en la integración de circuitos eléctricos en el interior de estructuras mecánicas. Es decir, en vez de implementar la impresión electrónica en la superficie de diversos materiales, hacerlo en el interior de estos, bien mediante su impresión en capas intermedias de un elemento mecánico, o bien mediante la combinación de materiales conductores y no conductores en una misma estructura, como pueden ser materiales conductores de impresión 3D, como el filamento ALFAOHM.

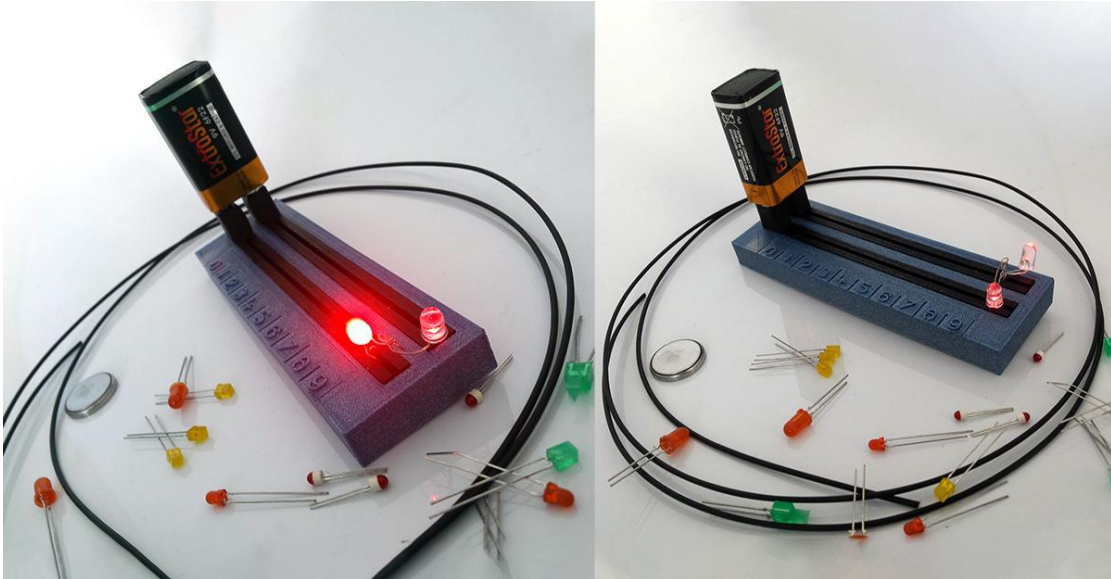


Figura 16: Impresión electrónica 3D mediante filamento ALFAOHM [15]

El filamento ALFAOHM se trata del polímero Ácido Poliláctico (PLA) utilizado para las impresiones 3D, con la diferencia de que se encuentra dopado con cierto material conductor, de manera que presenta una resistividad de 15 Ohm/cm a lo largo de las capas impresas y 20 Ohm/cm de manera perpendicular a las capas.

La principal razón de su éxito como filamento conductor para impresiones 3D no es solo su capacidad de conductividad, sino que no es tóxico y es inodoro también. A menudo, este tipo de materiales presentan cierta toxicidad atribuida a los vapores que pueden llegar a expulsar durante el proceso de impresión, lo cual no es un problema en el caso de ALFAOHM.

3.6. Normativa

La normativa referente al diseño de la electrónica impresa, vigente durante la realización del presente proyecto y necesaria para su diseño, es la siguiente:

- **IPC-A-600J SP:** Aceptabilidad de Tableros Impresos.
- **IPC-A-610E SP:** Aceptabilidad de Ensamblajes Electrónicos.

Las normas mencionadas hacen referencia a la elección de material empleado para fabricar dispositivos electrónicos impresos, así como al proceso de fabricación.



Diseño de controlador de calefactor eléctrico impreso sobre sustrato flexible

Es interesante hacer referencia al grupo de normalización internacional **IEC-TC-119**, encargada de desarrollar la normativa relativa a la impresión electrónica sobre sustrato flexible. Debido a que se trata de una tecnología en fase de desarrollo, por el momento se sigue la misma normativa que la aplicada a la electrónica impresa convencional, a la espera del desarrollo de una normativa completa para la impresión sobre sustrato flexible.



4. SOFTWARE EMPLEADO

Para la realización del proyecto se han necesitado principalmente dos herramientas software. Por un lado, para el diseño de la placa electrónica: Altium Designer. Y por el otro, una herramienta para poder construir el código que irá implementado en el microcontrolador: PSOC Creator.

4.1. Altium Designer



Figura 17: Logo de Altium Designer [16]

Altium Designer es un programa de diseño electrónico, que, gracias a su amplia variedad de herramientas y librerías, es uno de los programas más potentes en el mercado. Además, permite crear librerías de manera muy intuitiva, lo cual es de gran ayuda cuando no se da con el componente adecuado o cuando no está.

Antes de empezar a trabajar con la herramienta debe crearse un nuevo proyecto y añadirlo al espacio de trabajo. Una vez hecho esto el programa está listo para comenzar a trabajar. Para la realización de un diseño en Altium Designer es necesario trabajar con 2 tipos de archivo diferentes: Esquemático (.schm) y PCB (.pcb).

- Esquemático

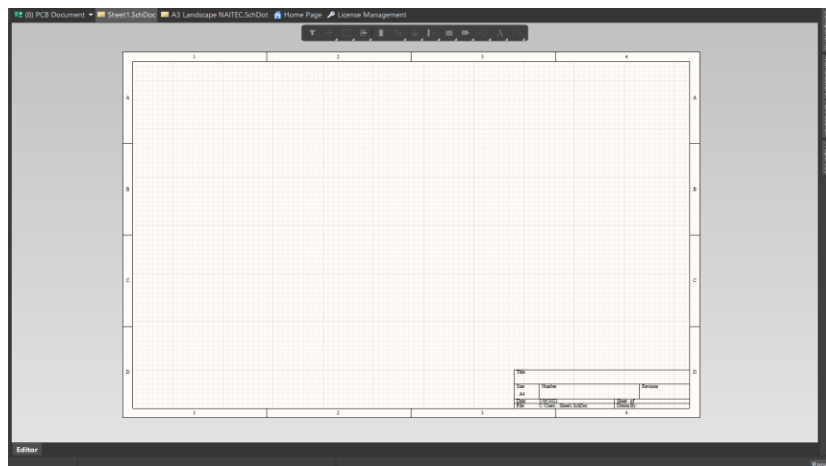


Figura 18: Espacio de trabajo del esquemático

Se trata del espacio de trabajo en el que se va a diseñar el esquema del circuito, mostrado en la *Figura 18*: Espacio de trabajo del esquemático, donde se introducen todos los componentes presentes en el diseño y se realiza el conexionado entre ellos.



Diseño de controlador de calefactor eléctrico impreso sobre sustrato flexible

Para ello se hace uso de la herramienta “Components” situada en la parte superior lateral derecha, tal y como se muestra en la *Figura 19*: Menú de componentes. Al hacer clic derecho sobre la herramienta se despliega un menú con todos los componentes disponibles para su uso. Basta con arrastrarlos al espacio de trabajo para añadirlos al diseño.

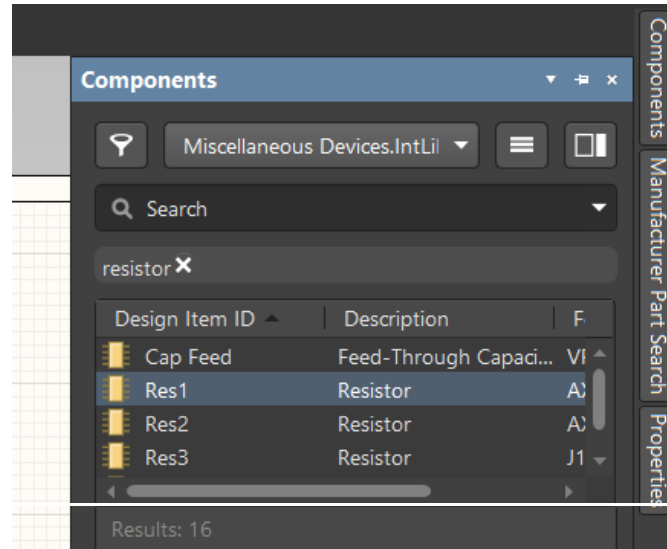


Figura 19: Menú de componentes

Una vez añadidos todos los componentes, se realizan las conexiones entre ellos. Para ello se debe hacer clic derecho de manera consecutiva sobre los dos conectores que se quieran unir. En caso de producirse un cruce entre cables que no se deseen conectar mutuamente, el programa automáticamente pasa uno de los cables por encima de otro. De esta forma, los diseños quedan compactos y resultan más sencillos de realizar.

Una vez finalizado el esquema del circuito, basta con guardarlo en la carpeta del proyecto, quedando listo para pasar al siguiente punto.

- PCB

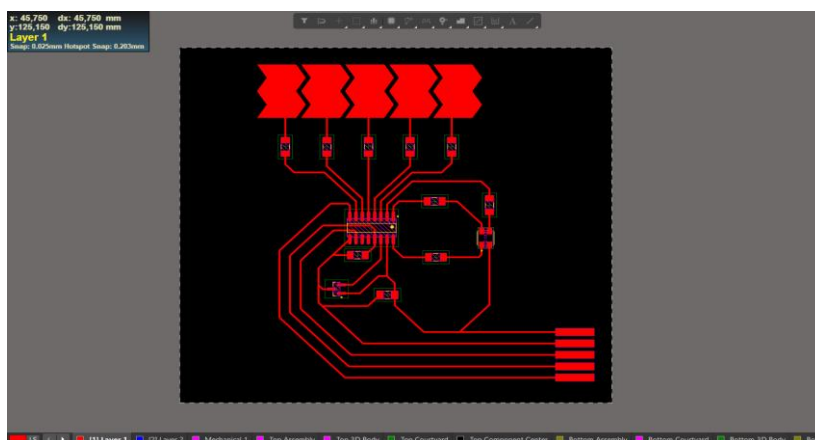


Figura 20: Diseño PCB de circuito electrónico en Altium

El primer paso a la hora de comenzar con el diseño PCB del proyecto es definir las dimensiones de la placa. Altium ofrece variedad de herramientas para definir tanto las dimensiones como la



forma de la placa PCB, permitiendo utilizar una gran cantidad de geometrías diferentes para la definición de los bordes.

Una vez definidas las dimensiones y forma del sustrato, se deben importar los componentes y conexiones del esquemático, lo cual se lleva a cabo automáticamente mediante una opción disponible de diseño.

Al haber importado el diseño del esquema, los componentes aparecen en el archivo PCB. El siguiente paso es ordenar los distintos componentes en la placa y realizar el rutado entre ellos.

En cuanto al rutado, Altium ofrece herramientas de rutado manual y rutado automático. El rutado automático se emplea para diseños sencillos en los que apenas haya cruces entre pistas. Para el resto de diseños se trabaja con el rutado manual, el cual ofrece la posibilidad de realizar las pistas una a una o por grupos, siendo esta segunda opción especialmente diseñada para el rutado de buses, en los cuales se deben llevar las pistas juntas por el mismo recorrido.

Una vez terminados tanto el esquema como el diseño de la PCB, el archivo puede ser exportado a numerosos formatos, ya sea para su visualización a modo de plano o para llevar a cabo su impresión. También, el programa es capaz de importar múltiples formatos diferentes de archivos PCB para su visualización y edición en Altium, convirtiéndola en una herramienta muy polivalente.

Aun así, uno de sus puntos fuertes reside en la gran cantidad de librerías que contiene, con las cuales se pueden implementar la mayoría de los elementos existentes en el mercado de la electrónica. En el caso de que cierto componente no exista entre las librerías, como se ha comentado anteriormente, Altium ofrece también la posibilidad de crear librerías desde el mismo programa.

Finalmente, especialmente relacionado con el presente proyecto, cabe destacar el sistema de capas de sustrato electrónico que ofrece Altium. Mediante esta herramienta se puede elegir la cantidad de capas que se quieren implementar en un diseño, su material y su grosor. Además, la opción de electrónica impresa con sustrato flexible se encuentra disponible como característica especial, añadiendo nuevas reglas de diseño de rutado aplicables solamente a esta tecnología.

4.1.1. Aprendizaje de Altium Designer

La compañía de Altium Designer tiene a disposición múltiples tutoriales y documentos para instruir e informar a los usuarios. Para el aprendizaje de esta herramienta se ha utilizado uno de los tutoriales disponibles, en el cual, se explica a través de proyectos prediseñados las distintas herramientas y posibilidades que ofrece el programa.

El tiempo de realización del tutorial de iniciación es de aproximadamente 40 horas, y se cubren los aspectos básicos de diseño de los esquemáticos y los archivos PCB, así como su impresión e importado/exportado a distintos formatos de archivo. Además, la página web de Altium ofrece



la posibilidad de mantener un chat en vivo con personal de soporte técnico para resolver cualquier duda lo más rápido posible.

4.2. PSoC Creator/Designer

PSoC Creator ofrece la capacidad de implementar un código en lenguaje C en una gran cantidad de microcontroladores de la compañía Cypress Semiconductors.

Además de trabajar con el código en C, este programa contiene un editor gráfico en el que se añaden los bloques que se van a necesitar en el diseño. Al contrario que en otras herramientas, es en este apartado gráfico en el que se adjudican las entradas y salidas a los pines que se van a emplear, y no en el código.



Figura 21: Logo de PSoC Creator [17]

Primero, se diseña el esquema del circuito con la herramienta gráfica que ofrece PSoC Creator y se añaden los terminales correspondientes a todos los pines que se implementan. Una vez hecho esto, se escribe el código en C, en el cual hay que inicializar todos los bloques implementados en el diseño gráfico. Una vez terminado, se compila el código y se carga en el microcontrolador.

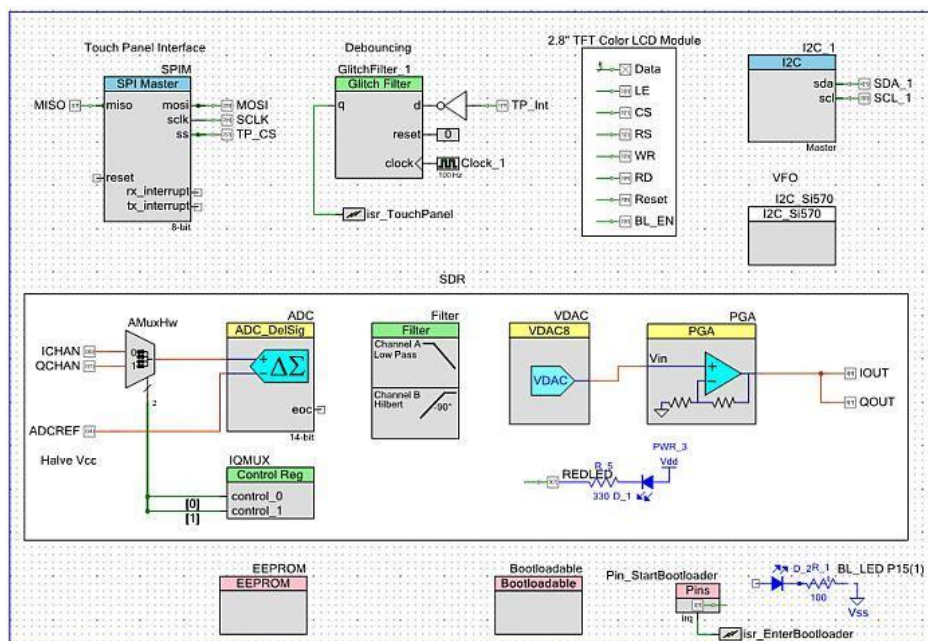


Figura 22: Espacio de trabajo de la herramienta gráfica

También, es capaz de detectar los errores presentes en el código que impidan que este se compile, indicando la línea en la que se encuentra y un resumen del error que se ha cometido.



Por otro lado, el método de programación en PSoC Designer es igual que el de PSoC Creator, con ciertas diferencias de interfaz gráfica e instrucciones del código. La diferencia reside en que la herramienta PSoC Creator no es capaz de programar la familia de microcontroladores a la cual pertenece el que se va a usar en este proyecto. Inicialmente, la programación se llevará a cabo mediante la herramienta PSoC Creator para, después, realizar la migración a PSoC Designer.

La migración consiste en la adaptación de un código de programa a un entorno de programación diferente. En este caso, debido que el entorno de programación es muy parecido, y el lenguaje empleado es similar, la migración resulta en un proceso muy sencillo, sin necesidad de aprender desde cero la programación en este segundo entorno.

4.2.1. Aprendizaje de PSoC Creator

Esta herramienta contiene multitud de ejemplos de programas para las distintas familias de microcontroladores. Estos programas se encuentran bien explicados, y además cada uno de ellos tiene asociado un archivo PDF en el que se explica detalladamente su funcionamiento, así como la configuración de los distintos módulos y su puesta en marcha.

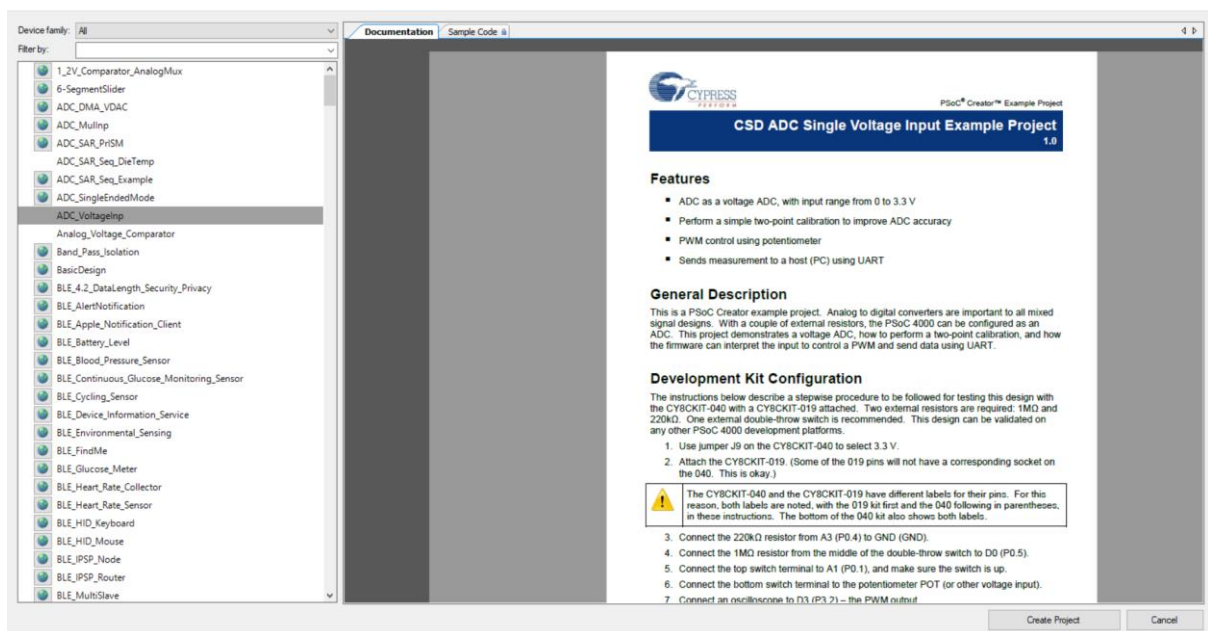


Figura 23: Interfaz de carga de proyectos ejemplo

Tal y como se muestra en la Figura 23: Interfaz de carga de proyectos ejemplo, desde el propio programa se accede al listado de ejemplos de programa existentes. En la parte izquierda se muestra un listado de todos los ejemplos, siendo cada uno de ellos compatible con distintas familias de microcontroladores Cypress, por lo que solamente pueden ser depurados y programados en microcontroladores pertenecientes a la misma familia. Esta distinción se debe a que el código máquina de cada familia de microcontroladores Cypress difiere en varios aspectos.



Diseño de controlador de calefactor eléctrico impreso sobre sustrato flexible

En la parte derecha de la ventana mostrada en la *Ilustración 22*, se muestra un documento adjunto al propio ejemplo, en el cual se describe su funcionamiento y se detalla su configuración. También, el programa ofrece una vista previa del código, haciendo clic derecho sobre la pestaña superior “Sample Code”. Todos los ejemplos disponibles se encuentran en la nube, Por lo que para poder trabajar con ellos es necesario descargarlos previamente haciendo clic derecho sobre el icono que acompaña a cada ejemplo en la parte izquierda de la *Ilustración 22*. Los ejemplos ya descargados no poseen el icono mencionado, significando que no hace falta descargarlos de nuevo para abrirlos.

Además, en caso de tener ciertas dudas puntuales, cada uno de los componentes y módulos integrables contiene una hoja de datos explicando su funcionamiento y configuración. Se trata de una opción fácilmente accesible, bastando con hacer clic derecho sobre el módulo o componente en cuestión y eligiendo la opción “open datasheet”, tal y como se muestra en la *Figura 24*: Acceso a la hoja de datos de un bloque de programación.

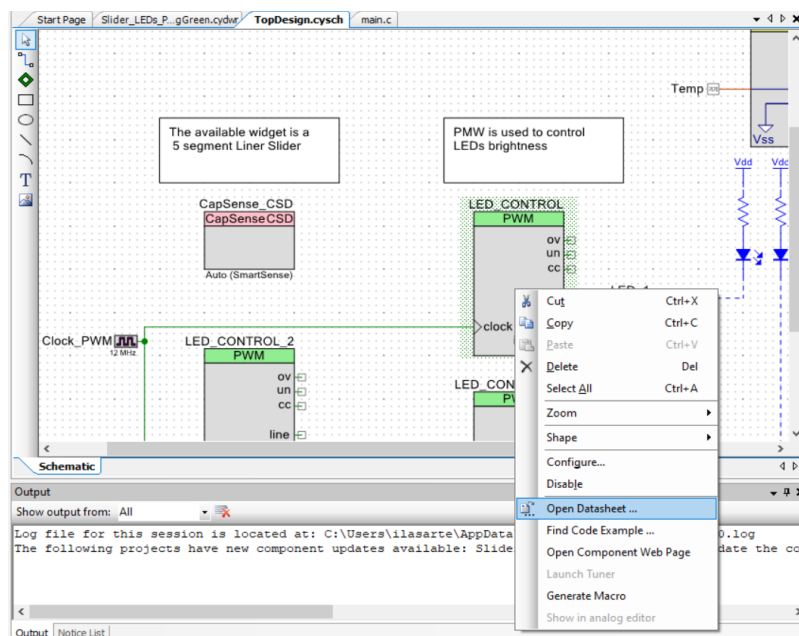


Figura 24: Acceso a la hoja de datos de un bloque de programación

Por lo tanto, el aprendizaje de PSoC Creator se lleva a cabo sin necesidad de tutoriales, permitiendo centrarse solo en las herramientas que el usuario necesita en ese momento para la realización del programa. También, en caso de partir sin conocimiento alguno, PSoC Creator tiene disponible en su página web documentación sobre los distintos comandos en el lenguaje de programación C.



5. DISEÑO HARDWARE

El primer paso a la hora de realizar un diseño electrónico es definir su funcionalidad para, una vez conocida, identificar los componentes necesarios que la satisfagan. Existe una gran variedad de componentes equivalentes que cumplen la misma función, cuyas diferencias se encuentran principalmente en su tamaño, encapsulado, calidad y precio, estando las dos últimas características habitualmente relacionadas.

Para poder seleccionar el componente adecuado se deben tener en cuenta las características mencionadas, resultando las de mayor importancia el tamaño y el encapsulado, las cuales suelen ir de la mano, puesto que un tamaño de diseño pequeño requiere la mayoría de veces un encapsulado de montaje superficial (SMD). En la *Figura 25: Tipos de encapsulado de CI electrónico [18]* se aprecian distintos tipos de encapsulado:

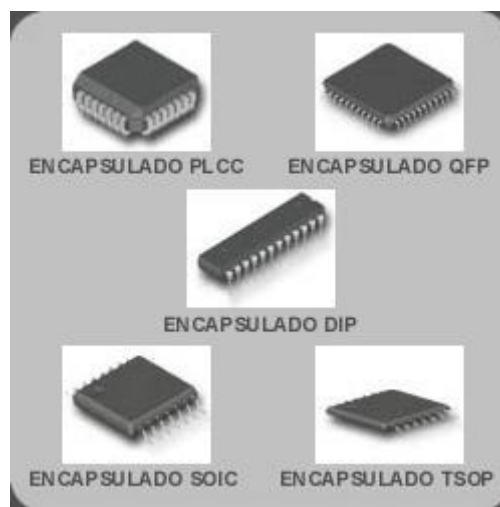


Figura 25: Tipos de encapsulado de CI electrónico [18]

En el caso del presente diseño, la tecnología existente actualmente en el ámbito de la electrónica impresa y flexible no permite el montaje de componentes distintos a los superficiales, por lo que se utilizarán componentes SMD.



Figura 26: Ejemplo de soldadura pasante (izquierda) y soldadura superficial (derecha) [19]

Por otra parte, debido a la complejidad de la soldadura de componentes en este tipo de sustrato, deben considerarse en la medida de lo posible componentes de un tamaño mayor al habitual en diseños de montaje superficial. La cantidad reducida de componentes necesarios en este diseño permite el uso de aquellos de mayor tamaño sin necesitar grandes dimensiones de sustrato.



5.1. Funcionalidad

El proyecto consiste en una placa calefactora con nivel de temperatura regulable en función de la temperatura ambiente. Para ello, se necesita una interfaz que permita seleccionar la temperatura deseada a la vez que muestre el estado de la temperatura del calefactor, un dispositivo de medición de temperatura y un calefactor integrado en el mismo producto.

Además, para el correcto funcionamiento y protección de los elementos del circuito, es necesario incluir elementos pasivos en el diseño tales como resistencias o condensadores.

5.2. Componentes impresos

Con el fin de reducir la cantidad de componentes que necesiten ir o bien soldados al sustrato, o bien separados de este, se incluyen componentes totalmente impresos cuyas conexiones quedan realizadas desde el momento de la impresión.

5.2.1. Slider capacitivo

Como su propio nombre indica, se trata de un sensor capacitivo, normalmente empleado para sustituir pulsadores mecánicos. En este caso el componente debe ser diseñado para que cumpla la función que se le asigna de manera correcta.

Los sensores capacitivos consisten en electrodos individuales que miden la capacidad aparente entre el propio electrodo y la tierra DC del circuito en el que se encuentran. La capacidad de base se forma por combinación entre la capacidad parásita, la del sensor y la de retorno a tierra. Juntas, representan la capacidad permanente medida durante la calibración del sensor, y es usada como referencia para medir el cambio de capacidad ante un contacto.

Cuando se aplica un contacto humano, se introduce una capacidad paralela a la de retorno a tierra conformada por el Modelo de Cuerpo Humano, aumentando la capacidad entre el sensor y tierra. El Modelo de Cuerpo Humano consiste en una pequeña capacidad "Ch" en serie con una resistencia "Rh" (la resistencia no afecta a la sensibilidad del contacto), donde la capacidad



total añadida por contacto varía entre los 100-200 pF, tal y como se observa en la *Figura 27*: Sensor capacitivo y Modelo de Cuerpo Humano [20].

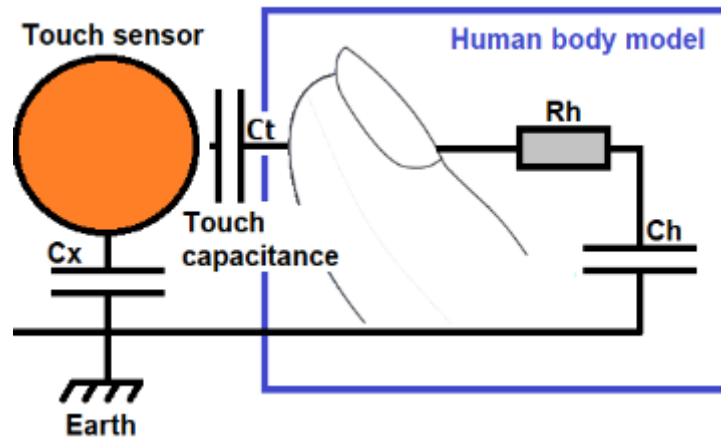


Figura 27: Sensor capacitivo y Modelo de Cuerpo Humano [20]

Para evitar una pérdida de sensibilidad debida a un contacto impreciso se recomienda aumentar la superficie de contacto del sensor, tal y como se observa en la *Figura 28*: Diferencia de contacto entre superficie de sensor grande y pequeña [21] pues la pérdida de precisión ocurre cuando parte del dedo hace contacto con superficie no perteneciente al sensor.

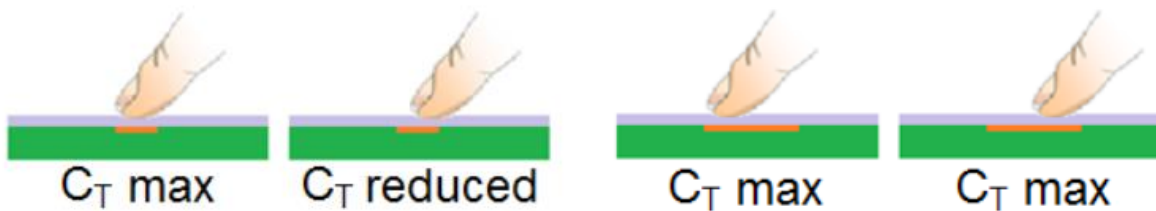


Figura 28: Diferencia de contacto entre superficie de sensor grande y pequeña [21]

El denominado Slider Capacitivo consiste en una secuencia de electrodos capacitivos dispuestos de manera continua, de modo que, al pulsar el sensor con el dedo, se pulse más de un electrodo simultáneamente, haciendo posible interpolar la posición del dedo mediante la monitorización de la pulsación sobre el Slider. Para lograr una mayor precisión es conveniente que los pulsadores del Slider se encuentren muy cercanos entre si, de este modo se permite la pulsación simultánea de dos de los sensores, mejorando la precisión de la interpolación.

Para contribuir al pulsado simultáneo de los segmentos del Slider se les otorga geometrías específicas, habitualmente en forma de flecha o como la mostrada en la *Figura 29*: Ejemplo de Slider capacitivo [22]. En ese caso concreto, el diseño geométrico permite la pulsación de incluso 3 sensores simultáneamente, aumentando aún más la precisión de interpolación.



Figura 29: Ejemplo de Slider capacitivo [22]



En este proyecto se ha decidido utilizar un Slider Capacitivo de **5 segmentos**, suficientes para ofrecer un rango aceptable de selección. En caso de disponer de múltiples pines liberados del μC una vez acabado el diseño, se valorará la posibilidad de añadir más segmentos al Slider. De esta forma, no se compromete prematuramente la elección del μC en función de la cantidad de pines. La geometría escogida para los sensores es en forma de flecha simple, igual a la mostrada en la *Figura 30*: Slider en forma de flecha simple [23], la cual aporta la precisión suficiente para la mayoría de aplicaciones.

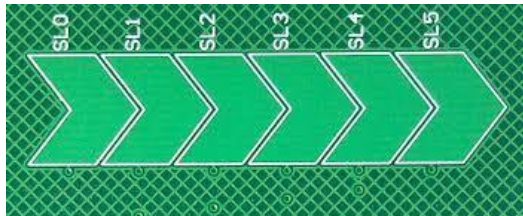


Figura 30: Slider en forma de flecha simple [23]

Con el fin de evitar que se produzcan sobrecorrientes o anomalías en las medidas de los distintos segmentos del Slider Capacitivo, se debe acondicionar su respectiva señal, para lo cual, se emplean unas resistencias. Estas resistencias protegen al Slider a la vez que acondicionan la señal que recibe el μC para detectar correctamente cualquier pulsación.

Para ello, se han utilizado las resistencias **Vishay D25/CRCW1206** de métrica 1206, siendo en este caso necesarias resistencias de 560Ω . Para el dimensionamiento del valor de las resistencias del Slider, se han seguido las recomendaciones de Cypress debido a que el software de control del sensor que se va a utilizar pertenece a dicha compañía.

Más adelante, con el fin de comprobar el funcionamiento del slider, se realiza la impresión de un modelo de Slider perteneciente al diseño final del producto. Para poder verificar su correcto funcionamiento, se realizan pruebas con la placa de desarrollo CY8CKIT-042 PSoC 4 PIONEER KIT. Para evitar realizar la soldadura de componentes SMD sobre el sustrato flexible por el momento, el circuito de acondicionamiento se realiza mediante resistencias conectadas entre la placa de desarrollo y la del Slider, con la ayuda de unos conectores clincher, tal y como se observa en la *Figura 31*: Pruebas Slider capacitivo.

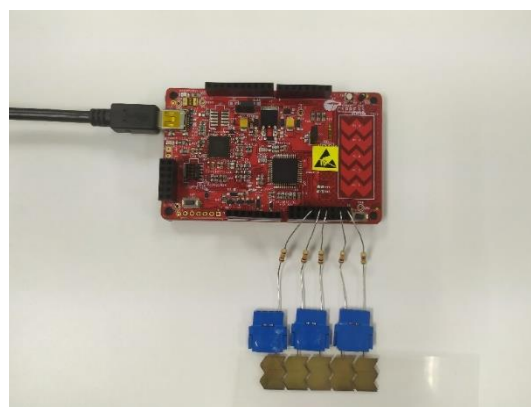


Figura 31: Pruebas Slider capacitivo

También, para que el funcionamiento de los sensores capacitivos sea el correcto, se debe agregar un condensador modulador a uno de los pines del microcontrolador reservados para ello. Siguiendo las recomendaciones de Cypress, este condensador debe tener un valor de 2.2 nF y ser cerámico. Para ello, se emplea un condensador cerámico de YAGEO, con un valor de 2.2 nF .



5.2.2. Calefactor

El calefactor se encuentra en la cara posterior de la placa electrónica. La característica principal es su reducido espacio, pues este elemento también es impreso. Para la impresión del calefactor es necesario utilizar una tinta diferente, cuya característica principal debe ser soportar corrientes eléctricas más elevadas, de manera que no se dañe al calentarse. El encendido/apagado del calefactor se controla desde el μC , por lo que es necesario reservar uno de los pines.

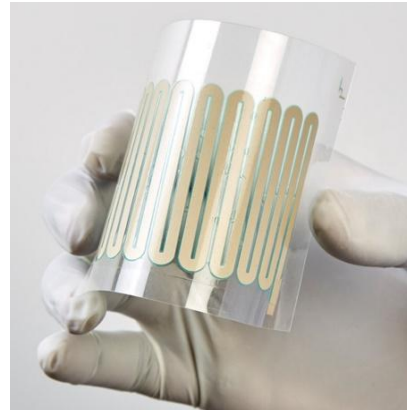


Figura 32: Ejemplo de calefactor electrónico impreso [24]

Sin embargo, el μC no es capaz de suministrar la potencia necesaria para que se caliente el calefactor, por lo que se debe utilizar un dispositivo intermedio como un relé o un MOSFET de enriquecimiento canal P. En este caso, se ha decidido utilizar un relé de estado sólido, por su facilidad de montaje debido al encapsulado SMD.

Con el fin de averiguar qué diseño de calefactor presenta un mejor rendimiento, se han diseñado diferentes disposiciones de resistencias, todas con el mismo grosor de pista de 2mm.

Los dos primeros diseños tratan de cubrir la mayor cantidad de superficie posible con distintas configuraciones, uno en disposición vertical y el otro en disposición radial, observables en la Figura 33: Calefactor vertical (izq) y calefactor radial (dch).

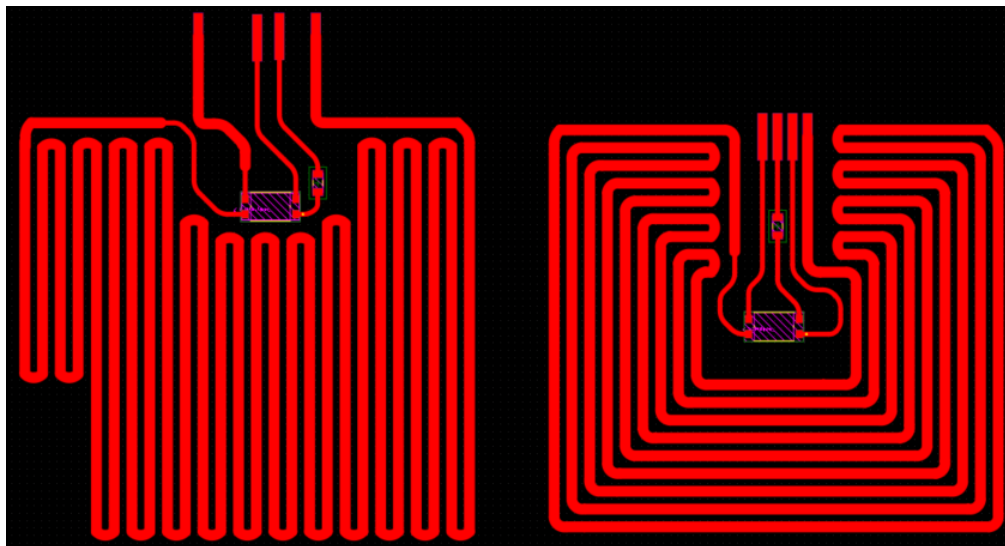


Figura 33: Calefactor vertical (izq) y calefactor radial (dch)

La disposición radial de los últimos dos diseños trata de dejar un mayor espacio sin cubrir, evitando un posible daño por aumento de temperatura de los puntos de soldadura en la otra cara de la placa. Se pueden apreciar en la Figura 34: Diseños radiales con menor ocupación de área.

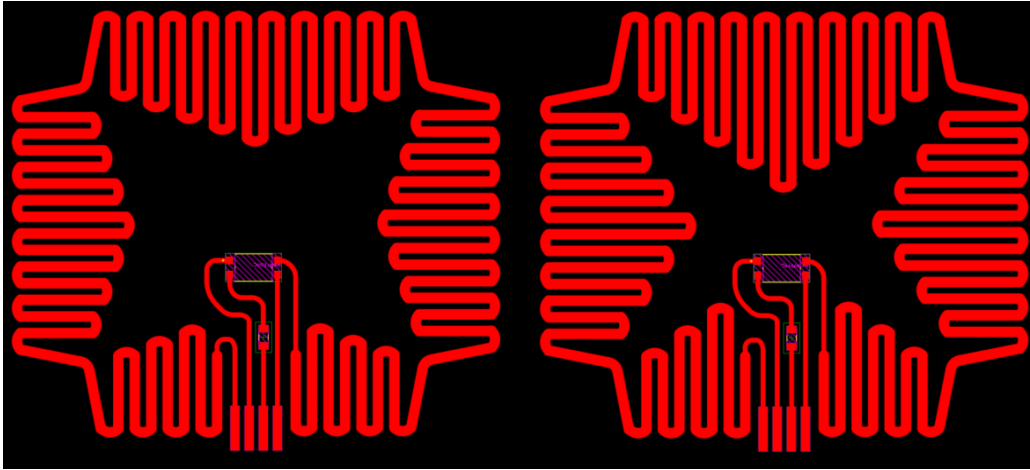


Figura 34: Diseños radiales con menor ocupación de área

Es importante que la geometría de las pistas del calefactor sea lo más redondeada posible, evitando los bordes afilados. En el caso de los calefactores eléctricos, los bordes afilados generalmente tienden a calentarse más de lo debido, pudiendo dañar el sustrato, los componentes o el propio circuito calefactor.

5.3. Componentes no impresos

Debido a la imposibilidad de imprimir LEDs, circuitos integrados y sensores, la única opción restante es incluir componentes convencionales que, posteriormente, deberán soldarse mediante un método adecuado. Es importante escoger componentes con la menor cantidad de patillas posible, facilitando el proceso de soldadura.

5.3.1. Sensor de temperatura

La detección de temperatura se trata de una de las funcionalidades más importantes del diseño, debido a que en caso de fallar o no funcionar adecuadamente, se alteraría el correcto funcionamiento del dispositivo. Puede llevarse a cabo mediante un sensor encapsulado o un sensor analógico como un termopar.

Debido a la dificultad de añadir un circuito acondicionador de la señal en el poco espacio disponible y la dificultad de soldar componentes a un sustrato flexible, se descarta el uso de sensores analógicos para la medición de temperatura.

Por lo tanto, para la elección del **sensor de temperatura** en este caso se ha optado por el sensor encapsulado de Microchip **MCP9700/9700A**, en formato SOT-23 de 3 pines.



Figura 35: CI encapsulado SOT-23 de 3 pines [25]



A pesar de tratarse de un componente de muy pequeñas dimensiones, lo cual dificulta el proceso de soldadura, ofrece unas características beneficiosas para el proyecto, como un rango de temperaturas adecuado para la funcionalidad del producto, además de no requerir de mucha potencia y necesitar únicamente 3 pines.

Los 3 pines del sensor se conectan a tierra, a la tensión de alimentación que se comprende entre 2,3 y 5,5 V (con una corriente de entre 6 y 12 μ A), y por último la salida analógica del sensor, con un nivel analógico de tensión en función de la temperatura medida. El sensor es capaz de medir temperaturas entre -40°C y 125°C con un margen de error típico de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, lo cual es más que suficiente para la aplicación.

En la *Figura 36*: Curva Tensión de salida (V) frente a Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) [26] a continuación se observa la curva de tensión a la salida del sensor frente a la temperatura ambiente medida. Aquí se observa que la tensión a la salida del sensor a 0°C es de 500mV, aumentando de manera aproximadamente lineal a razón de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$. Esto facilita en gran medida el cálculo software de la temperatura en función de la tensión, aunque el margen de error sea ligeramente mayor.

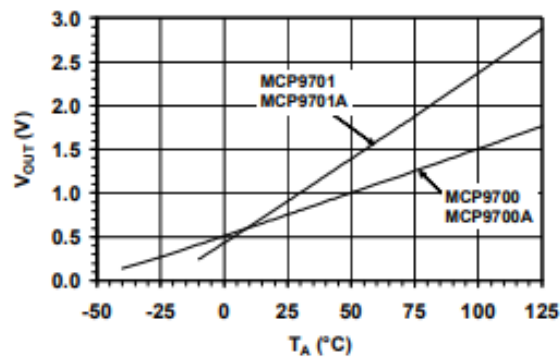


Figura 36: Curva Tensión de salida (V) frente a Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) [26]

5.3.2. LED RGB

Para indicar la referencia de temperatura ambiente se han valorado dos opciones: diodo LED monocromático representante del nivel de temperatura en función de la intensidad de su brillo, o diodo LED RGB representante del nivel de temperatura en función del color.

A pesar de requerir de una menor alimentación, se ha optado por descartar el LED monocromático. Esto se debe a una mayor dificultad de la percepción del brillo del LED, pues no hay referencia alguna que sirva de ayuda para comparar el brillo del LED y asociarlo a una



determinada temperatura. Por otro lado, el LED RGB es capaz de proporcionar diferentes colores en función de la temperatura, resultando más identificable en todo momento.



Figura 37: LED RGB de montaje superficial [27]

Para este proyecto, se ha escogido el **Cree PLCC4 CLV1A-FKB**, un LED RGB pequeño con suficiente intensidad lumínica para este proyecto. Para que este elemento funcione, es necesario acondicionar la señal de entrada que se le aplica.

Cada uno de los LEDs que se encuentran en el componente necesita una tensión mínima (V_{umbral}) y una corriente en un rango determinado (I_{LED}) para poder funcionar. Para ello se emplean resistencias, las cuales son calculadas mediante la *Ecuación 1*:

$$R_{LED} = \frac{V_{alim} - V_{umbral}}{I_{LED}}$$

Ecuación 1

El numerador ($V_{alim} - V_{umbral}$) indica la caída de tensión que debe producirse en la resistencia de protección, de esta manera se asegura que la tensión restante caiga en el LED, la cual coincide con la tensión umbral que necesita para funcionar. El denominador indica la corriente necesaria para que el LED luzca de manera correcta.

Una vez introducidos los parámetros correspondientes, el resultado indica una resistencia necesaria de aproximadamente 220 Ω . En este caso se ha optado por la resistencia **Vishay D25/CRCW1206**, de métrica 1206. Tal y como se ha comentado anteriormente, existen versiones más pequeñas de la resistencia elegida, pero con el fin de facilitar el proceso de soldadura del componente se escoge la métrica 1206, suficiente para soldarla sin problemas.



Figura 38: Resistencia de montaje superficial y métrica 1206 [28]

Según las especificaciones de las hojas características, los tres LEDs funcionan correctamente con una intensidad de 20mA, sin embargo, la tensión umbral del LED rojo es de entre 2V y 2,6V mientras que el LED verde necesita una tensión umbral de entre 3,2V y 4V. Teniendo en cuenta que la cantidad máxima de LEDs encendidos a la vez son 2, la potencia máxima consumida por el dispositivo es de 0,16W.

5.3.3. Microcontrolador

Una vez especificadas la cantidad de pines, tensión y corriente de alimentación (totales e individuales en cada componente) y memoria necesaria, es el momento de seleccionar el Microcontrolador que mejor se ajuste a las especificaciones. En este caso, es necesario un microcontrolador de 13 pines como mínimo (teniendo en cuenta el pin del calefactor). Debido a la necesidad de ahorrar espacio y por la complejidad de soldadura, se buscará una solución lo más próxima a esa.



Como se ha adelantado anteriormente, todos los componentes deben ser de montaje superficial, lo que incluye el microcontrolador. Dentro de las distintas opciones, se ha optado por un microcontrolador de montaje SOIC, pues es la opción más grande (y por lo tanto menos restrictiva) entre los componentes de montaje superficial.

Otra de las características importantes a tener en cuenta es la capacidad del microcontrolador de leer entradas de sensores capacitivos. Existen ciertas marcas más especializadas que otras, las cuales poseen familias de microcontroladores con bloques internos que posibilitan y/o facilitan la lectura de estos sensores específicos. Las compañías que ofrecen mejores posibilidades son Microchip (+Atmel) y Cypress.

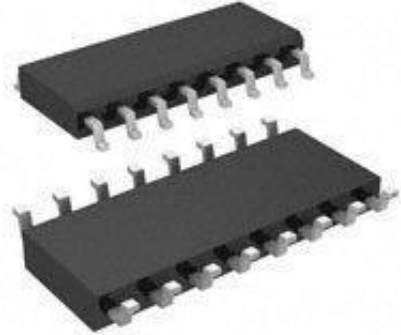


Figura 39: CI en formato SOIC-16 [29]

En general, Microchip ofrece una mayor variedad de microcontroladores, aunque tanto Microchip como Cypress disponen de aquellos con las características necesarias para la realización de la lectura de sensores capacitivos. Sin embargo, en cuanto a la posibilidad de probar los distintos diseños durante la etapa de desarrollo, Cypress es la que ofrece la mejor opción, con ciertas gamas de placas de desarrollo preparadas para probarlos. Por todo esto, la elegida para la realización del proyecto es Cypress, concretamente el microcontrolador de 16 pines (SOIC) **CY8C20247/S-24SXI**, cuyas especificaciones son las siguientes:

- 2Kx8 de memoria SRAM y 16Kb de memoria FLASH disponible.
- Procesador M8C CPU de arquitectura Harvard.
- Funcionamiento a temperaturas comprendidas entre -40°C y 85°C.
- Tensión de alimentación entre 1,71V y 5,5V.
- Un pin de alimentación (VCC), un pin de tierra (GND), un pin de reinicio (XRES) y 13 pines de entrada/salida de propósito general, 10 de ellos capaces de medir señales capacitivas.
- 1 Conversor Analógico-Digital de 10 bits con referencia de tensión interna.
- 3 temporizadores de 16 bits.
- 2 comparadores analógicos de propósito general, bajo consumo y alta velocidad de funcionamiento.
- Watchdog y sleep timer internos junto con oscilador interno de baja velocidad a 32kHz.
- Interfaz de comunicación SPI maestro/esclavo.
- Esclavo I²C configurable.

Para la ejecución del programa, el procesador M8C emplea 5 registros internos, los cuales son: Acumulador (A), Índice (X), Contador de Programa (PC), Puntero de Pila (SP) y Flags (F). Todos los registros internos del procesador tienen 8 bits de longitud, a excepción del Contador de Programa, que necesita 16 bits de longitud. Al producirse un reset, todos los registros obtienen



el valor 00h, a excepción del Flag, el cual se reinicia al valor 02h debido a que se activa el flag Z que indica que se ha producido el reset.

El procesador M8C contiene 3 espacios de direcciones: RAM, ROM y registros. La memoria ROM se compone de una ROM supervisora y una FLASH, estando la memoria FLASH organizada en bloques de 128 bytes. En caso de que el almacenamiento de una instrucción se encuentre y ejecute entre dos bloques o más de 128 bytes se produce un ciclo de reloj extra, necesario para incrementar el byte más significativo del PC y poder continuar con la instrucción.

Los registros se encuentran distribuidos en dos bancos de 256 bytes cada uno. Para cambiar de un banco a otro, es necesario modificar el estado del bit XIO del registro Flag, el cual indica si se está trabajando con el banco 0 (XIO = 0) o con el banco 1 (XIO = 1). El método de funcionamiento recomendado por Cypress es dejar seleccionado el banco 0 por defecto y seleccionar el banco 1 únicamente cuando se necesite, para volver al banco 0 al finalizar la operación en el banco 1.

Las instrucciones del M8C son de un byte de longitud, los cuales no modifican ningún registro o RAM, 2 bytes de longitud, componiendo la mayoría de instrucciones del procesador, y 3 bytes de longitud, los segundos más abundantes que son necesarios cuando se mueve información entre un registro y RAM o cuando contienen una dirección absoluta de 16 bits en la propia instrucción (necesario en llamadas o saltos largos).

Para asegurar una alimentación estable y sin picos de tensión se coloca un condensador entre los terminales de tierra y alimentación del microcontrolador. Este condensador, para los valores de tensión y corriente del proyecto, basta que sea de 100 pF. Para asegurar un proceso de soldadura más sencillo, se escoge el tamaño de condensador de métrica 1206, igual que las resistencias señaladas anteriormente. En este caso se escoge el condensador **SMD KEMET X7R**.

5.3.4. Relé de estado sólido

Se trata de un dispositivo que a efectos prácticos actúa de la misma manera que un relé normal, con la diferencia de que no está compuesto por elementos mecánicos móviles, se encuentra aislado galvánicamente. Generalmente, en vez del interruptor mecánico interno del relé normal, utiliza un LED interno con el que manda la señal a un diodo fotosensible, el cual al recibir la señal lumínica activa la rama de potencia compuesta por transistores MOSFET canal P (un solo transistor o múltiples en paralelo) para que dejen pasar la corriente.

Tal y como se ha comentado, el relé de estado sólido se utilizará para regular la potencia que llega al calefactor impreso. Por un lado, el relé se encuentra conectado a la patilla habilitadora del calefactor del microcontrolador, de manera que en el momento en el que el microcontrolador envíe la señal de activación, el LED interno se encienda y la señal lumínica emitida permita comenzar a conducir a la rama de potencia.



Figura 40: Relé de estado sólido OMRON G3VM-21DR [30]

Para este proyecto se ha decidido utilizar el relé de estado sólido **OMRON G3VM-21DR**, con una tensión pico de 20V y una corriente máxima de 3A, suficientes para la presente aplicación.

A la patilla a la que llega la corriente que activa el LED interno se debe conectar una resistencia a modo de protección. Según las hojas características del relé de estado sólido, el LED consume una corriente típica de 10mA, por lo que, al tener 3,7V a la entrada se decide conectar una resistencia SMD de métrica 1206 de 360Ω. En este caso se ha escogido el mismo modelo de resistencia empleada en los anteriores casos.

5.4. Componentes pasivos

Los componentes pasivos son aquellos cuya función no va más allá de servir a modo de protección de los distintos elementos activos de la placa.

Como se ha podido comprobar, uno de los componentes implementados en el proyecto son las resistencias, las cuales sirven tanto para modular la corriente que atraviesa los LEDs, como para proteger los sensores capacitivos de posibles sobrecorrientes o sobretensiones que los puedan atravesar. La desventaja de este componente es el calor generado cuando es atravesado por una corriente, sin embargo, la corriente que atraviese estos elementos en el dispositivo es suficientemente pequeña como para que el aumento de temperatura sea apenas perceptible.

El segundo tipo de componente pasivo a utilizar en el proyecto es el condensador, cuya función es la de actuar como elemento de acoplo o desacoplo, los cuales aseguran la estabilidad de la tensión de alimentación del microcontrolador y del sensor de temperatura. Sin estos componentes, es posible que se produzcan picos de tensión suficientemente altos como para alterar la correcta funcionalidad del circuito. Para que el funcionamiento de dichos condensadores sea óptimo, deben ir colocados lo más cerca posible del microcontrolador y del sensor de temperatura.

También, se incluye un condensador adicional para modular la sensibilidad de los sensores capacitivos, para el cual se reservan los pines P0[1] ó P0[3]. Este condensador es estrictamente necesario, si no se coloca en el circuito el sensor capacitivo no funciona.

5.5. Diseño en Altium Designer

Tras seleccionar los componentes para el proyecto, el siguiente paso es diseñar el hardware para asignar los distintos dispositivos a los pines del microcontrolador correspondientes, de manera que se tenga en cuenta para su posterior programación.



Además, dado que en la electrónica impresa el rutado debe realizarse en la misma capa (superficial) al completo, los distintos pines adjudicados a un mismo componente son pines contiguos en el microcontrolador. De esta manera se evita la mayoría de los cruces de pistas entre distintos componentes del circuito, tal y como se muestra en la *Figura 42: Organización*

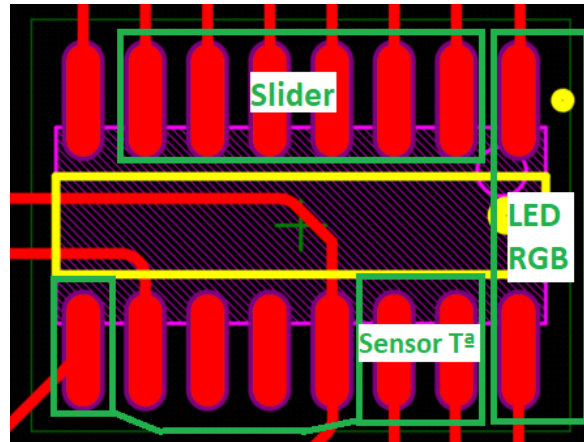


Figura 42: Organización de pines del microcontrolador

de pines del microcontrolador.

En el caso del sensor de temperatura, no es posible seleccionar los pines de manera contigua porque necesita un pin conectado a la alimentación y otro a GND, los cuales se encuentran en pines separados del microcontrolador.

A pesar de que quedan libres 3 terminales del microcontrolador, se decide no añadir electrodos extra al Slider para no comprometer en exceso la memoria ROM del microcontrolador. Es preferible dejar cierto margen de memoria para poder implementar nuevas variables que faciliten el funcionamiento del programa en caso de que fuera necesario más adelante.

5.5.2. Diseño PCB

Para comenzar con el diseño en la PCB se exportan los componentes del esquemático automáticamente mediante la opción que ofrece Altium. Una vez que se tienen los componentes, se organiza el espacio en el que se ubican los componentes.

Una de las maneras de organizar el espacio es colocar el componente que requiera más conexiones en el centro del diseño, en este caso se trata del microcontrolador, por lo que es el primer componente en ser ubicado, seguido de sus conexiones a la alimentación y a tierra.



Diseño de controlador de calefactor eléctrico impreso sobre sustrato flexible

Para poder realizar el rutado de manera eficiente, debido a que al principio se tiene la placa vacía, se ha optado por colocar primero aquellos componentes que más pines y espacio necesiten, empezando por el Slider Capacitivo de 5 pines. Después se coloca el LED RGB, y finalmente el sensor de temperatura. Una vez ordenados, el diseño queda tal y como se aprecia en la *Figura 43*: Diseño PCB sin rutado.

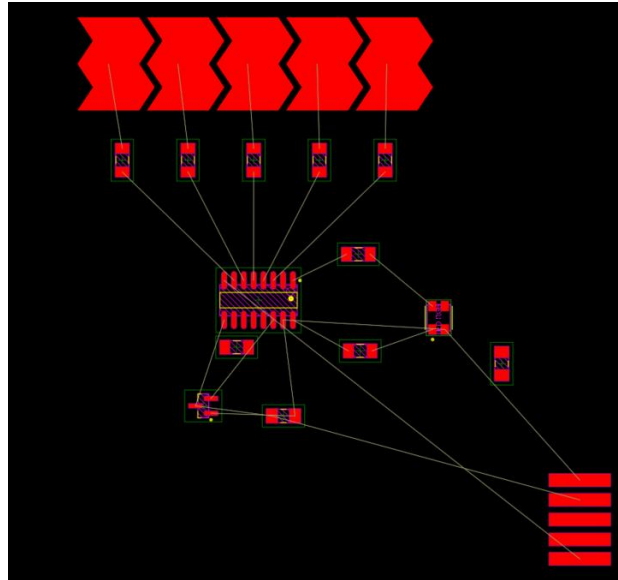


Figura 43: Diseño PCB sin rutado

Una vez los componentes se encuentran situados, se realiza el rutado. Para esta tarea se deben tener en cuenta ciertos aspectos, siendo uno de ellos el grosor de las pistas.

En un diseño PCB, el grosor de las pistas y la distancia entre ellas se dimensiona en función de los valores de corriente y tensión que van a atravesarlas. Sin embargo, en el caso de la electrónica impresa, es importante tener en cuenta la precisión de la impresión, debido a que al tratarse de sustratos poco porosos la tinta depositada se queda en la superficie, y hasta que no se seca es posible que se mueva produciendo cortocircuitos o discontinuidades eléctricas.

También, debido a que el espesor de la tinta depositada es del orden de micras, puede que su conductividad resulte deficiente en pistas muy finas, por lo que se debe compensar este efecto aumentando ligeramente su grosor.

Para la primera impresión, se escoge un grosor de pista de 0,25mm, y en función de su rendimiento se modificará o no. El diseño completo es el mostrado en la *Figura 44*: Diseño PCB con grosor de pista de 0,25mm.

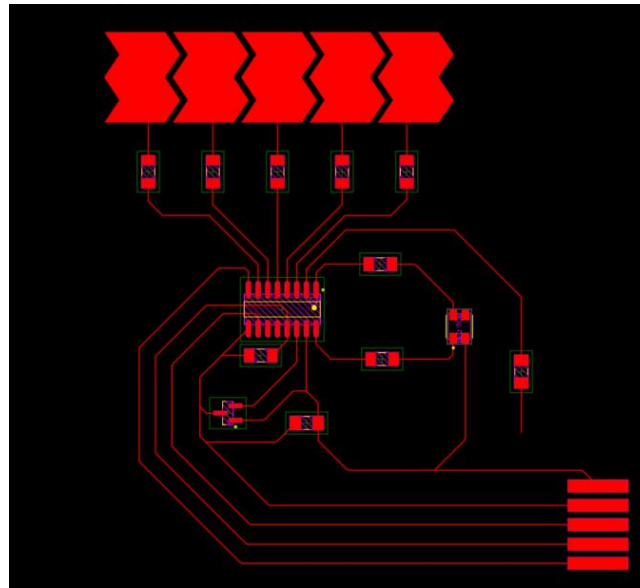


Figura 44: Diseño PCB con grosor de pista de 0,25mm

Los 5 pines del microcontrolador llevados hacia el exterior en la parte inferior derecha de la placa corresponden a la alimentación, tierra, pin de encendido del calefactor y pines de programación del microcontrolador (protocolo ISSP). Estos pines serán las únicas conexiones externas de la placa.

5.6. Método de soldadura

Existen varios métodos de soldadura de componentes electrónicos, cada uno con sus ventajas e inconvenientes, siendo unas de las más conocidas la soldadura por soldador eléctrico o estañador, la soldadura por stencil y la soldadura manual, las cuales se van a analizar y valorar.

5.6.1. Soldadura por estañador

El estañador es una herramienta alargada que gracias a una resistencia en su extremo inferior consigue alcanzar temperaturas suficientes para fundir el estaño y soldar. Es el método de soldadura manual por excelencia, gracias en parte a su posibilidad de elección de punta de soldar de distintos tamaños y formas.



Figura 45: Estañador eléctrico [31]



Para asegurar un correcto funcionamiento y larga durabilidad, se deben seguir varios pasos:

- Una vez se encienda el soldador y alcance la temperatura deseada, se debe cubrir la punta de este con una ligera capa de estaño, lo que evitará la prematura oxidación de la punta.
- Al terminar de soldar, se debe limpiar la punta del estañador con la ayuda de una esponja previamente humedecida con agua destilada. El proceso de limpiado debe hacerse estando la punta caliente.
- Mantener la punta lo más limpia posible para que la velocidad de transferencia de calor sea óptima.

Dado que la temperatura que alcanza la punta del soldador es elevada, debe mantenerse en un soporte que evite el contacto de esta con cualquier parte del cuerpo o de la estación de trabajo.

Una de las ventajas de este tipo de soldadura es la baja inversión económica. Además, en muchos de ellos es posible cambiar la punta para adaptarse a lo que se necesite en todo momento, resultando muy versátil.

5.6.2. Soldadura por stencil

La soldadura por stencil es muy empleada de manera industrial debido a que es fácilmente automatizable, rápida y muy precisa. Consiste en una fina lámina que se coloca encima de la placa PCB a soldar, la cual presenta orificios con la misma forma y posición a los puntos de soldadura de la PCB. Una vez se coloca la lámina exactamente encima de la PCB se extiende una pasta de soldar, de manera que al retirar la fina lámina esta pasta de soldar quede depositada exactamente encima de los puntos de soldadura.

Una vez se tienen los pads cubiertos de pasta de soldar, se colocan los componentes en sus respectivas posiciones. Este paso es fácil de automatizar mediante un brazo robótico de cierta precisión, aunque es posible hacerlo manualmente.

Finalmente, la PCB se introduce en un horno a cierta temperatura para que la pasta colocada en el primer paso se funda, soldando los componentes a sus respectivos pads. Finalmente, se limpia la placa para otorgarle un buen acabado.

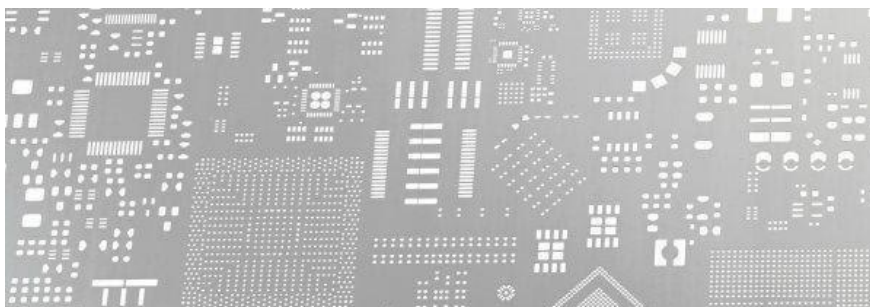


Figura 46: Pantalla Stencil [32]



Utilizando la misma plantilla, es fácil y rápido producir placas electrónicas idénticas entre ellas. Es importante remarcar que, para un buen resultado, se debe limpiar la plantilla stencil cada diez usos aproximadamente, asegurando retirar el exceso de pasta de soldar que pueda entorpecer el resultado final, provocando incluso un mal funcionamiento de la placa a nivel eléctrico.

Como se ha mencionado, este método de soldadura requiere de soldadura en pasta para poder llevarse a cabo. La soldadura en pasta consiste en partículas de estaño y plomo de entre 20 – 75 μm , suspendidas en pasta para soldar o flux. El flux ayuda a que el estaño recubra los pads metálicos con precisión, evitando que se extienda excesivamente. Por lo tanto, una vez la soldadura en pasta se ha colocado encima de los pads y los componentes encima de esta, se aplica calor, y con la ayuda del flux las partículas de estaño se recombinan formando una buena soldadura.



Figura 47: Pasta de soldadura [33]

El precio de la plantilla de stencil varía en función del tamaño de la PCB, así como de la precisión que se necesite (tamaño de los componentes), sin embargo, si la plantilla va a utilizarse repetidamente, el coste resulta totalmente asumible.

Otro de los aspectos a tener en cuenta es la necesidad de un recubrimiento extra en la placa electrónica. Este recubrimiento, compuesto por un material aislante (normalmente polimérico), cubre la totalidad del área de la placa exceptuando los pads en los que se aplica la soldadura.



La función del recubrimiento es, una vez depositada la pasta de soldar, evitar el esparcimiento de esta al colocar los componentes en su sitio. Al estar el área alrededor del pad cubierta, se crea un cierto relieve que evita que la pasta se extienda más allá de los límites del pad al aplicar presión al colocar los componentes.

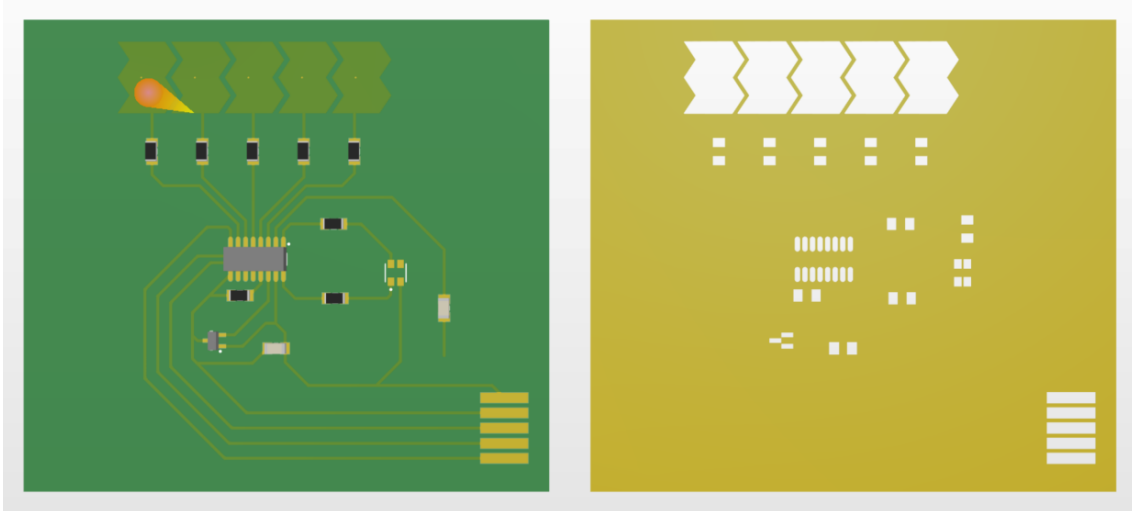


Figura 48: Recubrimiento aislante

El diseño de este recubrimiento se lleva a cabo mediante la herramienta Altium Designer, para el cual, se parte del diseño de la placa. Se genera una plancha del mismo tamaño de la placa, se coloca encima y se recortan las zonas en las que se sitúan los pads de los componentes. El resultado final se muestra en la *Figura 48: Recubrimiento aislante*.

Añadir que, a pesar de no tratarse de componentes que se vayan a soldar, el recubrimiento no se aplica al Slider capacitivo, evitando posibles cambios en la sensibilidad de la pulsación del sensor debidas al recubrimiento de este.

Además de la función ya comentada del recubrimiento, se trata de una manera eficaz de proteger las pistas de cualquier rozamiento externo, aumentando así su durabilidad.

5.6.3. Soldadura manual por adhesivo de soldadura

El funcionamiento del adhesivo de soldadura es similar al de la pasta de soldadura, con la diferencia de que la mezcla de la pasta contiene también una cantidad de adhesivo. Esta característica aporta cierta elasticidad al punto de soldadura, lo que resulta ideal para sustratos flexibles que necesiten doblarse sin causar daños a los puntos de soldadura.



En general, ofrece los mismos beneficios que la pasta de soldar además de conferir cierta elasticidad a la soldadura realizada.



Figura 49: Adhesivo de soldadura loctite EDAG 5915 100G

5.6.4. Soldadura manual por pasta conductiva

La soldadura manual de circuitos sobre sustrato flexible es similar a la soldadura por stencil, siendo la única diferencia la ausencia de una pantalla a modo de guía que ayude a la deposición de la pasta de soldar. En este caso, la pasta de soldar se deposita manualmente con la ayuda de un pincel o aguja.

Su principal ventaja respecto a la soldadura por stencil es la reducción de coste económico por la ausencia de la plantilla. Sin embargo, la velocidad de reproducción es mucho menor, más cuanto mayor sea cantidad de componentes, además de que mediante soldadura manual la precisión depende del usuario que la realiza.

Este método es conveniente en dispositivos con pocos componentes a soldar y de los que se vaya a producir una pequeña cantidad. En caso de una cantidad mayor de placas a reproducir la soldadura por stencil ahorra mucho tiempo.

5.7. Elección de método de soldadura

Tras analizar detalladamente las ventajas e inconvenientes de cada método de soldadura, se ha escogido el método de soldadura por stencil. Principalmente debido a que requiere una inversión económica pequeña en comparación a la precisión que se consigue, pero existen otros varios motivos:



- Para empezar, a la hora de aplicar calor para poder soldar los componentes la opción del estañador es completamente inservible, pues la temperatura aplicada supera ampliamente a la del método por stencil o manual (que requiere temperaturas significativamente más bajas), quemando y produciendo un daño irreparable a la mayoría de los materiales que componen los sustratos flexibles.
- Por otro lado, los componentes en electrónica impresa deben ser superficiales, los cuales acostumbran a ser significativamente más pequeños que los no superficiales. Como ya se ha comentado anteriormente, la soldadura por stencil y soldadura manual presentan una precisión mayor a la que ofrece el estañador. Este punto es relativo, puesto que un usuario experimentado es capaz de llevar a cabo la soldadura correctamente. Sin embargo, mediante este método se reduce ampliamente la posibilidad de error, además de otorgar un mejor acabado.

Finalmente, debido a que el presente proyecto se trata del diseño de un dispositivo y el desarrollo de un prototipo, con lo cual, en un principio se fabricará una reducida cantidad de ellos, se selecciona el método de soldadura manual. De este modo, se ahorra el coste económico de la fabricación de una pantalla stencil además de que, al tratarse de un prototipo, el diseño se encuentra sujeto a cambios, por lo que en caso de necesitara cambiar de diseño se debería comprar una nueva pantalla stencil, encareciendo el desarrollo del dispositivo.

Finalmente, con el fin de conseguir la calidad de acabado necesaria para el correcto funcionamiento del dispositivo (peligro de CC, especialmente en componentes pequeños como el microcontrolador) se ha seleccionado el método manual. También, debido al pequeño tamaño del circuito y su baja cantidad de componentes, la pantalla stencil resulta más económica de lo habitual.



6. DISEÑO SOFTWARE

Tal y como se ha comentado anteriormente, para el diseño del programa integrado en el microcontrolador se ha utilizado el programa PSoC Designer. El programa permite integrar módulos en forma de bloques en su herramienta de diseño gráfico, lo que permite configurarlos de manera más sencilla visualmente. Gracias a ello, el código escrito en C queda más sencillo y comprensible.

Inicialmente, el programa es diseñado con la herramienta PSoC Creator para, después, realizar la migración a PSoC Designer. Este procedimiento en el desarrollo se debe a que durante la etapa de diseño software resulta esencial el uso de una placa de desarrollo, hoy en día existentes solo para las familias de microcontroladores programables mediante PSoC Creator. Sin embargo, los microcontroladores compatibles con estas familias no son adecuados para un proyecto como este, debido a una cantidad excesiva de pines o insuficiente memoria de programa. Contrariamente, los microcontroladores pertenecientes a las familias programables mediante PSoC Designer presentan especificaciones que encajan muy bien con el proyecto.

Por lo tanto, gracias al parecido funcionamiento de ambas herramientas software, el desarrollo se lleva a cabo primero en PSoC Creator con la ayuda del kit de desarrollo para, una vez finalizado, replicarlo en PSoC Designer y cargarlo en el microcontrolador.

6.1. Bloque PWM

El diseño del color que debe emitir el LED en cada momento se ha hecho con 2 módulos PWM (Pulse Width Modulation). El funcionamiento consiste en variar el ciclo de trabajo (tensión media aplicada) del PWM de cada LED, logrando ajustar de este modo la intensidad lumínica de estos

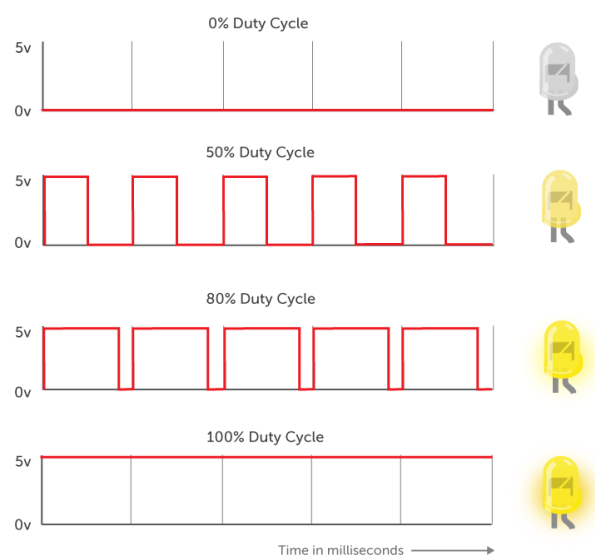


Figura 50: Control PWM de nivel de iluminación LED [34]



Los bloques PWM se han dispuesto en modo comparación. Este modo regula el ciclo de trabajo comparando el valor de un contador interno con una variable externa, por lo que cuanto más se acerque la variable externa al valor del contador menor será el ciclo de trabajo, haciendo que el LED luzca menos. La variable externa que hace variar el brillo y color de los LEDs depende tanto de la temperatura ambiente medida como de la posición seleccionada en el Slider.

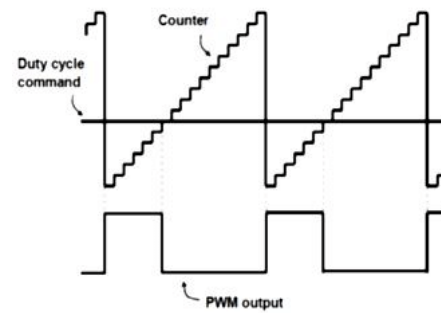


Figura 51: Ciclo de trabajo de señal PWM en modo comparación [35]

6.2. Bloque Conversor Analógico Digital (CAD)

Un bloque Conversor Analógico Digital (CAD) se ha utilizado para el control del calefactor. Una de las señales de entrada en el comparador proviene del sensor de temperatura, y la otra del nivel seleccionado en el Slider. Si el nivel seleccionado en el Slider es mayor que la temperatura ambiente, el calefactor se encenderá. Por el contrario, si la temperatura ambiente es mayor, el calefactor se mantendrá apagado. Para la monitorización de la señal de entrada del sensor de temperatura se utiliza el bloque CAD.

El funcionamiento Conversor Analógico Digital consiste en el muestreo de una señal analógica, otorgando a la señal digital a la salida valores discretos dispuestos de manera continuada. Mediante un correcto muestreo, se consigue una señal similar a la salida y a la entrada, con cierta pérdida de precisión manifestada en forma de escalones, representada en la *Figura 52*: Ejemplo de Conversión Analógico-Digital [36] (cuanto mayor resolución, menor pérdida de información).

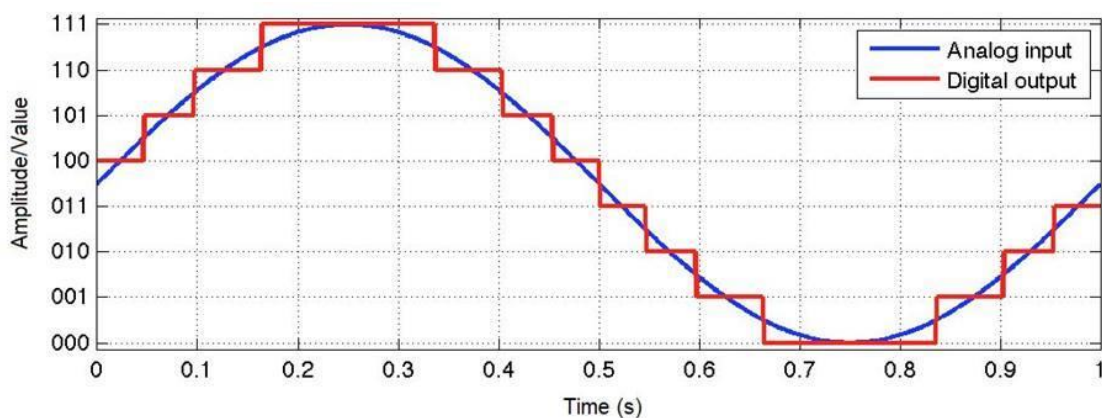


Figura 52: Ejemplo de Conversión Analógico-Digital [36]

De este modo, si el calefactor se enciende la temperatura ambiente subirá poco a poco, hasta alcanzar una temperatura algo mayor a la medida, momento en el que se apagará. Para el correcto funcionamiento el comparador debe tener cierta histéresis.



El bloque Conversor Analógico Digital interno del microcontrolador admite tensiones de entrada entre 0 y 5,5V y tiene una resolución de 8, 9 ó 10 bits. La tasa de conversión se realiza con un reloj interno de hasta 6MHz, la cual, con 8 bits de resolución es de 23,43 ksps (muestras por segundo) y con 10 bits es de 5,85 ksps.

Los comandos ofrecidos por el bloque CAD utilizados en este proyecto son los siguientes:

- ADC Start(): Mediante este comando se enciende el bloque CAD, dejándolo a la espera de la siguiente instrucción.
- ADC StartConvert(): Una vez encendido el bloque CAD, se le envía este comando y comienza a convertir el valor analógico a la entrada en uno digital con la resolución seleccionada.
- ADC GetResult16("Nº de entrada al bloque CAD"): Esta instrucción devuelve el valor analógico de la entrada seleccionada en formato digital, pudiendo almacenarse en una variable con la que realizar operaciones más adelante.

Existe una instrucción llamada ADC_StopConvert() con la que se detiene inmediatamente el proceso de conversión del bloque CAD. Sin embargo, debido a la ejecución del código en bloque, y a la corta longitud de este, lo único que se consigue es ralentizar la ejecución del código, por lo que no se implementa el comando.

6.3. Control del sensor capacitivo

Tal y como se ha explicado en el apartado 5.3.1. *Slider capacitivo*, la detección de la pulsación se realiza mediante la medición continua de la capacidad. En cuanto se pulsa con el dedo el sensor capacitivo, se detecta una variación de capacidad.

El valor estándar de variación de la capacidad suele oscilar entre 0,5 y 2,5 pF, sin embargo, este valor típico puede oscilar en función de varias características como el sustrato o la tinta conductiva empleadas. Por lo tanto, es necesaria una calibración de la sensibilidad mediante ensayo y error.

El entorno de programación de Cypress contiene un bloque con instrucciones sencillas con las que implementar la medición e interpolación de la pulsación de los sensores. Además, las especificaciones de sensibilidad, cantidad de sensores capacitivos y resolución del resultado (en bits) del bloque son fácilmente configurables desde el menú del mismo.

Los datos devueltos por el sensor que se necesitan en este proyecto son los siguientes:

- Raw Counts: Este valor representa el aumento del valor de la capacidad del sensor de manera digital, con una resolución configurable. Cuanto mayor sea la superficie en contacto con el sensor mayor es el valor de la capacidad y, por tanto, mayor el valor de la variable Raw Counts.
- LinearSlider LS: Esta variable devuelve un valor digital de resolución configurable (hasta 8 bits), el cual indica la posición del Slider en la que se encuentra el dedo. Este valor se calcula internamente mediante la



monitorización de qué sensores se están pulsando en ese momento. Para que este dato sea correcto, se deben conectar los diferentes electrodos del Slider en orden, de manera que si se tienen 5 electrodos y una resolución de 7 bits (se tienen 10 posibles posiciones, debido a que como mucho el dedo se encontrará encima de dos electrodos al mismo tiempo), los posibles resultados sean los señalados en la *Tabla 1*: Posibles resultados de la posición del Slider a 7 bits de resolución:

Posición del dedo	Sensores pulsados simultáneamente	Resultado (7 bits)
0	-	0
1	1	14
2	1-2	28
3	2	43
4	2-3	57
5	3	71
6	3-4	85
7	4	100
8	4-5	114
9	5	127

Tabla 1: Posibles resultados de la posición del Slider a 7 bits de resolución

Además de los registros de datos del Slider, se tienen comandos con los que se facilita la implementación del código referente a los sensores capacitivos. Los necesarios para el proyecto son los siguientes:

- CapSense InitializeAllBaselines(): Se trata del primer comando perteneciente a este bloque que se debe implementar. Su labor es la de inicializar los sensores adjuntos al bloque CapSense, de manera que se pueda trabajar con ellos durante el código.
- CapSense IsBusy(): Este comando devuelve un valor en función del estado en el que se encuentre el bloque CapSense. Si todavía no se ha completado el escaneo de los sensores se devuelve un 1, y en caso de que se haya completado el escaneo el valor devuelto es un 0. Este comando es utilizado para que, seguidamente, en caso de que devuelva un 0 se guarde el valor de la posición en ese instante y se reinicie el escaneo para actualizar la posición del dedo, y en caso de que devuelva un 1 se le deja terminar el escaneo antes de guardar el valor.



- CapSense_UpdateEnabledBaselines(): Mediante este comando, el valor de cada electrodo pasa a guardarse en los registros internos del bloque habilitados para ello. De esta forma la interpolación se realiza automáticamente, y no se actualiza hasta volver a ejecutar el comando.
- CapSense_ScanEnabledWidgets(): Este comando es el que activa el escaneo de los electrodos del Slider. Hasta que no se complete el escaneo, el comando CapSense_IsBusy() devuelve un 0.
- CapSense_GetCentroidPos("nombre del Slider"): Mediante el uso de este comando, se traduce la posición del dedo en el Slider a una variable de nuestra elección. Esto se utiliza para obtener en una variable la posición del dedo con una resolución de 7 bits con la que realizar las operaciones necesarias.

6.4. Programación

En este proyecto se utiliza una interrupción global, la cual se activa al final de cada ciclo del bucle main. Esta interrupción se ocupa de guardar en una variable la posición del dedo en el Slider, y en función de la temperatura ambiente medida en ese momento se actualiza el color del LED. También, si corresponde, el calefactor se enciende o apaga dentro de esta interrupción.

El código que forma parte del bucle main fuera de la interrupción se dedica a inicializar todos los bloques y elementos presentes en el programa, para después entrar en un bucle while infinito. En este bucle while, se verifica si el Slider está siendo pulsado. En caso afirmativo, se procede a obtener la posición en la que se encuentra, y en caso negativo guarda una posición reservada para la ausencia de contacto.

A pesar de que el programa tenga una única interrupción, se decide emplearla como ayuda a la interpretación del código. De esta forma, en el bucle main se realiza el chequeo de los diferentes sensores y conversiones, mientras que en la interrupción se lleva a cabo la actualización del estado del LED y del calefactor.

El diagrama de flujo que describe el funcionamiento del software se encuentra a continuación, representado mediante la *Figura 53*: Diagrama de flujo de funcionamiento.

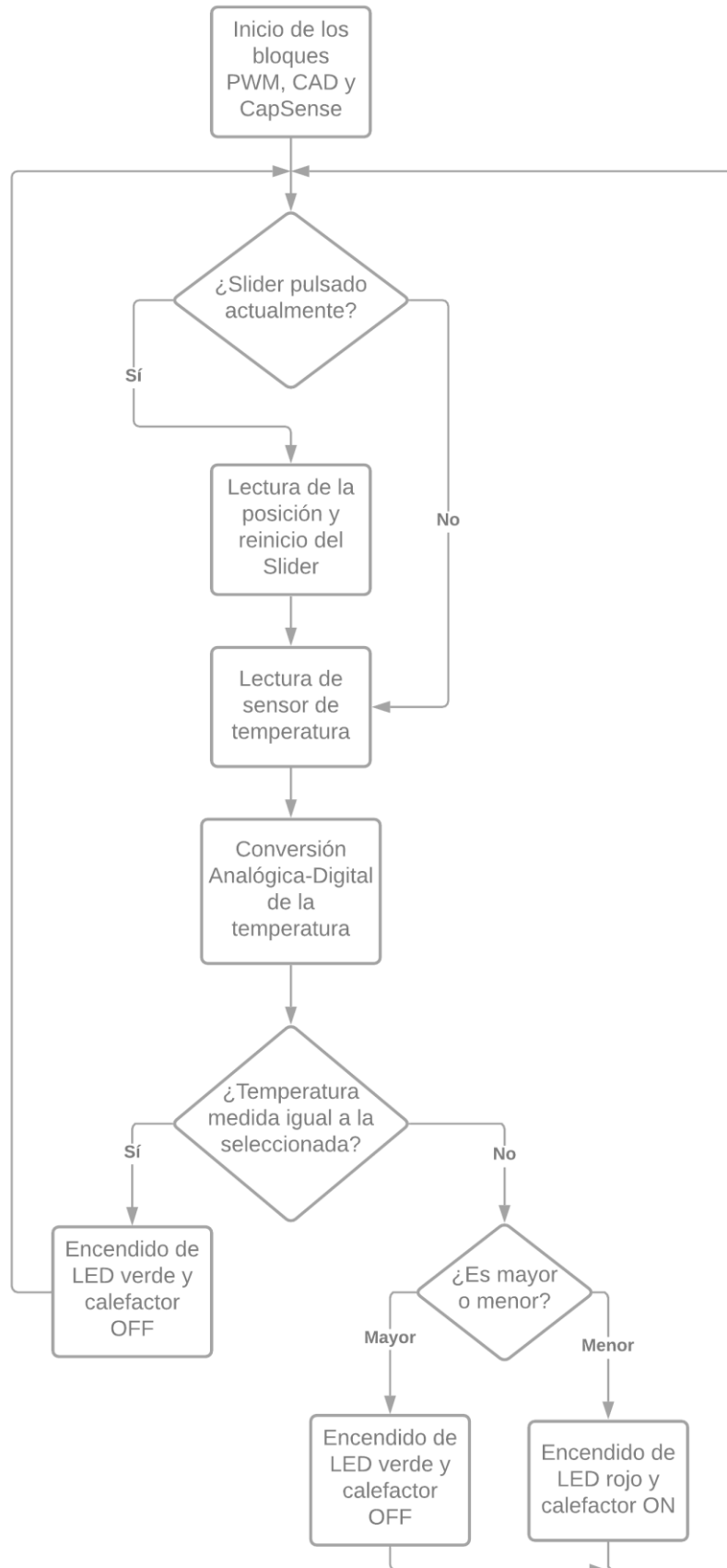


Figura 53: Diagrama de flujo de funcionamiento



6.5. Especificaciones de programación

Para cargar el programa en el microcontrolador se utiliza un programador host llamado PSoC MiniProg3, el cual está equipado con el programador y el debugger necesarios para que el programa funcione correctamente.

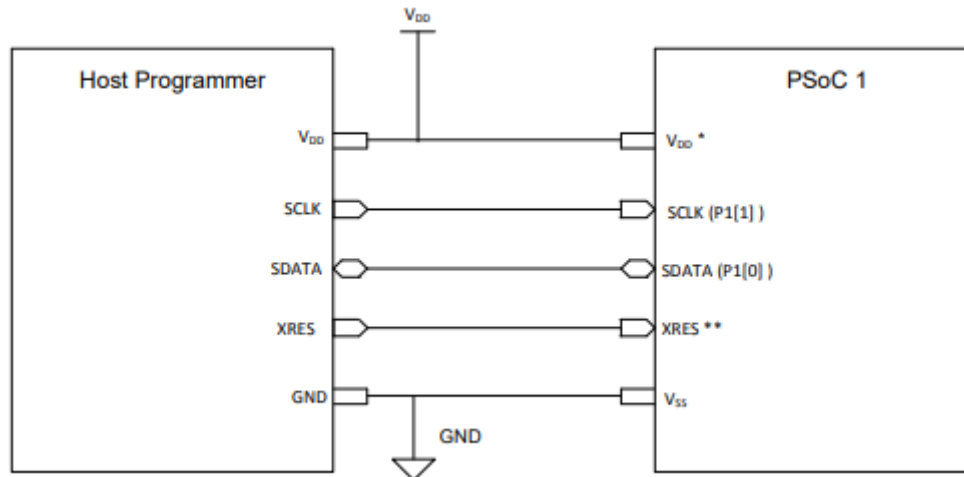


Figura 54: Conexiones de programación [37]

La carga del programa en el microcontrolador se hace mediante el protocolo ISSP. Este protocolo emplea 5 pines del microcontrolador, conectados tal y como se muestra en la *Figura 54: Conexiones de programación [37]*.

Los pines VDD y VSS se corresponden con la alimentación y GND respectivamente. El pin SCLK (P1[1]) se conecta a la señal de reloj con la frecuencia necesaria para la programación, mientras que el pin SDATA (P1[0]) transmite la información de la memoria del programa. Finalmente, el pin XRES es el encargado de reiniciar el microcontrolador, necesario durante la operación de programación ISSP.



7. ENSAYOS DE IMPRESIÓN

Una vez analizadas las ventajas y desventajas de cada una de las técnicas de impresión electrónica, se han realizado pruebas experimentales. De esta manera, es posible analizar y decidir de una manera más experimental cuál es el método con mayor viabilidad para llevar a cabo el proyecto.

7.1. Serigrafía

Para llevar a cabo los ensayos de impresión por serigrafía es necesario fabricar la correspondiente plantilla. Debido a que se dispone de recursos para realizar la impresión mediante otros métodos, el método de serigrafía queda a la espera. En caso de que los métodos restantes no cumplan con los requisitos necesarios, se valorará encargar una plantilla de serigrafía a una empresa especializada en ello.

7.2. Láser (LIFT)

Este método se ha llevado a cabo mediante un láser con alta densidad de energía, colocándose 430mm por encima de la superficie de trabajo. En este caso, se han hecho pruebas de impresión con distintas configuraciones del láser, de manera que se obtengan distintas muestras con el fin de compararlas y poder ver cuál de ellas cumple mejor con las características.

Para trabajar con el láser se debe configurar de una manera específica en función de la tinta y del sustrato. Los parámetros a configurar son los siguientes:

- Frecuencia: Se trata de la cantidad de veces que se activa el haz del láser cada segundo, se mide en Hercios.
- Velocidad: Este parámetro determina la velocidad a la que se mueve el cabezal del láser a la hora de imprimir, se mide en mm/seg.
- Potencia: La potencia del haz del láser. La potencia máxima es de 20W y se debe seleccionar el porcentaje de la potencia máxima con la que se quiera trabajar.

Las pruebas de impresión de circuito completo realizadas muestran resultados insatisfactorios, debido a dos razones principalmente:

- La primera y más importante es que para imprimir el circuito al completo se necesita cierto tiempo de ejecución, durante el cual el calor generado por el láser supera la máxima temperatura soportable por el sustrato, por lo que sufre daños y el acabado no es bueno.



Diseño de controlador de calefactor eléctrico impreso sobre sustrato flexible

- La segunda razón es que a pesar de utilizar sustratos de Kapton (con mayor resistencia a la temperatura) para realizar ciertas pruebas, este sustrato se adhiere por electricidad estática al sustrato donante durante la ejecución del láser. Por lo que, a pesar de ofrecer mejores acabados teóricos, la tinta se pega al sustrato, depositando una capa de tinta a lo largo de toda la superficie.

A pesar de dichas dificultades, una vez realizado el curado de la tinta, la conductividad presentada por varias muestras es excelente. Sin embargo, tal y como se ha indicado, el acabado no es bueno, quedando el diseño totalmente cubierto por la capa de tinta adherida.



Figura 55: Prueba de impresión sobre Kapton defectuosa

Posteriormente, se han realizado pruebas de impresión de puntos de soldadura, de manera que se realice la soldadura de componentes mediante el láser en vez de introducir la muestra a la estufa, lo que ahorra tiempo y energía. Aún así, los resultados presentan el mismo problema de adhesión de la capa de tinta al sustrato, observable en la *Figura 56*: Puntos de soldadura



Figura 56: Puntos de soldadura impresos por láser en kapton (izq) y PET (der)



impresos por láser en kapton (izq) y PET (der), por lo que el método queda descartado por el momento.

Las pruebas realizadas de impresión completa del circuito sobre sustrato PET no presentan el problema de la capa de tinta adherida al sustrato, sin embargo, a pesar de presentar buena continuidad no dispone de la precisión necesaria para lograr un correcto funcionamiento. En la *Figura 57*: Impresión de circuito completo sobre sustrato PET se observa el resultado.

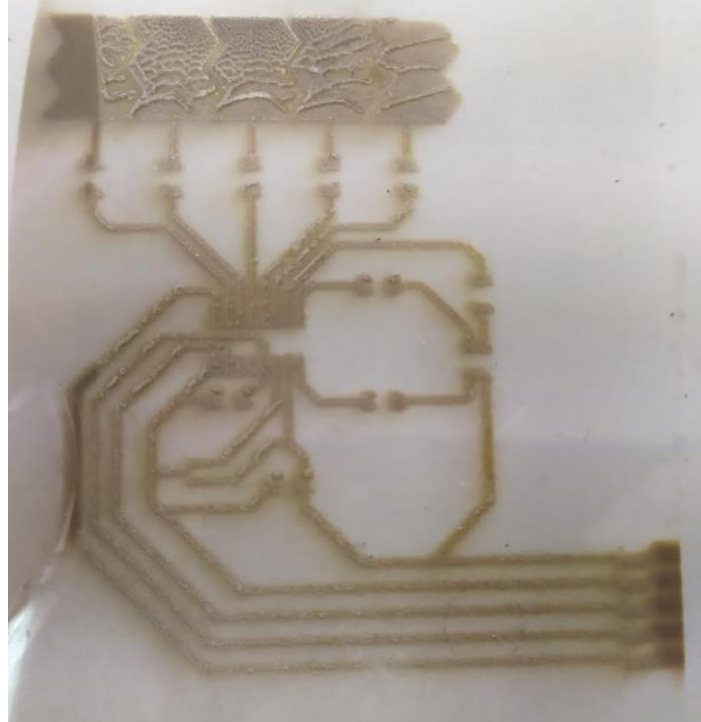


Figura 57: Impresión de circuito completo sobre sustrato PET

A pesar de lograr buenos resultados en componentes mayores como resistencias o LEDs, la precisión necesaria para aplicar la soldadura láser en componentes pequeños como el microcontrolador o el sensor de temperatura es mayor de la que se dispone. Por lo tanto, el método del láser LIFT queda descartado por el momento, quedando a la espera de valorar los demás procesos de impresión y soldadura.

Es posible obtener resultados suficientemente buenos como para implementar la impresión mediante este método a base de realización de ensayos, sin embargo, se realizan pruebas mediante los demás métodos para comparar con el fin de valorar las opciones.

7.3. Inkjet

El tercer y último método se ha testeado en sustratos PET y Kapton, de manera que se obtengan muestras de distintas impresiones y características. Este método se ha llevado a cabo con la impresora **Ardeje Origin D100**.



En este caso, como se imprimen múltiples capas en cada uno de los diseños, conviene tomar medidas que aceleren el proceso. Para ello, se implementa una cama calefactora a 60°C, sobre la cual se coloca el sustrato sobre el que se imprime. Gracias al calor generado el disolvente se evapora más rápido, de manera que se pueda depositar la siguiente capa en un menor tiempo.

Asimismo, debe tenerse especial cuidado con la cama calefactora. Esto se debe a que para realizar la impresión se debe cerrar la carcasa de la impresora, elevando la temperatura en su interior. Si el proceso de impresión no se ejecuta con cierta velocidad y la temperatura en su interior se eleva, existe el peligro de que el disolvente se evapore antes de abandonar las boquillas de impresión, bloqueándolas e imposibilitando el proceso de impresión.

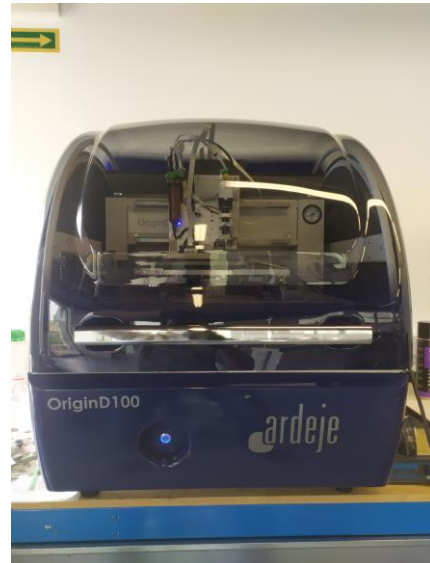


Figura 58: Impresora Inkjet ARDEJE Origin D100

Para realizar la impresión por inkjet, se deben ajustar varios parámetros de la impresora, los cuales son los siguientes:

- Puntos por pulgada (dpi): La impresión por inkjet se realiza imprimiendo las líneas continuas en forma de pequeños puntos de tinta depositados muy próximos entre ellos de manera continua. Los dpi hacen referencia a la densidad de puntos que se imprimen, es decir, en una impresión a 300dpi se imprime un punto de tinta cada 0,085mm, mientras que en una impresión a 150 dpi se imprime un punto de tinta cada 0,17mm.
- PicoLitros (pL): Se trata del volumen de tinta depositada en cada punto de los dpi mencionados, el cual se mide en picolitros por punto.
- Capas: La cantidad de capas que se imprimen en una muestra.
- Paso: El paso especifica cuantas pasadas realiza el cabezal de las boquillas para imprimir un mismo tramo del diseño. En caso de una única pasada se denomina como single-pass, y en caso de más de una pasada multi-pass.

$$dpi_{Horizontal} = frequency (hz) / carriage speed (ips)$$

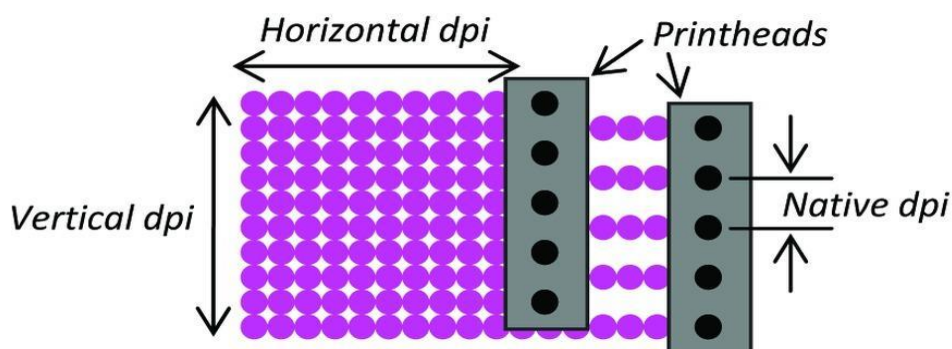


Figura 59: Funcionamiento Inkjet multi-pass [38]



En la *Figura 59*: Funcionamiento Inkjet multi-pass [38] se muestra la manera correcta de calcular los dpi, donde la frecuencia se refiere a la cantidad de gotas de tinta que expulsa el cabezal cada segundo, y se divide por la velocidad medida en pulgadas por segundo, por lo que al dividir la frecuencia por la velocidad se obtiene las gotas por pulgada o dpi.

Asimismo, en el caso de la *Figura 59*: Funcionamiento Inkjet multi-pass [38], se tiene un paso multi-pass. En la primera pasada el cabezal expulsa las gotas horizontalmente con el dpi seleccionado, sin embargo, el dpi vertical depende de la distancia vertical entre las boquillas. En el caso de que se requiera el doble de dpi vertical, basta con desplazar la boquilla verticalmente una distancia igual a la mitad de la distancia existente entre las boquillas. En caso de que se requiera el triple de dpi vertical, la boquilla se desplaza verticalmente una distancia igual a un tercio de la distancia entre boquillas, y deberá realizar un total de tres pasadas.

7.3.1. Prueba 1

En este caso se han producido muestras con distintos parámetros, y la tinta empleada es una tinta experimental con base de plata, con la que se obtienen niveles de conductividad excelentes. Las características de las muestras son las presentes en la *Tabla 2*: Condiciones de la primera prueba a continuación:

Nº muestra	dpi	pL	Nº capas	Paso	Material
1	300	3	4	Single-pass	PET
2	600	3	2	Single-pass	PET
3	300	3	4	Single-pass	Kapton
4	300	3	4	Single-pass	PET
5	300	3	4	Single-pass	Kapton
6	300	9	2	Single-pass	PET
7	300	9	1	Single-pass	PET
8	300	9	2	Single-pass	Kapton
9	300	9	1	Single-pass	Kapton
10	300	9	10	Single-pass	PET

Tabla 2: Condiciones de la primera prueba



Los resultados de la impresión son satisfactorios, incluyendo algunas muestras con características más extremas, de manera que se puedan comprobar condiciones muy dispares, aunque el aspecto a priori de estas últimas no sea tan bueno. El curado se realiza a 130°C durante 40-45 minutos o a 150°C durante media hora. Para estas muestras se ha optado por el curado a 150°C durante media hora debido a que una mayor temperatura de curado suele dar mejores resultados.

Una vez realizado el curado, las muestras son sometidas a pruebas de continuidad eléctrica. De las diez muestras, solamente una ha dado resultados satisfactorios, la muestra número 10. Dado que la muestra número 10 es la muestra con más capas, teniendo más del doble de capas que la siguiente muestra con más, de esta prueba se concluye que es necesario añadir una mínima cantidad de capas para que sea posible la transmisión viable de corriente.

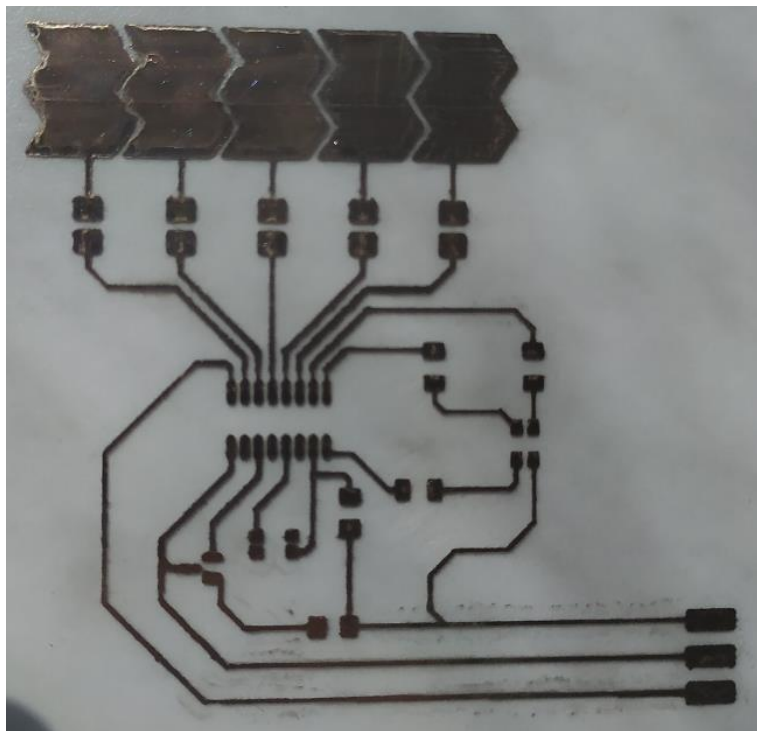


Figura 60: Muestra Nº 10

Añadir que, el diseño empleado para realizar la primera impresión por inkjet pertenece a una primera versión, en la que falta por realizar ciertas conexiones y modificaciones necesarias para poder programar el microcontrolador.

También, es necesario recalcar que el tiempo de impresión se prolonga cuantas más capas se impriman en la misma muestra. Esto se debe a que cuantas más capas haya superpuestas, más tiempo le cuesta secarse a la tinta, y en caso de que se imprima una nueva capa encima de otra que no se ha secado del todo provoca que la tinta se esparza, disminuyendo de manera drástica la precisión de la impresión.

Otra de las razones que han podido disminuir la calidad del acabado es el tiempo transcurrido entre la impresión y el curado. Es recomendable realizar el curado inmediatamente después de realizar la impresión de manera que se evite la deposición de polvo u otras partículas en la tinta



que empeoren la conductividad. En este caso transcurrió más de un día entre la impresión y el curado, lo que pudo influir negativamente en las características del circuito.

Asimismo, se ha comprobado que cuanto mayor sea el grosor de la pista, mejor conductividad tiene. Analizando las muestras, se concluye que en el centro de la pista la conductividad mejora, debiéndose probablemente a una mayor concentración de tinta en el centro, la cual tiende a acumularse más que en los bordes.

Se ha probado a someter las muestras a un segundo curado de las mismas características del primero, lo que puede llegar a contribuir a la mejora de conductividad. Sin embargo, los resultados no han variado. Por lo tanto, se llevan a cabo las medidas oportunas para las segundas pruebas:

- Ensanchar el grosor de las pistas y acortarlas lo máximo posible. Para ello, se ha aumentado el grosor de las pistas de 0,25mm a 0,5mm, y se ha variado ligeramente la disposición de las pistas con el fin de acortarlas en cierta medida.
- Depositar un mínimo 7-8 capas dejando tiempo suficiente al secado entre la deposición de las distintas capas.
- Realizar el proceso de curado inmediatamente después de la impresión, con el fin de evitar la presencia de suciedad que pudiera empeorar la conductividad del circuito.

Una vez realizada la modificación del grosor de pista el circuito queda tal y como se muestra en la *Figura 61*: Diseño PCB con grosor de pista de 0,5mm.

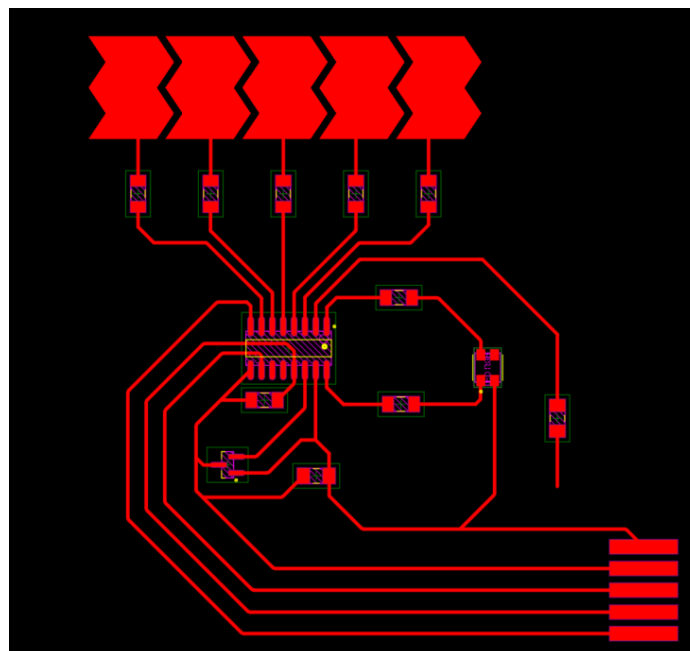


Figura 61: Diseño PCB con grosor de pista de 0,5mm



7.3.2. Prueba 2

Después de modificar el diseño siguiendo las conclusiones del primer test, se ha llevado a cabo una segunda prueba de impresión. Las características de impresión han sido las mostradas en la *Tabla 3*: Condiciones de la segunda prueba:

Nº muestra	dpi	pL	Nº capas	Paso	Material
1	600	6	3	Single pass	PET
2	600	6	7	Single pass	PET
3	600	3	10	Multi pass (2)	PET
4	600	3	5	Multi pass (2)	PET
5	600	3	7	Multi pass (2)	PET
6	600	3	7	Multi pass (2)	Kapton
7	600	3	6	Multi pass (2)	Kapton
8	600	3	6	3 Multi pass (2) / 3 Single pass	Kapton

Tabla 3: Condiciones de la segunda prueba

El resultado visual de las impresiones es bueno, pudiendo confirmar a simple vista la inexistencia de cortocircuitos entre pistas separadas en la *Figura 62*: Muestra Nº3 del segundo ensayo Inkjet. Para realizar el curado de las muestras, se han introducido en una estufa inmediatamente después de la impresión a 130°C durante una hora aproximadamente. El aumento de tiempo de



curado se debe a que a esa temperatura los sustratos no sufren daños, mientras que las tintas obtienen mejores resultados cuanto más tiempo se expongan.

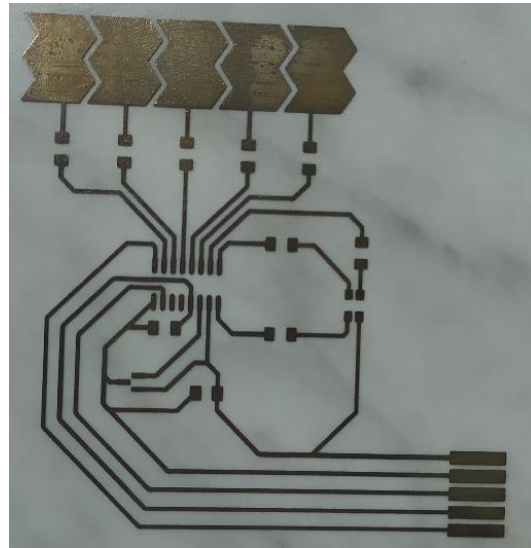


Figura 62: Muestra N^o3 del segundo ensayo Inkjet

Tras el curado de las muestras, estas han sido sometidas a pruebas de continuidad eléctrica. Esta vez todas han dado buen resultado, siendo las muestras 1 y 3 las que menores magnitudes de resistencia han ofrecido, aproximadamente $1.6 \Omega/\text{cm}$ que, teniendo en cuenta su pequeño espesor, es un resultado excelente.

El tiempo de impresión de cada muestra varía entre 10-20 minutos, dependiendo de la cantidad de capas y el paso. También, cuanto más tinta se deposite (μL) en cada capa, más tiempo se debe esperar antes de depositar la siguiente, dejando tiempo a que se seque bien la tinta para que no se desparrame y no se produzcan cortocircuitos entre pistas muy cercanas.

Tratándose del diseño final del circuito, junto con el hecho de los buenos resultados de conductividad, el siguiente paso es el montaje de componentes mediante soldadura. Por lo tanto, las muestras de la segunda prueba quedan reservadas para las pruebas de soldadura.

7.3.3. Impresión de la resistencia del calefactor

Primero, se realizará la impresión del diseño de calefactor vertical, de manera que, si no presenta problemas de sobrecalentamiento de componentes y su funcionamiento es el correcto, será elegido como diseño definitivo. Este método de elección se sigue debido a que, para conseguir el punto de configuración óptima en un diseño, se deben realizar varias impresiones de prueba, en las que se produce un gasto de tinta considerable. De modo que, si el primer diseño funciona correctamente, no se realizarán impresiones de los demás, ahorrando tinta y dinero.



Diseño de controlador de calefactor eléctrico impreso sobre sustrato flexible

El objetivo perseguido a la hora de realizar las pruebas de impresión del calefactor es determinar su conductividad para, después, terminar de dimensionar la capacidad de la batería necesaria para el proyecto

La resistencia del circuito se imprime en la cara posterior de la placa, y a diferencia de la cara principal no necesita tanta precisión en su impresión, por lo que se lleva a cabo mediante el método inkjet. Para su impresión, se utiliza la misma tinta que la empleada en la cara principal en el método inkjet, la tinta experimental con base de plata.

La configuración de los parámetros de la impresión son los expuestos en la *Tabla 4*: Configuración de los parámetros de impresión:

Muestra	Tinta	Dpi	pL	Capas	Paso	Tª curado	Tiempo curado	Resistencia
M01	Plata	600	6	10	Multi pass	150°C	60 min	10,2Ω
M02	Plata	600	9	5	Multi pass	150°C	30 min	24,1 Ω

Tabla 4: Configuración de los parámetros de impresión

A pesar de haber sido impresos con distintas configuraciones, a simple vista no es posible diferenciar las muestras, tal y como se ve en la *Figura 63*: Circuito calefactor recién impreso. La única forma de diferenciarlas es midiendo la resistencia que presentan.

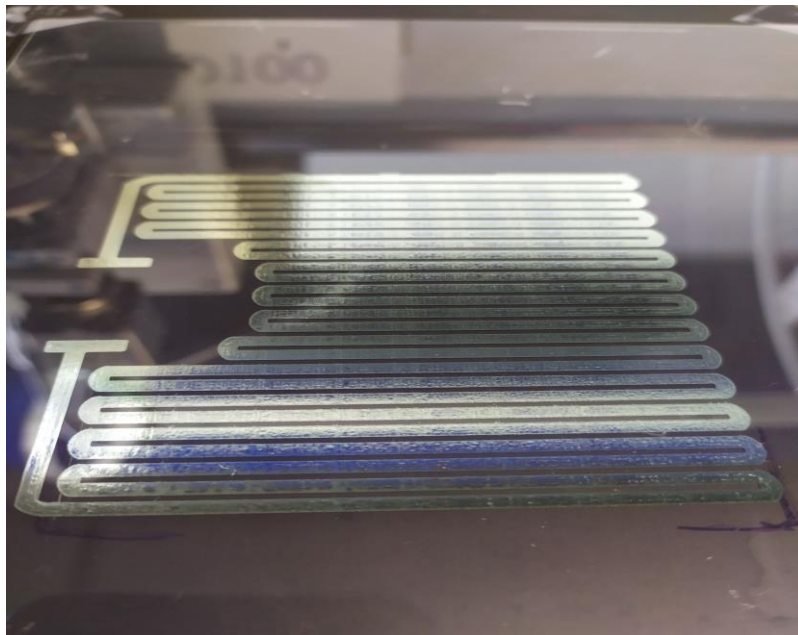


Figura 63: Circuito calefactor recién impreso



Para poder dimensionar la batería más tarde, se somete a los calefactores a un test de conductividad. Se suministran a cada calefactor distintos niveles de tensión (simulando la batería), para determinar la corriente consumida y estimar la potencia necesaria. También, con la ayuda de una cámara termográfica, se mide la temperatura alcanzada en cada caso para estimar la mejor opción de batería posible.

Las corrientes y temperaturas medidas en función de la tensión inducida son las expuestas en la *Tabla 5: Medidas de potencia y temperatura en los calefactores:*

	Tensión (V)	Corriente (mA)	Potencia (W)	Temperatura (°C)
Muestra 01	3.3	350	1.155	33.4
	3.7	396	1.465	34.9
	5	531	2.655	40.6
Muestra 02	3.3	128	0.422	29.6
	3.7	145	0.537	30.3
	5	197	0.985	33.4

Tabla 5: Medidas de potencia y temperatura en los calefactores

Los resultados obtenidos son los esperados. La resistencia de la muestra 01 es significativamente menor que la de la muestra 02, lo que concuerda con los resultados de mayor corriente, temperatura y por lo tanto potencia consumidas en el test. Por lo tanto, se concluye que cuantas más capas de tinta se impriman, menor resistencia presenta el resultado. Aunque parezca lógico, es necesario asegurarse de que este fenómeno ocurre según lo esperado, pues no se conoce al completo el comportamiento de las tintas conductoras.

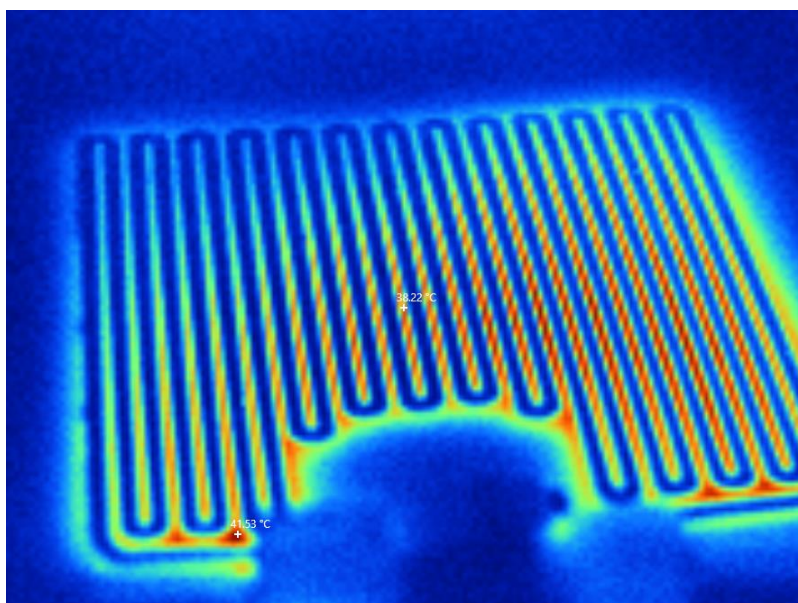


Figura 64: Imágen infrarroja de la muestra 01 a 5V

La *Figura 64*: Imágen infrarroja de la muestra 01 a 5V representa una imagen infrarroja de la muestra 01 conectada a 5V, obtenida mediante la cámara termográfica Fluke TI9.



7.4. Pruebas de soldadura

Las pruebas de soldadura se llevan a cabo con el fin de determinar la validez de los métodos de soldadura en este proyecto. En este caso, se pone a prueba la pasta de soldar conductiva para determinar si su funcionamiento es correcto o no. De esta forma se confirma o no la necesidad de comprar una pantalla stencil a medida.

7.4.1. Soldadura manual 1: Pasta de soldadura

La prueba se ha llevado a cabo con tres resistencias y dos condensadores, de manera que se pongan a prueba varios componentes entre los que contrastar resultados.

En el primer caso, la pasta de soldadura empleada es la ChipQuick, cuyo curado necesita una temperatura de 150°C durante 20 minutos. Por lo tanto, para asegurar un buen rendimiento y evitar daños en el sustrato se utiliza una de las muestras de Kapton, concretamente la muestra 06 de la segunda prueba.

Una vez colocada la pasta con la ayuda de una aguja, se depositan los componentes con unas pinzas y se introduce el circuito en la estufa bajo las condiciones comentadas anteriormente.



Figura 65: Soldadura en pasta Chipquick [39]

Tras extraer la placa de la estufa al completarse el curado, se somete a mediciones con un polímetro. Las medidas obtenidas son las indicadas en la *Tabla 6*: Medidas de resistencia y capacidad de la prueba de soldadura manual:



Componente	Valor de fábrica	Valor medido	Error
Resistencia 1	220 Ω	-NC-	$\pm 0.1 \Omega$
Resistencia 2	220 Ω	225.2 Ω	$\pm 0.1 \Omega$
Resistencia 3	220 Ω	-NC-	$\pm 0.1 \Omega$
Condensador 1	0.1 nF	0.171 nF	± 0.001 nF
Condensador 2	0.1 nF	0.170 nF	± 0.001 nF

Tabla 6: Medidas de resistencia y capacidad de la prueba de soldadura manual

Según los valores obtenidos, se concluye que la soldadura de las resistencias no ha sido totalmente satisfactoria. La pasta de soldar ha funcionado correctamente, aunque es posible que en algunos puntos de soldadura se haya empleado cantidad insuficiente. Sin embargo, el principal motivo por el cual no se ha realizado una buena soldadura reside en las características de la pasta de soldadura.

Esta pasta está diseñada para ser empleada en sustratos rígidos debido a que no es flexible, es decir, una vez formada la soldadura se mantiene totalmente rígida, por lo que si el sustrato se dobla ligeramente, el punto de soldadura se quiebra, provocando circuitos abiertos o incluso la caída de componentes al despegarse la soldadura.



Figura 66: Componente soldado (izq) y detalle de daño al circuito impreso (der)



Además, en los tramos de las pistas más cercanos a los puntos de soldadura se aprecia un daño significativo en las pistas. Esto puede significar que la pasta de soldar ha podido dañar ligeramente los pads durante el proceso de curado, tal y como se observa en la *Figura 66*: Componente soldado (izq) y detalle de daño al circuito impreso (der). También, es posible observar en la *Figura 67*: Vista inferior del condensador despegado con pista adherida al conector uno de los condensadores que se han despegado. Esta vista inferior del condensador muestra cómo la tinta perteneciente a los pads soldados se ha despegado al quedar totalmente adherida a la pasta de soldadura, por lo que se debe utilizar una pasta menos agresiva.

Se descarta daño alguno a la tinta conductiva tras el segundo paso por la estufa debido al correcto funcionamiento de las pistas no soldadas.

En cuanto a las medidas de los condensadores, cabe destacar que no se acercan a los valores de fábrica, debiéndose posiblemente a una soldadura irregular o a la capacidad añadida perteneciente a las pistas impresas conectadas a estos. Sin embargo, la funcionalidad de estos componentes no se ve alterada por los cambios en su capacidad, pues existe un amplio margen de valores que garantiza su buen funcionamiento.



Figura 67: Vista inferior del condensador despegado con pista adherida al conector

7.4.2. Soldadura manual 2: Adhesivo de soldadura

Para el segundo caso, se utiliza el adhesivo de soldadura Loctite EDAG 5915 100G. El procedimiento a seguir durante la soldadura es el mismo que en el anterior: la pasta es colocada sobre los pads con la ayuda de una aguja y se colocan los componentes uno a uno en su respectiva ubicación.



En este caso, para realizar el curado de la soldadura, se introduce la muestra con los componentes en una estufa a 120°C durante 20 minutos. A diferencia del proceso de curado de las tintas conductivas, en este caso es importante evitar alargar el proceso de curado para evitar exponer los componentes a temperaturas elevadas más tiempo de lo debido.

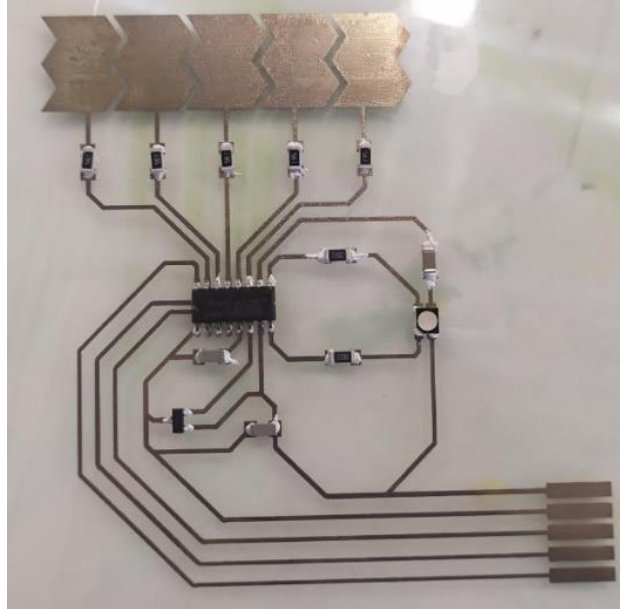


Figura 68: Dispositivo soldado mediante adhesivo de soldar

Tal y como se observa en la *Figura 68*: Dispositivo soldado mediante adhesivo de soldar, el acabado de la soldadura es bueno, y la conductividad entre terminales es la esperada en todos los casos. Además, a base de doblar ligeramente el sustrato varias veces, se comprueba que mantiene la flexibilidad sin realizar daños a los puntos de soldadura o componentes.

7.4.3. Soldadura por sinterizado láser

El último ensayo de soldadura se realiza con el láser LIFT, mediante el proceso de sinterizado. Este proceso consiste en aplicar el haz del láser sobre pads en los que previamente se ha depositado tinta conductiva y se ha colocado el respectivo componente.

Para realizar la soldadura se ha empleado la misma tinta conductiva que la utilizada anteriormente en la impresión láser del circuito. Una vez colocada la tinta en los pads y los componentes, en este caso tres resistencias pertenecientes al slider, se configura el láser y se realizan las impresiones.



Figura 69: Daños en el sustrato a consecuencia de la soldadura por sinterizado láser



En la *Figura 69*: Daños en el sustrato a consecuencia de la soldadura por sinterizado láser se aprecia el daño sufrido por el sustrato llegando a fundirse en el caso de la resistencia más a la izquierda. La soldadura de la resistencia de la zona derecha se ha realizado con una menor potencia, pero aun así se han provocado quemaduras.

A pesar de realizar pruebas con distintas configuraciones, el método es descartado completamente debido a que, a pesar de ser mucho más rápido y automatizable, es necesario realizar un estudio de los sustratos y su capacidad de soportar temperaturas de sinterizado.

7.5. Elección de muestra tras proceso de soldadura

Finalmente, tras realizar los ensayos de soldadura, se decide escoger la muestra soldada mediante el método de manual por adhesivo de soldadura. Como se ha comentado anteriormente, este método de soldadura ofrece dos principales ventajas respecto a la pasta de soldadura:

- Mediante la soldadura por adhesivo se ha conseguido una flexibilidad de puntos de soldadura mucho mayor a la obtenida mediante la pasta de soldadura. Al tratarse de una característica fundamental en el proyecto, la elasticidad ofrecida por el adhesivo le otorga ventaja.
- Al contrario que la soldadura mediante sinterizado láser, la soldadura por adhesivo no ha producido ningún tipo de daño al sustrato.

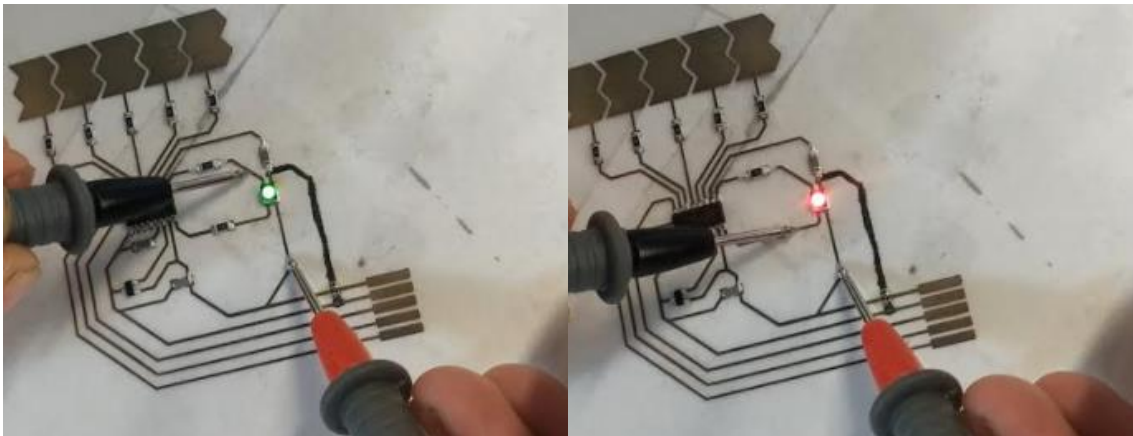


Figura 70: LED verde (izq) y LED rojo (der)

Tal y como se había previsto, el método de soldadura manual por adhesivo de soldadura ha logrado los mejores resultados. Trás soldar los componentes, se comprueba mediante un polímetro el funcionamiento del LED RGB, el cual funciona correctamente, tal y como se comprueba en la *Figura 70*: LED verde (izq) y LED rojo (der).

Es preciso añadir que, debido a la incompatibilidad de realizar el diseño en una sola capa y a una sola cara, se realiza la conexión del condensador modulador a GND a mano. Para ello, es necesario añadir una capa aislante (tinta aislante **Dupont ME779**), sobre la que se dibuja la pista restante hasta el terminal GND, observable en la *Figura 70*.



8. Elección de batería

Puesto que se trata de un dispositivo portátil, la alimentación de la placa se realiza mediante una batería. Para dimensionar la batería se tiene en cuenta el consumo simultáneo de los distintos componentes presentes. El correcto cálculo de la potencia máxima consumida se realiza teniendo en cuenta los componentes que se encontrarán activos al mismo tiempo, pues varios de ellos no funcionarán a la vez en ningún momento.

Componente	Tensión (V)	Corriente (mA)	Potencia (W)
LED RGB	3,7	20	0,074
Sensor T ^a	3,7	0,009	0,000033
Microcontrolador	3,7	4	0,0148
Calefactor	3,7	396	1,465
Slider	3,7	0,005	0,0000185
TOTAL		420,014	1,55

Tabla 7: Corriente y potencia máximas empleadas por el dispositivo

Se calcula que, como máximo, el dispositivo tendrá un consumo de 1,55W, con una corriente total de 420,014mA. Por lo tanto, para que el producto tenga una durabilidad mínima de 4 horas de uso (calefactor encendido), estimadas como durabilidad suficiente, se busca una batería de 2000mAh.

Entre las opciones barajadas están: las baterías de litio actuales, las cuales son una apuesta segura debido a su amplia variedad y disponibilidad en el mercado; y las baterías flexibles.

Las baterías flexibles presentan una solución inmejorable para el presente proyecto, gracias a las cuales se puede obtener un dispositivo calefactor portátil completamente flexible. Sin embargo, la oferta de baterías flexibles actual es muy escasa y cara, reservada casi exclusivamente a la investigación. Además, la densidad de energía que presentan no es capaz de competir con las de litio actualmente.

Por lo tanto, se decide emplear una batería convencional de litio, dejando abierta la posibilidad en un futuro cercano a implementarse una batería flexible.

8.1. Tipos de baterías de litio

Para la alimentación del proyecto se tienen en cuenta dos tipos de baterías de litio: la batería de Ion-Litio y la batería de Litio-Polímero.

Esencialmente, ambas baterías se basan en el litio, la diferencia se encuentra en el medio existente entre los electrodos, el electrolito, tanto en su estado físico como en su composición. En el caso de las Ion-Litio se trata de un líquido, mientras que en las baterías de Litio-Polímero se emplea un sólido o gel. Esta diferencia es la que les otorga distintas características, siendo sus ventajas se exponen en la *Tabla 8: Ventajas y desventajas de baterías Li-Ion y Li-Po:*



	Li-Ion	Li-Po
VENTAJAS	Alta densidad de energía	Gran robustez
	No tiene efecto memoria	Tamaño reducido
	Coste reducido	Menor probabilidad de derrame de electrolito
DESVENTAJAS	Inflamable	Mayor coste
	Pérdida de propiedades gradual	Menor densidad de energía y durabilidad

Tabla 8: Ventajas y desventajas de baterías Li-Ion y Li-Po

8.2. Elección de batería

Teniendo en cuenta que se trata de un dispositivo pequeño, el cual va a estar sometido a movimiento y se va a doblar, es preferible que se trate de una batería robusta con menor probabilidad de derrame que una más inestable, a pesar de que necesite de una inversión ligeramente mayor. Por lo tanto, debido a estas características además de su tamaño reducido (el cual encaja mejor en el presente proyecto), se escoge la batería de Litio-Polímero.



Figura 71: Batería Li-Po [40]

Siguiendo las especificaciones planteadas en el apartado 8, se busca una batería de 3.7V y 2000mAh, suficientes para satisfacer el funcionamiento de todos los elementos, además de asegurar un funcionamiento mínimo de 4 horas.

Existen múltiples fabricantes de baterías Li-Po, entre las cuales se encuentra RS PRO. Este fabricante dispone de baterías Li-Po de diferentes características, y entre ellas hay una que ofrece un nivel de tensión de 3.7V, capacidad de 2000mAh y una corriente de descarga típica de 400mA, lo cual se adecúa a las imposiciones del dispositivo. Además, se encuentra diseñada para trabajar bajo temperaturas entre 0°C y 45°C, los cuales no se alcanzan en ningún momento.

Las baterías de este fabricante se catalogan por códigos, siendo el representante de la batería escogida el código 125-1266.

Al tratarse de una batería recargable, el proceso de carga se realiza mediante un cargador externo convencional. Esta decisión se debe también a la dificultad de soldadura de componentes sobre el sustrato, siendo preferible no añadir más componentes para realizar la carga de la batería en el propio dispositivo.



9. Presupuesto

En este apartado se recopila el coste económico del proyecto. Se distingue entre el presupuesto necesario para el desarrollo del diseño y el presupuesto atribuido a la fabricación del diseño final individual.

• DESARROLLO DEL DISEÑO

CONCEPTO	PROVEEDOR	PRECIO UNITARIO (€)	UNIDADES	PRECIO TOTAL (€)
Sustrato Kapton	Amazon	33.74	1	33.74
Sustrato PET	Almacenes Fontalba	34.56	1	34.56
Placa de desarrollo CY8CKIT-042 PSoC® 4 Pioneer Kit	Cypress	30.00	1	30.00
Adhesivo de soldadura Loctite EDAG 5915 100G	Digi-Key	12,99	1	12,99
Pasta de soldadura Chipquick	RS	82,67	1	82,67
Tinta conductiva experimental	Torrecid	800.00 **	1	800.00 **
Microcontrolador CY8C20247/S-24SXI	Digi-Key	3.80	1	3.80
Sensor Tª MCP9700/9700A	Digi-Key	0.20	1	0.20
LED RGB CLV1A-FKB	Digi-Key	0.35	1	0.35
Relé estado sólido G3VM-61BR1/ER1	Digi_Key	4.83	1	4.83
Resistencia SMD 1206 Yageo	Mouser	0.15	8	1.22
Condensador SMD 1206 KEMET	Mouser	0.78	2	1.56
Batería LiPo 125-1266	RS PRO	17.72	1	17.72
			TOTAL	927.89

Tabla 9: Presupuesto para el desarrollo del diseño



• PRESUPUESTO PRODUCTO

CONCEPTO	PROVEEDOR	PRECIO UNITARIO (€)	UNIDADES	PRECIO TOTAL (€)
Sustrato PET	Brildor	34.56	0,025 *	0.86
Tinta conductiva experimental	Torreced	800.00 **	0,0125*	20.00 **
Adhesivo de soldadura Loctite EDAG 5915 100G	Digi-Key	12,99	1	12.99
Microcontrolador CY8C20247/S-24SXI	Digi-Key	3.80	1	3.80
Sensor T ^a MCP9700/9700A	Digi-Key	0.20	1	0.20
LED RGB CLV1A-FKB	Digi-Key	0.35	1	0.35
Relé estado sólido G3VM-61BR1/ER1	Digi_Key	4.83	1	4.83
Resistencia SMD 1206 Yageo	Mouser	0.15	8	1.22
Condensador SMD 1206 KEMET	Mouser	0.78	3	2.34
Batería LiPo 125-1266	RS PRO	17.72	1	17.72
			TOTAL	50.29

Tabla 10: Presupuesto necesario por cada unidad de producto

*: Fracción del producto utilizado por cada unidad fabricada de dispositivo.

** : Estimación de presupuesto basado exclusivamente en productos similares en el mercado. Precio real de producto confidencial, reservado únicamente al proveedor.

Debe tenerse en cuenta que, el presupuesto por cada unidad de producto calculado en la *Tabla 10*: Presupuesto necesario por cada unidad de producto, pertenece a la fabricación individual de un solo prototipo. En caso de fabricar este dispositivo en masa, el coste atribuido a la fabricación de cada uno de ellos se ve significativamente reducido. Esto se debe a que el precio de los componentes resulta menor cuanto mayor sea la cantidad comprada.



10. Conclusiones y líneas futuras

Habiendo finalizado el diseño y desarrollo del proyecto, se comprueba si se han cumplido los objetivos fijados al comienzo de este. Tal y como se ha comprobado a lo largo de la presente memoria, el objetivo principal del desarrollo completo del dispositivo calefactor ha sido satisfactorio.

La dificultad principal del proyecto tiene que ver con el estado de desarrollo de la tecnología. La electrónica impresa industrializada se encuentra en etapa de desarrollo actualmente, por lo que no se dispone de procedimientos precedentes al diseño de los distintos aspectos del producto. Para poder llevar a cabo el proyecto de manera rápida al mismo tiempo que ofrezca resultados positivos, se ha optado por la metodología del ensayo, lo que ha permitido explorar las distintas configuraciones y compararlas entre ellas.

- Mediante los ensayos de impresión, se ha podido comparar entre las distintas configuraciones con el fin de determinar cuál de ellas funciona mejor. De esta forma, se ha caracterizado la compatibilidad entre sustratos y tintas, descartando las que peor funcionan y escogiendo la mejor opción.
- Lo mismo se puede decir de los ensayos de soldadura. Al no existir apenas precedentes de métodos de soldadura en sustrato flexible, se han realizado múltiples pruebas con distintos métodos a fin de determinar cuál es la que mejor se adapta al proceso.

Por lo tanto, además de cumplir el objetivo de dar con el método adecuado de fabricación y conseguir un producto funcional, se ha recopilado información de ensayos prácticos de compatibilidad entre sustratos, tintas y métodos de soldadura. Estos datos podrán ser consultados durante el desarrollo de futuros proyectos, contribuyendo a la optimización de la etapa de diseño y al desarrollo de la tecnología de la electrónica impresa.

En un futuro, en el momento en el que las baterías flexibles sean accesibles y se encuentren disponibles en el mercado, el producto desarrollado en el presente proyecto podrá ser aplicado en el tratamiento de lesiones por aplicación de calor, pudiendo adaptarse a la superficie corporal de la zona lesionada gracias a su flexibilidad. Además, podría ser utilizado como complemento preventivo de lesiones al ser aplicado inmediatamente antes de realizar actividad física.



11. Bibliografía

• Referencias a figuras:

- [1] “¿Qué es la Ley de Moore?”. Recuperado de <http://seofilo.com>
- [2] “Quién inventó la imprenta y su origen”. Recuperado de <https://curiosfera-historia.com>
- [3] Rueda, M. Serigrafía y pintura conductora de electricidad. Recuperado de <https://i.pinimg.com>
- [4] Cristina. (2019). Serigrafía para principiantes. Recuperado de <https://warmhomelife.files.wordpress.com>
- [5] Macovei, D. (2015), 3D printing and circuitry work together today to improve our electronics. Recuperado de <https://www.3dprintingelectronicsconference.com>
- [6] (2004), Glosario de Terminología Informática. Recuperado de <http://www.tugurium.com>
- [7] Mailis, S. Researchgate. Recuperado de <https://www.researchgate.net>
- [8] Mack, E. (2014), Touch board and electric ink create a jammin’ music machine. Recuperado de <https://assets.newatlas.com>
- [9] Universal Laser Systems. Recuperado de <https://cdn.ulsinc.com>
- [10] Professional Plastics. Recuperado de <https://www.professionalplastics.com>
- [11] (2014), Grupo Karman. Recuperado de <https://i1.wp.com/grupocarman.com>
- [12] El futuro de la impresión electrónica sobre sustrato textil. Recuperado de <https://img.interempresas.net>
- [13] (2019), La electrónica impresa al servicio del sector de la movilidad. Recuperado de <https://lh3.googleusercontent.com>
- [14] Imagen obtenida de American Semiconductors. Recuperado de <https://www.americansemi.com>
- [15] Imagen obtenida de 3D Filamento. Recuperado de <https://www.3dfilamento.es>
- [16] Warner, J. (2020), Altium. Recuperado de <https://resources.altium.com>
- [17] Imagen obtenida de Cypress. Recuperado de <https://www.cypress.com>
- [18] Imagen obtenida de Kayhe Ingeniería. Recuperado de <http://www.kyheingenieria.com>
- [19] (2020), Ventajas y desventajas de componentes PTH frente a SMD. Recuperado de <https://www.luisllamas.es>
- [20] , [21] , [22] *Capacitive touch sensor design guide AN2943*, © 2019, Microchip Technology Incorporated, ISBN: 978-1-5224-4092-5.



- [23] (2010), *Semtech advanced communications & sensing Capacitive touch sensing layout guidelines*, Application Note.
- [24] Imagen obtenida de Keetronics. Recuperado de <https://www.keetronics.com>
- [25] Imagen obtenida de Ebay. Recuperado de <https://i.ebayimg.com>
- [26] (2016), *Low power linear active termistor ICs*, Microchip.
- [27] Imagen obtenida de La Electrónica. Recuperado de <https://laelectronica.com>
- [28] Imagen obtenida de Mundo Electrónica. Recuperado de <https://mundoelectronica.net>
- [29] Imagen obtenida de Aliexpress. Recuperado de <https://ae01.alicdn.com>
- [30] Imagen obtenida de DigiKey. Recuperado de <http://media.digikey.com>
- [31] Imagen obtenida de Leroy Merlin. Recuperado de <https://assets.leroymerlin.es>
- [32] Imagen obtenida de Electronics Lab. Recuperado de <https://www.electronics-lab.com>
- [33] Imagen obtenida de Fraser Technologies. Recuperado de <https://frasertech.co.uk>
- [34] Imagen obtenida de Prometec. Recuperado de <https://www.prometec.net>
- [35] Joseph, P. (2016), ResearchGate. Recuperado de <https://www.researchgate.net>
- [36] Gudino, M. (2018), Engineering Resources: Basics of Analog-to-Digital converters. Recuperado de <https://static4.arrow.com>
- [37] (2016), *PSoC® 1 ISSP Programming Specifications*, Cypress.
- [38] (2017), *Carpet and pile product printing*, Zimmer Austria.
- [39] Imagen obtenida de Amazon. Recuperado de https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71vT1O3mqUL.AC_SL1360.jpg
- [40] Imagen obtenida de RS Pro. Recuperado de <https://uk.rs-online.com>

● Referencias a documentación

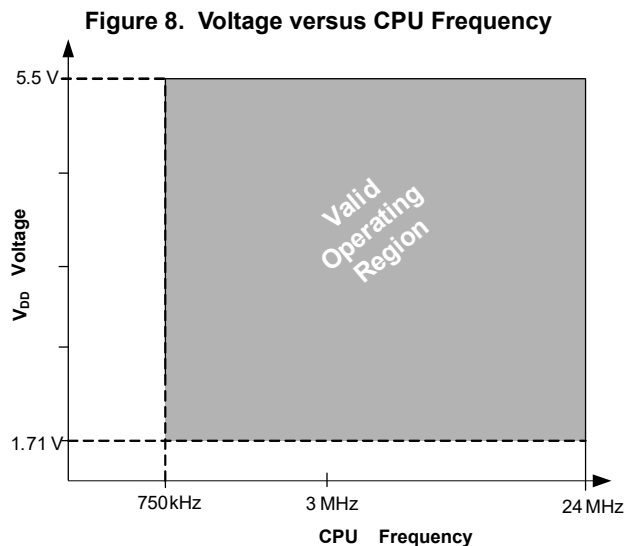
1. *Capacitive touch sensor design guide AN2943*, © 2019, Microchip Technology Incorporated, ISBN: 978-1-5224-4092-5.
2. *Getting Started with CapSense AN64846*, Cypress Semiconductor, Document Number. 001-64846 Rev. *Y.
3. *CapSense® Design Guide, AN90071-CY8CMBR3xxx*, Cypress Semiconductor, Doc. No.001-90071Rev. *H
4. *CONCEPTOS BÁSICOS DE FORMULACIÓN DE TINTAS Y TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN*, NAITEC, Noáin, 16 de enero de 2020.



ANEXOS

Electrical Specifications

This section presents the DC and AC electrical specifications of the CY8C20x37/47/67/S PSoC devices. For the latest electrical specifications, confirm that you have the most recent datasheet by visiting the web at <http://www.cypress.com/psoc>.



Absolute Maximum Ratings

Exceeding maximum ratings may shorten the useful life of the device. User guidelines are not tested.

Table 7. Absolute Maximum Ratings

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Units
T _{STG}	Storage temperature	Higher storage temperatures reduce data retention time. Recommended Storage Temperature is +25 °C ± 25 °C. Extended duration storage temperatures above 85 °C degrades reliability.	-55	+25	+125	°C
V _{DD}	Supply voltage relative to V _{SS}	–	-0.5	–	+6.0	V
V _{IO}	DC input voltage	–	V _{SS} - 0.5	–	V _{DD} + 0.5	V
V _{IOZ}	DC voltage applied to tristate	–	V _{SS} - 0.5	–	V _{DD} + 0.5	V
I _{MIO}	Maximum current into any port pin	–	-25	–	+50	mA
ESD	Electro static discharge voltage	Human body model ESD	2000	–	–	V
LU	Latch up current	In accordance with JESD78 standard	–	–	200	mA

Operating Temperature

Table 8. Operating Temperature

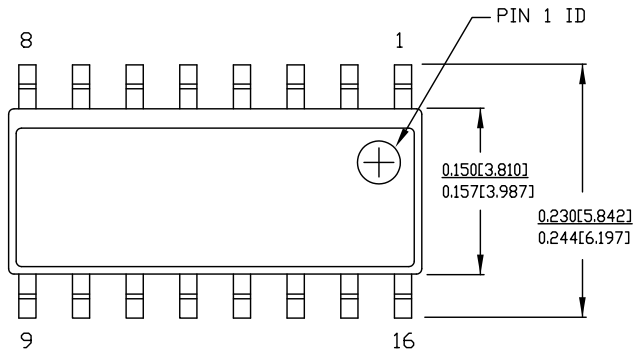
Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Units
T _A	Ambient temperature	–	-40	–	+85	°C
T _C	Commercial temperature range	–	0	–	70	°C
T _J	Operational die temperature	The temperature rise from ambient to junction is package specific. See the Thermal Impedances on page 31 . The user must limit the power consumption to comply with this requirement.	-40	–	+100	°C

Packaging Information

This section illustrates the packaging specifications for the CY8C20x37/47/67 PSoC device, along with the thermal impedances for each package.

Important Note Emulation tools may require a larger area on the target PCB than the chip's footprint. For a detailed description of the emulation tools' dimensions, refer to the document titled *PSoC Emulator Pod Dimensions* at <http://www.cypress.com/design/MR10161>.

Figure 16. 16-pin (150 Mil) SOIC



NOTE:

1. DIMENSIONS IN INCHES[MM] **MAX.**
2. REFERENCE JEDEC MS-012
3. PACKAGE WEIGHT : refer to PMDD spec. 001-04308

PART #	
S16.15	STANDARD PKG.
SZ16.15	LEAD FREE PKG.

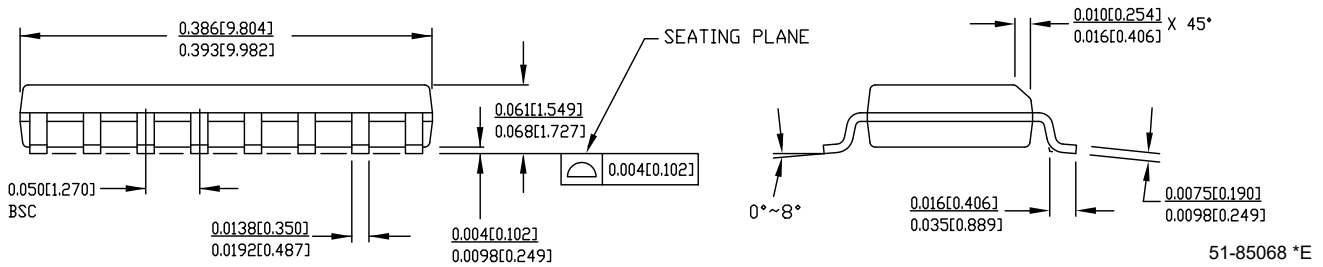
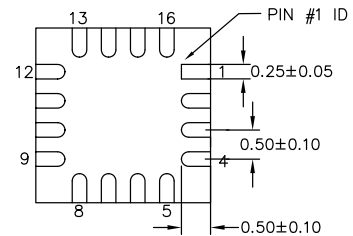
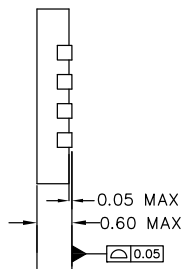
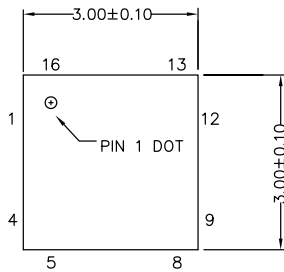


Figure 17. 16-pin Chip-On-Lead (3 × 3 × 0.6 mm) (Sawn) Package Outline, 001-09116

TOP VIEW

SIDE VIEW

BOTTOM VIEW



NOTES

1. REFERENCE JEDEC # MO-220
2. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

001-09116 *J

Low-Power Linear Active Thermistor™ ICs

Features

- Tiny Analog Temperature Sensor
- Available Packages:
 - SC70-5, SOT-23-5, TO-92-3
- Wide Temperature Measurement Range:
 - -40°C to +125°C (Extended Temperature)
 - -40°C to +150°C (High Temperature) **(MCP9700/9700A)**
- Accuracy:
 - $\pm 2^\circ\text{C}$ (max.), 0°C to +70°C **(MCP9700A/9701A)**
 - $\pm 4^\circ\text{C}$ (max.), 0°C to +70°C **(MCP9700/9701)**
- Optimized for Analog-to-Digital Converters (ADCs):
 - 10.0 mV/°C (typical) **MCP9700/9700A**
 - 19.5 mV/°C (typical) **MCP9701/9701A**
- Wide Operating Voltage Range:
 - $V_{DD} = 2.3\text{V}$ to 5.5V **MCP9700/9700A**
 - $V_{DD} = 3.1\text{V}$ to 5.5V **MCP9701/9701A**
- Low Operating Current: 6 μA (typical)
- Optimized to Drive Large Capacitive Loads

Typical Applications

- Hard Disk Drives and Other PC Peripherals
- Entertainment Systems
- Home Appliance
- Office Equipment
- Battery Packs and Portable Equipment
- General Purpose Temperature Monitoring

Description

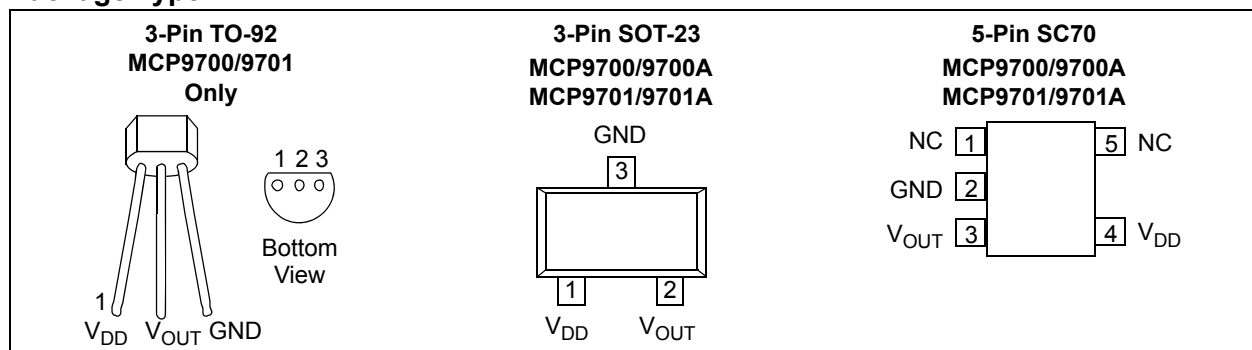
The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family of Linear Active Thermistor™ Integrated Circuit (IC) is an analog temperature sensor that converts temperature to analog voltage. It's a low-cost, low-power sensor with an accuracy of $\pm 2^\circ\text{C}$ from 0°C to +70°C (MCP9700A/9701A) $\pm 4^\circ\text{C}$ from 0°C to +70°C (MCP9700/9701) while consuming 6 μA (typical) of operating current.

Unlike resistive sensors (such as thermistors), the Linear Active Thermistor IC does not require an additional signal-conditioning circuit. Therefore, the biasing circuit development overhead for thermistor solutions can be avoided by implementing this low-cost device. The voltage output pin (V_{OUT}) can be directly connected to the ADC input of a microcontroller. The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A temperature coefficients are scaled to provide a 1°C/bit resolution for an 8-bit ADC with a reference voltage of 2.5V and 5V, respectively.

The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A provide a low-cost solution for applications that require measurement of a relative change of temperature. When measuring relative change in temperature from +25°C, an accuracy of $\pm 1^\circ\text{C}$ (typical) can be realized from 0°C to +70°C. This accuracy can also be achieved by applying system calibration at +25°C.

In addition, this family is immune to the effects of parasitic capacitance and can drive large capacitive loads. This provides Printed Circuit Board (PCB) layout design flexibility by enabling the device to be remotely located from the microcontroller. Adding some capacitance at the output also helps the output transient response by reducing overshoots or undershoots. However, capacitive load is not required for sensor output stability.

Package Type



MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings †

V _{DD} :	6.0V
Storage temperature:	-65°C to +150°C
Ambient Temp. with Power Applied:..	-40°C to +150°C
Output Current	±30 mA
Junction Temperature (T _J):	150°C
ESD Protection On All Pins (HBM:MM):	(4 kV:200V)
Latch-Up Current at Each Pin:	±200 mA

†**Notice:** Stresses above those listed under “Maximum Ratings” may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated:						
MCP9700/9700A: V _{DD} = 2.3V to 5.5V, GND = Ground, T _A = -40°C to +125°C and No load.						
MCP9701/9701A: V _{DD} = 3.1V to 5.5V, GND = Ground, T _A = -10°C to +125°C and No load.						
Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
Power Supply						
Operating Voltage Range	V _{DD}	2.3	—	5.5	V	MCP9700/9700A
	V _{DD}	3.1	—	5.5	V	
Operating Current	I _{DD}	—	6	12	µA	
Power Supply Rejection	Δ°C/ΔV _{DD}	—	0.1	—	°C/V	
Sensor Accuracy (Notes 1, 2)						
T _A = +25°C	T _{ACY}	—	±1	—	°C	
T _A = 0°C to +70°C	T _{ACY}	-2.0	±1	+2.0	°C	MCP9700A/9701A
T _A = -40°C to +125°C	T _{ACY}	-2.0	±1	+4.0	°C	MCP9700A
T _A = -10°C to +125°C	T _{ACY}	-2.0	±1	+4.0	°C	MCP9701A
T _A = 0°C to +70°C	T _{ACY}	-4.0	±2	+4.0	°C	MCP9700/9701
T _A = -40°C to +125°C	T _{ACY}	-4.0	±2	+6.0	°C	MCP9700
T _A = -10°C to +125°C	T _{ACY}	-4.0	±2	+6.0	°C	MCP9701
T _A = -40°C to +150°C	T _{ACY}	-4.0	±2	+6.0	°C	High Temperature, MCP9700 only
Sensor Output						
Output Voltage, T _A = 0°C	V _{0°C}	—	500	—	mV	MCP9700/9700A
Output Voltage, T _A = 0°C	V _{0°C}	—	400	—	mV	MCP9701/9701A
Temperature Coefficient	T _C	—	10.0	—	mV/°C	MCP9700/9700A
	T _C	—	19.5	—	mV/°C	MCP9701/9701A
Output Non-linearity	V _{ONL}	—	±0.5	—	°C	T _A = 0°C to +70°C (Note 2)
Output Current	I _{OUT}	—	—	100	µA	
Output Impedance	Z _{OUT}	—	20	—	Ω	I _{OUT} = 100 µA, f = 500 Hz
Output Load Regulation	ΔV _{OUT} /ΔI _{OUT}	—	1	—	Ω	T _A = 0°C to +70°C, I _{OUT} = 100 µA
Turn-on Time	t _{ON}	—	800	—	µs	

- Note 1:** The MCP9700/9700A family accuracy is tested with V_{DD} = 3.3V, while the MCP9701/9701A accuracy is tested with V_{DD} = 5.0V.
- 2:** The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family is characterized using the first-order or linear equation, as shown in [Equation 4-2](#). Also refer to [Figure 2-16](#).
- 3:** SC70-5 package thermal response with 1x1 inch, dual-sided copper clad, TO-92-3 package thermal response without PCB (lead).

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated: MCP9700/9700A: $V_{DD} = 2.3V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load. MCP9701/9701A: $V_{DD} = 3.1V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -10^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load.						
Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
Typical Load Capacitance	C_{LOAD}	—	—	1000	pF	The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family is characterized and production tested with a capacitive load of 1000 pF.
SC-70 Thermal Response to 63%	t_{RES}	—	1.3	—	s	30°C (Air) to +125°C (Fluid Bath) (Note 3)
TO-92 Thermal Response to 63%	t_{RES}	—	1.65	—	s	

- Note 1:** The MCP9700/9700A family accuracy is tested with $V_{DD} = 3.3V$, while the MCP9701/9701A accuracy is tested with $V_{DD} = 5.0V$.
- 2:** The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family is characterized using the first-order or linear equation, as shown in [Equation 4-2](#). Also refer to [Figure 2-16](#).
- 3:** SC70-5 package thermal response with 1x1 inch, dual-sided copper clad, TO-92-3 package thermal response without PCB (lead).

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

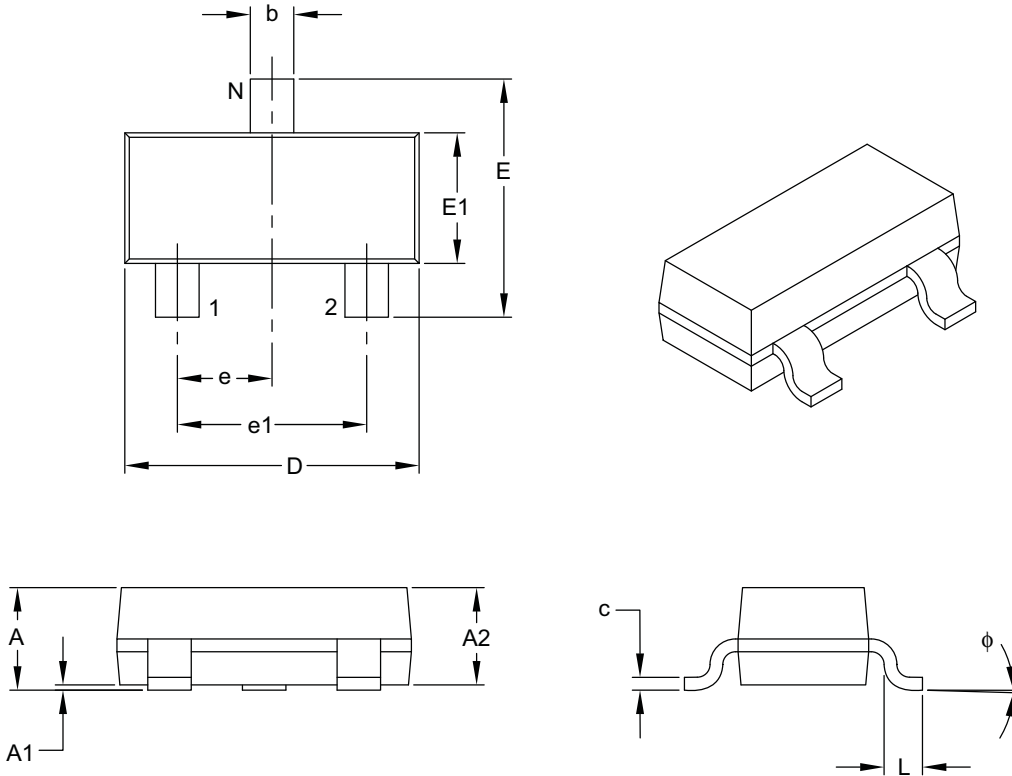
Electrical Specifications: Unless otherwise indicated: MCP9700/9700A: $V_{DD} = 2.3V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load. MCP9701/9701A: $V_{DD} = 3.1V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -10^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load.						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Temperature Ranges						
Specified Temperature Range (Note 1)	T_A	-40	—	+125	°C	MCP9700/9700A
	T_A	-10	—	+125	°C	MCP9701/9701A
	T_A	-40	—	+150	°C	High Temperature, MCP9700 only
Operating Temperature Range	T_A	-40	—	+125	°C	Extended Temperature
	T_A	-40	—	+150	°C	High Temperature
Storage Temperature Range	T_A	-65	—	+150	°C	
Thermal Package Resistances						
Thermal Resistance, 5LD SC70	θ_{JA}	—	331	—	°C/W	
Thermal Resistance, 3LD SOT-23	θ_{JA}	—	308	—	°C/W	
Thermal Resistance, 3LD TO-92	θ_{JA}	—	146	—	°C/W	

- Note 1:** Operation in this range must not cause T_J to exceed Maximum Junction Temperature (+150°C).

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

3-Lead Plastic Small Outline Transistor (TT) [SOT-23]

Note: For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	3		
Lead Pitch	e	0.95 BSC		
Outside Lead Pitch	e1	1.90 BSC		
Overall Height	A	0.89	–	1.12
Molded Package Thickness	A2	0.79	0.95	1.02
Standoff	A1	0.01	–	0.10
Overall Width	E	2.10	–	2.64
Molded Package Width	E1	1.16	1.30	1.40
Overall Length	D	2.67	2.90	3.05
Foot Length	L	0.13	0.50	0.60
Foot Angle	φ	0°	–	10°
Lead Thickness	c	0.08	–	0.20
Lead Width	b	0.30	–	0.54

Notes:

- Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.25 mm per side.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing C04-104B

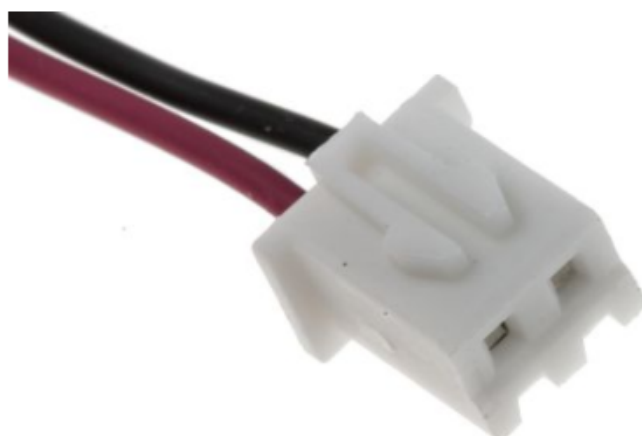
ENGLISH



Datasheet

RS Pro 3.7V Li-Po Rechargeable Battery, 2000mAh

RS Stock Number: 125-1266



1. Scope

This specification shall be applied to polymer Li-ion Rechargeable Battery manufactured by RS Component.

2. Basic Product Characteristics

No.	Item	Characteristics
3.1	Nominal Capacity	2000mAh
	Minimum Capacity	2000mAh
3.2	Nominal Voltage	3.7V
3.3	Impedance	$\leq 150\text{m}\Omega$ (AC impedance @1kHz, 50% SOC, (23±2°C))
3.4	Limited Charge Voltage	$4.20^{+0.03}_{-0.02}\text{V}$
3.5	Discharge Cut-off Voltage	3.0V
3.6	Standard Charge	0.2C ₅ A (400mA) CC(constant current) charge to Charge Limited Voltage, then CV(constant voltage) charge till charge current decline to End-of-Charge Current at 23±2°C
3.7	Standard Discharge	0.2C ₅ A (400mA) discharge to the Discharge Cut-off Voltage at 23±2°C
3.8	Maximum Continuous Charge Current	0.5C ₅ A (1000mA)
3.9	Maximum Continuous Discharge Current	1C ₅ A (2000mA)
3.10	Operating Temperature Range	Charge 0 ~ 45°C
		Discharge -20 ~ 60°C
3.11	Storage Temperature Range	-20 ~ 60°C ≤1month ; -20 ~ 45°C ≤3months ; -20 ~ 30°C ≤12months (50±10%) SOC
	Operating and Storage Humidity Range	45~75% RH
3.12	Weight	40.0g

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Items	Symbol	Absolute Maximum Rating			Unit
		R	G	B	
Forward Current ^{Note 1}	I_F	50	25	25	mA
Peak Forward Current ^{Note 2}	I_{FP}	200	100	100	mA
Reverse Voltage	V_R	5	5	5	V
Power Dissipation	P_D	130	100	100	mW
Operation Temperature	T_{opr}	-40 ~ +100			$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	T_{stg}	-40 ~ +100			$^\circ\text{C}$
Junction Temperature	T_J	110	110	110	$^\circ\text{C}$
Junction/ambient 1 chip on	R_{THJA}	450	400	450	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Junction/ambient 3 chips on	R_{THJA}	650	580	680	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Junction/solder point 1 chip on	R_{THJS}	300	280	300	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Junction/solder point 3 chips on	R_{THJS}	450	430	480	$^\circ\text{C}/\text{W}$

Note: 1.Single-color light.
2.Pulse width ≤ 0.1 msec, duty $\leq 1/10$.

TYPICAL ELECTRICAL & OPTICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Characteristics	Condition	Symbol	Values			Unit
			R	G	B	
Dominant Wavelength	$I_F = 20$ mA	λ_{DOM}	619~624	520~540	460~480	nm
Spectral bandwidth at 50% I_{REL} max	$I_F = 20$ mA	$\Delta \lambda$	24	38	28	nm
Viewing Angle at 50% I_V	$I_F = 20$ mA	$2\theta_{1/2}$	120	120	120	deg
Forward Voltage	$I_F = 20$ mA	$V_{F(avg)}$	2.0	3.2	3.2	V
		$V_{F(max)}$	2.6	4.0	4.0	V
Luminous Intensity	$I_F = 20$ mA	$I_{V(min)}$	355	560	180	mcd
		$I_{V(avg)}$	550	850	320	mcd
Reverse Current (max)	$V_R = 5$ V	I_R	10	10	10	μA

INTENSITY BIN LIMIT ($I_F = 20 \text{ mA}$)

Red			Green			Blue		
Bin Code	Min.(mcd)	Max.(mcd)	Bin Code	Min.(mcd)	Max.(mcd)	Bin Code	Min.(mcd)	Max.(mcd)
H	355	450	K	560	710	E	180	224
J	450	560	M	710	900	F	224	280
K	560	710	N	900	1120	G	280	355
M	710	900	P	1120	1400	H	355	450
						j	450	505

Tolerance of measurement of luminous intensity is $\pm 10\%$.

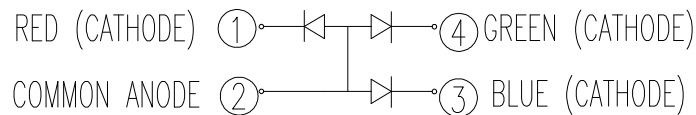
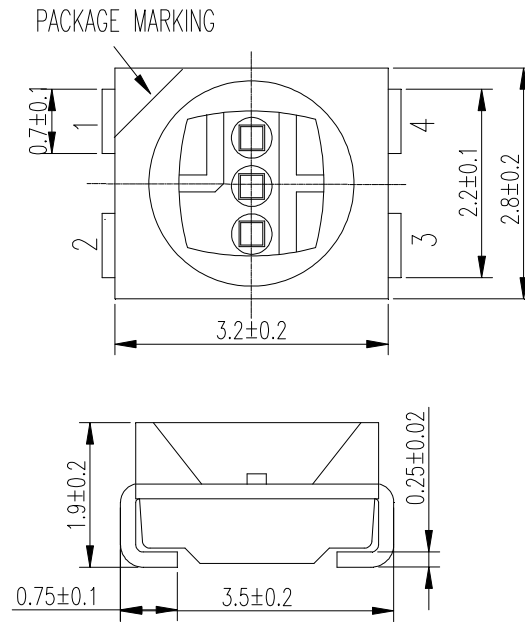
COLOR BIN LIMIT ($I_F = 20 \text{ mA}$)

Red			Green			Blue		
Bin Code	Min.(nm)	Max.(nm)	Bin Code	Min.(nm)	Max.(nm)	Bin Code	Min.(nm)	Max.(nm)
RB	619	624	G7	520	525	B3	460	465
			G8	525	530	B4	465	470
			G9	530	535	B5	470	475
			Ga	535	540	B6	475	480

Tolerance of measurement of dominant wavelength is $\pm 1 \text{ nm}$.

MECHANICAL DIMENSIONS

All dimensions are in mm.



NOTES

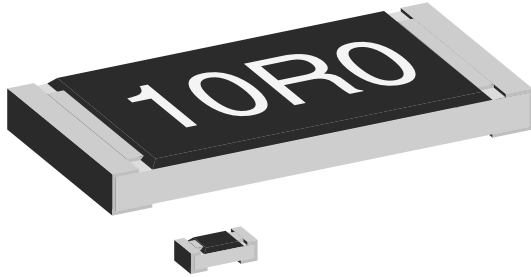
RoHS Compliance

The levels of environmentally sensitive, persistent biologically toxic (PBT), persistent organic pollutants (POP), or otherwise restricted materials in this product are below the maximum concentration values (also referred to as the threshold limits) permitted for such substances, or are used in an exempted application, in accordance with EU Directive 2002/95/EC on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS), as amended through April 21, 2006.

Vision Advisory Claim

Users should be cautioned not to stare at the light of this LED product. The bright light can damage the eye.

Standard Thick Film Chip Resistors



FEATURES

- Stability $\Delta R/R = 1\%$ for 1000 h at 70 °C
- 2 mm pitch packaging option for 0603 size
- Pure tin solder contacts on Ni barrier layer provides compatibility with lead (Pb)-free and lead containing soldering processes
- Metal glaze on high quality ceramic
- AEC-Q200 qualified
- Material categorization: For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



RoHS
COMPLIANT
HALOGEN
FREE

STANDARD ELECTRICAL SPECIFICATIONS

MODEL	SIZE		RATED DISSIPATION $P_{70^\circ\text{C}}$ W	LIMITING ELEMENT VOLTAGE $U_{\text{max. AC/DC}}$	TEMPERATURE COEFFICIENT ppm/K	TOLERANCE %	RESISTANCE RANGE Ω	SERIES
	INCH	METRIC						
D10/CRCW0402	0402	RR 1005M	0.063	50	± 100 ± 200	± 1 ± 5	1R0 to 10M	E24; E96 E24
			Zero-Ohm-Resistor: $R_{\text{max.}} = 20 \text{ m}\Omega$, $I_{\text{max.}}$ at 70 °C = 1.5 A					
D11/CRCW0603	0603	RR 1608M	0.10	75	± 100 ± 200	± 1 ± 5	1R0 to 10M	E24; E96 E24
			Zero-Ohm-Resistor: $R_{\text{max.}} = 20 \text{ m}\Omega$, $I_{\text{max.}}$ at 70 °C = 2.0 A					
D12/CRCW0805	0805	RR 2012M	0.125	150	± 100 ± 200	± 1 ± 5	1R0 to 10M	E24; E96 E24
			Zero-Ohm-Resistor: $R_{\text{max.}} = 20 \text{ m}\Omega$, $I_{\text{max.}}$ at 70 °C = 2.5 A					
D25/CRCW1206	1206	RR 3216M	0.25	200	± 100 ± 200	± 1 ± 5	1R0 to 10M	E24; E96 E24
			Zero-Ohm-Resistor: $R_{\text{max.}} = 20 \text{ m}\Omega$, $I_{\text{max.}}$ at 70 °C = 3.5 A					
CRCW1210	1210	RR 3225M	0.5	200	± 100 ± 200	± 1 ± 5	1R0 to 10M	E24; E96 E24
			Zero-Ohm-Resistor: $R_{\text{max.}} = 20 \text{ m}\Omega$, $I_{\text{max.}}$ at 70 °C = 5.0 A					
CRCW1218	1218	RR 3246M	1.0	200	± 100 ± 200	± 1 ± 5	1R0 to 2M2	E24; E96 E24
			Zero-Ohm-Resistor: $R_{\text{max.}} = 20 \text{ m}\Omega$, $I_{\text{max.}}$ at 70 °C = 7.0 A					
CRCW2010	2010	RR 5025M	0.75	400	± 100 ± 200	± 1 ± 5	1R0 to 10M	E24; E96 E24
			Zero-Ohm-Resistor: $R_{\text{max.}} = 20 \text{ m}\Omega$, $I_{\text{max.}}$ at 70 °C = 6.0 A					
CRCW2512	2512	RR 6332M	1.0	500	± 100 ± 200	± 1 ± 5	1R0 to 10M	E24; E96 E24
			Zero-Ohm-Resistor: $R_{\text{max.}} = 20 \text{ m}\Omega$, $I_{\text{max.}}$ at 70 °C = 7.0 A					

Notes

- These resistors do not feature a limited lifetime when operated within the permissible limits. However, resistance value drift increasing over operating time may result in exceeding a limit acceptable to the specific application, thereby establishing a functional lifetime.
- Marking: See data sheet "Surface Mount Resistor Marking" (document number 20020).
- Power rating depends on the max. temperature at the solder point, the component placement density and the substrate material.

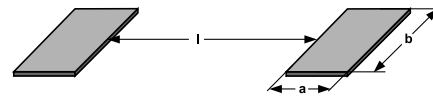
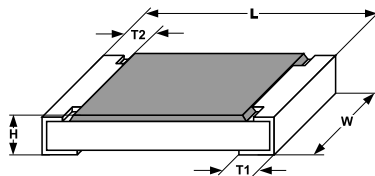
TECHNICAL SPECIFICATIONS									
PARAMETER	UNIT	D10/ CRCW0402	D11/ CRCW0603	D12/ CRCW0805	D25/ CRCW1206	CRCW1210	CRCW1218	CRCW2010	CRCW2512
Rated dissipation $P_{70}^{(1)}$	W	0.063	0.1	0.125	0.25	0.5	1.0	0.75	1.0
Limiting element voltage $U_{max. AC/DC}$	V	50	75	150	200	200	200	400	500
Insulation voltage U_{ins} (1 min)	V	> 75	> 100	> 200	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300
Insulation resistance	Ω	> 10^9							
Category temperature range	$^{\circ}C$	- 55 to + 155							
Failure rate	h^{-1}	< 0.1×10^{-9}							
Weight	mg	0.65	2	5.5	10	16	29.5	25.5	40.5

Note

⁽¹⁾ The power dissipation on the resistor generates a temperature rise against the local ambient, depending on the heat flow support of the printed-circuit board (thermal resistance). The rated dissipation applies only if the permitted film temperature of 155 °C is not exceeded.

PART NUMBER AND PRODUCT DESCRIPTION																	
Part Number: CRCW0603562RFKEC																	
C	R	C	W	0	6	0	3	5	6	2	R	F	K	E	C		
MODEL		VALUE			TOLERANCE		TCR		PACKAGING			SPECIAL					
CRCW0402 CRCW0603 CRCW0805 CRCW1206 CRCW1210 CRCW1218 CRCW2010 CRCW2512		R = Decimal K = Thousand M = Million 0000 = Jumper			F = $\pm 1.0\%$ J = $\pm 5.0\%$ Z = Jumper		K = ± 100 ppm/K N = ± 200 ppm/K 0 = Jumper		EA, EB, EC, ED, EE, EF, EG, EH, EI, EL, EK			Up to 2 digits					
Product Description: D11/CRCW0603 100 562R 1 % ET6 e3																	
D11/CRCW0603		100		562R		1 %		ET6		e3							
MODEL		TCR		RESISTANCE VALUE		TOLERANCE		PACKAGING		LEAD (Pb)-FREE							
D10/CRCW0402 D11/CRCW0603 D12/CRCW0805 D25/CRCW1206 CRCW1210 CRCW1218 CRCW2010 CRCW2512		± 200 ppm/K ± 100 ppm/K		10R = 10 Ω 562R = 562 Ω 10K = 10 k Ω 1M0 = 1 M Ω 0R0 = Jumper		$\pm 5\%$ $\pm 1\%$		ET1, ET2, ET3, ET4, ET5, ET6, ET7, ET8, ET9, ET4, E02, E67, E82		e3 = Pure tin termination finish							

PACKAGING						
MODEL	CODE	QUANTITY	CARRIER TAPE	WIDTH	PITCH	REEL DIAMETER
CRCW0402	ED = ET7	10 000	Paper tape acc. to IEC 60068-3 Type I	8 mm	2 mm	180 mm/7"
	EE = EF4	50 000				330 mm/13"
CRCW0603	EI = ET2	5000		8 mm	2 mm	180 mm/7"
	ED = ET3	10 000				180 mm/7"
	EL = ET4	20 000				285 mm/11.25"
	EE = ET8	50 000				330 mm/13"
	EA = ET1	5000				8 mm
EB = ET5	10 000	285 mm/11.25"				
CRCW0805	EC = ET6	20 000		8 mm	4 mm	330 mm/13"
	EA = ET1	5000				180 mm/7"
	EB = ET5	10 000				285 mm/11.25"
CRCW1206	EC = ET6	20 000		8 mm	4 mm	330 mm/13"
	EA = ET1	5000				180 mm/7"
	EB = ET5	10 000	285 mm/11.25"			
CRCW1210	EC = ET6	20 000	8 mm	4 mm	330 mm/13"	
	EA = ET1	5000			180 mm/7"	
	EB = ET5	10 000			285 mm/11.25"	
CRCW1218	EK = ET9	4000	Blister tape acc. to IEC 60068-3 Type II	12 mm	4 mm	180 mm/7"
CRCW2010	EF = E02	4000		12 mm	4 mm	180 mm/7"
CRCW2512	EG = E67	2000		12 mm	8 mm	4 mm
	EH = E82	4000				

DIMENSIONS


SIZE		DIMENSIONS in millimeters					SOLDER PAD DIMENSIONS in millimeters					
							REFLOW SOLDERING			WAVE SOLDERING		
INCH	METRIC	L	W	H	T1	T2	a	b	l	a	b	l
0402	1005	1.0 ± 0.05	0.5 ± 0.05	0.35 ± 0.05	0.25 ± 0.05	0.2 ± 0.1	0.4	0.6	0.5			
0603	1608	1.55 ^{+0.10} _{-0.05}	0.85 ± 0.1	0.45 ± 0.05	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.5	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0
0805	2012	2.0 ^{+0.20} _{-0.10}	1.25 ± 0.15	0.45 ± 0.05	0.3 ^{+0.20} _{-0.10}	0.3 ± 0.2	0.7	1.3	1.2	0.9	1.3	1.3
1206	3216	3.2 ^{+0.10} _{-0.20}	1.6 ± 0.15	0.55 ± 0.05	0.45 ± 0.2	0.4 ± 0.2	0.9	1.7	2.0	1.1	1.7	2.3
1210	3225	3.2 ± 0.2	2.5 ± 0.2	0.55 ± 0.05	0.45 ± 0.2	0.4 ± 0.2	0.9	2.5	2.0	1.1	2.5	2.2
1218	3246	3.2 ^{+0.10} _{-0.20}	4.6 ± 0.15	0.55 ± 0.05	0.45 ± 0.2	0.4 ± 0.2	1.05	4.9	1.9	1.25	4.8	1.9
2010	5025	5.0 ± 0.15	2.5 ± 0.15	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.2	0.6 ± 0.2	1.0	2.5	3.9	1.2	2.5	3.9
2512	6332	6.3 ± 0.2	3.15 ± 0.15	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.2	0.6 ± 0.2	1.0	3.2	5.2	1.2	3.2	5.2

LOCTITE EDAG 5915 E&C

September 2014

PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE EDAG 5915 E&C provides the following product characteristics:

Technology	Epoxy
Appearance	Silver
Filler Type	Silver
Product Benefits	<ul style="list-style-type: none"> • One component • Conductive • Fast cure
Dispense Method	Stencil print or Dot dispense
Operating Temperature Continuous	-160°C
Cure	Heat cure
Application	Conductive Ink

LOCTITE EDAG 5915 E&C epoxy adhesive is designed for bonding surface mount devices to flexible or rigid printed circuits.

TYPICAL PROPERTIES OF UNCURED MATERIAL

Solids Content by Weight, %	92
Viscosity, Brookfield, mPa·s (cP): Spindle 7, speed 20 rpm, @ 25°C	120,000
Density, kg/l	1.97
Shelf Life @-20°C, days (from date of qualification in original seal)	365
Flash Point, Tag Closed Cup Flash Tester, °C	107
VOC, g/l	170
Vapor Pressure @ 20°C, mm Hg	0.05

TYPICAL CURING PERFORMANCE

Recommended Curing Conditions

15 minutes @ 130°C or

10 minutes @ 177°C

The above cure profile is a guideline recommendation. Cure conditions (time and temperature) may vary based on customers' experience and their application requirements, as well as customer curing equipment, oven loading and actual oven temperatures.

TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL

Physical Properties

Coverage @ 1 mil dry film thickness, sq ft/gal	1,320
Extractable Ionic Content, ppm:	
Chloride (Cl-)	<10
Sodium (Na+)	76
Potassium (K+)	36

Electrical Properties

Volume Resistivity, ohm-cm	<0.0005
----------------------------	---------

TYPICAL PERFORMANCE OF CURED MATERIAL

Miscellaneous

Lap Shear Strength :

Al to Al	N/mm ² 7 (psi) (1,000)
----------	--------------------------------------

GENERAL INFORMATION

For safe handling information on this product, consult the Material Safety Data Sheet, (MSDS).

DIRECTIONS FOR USE

1. Mixing/Dilution

- Gently stir prior to use.
- Avoid rapid stirring, as this causes air entrapment..

2. Application

- Many factors influence the film thickness and shape of the deposit. These includes snap-off distance, stencil thickness, squeegee material, or dot dispensing equipment of choice. Stencil printing is recommended for optimum deposit control and registration.
- Stencil printing is recommended for optimum deposit control and registration

Recommended Thickness, mils	5 to 10
Stencil Type	brass or stainless steel
Stencil Thickness, mils	8 to 10
Squeegee Type	metal, paste retainer

3. Pick and Place

- Place device atop the wet print.
- Take care to apply just enough pressure to allow the ink to wick onto the leads, but not to displace the ink as to cause bleeding onto adjacent conductive tracks. Pick-and-place equipment can be adjusted to optimize this feature.

4. Thinning and Cleanup

- Uncured resin may be cleaned with Isopropanol, MEK and similar solvents.

Storage

Store product in the unopened container in a cool dry well ventilated area. Storage information may be indicated on the product container labeling.

Optimal Storage: -20°C. Storage below -20°C or greater than -20°C can adversely affect product properties.

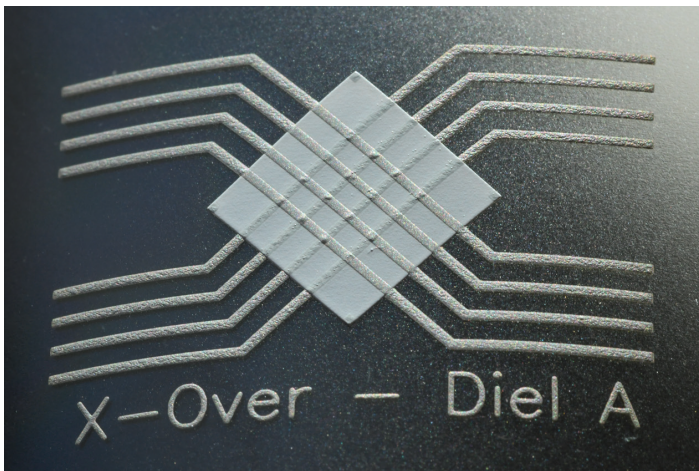
Material removed from containers may be contaminated during use. Do not return product to the original container. Henkel Corporation cannot assume responsibility for product which has been contaminated or stored under conditions other than those previously indicated. If additional information is required, please contact your local Technical Service Center or Customer Service Representative.

DuPont™ ME779

Crossover Dielectric

Product Description

DuPont™ ME779 is a part of the DuPont suite of materials developed for In-Mold Electronic applications. ME779 is a solvent based crossover dielectric designed to be used in complex, stretchable multilayer circuits. It performs well in thermoformed and over-molded applications due to its unique chemistry.



Product Benefits

- Excellent printability with minimal pin-holing
- High dielectric insulation properties with 2-3 printed layers
- High breakdown voltage
- High elongation with minimal/no cracking after thermoforming

Typical Physical and Electrical Properties

Test	Properties
Solids, (%) @ 150°C	65 – 67
Viscosity, (Pa.s) [Brookfield RVT #14 Spindle; 10 RPM, 25°C]	50 – 70
Thinner	DuPont™ 3610
Coverage (cm ² /gr @ 10µm thickness)	290
Recommended total crossover thickness (µm)	>25
Dielectric Constant	18
Adhesion to Polycarbonate Scotch Tape #600, Crosshatch (ASTM D3359)	5
Breakdown Voltage [1mm traces at 90 degrees with >= 25µm dielectric] (kV)	> 2.5
Color	White

This table shows anticipated typical physical properties for DuPont™ ME779 based on specific controlled experiments in our labs and are not intended to represent the product specifications, details of which are available upon request. Coverage value based on printing with a 280-030 (0.0012" wire diameter) stainless steel screen.

Processing

Substrates

Polycarbonate, surface-treated polyester

Screen Printing Equipment

Reel-to-reel, semi-automatic or manual

Ink Residence Time on Screen

< 1 Hour

Screen Types

Polyester, stainless steel

Typical Drying Conditions

Box oven: 120°C for 20 minutes in a well-ventilated oven

Reel-to-reel: 120°C for 4 minutes in a well-ventilated tunnel dryer

Typical Layer Thickness

7~10µm per layer; printed with a 280-030 (0.0012" wire diameter) stainless steel screen or 77-48 (threads/cm - wire diameter) PET screen.

Clean-Up Solvent

Ethylene glycol diacetate

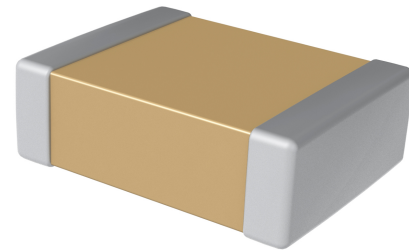
Overview

KEMET's X7R dielectric features a 125°C maximum operating temperature and is considered temperature stable. The Electronics Components, Assemblies and Materials Association (EIA) characterizes X7R dielectric as a Class II material. Components of this classification are fixed, ceramic dielectric capacitors suited for bypass and decoupling applications or for frequency discriminating

circuits where Q and stability of capacitance characteristics are not critical. X7R exhibits a predictable change in capacitance with respect to time and voltage, boasting a minimal change in capacitance with reference to ambient temperature. Capacitance change is limited to $\pm 15\%$ from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$.

Benefits

- -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ operating temperature range
- Lead (Pb)-free, RoHS, and REACH Compliant
- Temperature stable dielectric
- EIA 0402, 0603, 0805, 1206, 1210, 1808, 1812, 1825, 2220, and 2225 case sizes
- DC voltage ratings of 6.3 V, 10 V, 16 V, 25 V, 35 V, 50 V, 100 V, 200 V, and 250 V
- Capacitance offerings ranging from 10 pF to 47 μF
- Available capacitance tolerances of $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, and $\pm 20\%$
- Non-polar device, minimizing installation concerns
- 100% pure matte tin-plated termination finish allowing for excellent solderability
- SnPb termination finish option available upon request (5% Pb minimum)



Applications

Typical applications include decoupling, bypass, filtering and transient voltage suppression.

Ordering Information

C	1206	C	106	M	4	R	A	C	TU
Ceramic	Case Size (L" x W")	Specification/ Series ¹	Capacitance Code (pF)	Capacitance Tolerance	Rated Voltage (VDC)	Dielectric	Failure Rate/ Design	Termination Finish ²	Packaging/ Grade (C-Spec)
	0402 0603 0805 1206 1210 1808 1812 1825 2220 2225	C = Standard	Two significant digits and number of zeros.	J = ±5% K = ±10% M = ±20%	9 = 6.3 8 = 10 4 = 16 3 = 25 6 = 35 5 = 50 1 = 100 2 = 200 A = 250	R = X7R	A = N/A	C = 100% Matte Sn	See "Packaging C-Spec Ordering Options Table"

¹ Flexible termination option is available. Please see FT-CAP product bulletin C1013_X7R_FT-CAP_SMD.

² Additional termination finish options may be available. Contact KEMET for details.

Packaging C-Spec Ordering Options Table

Packaging Type ¹	Packaging/Grade Ordering Code (C-Spec)
Bulk Bag/Unmarked	Not required (Blank)
7" Reel/Unmarked	TU
13" Reel/Unmarked	7411 (EIA 0603 and smaller case sizes) 7210 (EIA 0805 and larger case sizes)
7" Reel/Marked	TM
13" Reel/Marked	7040 (EIA 0603) 7215 (EIA 0805 and larger case sizes)
7" Reel/Unmarked/2 mm pitch ²	7081
13" Reel/Unmarked/2 mm pitch ²	7082

¹ Default packaging is "Bulk Bag." An ordering code C-Spec is not required for "Bulk Bag" packaging.

¹ The terms "Marked" and "Unmarked" pertain to laser marking option of capacitors. All packaging options labeled as "Unmarked" will contain capacitors that have not been laser marked. Please contact KEMET if you require a laser marked option. For more information see "Capacitor Marking."

² The 2 mm pitch option allows for double the packaging quantity of capacitors on a given reel size. This option is limited to EIA 0603 (1608 metric) case size devices. For more information regarding 2 mm pitch option see "Tape & Reel Packaging Information."

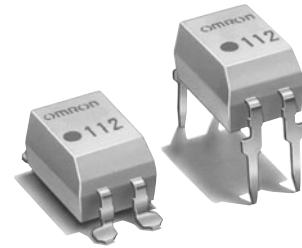
G3VM-21AR/DR

MOS FET Relays

Higher power, 3-A switching with a 20-V load voltage, DIP package.

Low 40 mΩ ON Resistance.

- Continuous load current of 3 A.
- Switches minute analog signals.
- Dielectric strength of 2,500 Vrms between I/O.



NEW

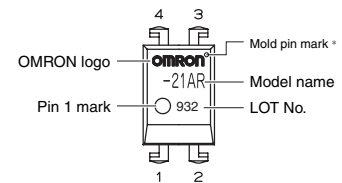
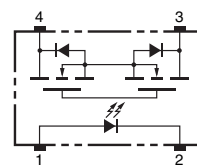
Note: The actual product is marked differently from the image shown here.

RoHS compliant

Application Examples

- Communication equipment
- Test & Measurement equipment
- Security equipment
- Factory Automation equipment
- Power circuit

Terminal Arrangement/Internal Connections



Note: The actual product is marked differently from the image shown here.
* The indentation in the corner diagonally opposite from the pin 1 mark is from a pin on the mold.

List of Models

Package type	Contact form	Terminals	Load voltage (peak value) *	Model	Minimum package quantity	
					Number per stick	Number per tape and reel
DIP4	1a (SPST-NO)	PCB terminals	20 V	G3VM-21AR	100	---
		Surface-mounting terminals		G3VM-21DR		
				G3VM-21DR (TR)	---	1,500

* The AC peak and DC value are given for the load voltage.

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

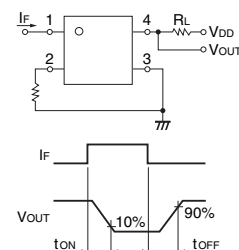
Item	Symbol	Rating	Unit	Measurement conditions	
Input	LED forward current	IF	30	mA	
	Repetitive peak LED forward current	IFP	1	A	100 μs pulses, 100 pps
	LED forward current reduction rate	ΔIF/°C	-0.3	mA/°C	Ta ≥ 25°C
	LED reverse voltage	VR	5	V	
Connection temperature	TJ	125	°C		
Output	Load voltage (AC peak/DC)	VOFF	20	V	
	Continuous load current (AC peak/DC)	Io	3	A	
	ON current reduction rate	ΔIo/°C	-30	mA/°C	Ta ≥ 25°C
	Pulse ON current	Iop	9	A	t = 100 ms, Duty = 1/10
Connection temperature	TJ	125	°C		
Dielectric strength between I/O (See note 1.)	VI-O	2500	Vrms	AC for 1 min	
Operating temperature	Ta	-40 to +85	°C	With no icing or condensation	
Storage temperature	Tstg	-55 to +125	°C	With no icing or condensation	
Soldering temperature	---	260	°C	10 s	

Note: 1. The dielectric strength between the input and output was checked by applying voltage between all pins as a group on the LED side and all pins as a group on the light-receiving side.

Electrical Characteristics (Ta = 25°C)

Item	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Measurement conditions	
Input	LED forward voltage	VF	1.18	1.48	V	IF = 10 mA	
	Reverse current	IR	---	10	μA	VR = 5 V	
	Capacity between terminals	CT	---	70	---	pF	V = 0, f = 1 MHz
	Trigger LED forward current	IFT	---	0.7	3	mA	Io = 1 A
Output	Maximum resistance with output ON	RON	---	80	mΩ	IF = 5 mA, Io = 2 A, t < 1 s	
	Current leakage when the relay is open	ILEAK	---	1.0	μA	VOFF = 20 V	
	Capacity between terminals	COFF	---	300	---	pF	V = 0, f = 1 MHz
	Capacity between I/O terminals	CI-O	---	0.8	---	pF	f = 1 MHz, Vs = 0 V
Insulation resistance between I/O terminals	RI-O	1000	---	---	MΩ	VI-O = 500 VDC, RoH ≤ 60%	
Turn-ON time	tON	---	1	5	ms	IF = 5 mA, RL = 200 Ω, VDD = 20 V (See note 2.)	
Turn-OFF time	tOFF	---	0.3	1	ms		

Note: 2. Turn-ON and Turn-OFF Times



Pinouts

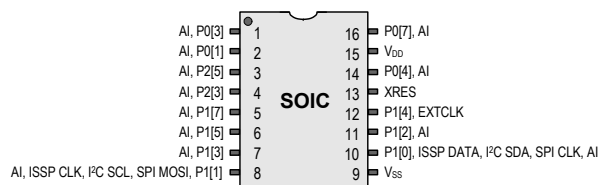
The CY8C20x37/47/67/S PSoC device is available in a variety of packages, which are listed and illustrated in the following tables. Every port pin (labeled with a "P") is capable of digital I/O and connection to the common analog bus. However, V_{SS} , V_{DD} , and XRES are not capable of digital I/O.

16-pin SOIC (10 Sensing Inputs)

Table 1. Pin Definitions – CY8C20237-24SXI, CY8C20247/S-24SXI ^[3]

Pin No.	Type		Name	Description
	Digital	Analog		
1	I/O	I	P0[3]	Integrating Input
2	I/O	I	P0[1]	Integrating Input
3	I/O	I	P2[5]	Crystal output (XOut)
4	I/O	I	P2[3]	Crystal input (XIn)
5	I/O	I	P1[7]	I2C SCL, SPI SS
6	I/O	I	P1[5]	I2C SDA, SPI MISO
7	I/O	I	P1[3]	
8	I/O	I	P1[1]	ISSP CLK ^[4] , I ² C SCL, SPI MOSI
9	Power		V_{SS}	Ground connection ^[7]
10	I/O	I	P1[0]	ISSP DATA ^[4] , I ² C SDA, SPI CLK ^[5]
11	I/O	I	P1[2]	Driven Shield Output (optional)
12	I/O	I	P1[4]	Optional external clock (EXTCLK)
13	INPUT		XRES	Active high external reset with internal pull-down ^[6]
14	I/O	I	P0[4]	
15	Power		V_{DD}	Supply voltage
16	I/O	I	P0[7]	

Figure 2. CY8C20237-24SXI, CY8C20247/S-24SXI Device



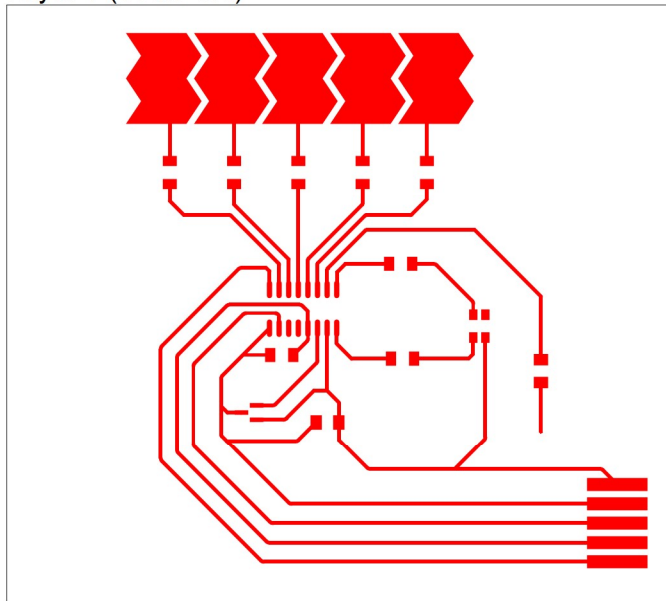
LEGEND A = Analog, I = Input, O = Output, OH = 5 mA High Output Drive, R = Regulated Output.

Notes

- 13 GPIOs = 10 pins for capacitive sensing+2 pins for I²C + 1 pin for modulator capacitor.
- On Power-up, the SDA(P1[0]) drives a strong high for 256 sleep clock cycles and drives resistive low for the next 256 sleep clock cycles. The SCL(P1[1]) line drives resistive low for 512 sleep clock cycles and both the pins transition to High impedance state. On reset, after XRES de- asserts, the SDA and the SCL lines drive resistive low for 8 sleep clock cycles and transition to high impedance state. In both cases, a pull-up resistance on these lines combines with the pull-down resistance (5.6K ohm) and form a potential divider. Hence, during power-up or reset event, P1[1] and P1[0] may disturb the I2C bus. Use alternate pins if you encounter issues.
- Alternate SPI clock.
- The internal pull down is 5KOhm.
- All VSS pins should be brought out to one common GND plane.

THIS DOCUMENT AND THE DATA DISCLOSED HEREIN OR HEREWITH IS THE PROPERTY OF ALTIUM LIMITED AND MAY BE FREELY DISTRIBUTED IN WHOLE OR IN PART

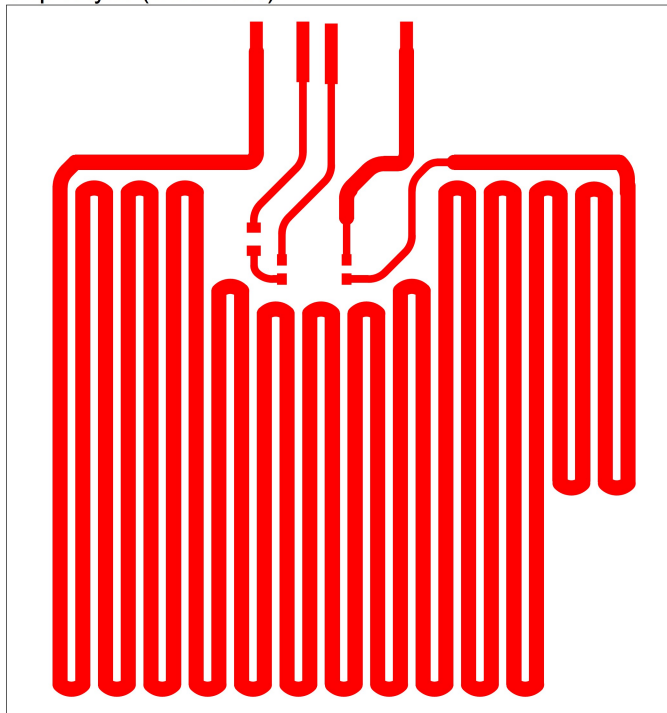
Layer 1 (Scale 1:1)





 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T. INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y COMUNICACIÓN	
	PROYECTO: DISEÑO DE CALEFACTOR ELECTRÓNICO AJUSTABLE IMPRESO SOBRE SUSTRATO FLEXIBLE	REALIZADO: IÑIGO LASARTE LASARTE	FIRMA: 
PLANO: Impresión de circuito de control	FECHA: 04/06/2021	ESCALA: 1:1	PLANO 1 DE 4

THIS DOCUMENT AND THE DATA DISCLOSED HEREIN OR HEREWITH IS THE PROPERTY OF ALTIUM LIMITED AND MAY BE FREELY DISTRIBUTED IN WHOLE OR IN PART.

Top Layer (Scale 1:1)



 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y COMUNICACIÓN
	INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL	REALIZADO: IÑIGO LASARTE LASARTE
PROYECTO: DISEÑO DE CALEFACTOR ELECTRÓNICO AJUSTABLE IMPRESO SOBRE SUSTRATO FLEXIBLE	FIRMA: 	
PLANO: Impresión de calefactor electrónico	FECHA: 04/06/2021	ESCALA: 1:1
		PLANO 2 DE 4

A

B

C

D

E

F

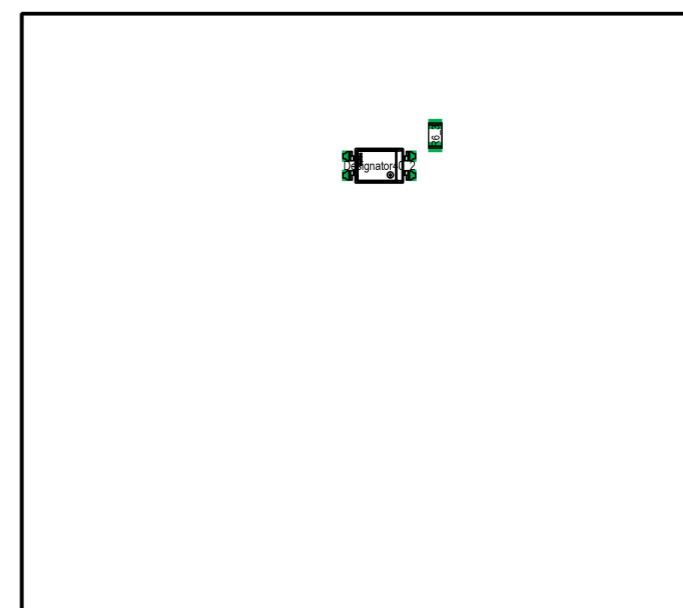
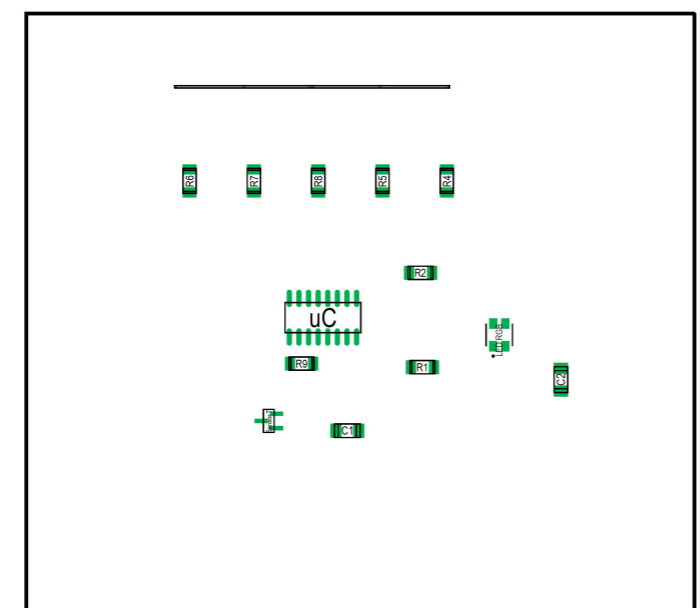
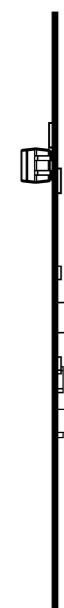
1

1



2

2



3

3



4

4

A



B

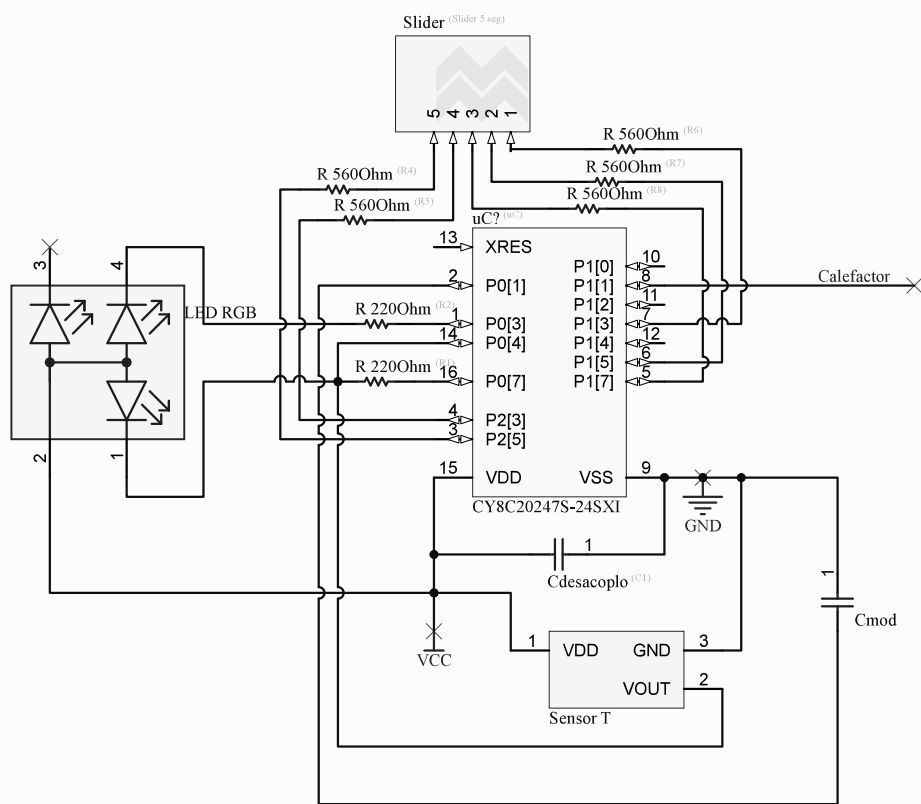
C



D

E

F

 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T. INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y COMUNICACIÓN
	PROYECTO: DISEÑO DE CALEFACTOR ELECTRÓNICO AJUSTABLE IMPRESO SOBRE SUSTRATO FLEXIBLE	
PLANO: Plano de ensamblaje del circuito		REALIZADO: IÑIGO LASARTE LASARTE FIRMA: 
FECHA: 04/06/2021	ESCALA: 1:1	PLANO 3 DE 4



 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y COMUNICACIÓN
	PROYECTO: DISEÑO DE CALEFACTOR ELECTRÓNICO AJUSTABLE IMPRESO SOBRE SUSTRATO FLEXIBLE	REALIZADO: IÑIGO LASARTE LASARTE
PLANO: Esquemático del circuito	FIRMA:  FECHA: 04/06/2021 ESCALA: PLANO 4 DE 4	