

DISEÑO EN PCB DEL JUEGO INFANTIL SIMÓN

Víctor Caro Pastor

Diseño de Circuitos Electrónicos y Microelectrónicos

Curso 2023/2024



Resumen: Este proyecto abarca la concepción, diseño y acabado de una placa de circuito impreso (PCB) que contendrá el circuito del popular juego infantil Simón. Primero se estudiará la normativa pertinente al diseño general de PCBs, posteriormente el circuito en sí y las partes que los componen, a continuación se seleccionaran los componentes que se van a emplear. Se discutirán los diferentes parámetros restrictivos que debe tener la placa para finalmente ver la posición de los componentes y su enrutado. Por último se añadirán los tablas y figuras referentes a cada etapa de la fabricación.

Palabras clave: Circuito impreso, PCB, Diseño, Enrutado, Componentes, Fabricación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1. Introducción	3
1.2. Objetivos	3
1.3. Antecedentes.....	4
1.3.1. Normativa	4
1.3.2. Consideraciones físicas.....	4
1.3.3. Consideraciones eléctricas	5
1.3.4. Consideraciones térmicas.....	6

2. DESCRIPCION DEL DISEÑO

2.1. Microcontrolador Atmega328p.....	7
2.2. Circuito Simón	8
2.3. Circuito Alimentación.....	9
2.4. Listado de componentes	10

3. DESCRIPCION DE LA PLACA

3.1. Diseño de la placa	13
3.2. Diseño de los Taladros	15
3.2.1 Orificios Metalizados.....	15
3.2.2 Orificios No Metalizados	17
3.3. Diseño de las Pistas.....	18
3.4. Diseño de Vías	20
3.5. Vista en 3D de la Placa	20
3.6. Coste de la Placa	21

1. MEMORIA DESCRIPTIVA

En este apartado se introducirá el juego original y las normas internacionales de carácter general que se han de seguir para lograr crear una placa de circuito impreso de alta calidad y fiabilidad.

1.1. Introducción

La electrónica ha ido modernizándose constantemente desde su creación hasta el día de hoy, actualizando cualquier cosa a su paso, desde tubos de vacío a transistores nada ni nadie ha quedado exento de su existencia. De esta manera el tradicional juego simón dice también ha sido actualizado a lo que hoy en día se conoce simplemente como simón.



Figura 1: Versión comercial del juego simón.

El juego de forma aleatoria va iluminando los cuadrantes de colores, y a la vez que se ilumina cada cuadrante emite un sonido propio. Después de esperar, el usuario debe ir introduciendo la secuencia mostrada en el orden correcto, ayudándose de su memoria visual y sonora. Si lo consigue, este responderá con una secuencia más larga, y así sucesivamente. Si falla, el usuario debe volver a empezar. Los distintos niveles de dificultad van aumentando la velocidad de la secuencia a repetir.

1.2. Objetivos

En el desarrollo del proyecto se abordarán los siguientes objetivos:

- Análisis de un circuito basado en el microcontrolador Atmega328p.
- Análisis de un circuito de alimentación por USB y batería.
- Estudio de la metodología de diseño de PCB incluyendo cálculos relacionados con los parámetros de las pistas, temperatura, separación de vías y separación de componentes con respecto al borde de la placa
- Selección de Componentes.
- Creación de los archivos de producción.

Los obstáculos que nos podemos encontrar a la hora de solventar estos objetivos son:

- Incremento de temperatura de la placa por encima de valores admisibles: un factor determinante a la hora de escoger el dieléctrico que constituirá la base de la placa.

1.3. Antecedentes

El desarrollo de la electrónica ha permitido la fabricación de multitud de dispositivos, desde el ámbito militar a los recreativos, generando a su vez normas y consideraciones que han ido evolucionando a la par de estos avances y de las complicaciones sobrevenidas a las nuevas tecnologías.

Debido a la importancia de estos aspectos se desarrollará un apartado introductorio a la normativa, donde se verán los parámetros a considerar en el desarrollo de una PCB.

1.3.1. Normativa

Las normas del IPC son las más adecuadas para el desarrollo de las PCB, estas normas abarcan múltiples parámetros de la PCB, tales como el ancho de pista, los efectos térmicos y otros efectos indeseables. Al aplicarlas ayudan a alcanzar altos niveles de calidad. También ayudan a optimizar el proceso completo de manufactura, reducir el tiempo de lanzamiento al mercado, y obtener un producto con mejor desempeño.



Figura 2: Logotipo de la IPC.

La norma más usada para el diseño de circuitos impresos es la IPC 2221, esta define los requerimientos para el diseño de PCB, establece unos principios de diseño y recomendaciones incluye el montaje o ensamble de los componentes, tipo THT o de huecos pasantes, de superficie SMT, el tamaño del PCB, su forma física para ser fabricado y el balance de sus características físicas que facilitan o dificultan la fabricación: tamaño del pad vs hueco, lagrimas, espesor del PCB, pila de capas, espaciamiento y ancho de pistas.

Si se requiere trabajar en diseño de PCB de alta frecuencia se usa la IPC 2251, o para optimizar el diseño con recomendaciones de Diseño para la excelencia, confiabilidad, pruebas, se usa la IPC 223.

Tomando la normativa como referencia se comentarán los distintos requerimientos que ha de cumplir una PCB desde el punto de vista de las propiedades físicas y mecánicas, las propiedades eléctricas junto con algunos métodos para gestionar la temperatura de la PCB.

1.3.2. Consideraciones físicas

Desde el punto de vista de la placa serán:

- El tipo de placa a implementar (una cara, dos caras, multicapa).
- Geometrías de la placa (tamaño y forma).
- El arco y torsión máximo será de 0,75% para las placas que utilizan componentes de montaje superficial y el 1,5% para otras tecnologías de placa.
- Las propiedades finales de los materiales impresos en la placa son de utilidad marginal para el diseñador intentando emplear la placa de circuito impreso como un elemento estructural.
- La relación entre la unidad, el ensamblaje de placas impresas, su montaje y las condiciones ambientales hacen necesario la necesidad de un análisis de la vibración de todo el sistema al inicio del diseño.

Desde el punto de vista del montaje:

- El hardware de montaje no debe sobresalir más de 6,4 mm por debajo de la superficie de la tarjeta para permitir suficiente espacio libre para equipos de montaje y nodos de soldadura.
- Para el soporte de las piezas se debe considerar los niveles de los peores casos de shock, vibración y medio ambiente para toda la estructura en la que la placa de circuito impreso va a residir.
- Realizar un exhausto examen de montaje y de prueba con el fin de mejorar los rendimientos de fabricación, para minimizar los costos del producto final.

1.3.3. Consideraciones eléctricas

En general se ha de tener en cuenta lo siguiente:

- Rendimiento eléctrico: Cuando se ensambla una tarjeta el revestimiento aplicado no debe degradar el rendimiento eléctrico. Para diseños de circuitos de alta velocidad se deben considerar las recomendaciones de la IPC-D-317.
- Consideraciones de distribución de energía: El esquema de conexión a tierra puede ser utilizado como una parte de la distribución del sistema. Se proporciona no sólo un retorno de alimentación de CC, sino también un plano de referencia de CA para señales de alta velocidad que se hace referencia. Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:
 - Mantener una baja impedancia de radio-frecuencia (RF) a través de la salida de distribución de alimentación de CC.
 - Desacoplar la distribución de energía en el conector del circuito impreso con un capacitor de desacoplamiento adecuado.
 - Distribuir de manera uniforme los capacitores de desacoplamiento de alimentación y tierra, manteniendo la distancia lo más pequeña posible y adyacente al circuito crítico.
 - En un circuito multicapa se recomienda que las señales de tierra y alimentación de entrada finalicen en la etapa de desacoplamiento para así dar lugar a los circuitos internos respectivos.
 - Las pistas de potencia y tierra deben definirse lo más cerca posible.
 - La tierra debe estar fuera de los circuitos activos.
 - El circuito impreso debe estar separado en etapas de alta, media y baja frecuencia.
- Consideraciones respecto al ancho de las pistas:
 - El ancho mínimo y el grosor de los conductores de la tarjeta, se determinan principalmente en el transporte de corriente que se requiere y el máximo aumento admisible de temperatura.
 - El aumento de la temperatura admisible del conductor se define como la diferencia entre el máximo de temperatura de funcionamiento del material del impreso y la temperatura máxima del ambiente térmico, al que el impreso será sometido.
 - El ambiente térmico es el aumento de temperatura causado por la potencia disipada de las partes y el aumento de la temperatura a través del impreso y/o disipador de calor a la placa fría.
 - Para las capas internas, el espesor de conductor es el espesor de la lámina de cobre.
 - Para las capas exteriores, el espesor de conductor también incluye el espesor de cobre blindado depositado durante el proceso de agujeros metalizados, pero no debe incluir el espesor de recubrimiento de soldadura.

1.3.4. Consideraciones térmicas

El objetivo principal de la gestión térmica es asegurar que todos los componentes del circuito, especialmente los circuitos integrados, se mantienen dentro de sus máximos límites permisibles. Para asegurar un diseño adecuado, se deben proporcionar mapas de disipación térmica para facilitar el análisis térmico de la placa de circuito impreso.

La gestión térmica puede realizarse con múltiples técnicas, de modo individual y para cada componente hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Montaje del disipador (hardware o soldadura).
- Los adhesivos de transferencia térmica, pasta u otros materiales.
- Los requerimientos de temperatura de soldadura.
- Requisitos limpieza de acuerdo con disipadores.

El método más usual para la disipación térmica es mediante disipadores, según su inserción podemos distinguir las siguientes consideraciones:

Método	Mayores Ventajas	Mayores desventajas	Consideraciones
Remaches	Más rápido, no hay aplicación de adhesivo	Agujeros necesarios para los remaches	Utilice tamaños estándar del remache
Tornillos	Permite el desmontaje	Requiere arandelas, tuercas y agujeros para	El uso de hardware estándar
Cinta adhesiva	No se desperdicia espacio, transferencia de calor mejorado	Tiempo de secado y posible deformación	Baja temperatura de reposo reducirá al mínimo la deformación
Adhesivo líquido	No se desperdicia espacio, transferencia de calor mejorado	Tiempo de secado y demoras en la producción	Baja temperatura de reposo reducirá al mínimo la deformación

Figura 3: Tabla con los diferentes tipos de inserciones para los disipadores.

2. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO

El circuito se compone de tres partes bien diferenciadas: el microcontrolador, el simón como tal y la alimentación. En la siguiente figura se ve el esquema completo y posteriormente se analizarán en detalle cada parte.

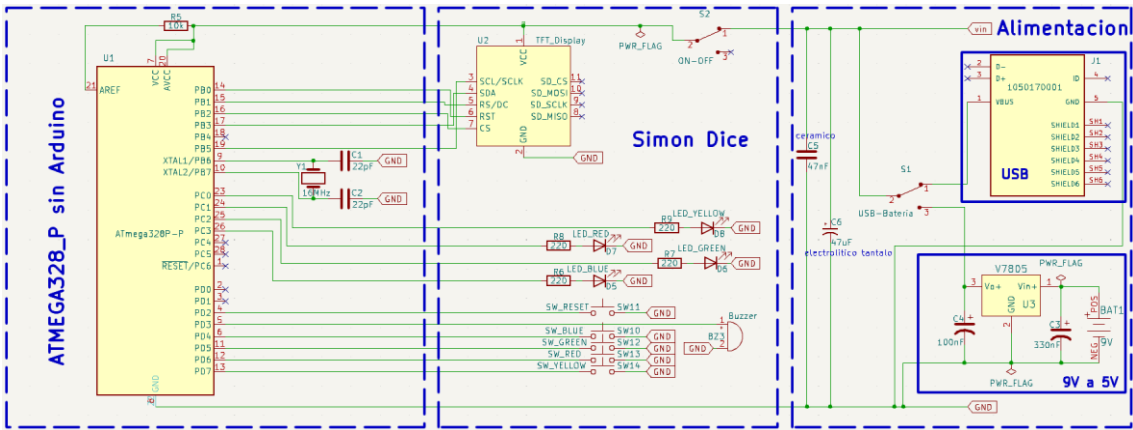


Figura 4: Esquema eléctrico completo.

2.1. Microcontrolador Atmega328p

En esta sección se aprecia el microcontrolador desnudo sin la placa de desarrollo Arduino. Para que funcione de la misma forma se ha de colocar una resistencia de 10 k Ω en las patillas de alimentación y un circuito de reloj externo a 16 MHz con un cristal y dos condensadores cerámicos de 22 pF.

El resto de patillas se emplean como entradas de los botones, salidas para los LEDs y el zumbador y el manejo de la pantalla TFT.

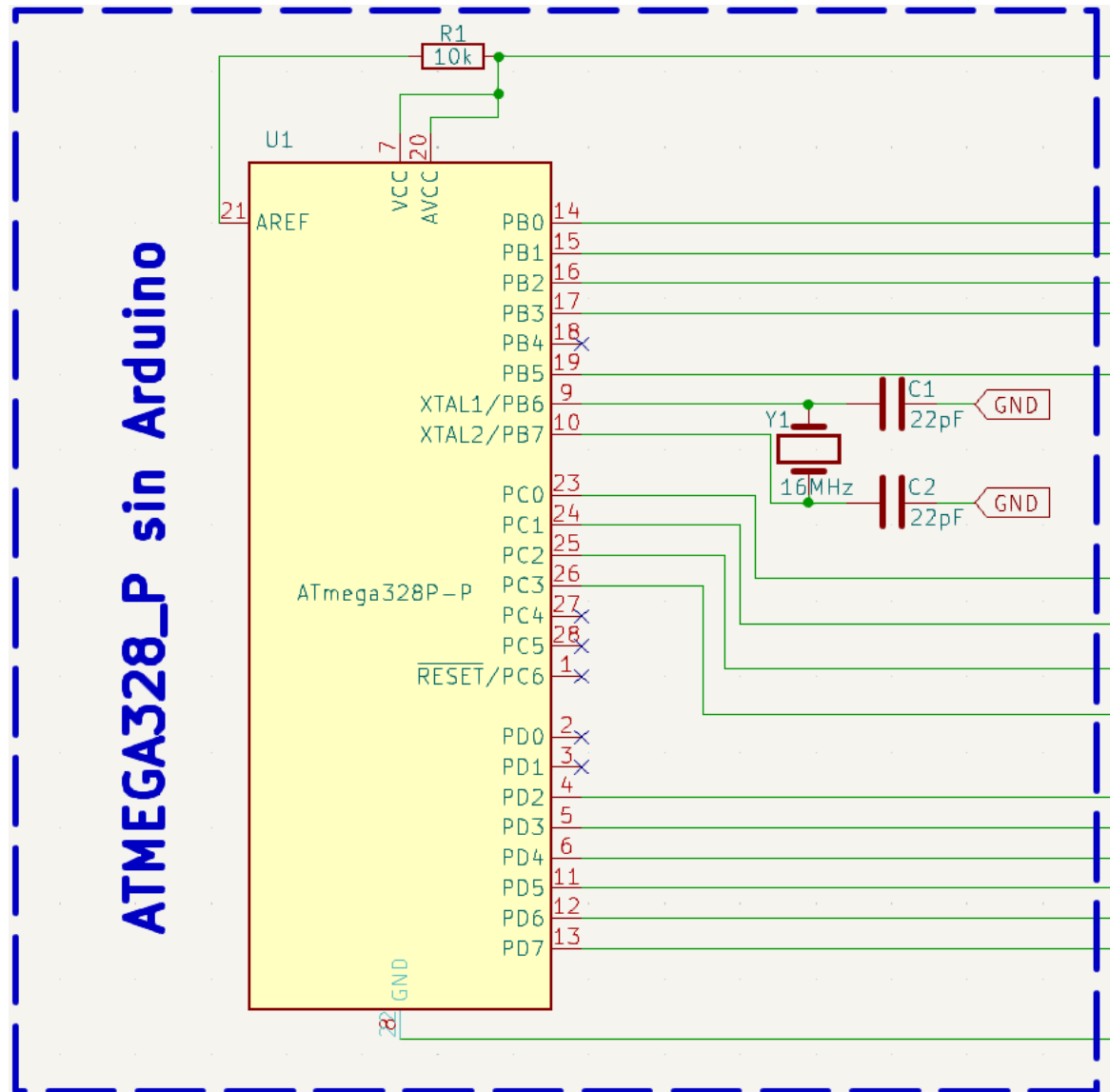


Figura 5: Sección correspondiente al microcontrolador.

2.2. Circuito Simón

En esta sección se aprecia todo el enrutado correspondiente a los cinco botones (cuatro para jugar y uno de reinicio), cuatro LEDs, el zumbador, la pantalla TFT y el interruptor deslizante de encendido y apagado que componen el núcleo del juego.

El conexionado en si es muy simple:

- Los botones se conectan a una patilla de entrada del μC y a tierra.
- Los LEDs a una patilla de salida del μC con una resistencia en serie y a tierra
- El zumbador con una patilla de salida del μC y a tierra
- La pantalla emplea un protocolo SPI con cinco cables bidireccionales al μC más la alimentación.
- El interruptor deslizable con la base en la alimentación del microcontrolador y otra a 5 V.

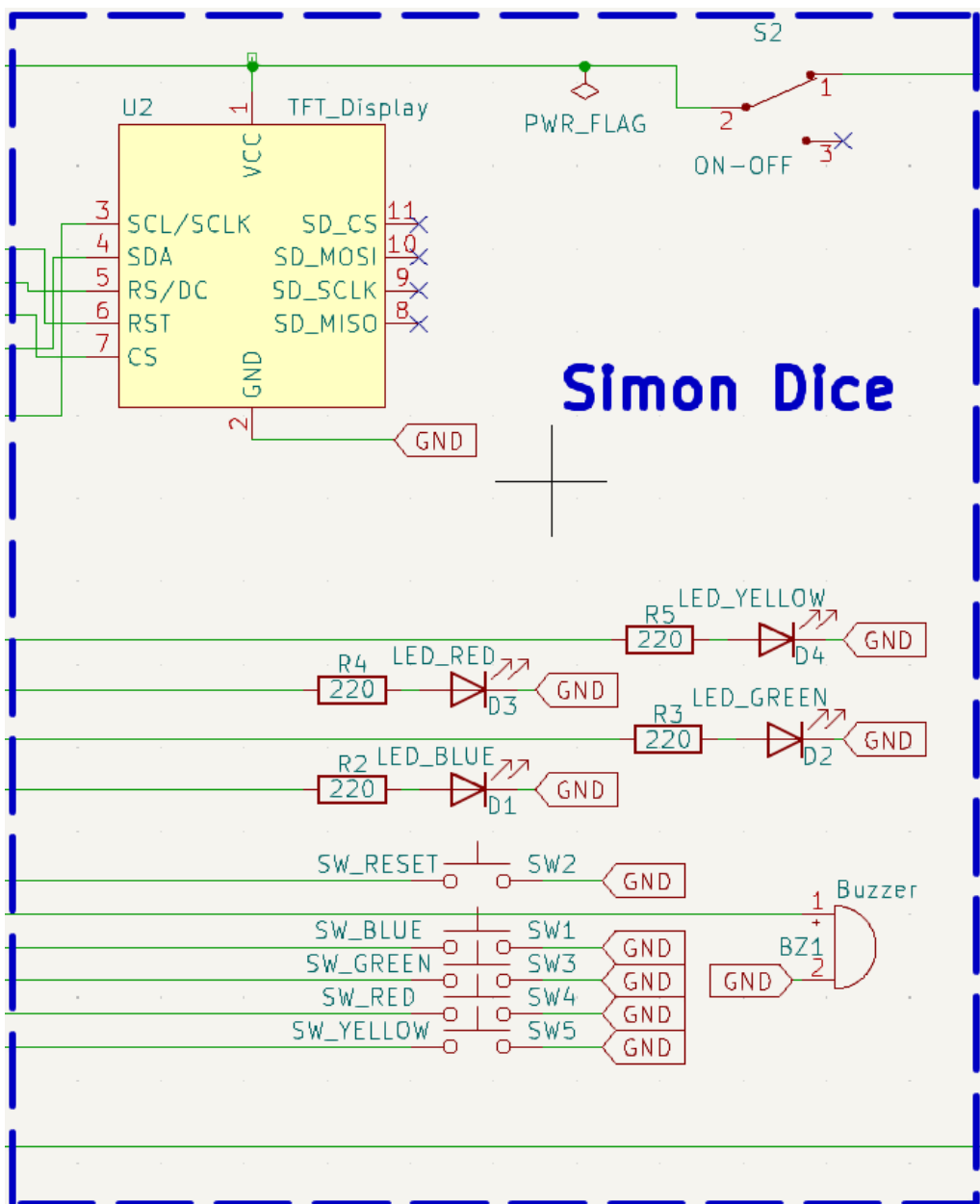


Figura 6: Sección correspondiente al Simón Dice.

2.3. Circuito Alimentación

En esta sección se aprecia todo lo relacionado con la alimentación. En este caso se emplea un USB para alimentar la placa o un porta pilas de 9V y un circuito adicional para obtener los 5 V. Un interruptor deslizable idéntico al anterior selecciona si el circuito funciona con el USB o con la pila.

Dos condensadores adicionales son empleados por razones de acople y desacople.

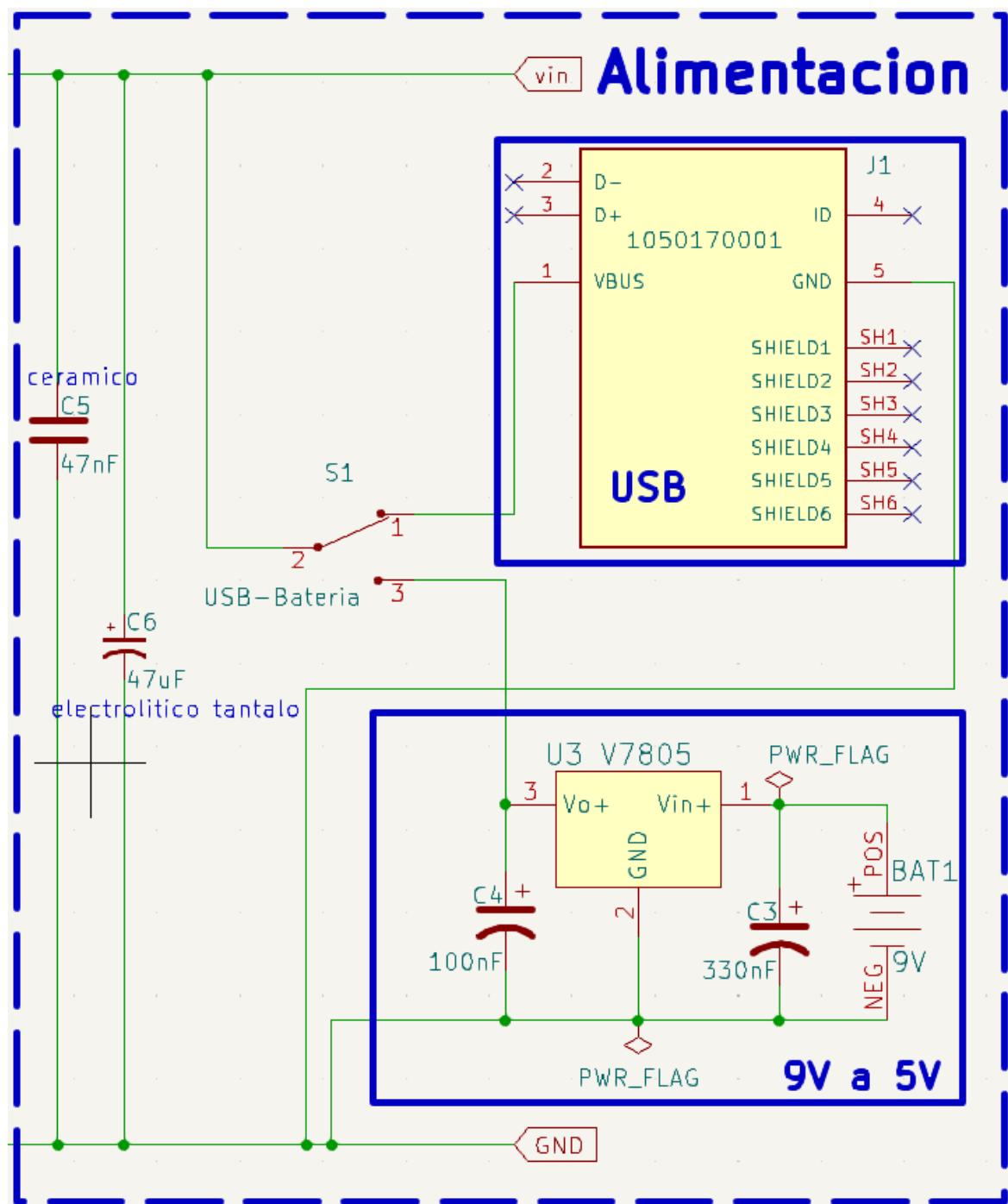







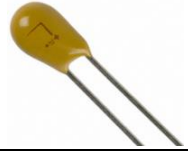




Figura 7: Sección correspondiente a la Alimentación.

2.4. Listado de componentes

Con el circuito montado se han de elegir los componentes físicos que reproducirán dicho esquema, mediante la página de Digikey se han seleccionado los siguientes componentes para la realización del circuito. En la sección Detalles si se pulsa sobre la imagen un hipervínculo te lleva a la página de Digikey.

Unid .	Componente	Tecnología	Imagen	Detalles	
1	Porta pilas 9v	THT		Digi-Key Part Number	BC9VPC-ND
				Manufacturer	MPD (Memory Protection Devices)
				Manufacturer Product Number	BC9VPC
				Description	BATTERY HOLDER 9V 1 CELL PC PIN
1	Zumbador	THT Radial		Digi-Key Part Number	3949-OWMB-1295P-24-5-ND
				Manufacturer	Ole Wolff Electronics Inc
				Manufacturer Product Number	OWMB-1295P-24-5
				Description	BUZZER MAGNETIC 5V 12MM TH
1	Pantalla TFT	THT Radial		Digi-Key Part Number	S7009-ND
				Manufacturer	Sullins Connector Solutions
				Manufacturer Product Number	PPTC111LFBN-RC
				Description	CONN HDR 11POS 0.1 TIN PCB
2	Interruptor deslizante	THT Radial		Digi-Key Part Number	EG1903-ND
				Manufacturer	E-Switch
				Manufacturer Product Number	EG1218
				Description	SWITCH SLIDE SPDT 200MA 30V
1	Conector USB	THT		Digi-Key Part Number	WM1399TR-ND - Tape & Reel (TR) WM1399CT-ND - Cut Tape (CT) WM1399DKR-ND - Digi-Reel®
				Manufacturer	Molex
				Manufacturer Product Number	1050170001
				Description	CONN RCPT USB2.0 MICRO B SMD R/A
1	Receptor DIP 2x14 pines	THT		Digi-Key Part Number	2057-ICS-328-T-ND
				Manufacturer	Adam Tech
				Manufacturer Product Number	ICS-328-T
				Description	IC SOCKET, DIP, 28P 2.54MM PITCH
1	Atmega328p -PU	DIP		Digi-Key Part Number	ATMEGA328P-PU-ND
				Manufacturer	Microchip Technology
				Manufacturer Product Number	ATMEGA328P-PU
				Description	IC MCU 8BIT 32KB FLASH 28DIP
1	Cristal 16 MHz	THT Radial		Digi-Key Part Number	535-14117-ND
				Manufacturer	Abracon LLC
				Manufacturer Product Number	AB308-16.000MHZ
				Description	CRYSTAL 16.000MHZ 16PF TH

1	Convertidor de voltaje	THT Radial		Digi-Key Part Number 102-1709-ND Manufacturer CUI Inc. Manufacturer Product Number V7805-500 Description DC DC CONVERTER 5V 2.5W
1	LED Rojo 10mm	THT Radial		Digi-Key Part Number 754-WP813SURDK-ND Manufacturer Kingbright Manufacturer Product Number WP813SURDK Description LED RED DIFFUSED 10MM T/H
1	LED Verde 10mm	THT Radial		Digi-Key Part Number 754-1898-ND Manufacturer Kingbright Manufacturer Product Number WP813GD Description LED GREEN DIFFUSED 10MM T/H
1	LED Amarillo 10mm	THT Radial		Digi-Key Part Number 1497-XLMYK01D-ND Manufacturer SunLED Manufacturer Product Number XLMYK01D Description LED YELLOW DIFFUSED 10MM T/H
1	LED Azul 10mm	THT Radial		Digi-Key Part Number 67-1753-ND Manufacturer Lumex Opto/Components Inc. Manufacturer Product Number SSL-LX100133USBD Description LED BLUE DIFFUSED T-10MM T/H
2	Condensador cerámico 22pF	THT Radial		Digi-Key Part Number 490-11872-ND Manufacturer Murata Electronics Manufacturer Product Number RCE5C1H220J0A2H03B Description CAP CER 22PF 50V NP0 RADIAL
1	Condensador tántalo 330nF (0,33 µF)	THT Radial		Digi-Key Part Number 478-1884-ND Manufacturer KYOCERA AVX Manufacturer Product Number TAP334K050SCS Description CAP TANT 0.33UF 10% 50V RADIAL
1	Condensador tántalo 100nF (0,1 µF)	THT Radial		Digi-Key Part Number 478-9315-ND Manufacturer KYOCERA AVX Manufacturer Product Number TAP104M050SCS Description CAP TANT 0.1UF 20% 50V RADIAL
1	Condensador cerámico 47nF (0,047 µF)	THT Radial		Digi-Key Part Number BC5153-ND Manufacturer Vishay Beyschlag/Draloric/BC Components Manufacturer Product Number K473K15X7RF53L2 Description CAP CER 0.047UF 50V X7R RADIAL
1	Condensador aluminio 47µF	THT Radial		Digi-Key Part Number 4491-AEC47M50V6R311-ND Manufacturer Lumimax Optoelectronic Technology Manufacturer Product Number AEC47M50V6R311 Description CAP ALUM 47UF 20% 50V RADIAL TH









1	Resistencia 10kΩ	THT Axial		Digi-Key Part Number BC4515CT-ND - Cut Tape (CT) BC4515TB-ND - Tape & Box (TB) Manufacturer Vishay Beyschlag/Draloric/BC Components Manufacturer Product Number MBB0207VE1002BC100 Description RES 10K OHM 0.1% 0.4W AXIAL
4	Resistencia 220Ω	THT Axial		Digi-Key Part Number CF14JT220RTR-ND - Tape & Reel (TR) CF14JT220RCT-ND - Cut Tape (CT) Manufacturer Stackpole Electronics Inc Manufacturer Product Number CF14JT220R Description RES 220 OHM 5% 1/4W AXIAL
5	Pulsadores táctiles 12 mm	THT Radial		Digi-Key Part Number SW414-ND Manufacturer Omron Electronics Inc-EMC Div Manufacturer Product Number B3F-4055 Description SWITCH TACTILE SPST-NO 0.05A 24V
1	Tapa pulsador negra			Digi-Key Part Number SW455-ND Manufacturer Omron Electronics Inc-EMC Div Manufacturer Product Number B32-1310 Description CAP TACTILE SQUARE BLACK
1	Tapa pulsador roja			Digi-Key Part Number SW260-ND Manufacturer Omron Electronics Inc-EMC Div Manufacturer Product Number B32-1380 Description CAP TACTILE SQUARE RED
1	Tapa pulsador azul			Digi-Key Part Number SW258-ND Manufacturer Omron Electronics Inc-EMC Div Manufacturer Product Number B32-1340 Description CAP TACTILE SQUARE BLUE
1	Tapa pulsador amarilla			Digi-Key Part Number SW257-ND Manufacturer Omron Electronics Inc-EMC Div Manufacturer Product Number B32-1330 Description CAP TACTILE SQUARE YELLOW
1	Tapa pulsador verde			Digi-Key Part Number SW957-ND Manufacturer Omron Electronics Inc-EMC Div Manufacturer Product Number B32-1350 Description CAP TACTILE SQUARE GREEN

Tabla I: Tipo de componentes, cantidad, stock y detalles.

3. DESCRIPCIÓN DE LA PLACA

En este apartado se detallarán todas las características y consideraciones relativas a la creación de la placa, sus restricciones de diseño, pistas, vías y taladrados.

3.1. Diseño de la placa

Con todos los componentes seleccionados, asociados cada uno a una huella y todo correctamente conectado es el momento de crear la PCB, trazando el perímetro de esta, colocando los componentes y creando las pistas y vías necesarias.

Esta placa se ha diseñado emulando el control de un mando de consola moderno, con los botones dos a cada costado, la pantalla en el centro y el resto de componentes rodeando a esta.

El porta pilas es el único que se encuentra situado en la cara inferior e ira sujeto por 3 tornillos, arandelas y tuercas.

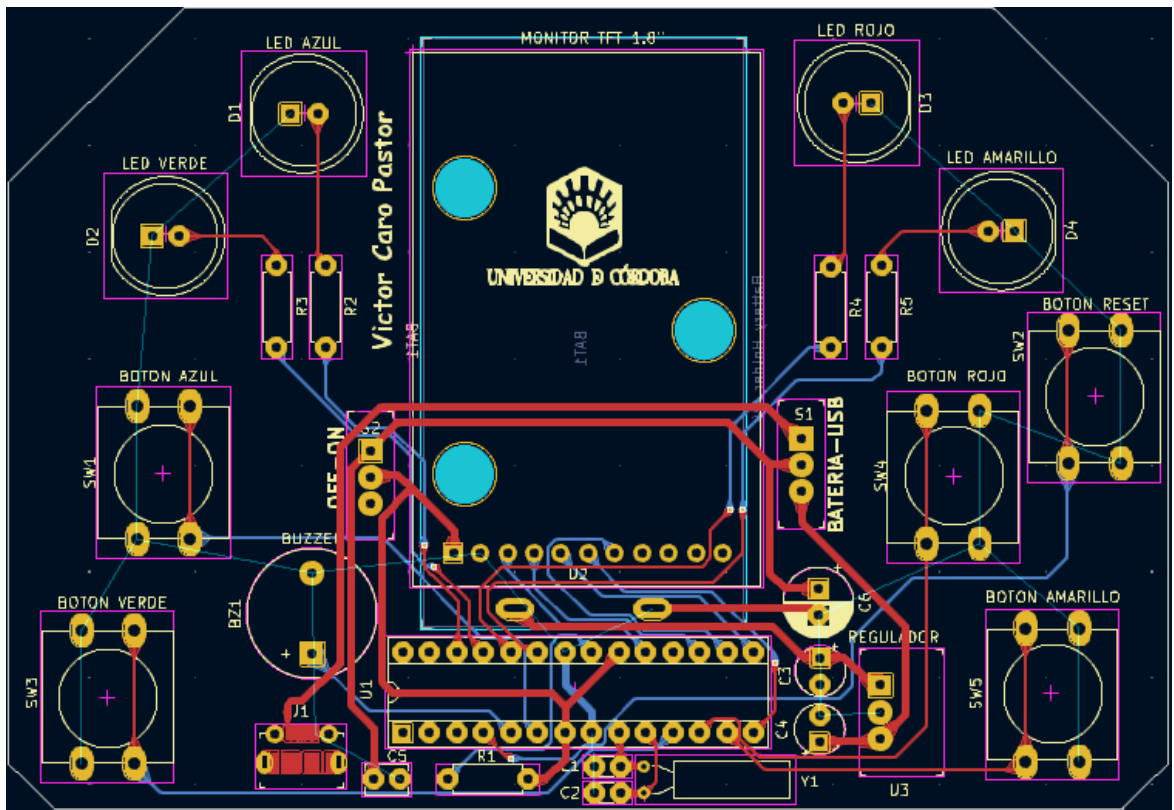


Figura 8: Enrutado completo de la placa.

Se puede apreciar claramente que la parte central inferior es donde se concentran todas las pistas debido a que ahí se encuentra el microcontrolador y todas las vías para conectar la pantalla.

Los condensadores C5 y C6 se encuentran repartidos en los extremos del microcontrolador pues son los encargados de ayudar a estabilizar la alimentación del mismo.

Para mayor estabilidad, seguridad y menor mantenimiento se ha hecho uso de las lágrimas (Teardrops) para aumentar el área de contacto entre los pads y vías con las pistas.

Se empelaran dos planos de masa, uno en cada cara para mejorar la estabilidad y la mitigación de ruido, viéndose así en el simulador:

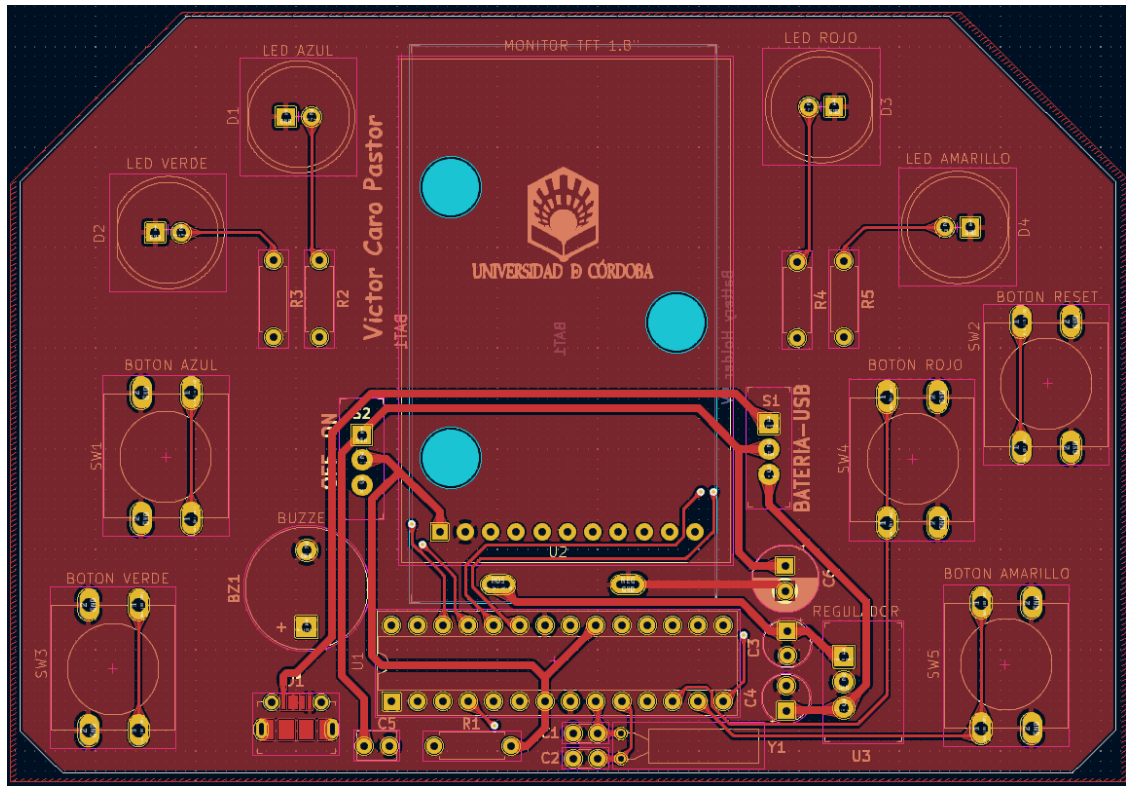


Figura 9: Plano de masa superior.

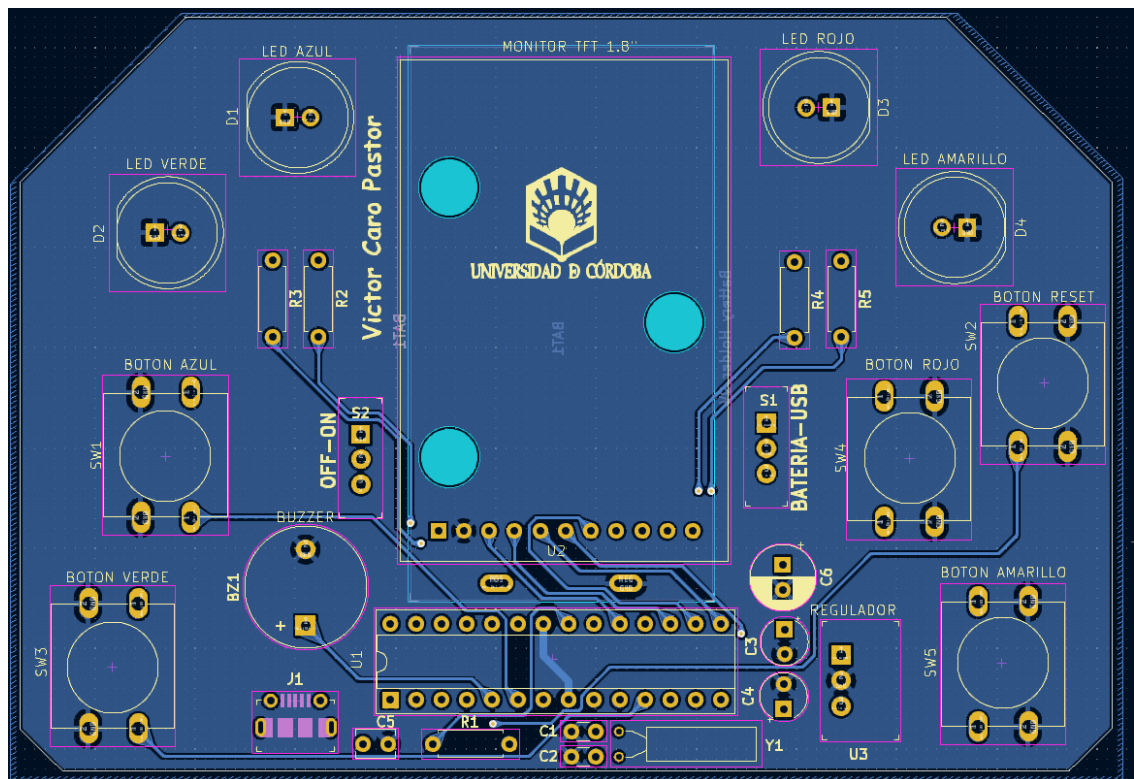


Figura 10: Plano de masa inferior.

3.2. Diseño de los Taladros

Con el circuito montado se va a proceder a añadir orificios de montaje y a realizar todos los cálculos relativos a los pads y orificios para los componentes THT.

Se va a ampliar el tamaño inicial de la placa para dejar unos 10 mm de margen entre los orificios para componentes y el borde de la placa, además se van a colocar 4 orificios de montaje cerca de las esquinas de la PCB.

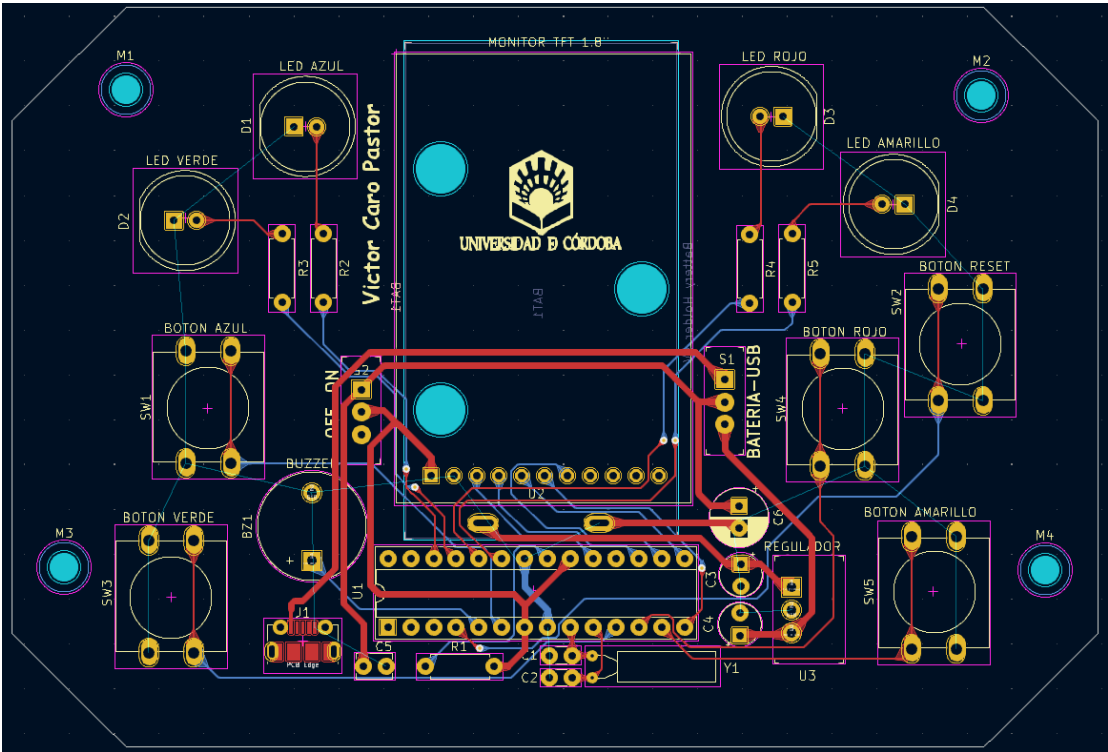


Figura 11: Nueva forma de placa con los orificios de montaje.

3.2.1. Orificios Metalizados (PTH)

El cálculo de la dimensión de los pads y de los taladros se han hecho en base a las ecuaciones y datos siguientes:

- En esta tabla se recogen las tolerancias que Eurocircuits ofrece para distintos tamaños y si es un orificio metalizado o no.

		ENDSIZE (mm)	ESTÁNDAR TOLERANCE (mm)		
			-	+	TOLERANCE RANGE
HOLE	PTH	≤ 4.00	0.10	0.10	0.20
		> 4.00	0.20	0.20	0.40
	NPTH	≤ 4.00	0.05	0.05	0.10
		> 4.00	0.10	0.10	0.20

Tabla II: Tolerancias estándares para Eurocircuits.

- La tabla a continuación recopila las dos ecuaciones que se emplearán así como los detalles de cada miembro de la formula, la tolerancia de localización corresponde a lo publicado por Eurocircuits.

$D_{taladro}(mm) = D_{patilla} + Tolerancia_{localizacion} + k$		
Diámetro de patilla	Si la patilla es rectangular: $\sqrt{(x^2 + y^2)}$ mm	Ver Tabla IV
Tolerancia de localización	0,05 mm un sentido	$2 \cdot 0,05 = 0,10$ mm totales
Constante k	0,2 mm	
$D_{pad} = D_{taladro} + 2 \cdot Area_{minima} + \frac{Factor_{grabado} \cdot Espesor_{Cobre}}{100} + Tolerancia_{fabricacion}$		
Diámetro taladro	Calculado previamente	Ver Tabla IV
Área mínima (Corona mínima)	0,22 mm	Fabricación de Clase 3
Factor de grabado externo	25 (25% respecto base de cobre)	Fabricación de Clase 3
Espesor de cobre	0,035 mm	
Tolerancia de fabricación	Ver Tabla IV	

Tabla III: Ecuaciones para el cálculo del diámetro de los pads.

Con todos los datos y ecuaciones anteriores se procede a realizar todos los cálculos, la tabla siguiente recoge todos los diámetros de patillas, taladros y pads para cada componente.

Componente	Diámetro Patilla (mm)			Diámetro Taladro(mm)	Diámetro Pad (mm)
	X	Y	Defectivo		
Porta pilas 9V	0,66	1,91	2,021	2,321	3,211
Zumbador	-	-	0,600	0,900	1,790
Condensadores de 22 pF	-	-	0,500	0,800	1,690
Condensador de 330 nF	-	-	0,500	0,800	1,690
Condensador de 100 nF	-	-	0,500	0,800	1,690
Condensador de 47 nF	-	-	0,500	0,800	1,690
Condensador de 47 µF	-	-	0,500	0,800	1,690
LEDs	0,50	0,50	0,707	1,007	1,897
Conector USB	0,60	0,40	0,721	1,021	1,911
	0,90	0,40	0,985	1,285	2,175
Resistencia de 10 KΩ	-	-	0,600	0,900	1,790
Resistencias de 220 Ω	-	-	0,550	0,850	1,740
Interruptores deslizantes	0,50	0,60	0,781	1,081	1,971
Pulsadores	0,3	1	1,044	1,344	2,234
Zócalo de 2x14 pines para el µC	0,6	0,15	0,618	0,918	1,809
Cabeceras Dupont para pantalla TFT	0,75	0,40	0,850	1,150	2,040
Convertidor de voltaje a 5 V	0,50	0,30	0,583	0,883	1,773
Cristal de 16 MHz	-	-	0,320	0,620	1,510

Tabla IV: Tabla de dimensiones de patillas, taladros y pads de cada componente.

Estudiando la tabla se determina que el diámetro de taladrado más pequeño corresponde con el cristal de 16 MHz con un diámetro de 0,620 mm (0,02441 in), el cual sería el que marcarse la clase de taladro en Eurocircuits, en este caso Clase A, si no fuese por las vías.

La separación entre orificios metalizados con pads es de 0,1524 mm o 6 mil y corresponde con un circuito de Clase 6 en Eurocircuits.

Para finalizar con esta sección se va a comprobar si los cálculos son correctos comparando medidas tomadas directamente desde el programa con los valores obtenidos. Con el fin de no complicar mucho las comprobaciones se usarán solo pads circulares y se comprobarán una patilla circular y una rectangular.


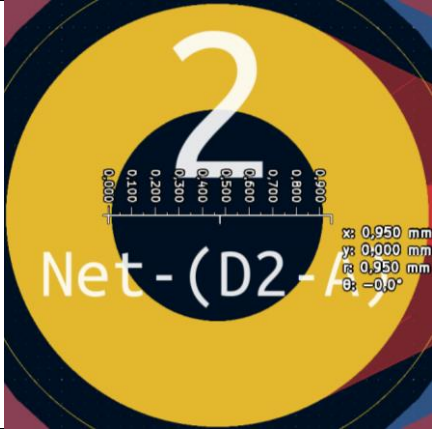
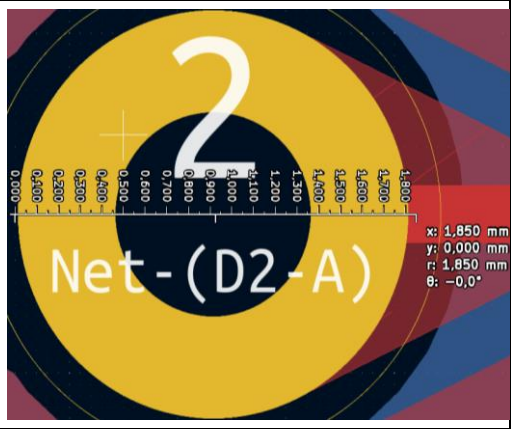
		Diámetro de Taladro	Diámetro de Pad
Zumbador	0,900		
			

Tabla V: Comparación de valores teóricos con los ofrecidos por el programa KiCad.

Se aprecia que claramente los cálculos teóricos han sido correctos y coinciden mayormente con las huellas predeterminadas que vienen incluidas en el programa. Obviamente hay una disparidad causada por las aproximaciones realizadas, las medidas realizadas en el programa y las propias tolerancias, además de que se suelen redondear a valores enteros.

3.2.2. Orificios No Metalizados (NPTH)

Se han empleado tres orificios no metalizados para sujetar el porta pilas de 9 V.

En lo referente a los taladros de fijación se ha optado por cuatro orificios no metalizados de 3,2 mm o Métrica 3 (M3) cerca de las esquinas siguiendo la norma DIN965.

En una posterior fase de montaje se añadirán soportes metálicos y o bien se encapsula en una carcasa impresa en 3D, o se le añade una base de metacrilato para darle volumen y rigidez y se emplea de esa forma.



Figura 12: Logo del Instituto Alemán de Normalización

3.3. Diseño de las Pistas

Para calcular el ancho de la pista se tienen dos parámetros que delimitan el ancho de las pistas que se van a situar:

- Temperatura de transición vítrea: Se da en polímeros termoplásticos como el epoxi (FR4), esto genera que el material se deforme debido a la pérdida de fuerza de sus enlaces atómicos, dicha temperatura es de 165 °C, lo que sería un incremento de 140 °C respecto la temperatura ambiente de aproximadamente 25 °C. En caso de poseer elementos capaces de trabajar a grandes temperaturas este sería el parámetro a fijar
- Corriente máxima del circuito: Se define en función del ancho de pista y de la temperatura máxima que se puede alcanzar en el circuito.

Dado que faltan modelos Spice para algunos componentes más únicos, no se puede simular el circuito para encontrar el consumo de corriente máxima. Por lo tanto se va a establecer un ancho de pista lo suficientemente grande como para que pueda pasar 1,5 Amperios por pistas de control y unos 2 Amperios para las pistas de alimentación. Se permitirán 30 °C de aumento de temperatura dando como resultado:

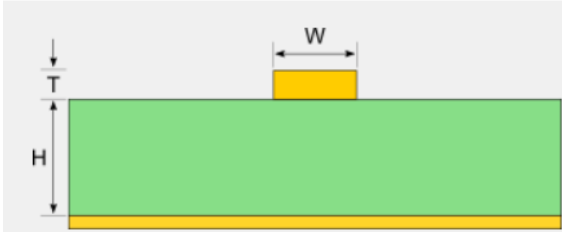
The trace is... external ▼		The trace is... external ▼	
			
Inputs		Inputs	
Trace width	10 mil ▼	Trace width	15 mil ▼
Trace thickness	0.035 mm ▼	Trace thickness	0.035 mm ▼
Max. desired temperature rise	30 °C ▼	Max. desired temperature rise	30 °C ▼
Output		Output	
Max. current	1.436 A ▼	Max. current	1.9266 A ▼
Cross section	0.00889 mm² ▼	Cross section	0.013335 mm² ▼

Figura 13: Calculadora de ancho de pista.

Esta calculadora se emplea formalmente para dado un ancho de pista conocer la corriente máxima que puede pasar por ella. A partir de los datos anteriores se empleará un ancho de 10 mil para pistas de control y 15 mil para las de alimentación.

La separación entre pistas será de 0,15 mm, recomendado por Eurocircuits para pistas de 0,035 mm de espesor de cobre.

Con el ancho de pistas establecido se ha de tener en consideración más aspectos formales, como evitar el uso de esquinas a 90° y trazar a inglete siempre que se pueda. Se desaconseja el uso de ángulos agudos y la formación de zonas pelables.

La adición de lágrimas mejora la calidad y rendimiento de la PCB, asegurando una conexión segura entre las pistas y los pads y vías. Además se ha evitado la generación de zonas vacías de cobre entre las pistas. El nuevo enrutado en la nueva placa queda tal que así:

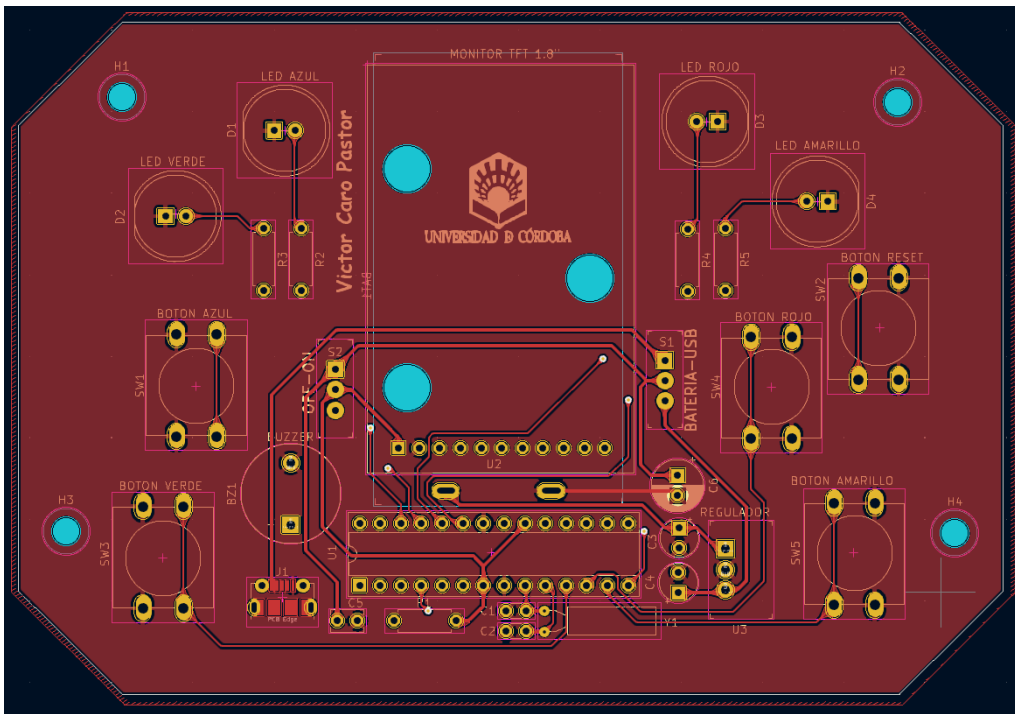


Figura 14: Pistas y plano de masa superior.

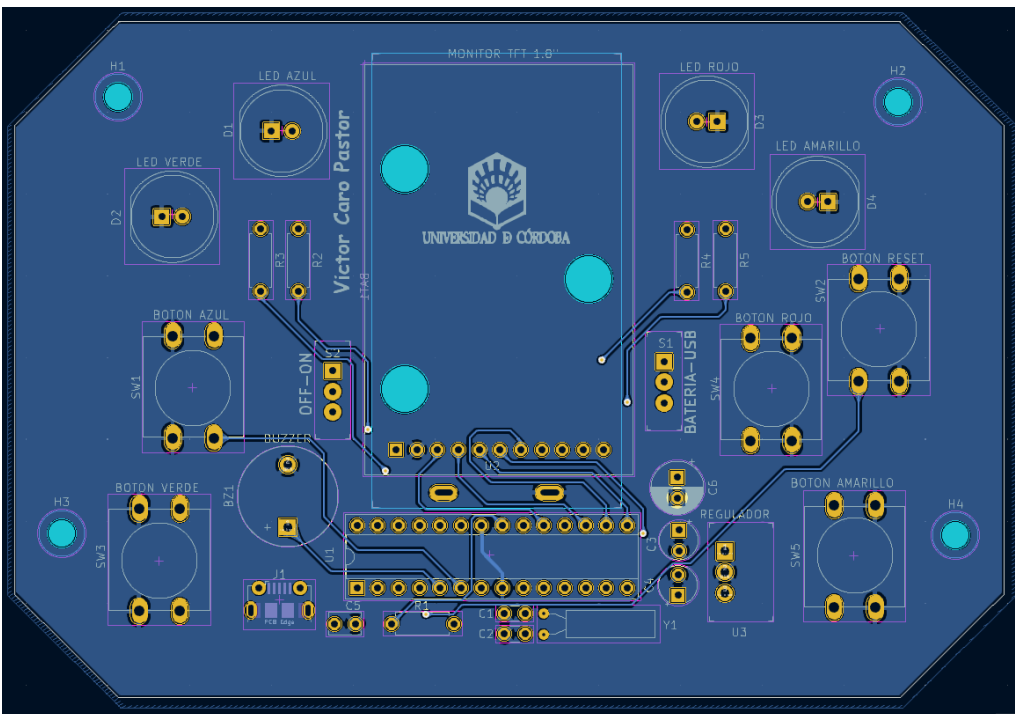


Figura 15: Pistas y plano de masa inferior.

3.6. Coste de la Placa

Este es el precio final sin contar el envío:

Prices	Net	Gross*
Single PCB	€ 56.21	€ 68.01
Total boards	€ 56.21	€ 68.01
Total **	€ 56.21	€ 68.01

* The gross prices include 21 % VAT.

** Login for available shipment dates, options and prices.

Figura 18: Precio final de la orden de compra de Eurocircuits.