

Guía diseño de PCB: Taller de electrónica.

Juan Sebastián Chávez Martínez
jschavezm@unal.edu.co
Universidad Nacional de Colombia—Sede Bogotá

I. DEFINICIONES PREVIAS

A. Substrato

Es el término utilizado para referirse al material base sobre el cual se soporta el laminado de cobre, siendo el insumo principal para la fabricación de circuitos impresos. Existen de diferentes materiales compuestos, como el FR2, FR4, PTFE, etc, y los hay tanto en presentación de hoja rígida como flexible [1].

B. FR4

Es el material de laminado rígido más comúnmente usado en la fabricación de circuitos impresos a nivel industrial. Las letras “FR” significan resistente a la llama, que cumple con la norma UL94V-0 [2], mientras que el número 4 indica que el material se compone de una resina epóxica reforzada con varias capas de fibra de vidrio tejida. Las placas u hojas de FR4 deben su resistencia a las llamas a su contenido de bromo, un halógeno no reactivo que comúnmente es usado en la industria por éstas propiedades. Esto le da al FR4 ventajas evidentes como material base para la fabricación de PCBs, especialmente en la etapa de prototipado, en la que los circuitos se encuentran en etapas iniciales de prueba y pueden ser llevados a extremos. Además de esto, sus propiedades tanto eléctricas como mecánicas lo hacen un material excelente para circuitos que requieran perforaciones metalizadas, especialmente los de tarjetas multicapa [1].

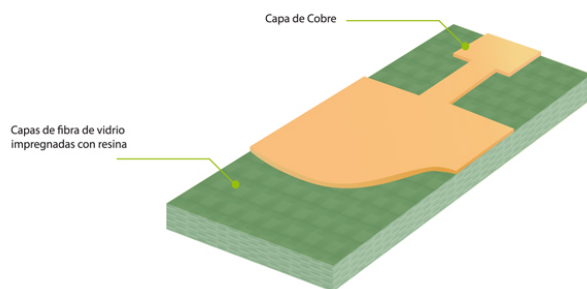


Figure 1. Lámina de FR4. Tomada de [1].

C. Pista

Se define sencillamente como un camino continuo de cobre que une o conecta eléctricamente a dos puntos o componentes de un circuito impreso, tal y como se puede ver en la figura 2. Éste está definido por su ancho y su espesor, que serán explicados más adelante [1].

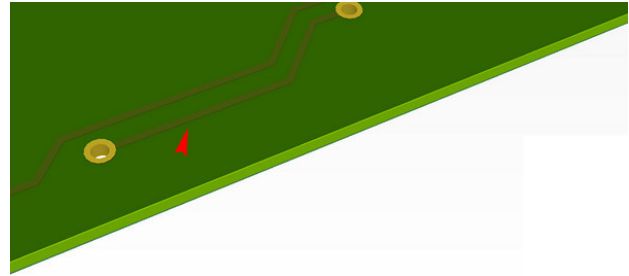


Figure 2. Pista en una placa de circuito impreso. Tomada de [1].

D. Espesor de las capas de cobre

Por lo general, el espesor de las capas de cobre que conforman los caminos en las placas de circuito impreso vienen dadas en unidades de peso, expresadas en oz/ft², sin embargo, con el fin de simplificar, a menudo se encuentra esta característica expresada simplemente en oz, siendo común también encontrar descripciones en base a la longitud, dada en μm , siguiendo la relación de que 1 oz/ft² es equivalente a 35 μm de espesor [3].

Los valores más típicos encontrados para los espesores de las capas de cobre son de 0.5, 1 y 1.5 oz, aunque estos valores suelen corresponder al espesor base de la capa de cobre antes de cualquier tipo de metalización. Cuando en dicho proceso se colocan los orificios en la PCB, este espesor suele duplicarse, por lo que el espesor típico de las capas de cobre terminada es de 1, 2 y 3 oz, respectivamente. Cabe resaltar que este incremento solo ocurre en las capas exteriores, es decir que en caso de circuitos multicapa, el incremento solo se presenta en las capas superior e inferior, no a las centrales [3].

Durante el proceso de fabricación, al eliminar el cobre para definir el circuito en el substrato, y también durante el proceso de metalización, es más fácil obtener mejores pistas cuando el espesor del cobre es pequeño. Además, generalmente puede observarse que el ancho de la pista es más ancho en cercanías al substrato, mientras que se vuelve más delgado al alejarse de él, y este efecto es más notorio entre más sea el espesor de la pista, esto se ilustra en la figura 3, en donde se muestra una vista transversal de la placa.

Es por eso que la elección del espesor de la capa de cobre depende de la aplicación en la que se vaya a usar. Por ejemplo, en aplicaciones de alta frecuencia, en donde se presentan diversos efectos parásitos, es importante tener caminos bien definidos con el objetivo de minimizar los mismos y obtener un mejor desempeño del circuito. Por otro lado, en aplicaciones de alta potencia en las que la placa debe

soportar altos voltajes, amperajes, y temperatura, un espesor demasiado delgado podría provocar que la pista se quemara, por lo que en estos casos es más recomendable usar un mayor grosor de capa de cobre.

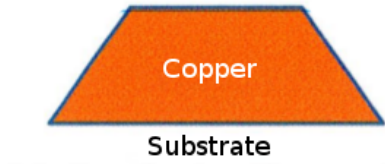


Figure 3. Vista transversal del cobre sobre el sustrato en una PCB después del proceso de metalización. Imagen tomada de [4]

E. Ancho de pistas

Como ya se mencionó, es importante seleccionar de manera adecuada el espesor de la capa de cobre que se va a usar en la PCB. Por lo tanto, es de suponer que también es necesario definir de manera adecuada el ancho que se va a usar en cada una de las pistas del circuito. Esto es importante debido a que no todos los caminos del circuito van a transportar la misma corriente, o van a sufrir de los mismos incrementos de temperatura, por lo cual, se hace necesario definir dicho ancho en función de éstos parámetros.

Para calcular el ancho de una pista es necesario conocer tres parámetros: La corriente máxima que circulará a través de él, expresada en amperios, la variación máxima de temperatura con referencia a la temperatura ambiente, dada en °C (por ejemplo, si se tiene una temperatura ambiente de 25 °C y se espera que la temperatura máxima de la vía sea de 60 °C, esta variación máxima corresponde a 35 °C), y el espesor de la capa de cobre, constante para toda la placa y da en oz/ft² [5]. La siguiente ecuación es la que permite calcular el ancho

$$W = \frac{\left(\frac{I_{max}}{K_1 \Delta T K_2} \right)^{\frac{1}{K_3}}}{1,378L} \quad (1)$$

En donde

- W es el ancho de la pista.
- I_{max} es la corriente máxima que pasará por la pista.
- ΔT es la variación máxima de temperatura.
- L es el espesor de la capa de cobre.
- K_1 , K_2 y K_3 son constantes que dependen de si el cálculo se está haciendo para una pista externa (capa superior e inferior) o una capa interna (capas intermedias en un circuito multicapa). Los valores de éstas se pueden ver en la tabla I.

Table I

TABLA DE CONSTANTES PARA EL CÁLCULO DE ANCHO DE PISTAS.

| | Interna | Externa |
|-------|---------|---------|
| K_1 | 0.0150 | 0.0647 |
| K_2 | 0.5453 | 0.4281 |
| K_3 | 0.7349 | 0.6732 |

Figure 4. Calculadora de ancho de pistas en el programa KiCad.

El resultado para W estará en unidades de mils, que corresponde a la milésima parte de una pulgada, por lo que bastará con multiplicar este resultado por 0.0254 para obtener dicho valor en milímetros.

Ahora, este cálculo puede ser un poco engorroso, por lo cual, existen diversas herramientas, tanto en internet como en el software de diseño de PCBs, en los que basta con ingresar los valores requeridos, para obtener el resultado de los anchos de la pista. Una de estas herramientas se encuentra en [7], mientras que en la figura 4 se puede ver una herramienta similar que se encuentra en el programa KiCad, del cual se hablará más adelante.

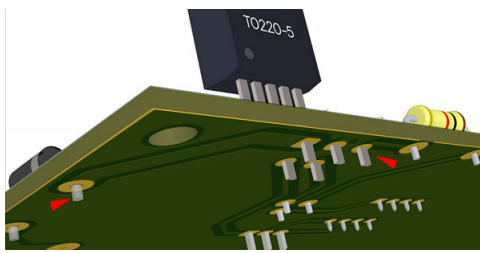
F. Pads

Son pequeñas áreas de cobre de determinada forma y tamaño que se usan para unir temporal o permanentemente (mediante soldadura) los pines de un componente electrónico a una placa de circuito impreso [1]. Existen dos tipos de Pad en un circuito impreso:

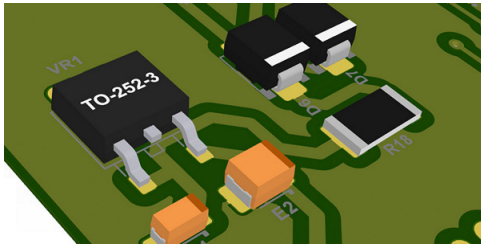
- **Through Hole:** También conocidas en español como tecnología de **agujeros pasantes**, son Pads definidos por una área de cobre con una perforación en el centro que atraviesa la placa. En este tipo de Pad, los componentes van posicionados en una de las caras de la placa, sus terminales atraviesan la misma y van fijados o soldados en la cara o puesta de la misma [1], como se puede ver en la figura 5(a).
- **SMT (Surface Mount Technology):** También conocidos como Pads de montaje superficial consisten en un área de cobre sólida, sin perforaciones, que sirven para soldar los pines de componentes electrónicos posicionados en la misma cara de la PCB, como se ilustra en la figura 5(b). Esta técnica se usa principalmente para posicionar dispositivos de montaje superficial (SMD), que son dispositivos típicamente más pequeños que los usados en la técnica Through Hole, lo que permite ahorrar espacio en las placas [1].

G. VIA

Siendo una abreviación de *Vertical Intreconnect Access*, o *acceso de interconexión vertical*, se refiere a una estructura



(a) Pad tipo Through Hole.



(b) Pad tipo SMT

Figure 5. Tipos de Pad. Imagen tomada de [1].

cilíndrica hueca de material conductor que como su nombre lo indica, tiene la función de realizar una conexión eléctrica entre dos Pads posicionados en dos diferentes capas dentro de una PCB, pudiendo ser una conexión entre dos capas exteriores, de una capa exterior con una capa interna o entre capas internas, todo sin la existencia de algún pin de un componente electrónico a través de él [1]. Una ilustración de este componente se muestra en la figura 6.

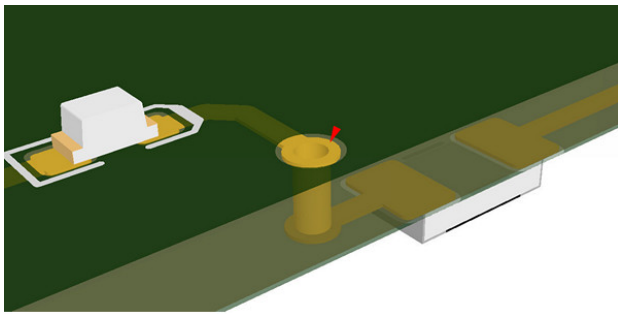


Figure 6. Vertical Interconnect Access (VIA). Imagen tomada de [1].

H. Puentes

Son alambres en forma de “U” que se usan para realizar una conexión eléctrica discreta entre dos Pads que deben estar unidos, pero cuya conexión no está definida mediante una pista. Estos son especialmente útiles cuando se tienen PCB de una sola capa, en las que una gran cantidad de caminos dificulta la correcta conexión sin cruces [4], como podría verse en la figura 7, en donde se puede apreciar que, en caso de requerir conexiones eléctricas entre los pads unidos con las líneas rojas, éstas no se pueden realizar mediante pistas, por lo que éstas deben hacerse con un alambre externo.

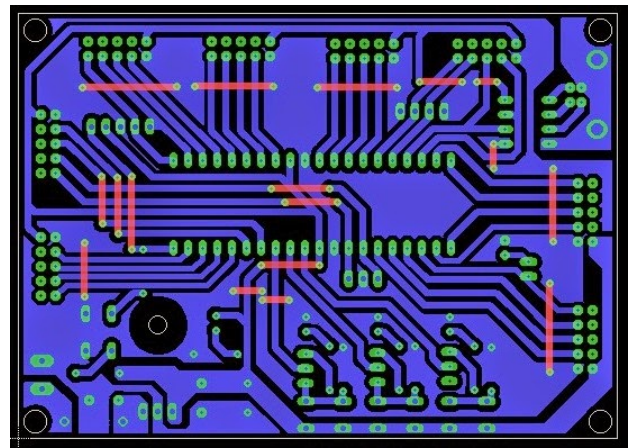


Figure 7. Ejemplo de circuito en el que se requieren puentes. Imagen tomada de [6].

I. Postes

Son tubos metálicos que se posicionan en una perforación de una PCB para unir dos pads en caras opuestas de la placa cuando la técnica de fabricación no permite la implementación de una VIA [4], como se muestra en la figura 8. Sin embargo, ya que las técnicas de fabricación modernas hacen cada vez más fácil la implementación de éstas, los postes son cada vez menos usados como vías eléctricas, y actualmente su principal función es proporcionar un soporte mecánico, para prevenir posibles daños al sustrato de la placa [4].

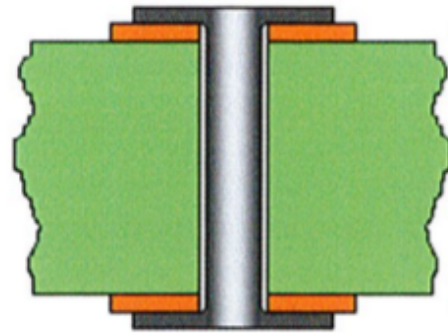


Figure 8. Ilustración de un poste en una vista lateral de la placa. Imagen tomada de [4].

J. Archivo Gerber

Es un tipo de archivo de texto encargado de suministrar toda la información necesaria para la construcción de la imagen exacta de cada una de las capas que conforman el circuito impreso. Tal archivo generado por todos los programas de diseño de circuitos impresos, contiene información acerca de coordenadas, medidas y formas, con el fin de reproducir con total exactitud la imagen de cada capa.

Una vez terminado el diseño de la placa que se quiere construir, estos archivos pueden ser exportados desde KiCad. El proceso para generarlos es el siguiente:

- Una vez posicionados en la ventana *PCBnew*, dar clic en archivo → trazar.

- A continuación, se desplegará una ventana (figura 9) en la que se podrán elegir diferentes opciones, como seleccionar la carpeta en la que se guardarán los archivos, las capas de las cuales se desea generar el gerber, entre otras. Una vez seleccionadas las opciones deseadas, se pulsa el botón *trazar*, e inmediatamente se generarán los diferentes archivos seleccionados en la carpeta previamente elegida. Dichos archivos gerber pueden ser abiertos y revisados en la herramienta *Visor de archivos Gerber* de KiCad.

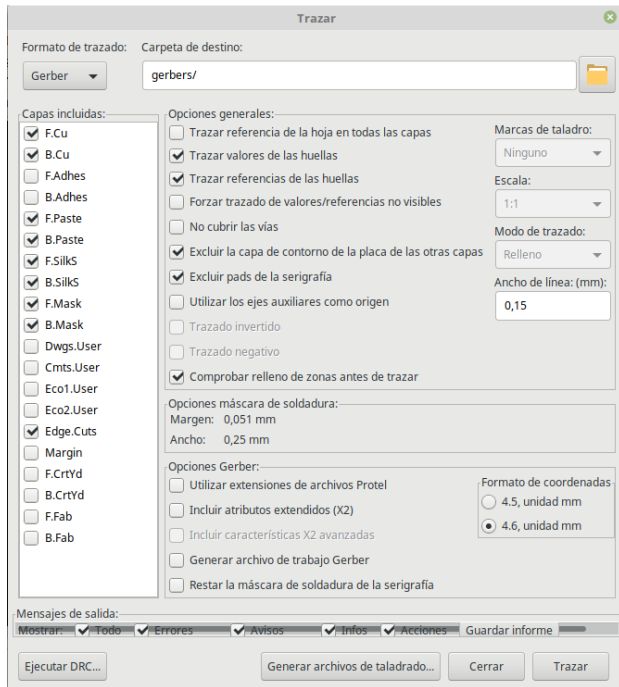


Figure 9. Ventana de trazado de archivos Gerber.

En aquella misma ventana de la figura 9 existe un botón en la parte inferior con el nombre *Generar archivos de taladrado*, que tal como su nombre lo indica, generará un archivo similar a un archivo Gerber, que contendrá información acerca de la locación y el tamaño de las perforaciones que se deben hacer en la placa, ya sea para VIAs o para pads tipo THT. Para generar dichos archivos basta con dar clic en el botón antes mencionado, lo cual desplegará una nueva ventana, como la que se aprecia en la figura 10. Esta ventana, tal como la anterior, permite elegir entre diferentes opciones para la generación del archivo. Una vez seleccionados todos los parámetros deseados, bastará con dar clic en el botón *Generar archivo de taladros* para generar el archivo correspondiente, que tendrá una extensión *.drl*.

Para más información acerca de los archivos *.gbr* y *.drl* puede consultar la página <http://docs.kicad-pcb.org/5.1.2/en/pcbnew/pcbnew.html>. Y para una guía más detallada de la generación de dichos archivos, puede consultar el video disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=BxbsiUIKksk>.

II. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Es importante tener en cuenta que para un correcto desempeño del circuito, y evitar errores de funcionamiento

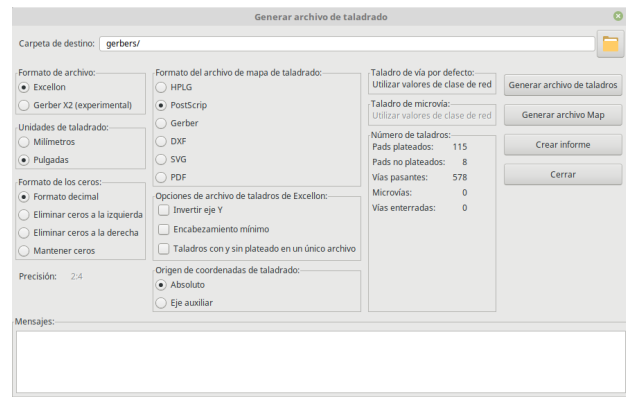


Figure 10. Ventana de trazado de archivos de taladrado.

por desperfectos en el proceso de diseño y/o fabricación, es necesario tener en cuenta algunas consideraciones y seguir ciertas normas de diseño del circuito, en esta sección se presentan algunas de ellas.

A. Errores comunes en las placas de una capa [8]

Es muy importante aclarar que al diseñar una placa de circuito impreso en cualquier programa, éste nos muestra una vista como si estuviéramos viendo a través de la placa, mostrando primero la capa llamada TOP, luego las capas intermedias y por último, la capa BOTTOM. En circuitos de una sola capa, los componentes THT deben ir posicionados sobre la capa TOP, mientras que su correspondiente soldadura, junto con todas las pistas, tienen que ir en la capa BOTTOM. Esta aclaración es importante, especialmente en circuitos que hagan uso de circuitos integrados, debido a que es común que se realice el trazado de las pistas en la capa TOP, suponiendo también el posicionamiento de los componentes tal y como se ve en la pantalla del programa, sin considerar que como los componentes se colocan en la capa opuesta, su posicionamiento está reflejado, por lo que al intentar colocar el componente, las posiciones de los pads estarán invertidas, y para posicionar el componente será necesario doblar sus pines 180°, lo cual es un proceso difícil que podría estropear el dispositivo. Este problema se ilustra en la figura 11.

Para el caso de componentes SMD, que deben ir ubicados en la misma capa en la que están las pistas, es decir, en la capa BOTTOM, dichos componentes deben colocarse primeramente en la capa TOP, y luego hacer uso de la utilidad "FLIP" o "MIRROR", dependiendo del programa de diseño, para luego ubicarlo en la capa BOTTOM con la orientación adecuada.

B. Donde no ubicar vías en una PCB [9]

Según la norma **IPC-7351 sec. 3.4.6.4**, no está permitido ubicar vías dentro de un pad. Esto debido a que durante el proceso de soldadura, la crema de soldar aplicada a dicho pad se escurrirá a través de la vía, ocasionando una unión pobre o ausente y un posible corto con otros pads en el otro lado de la tarjeta.

Para evitar esto, se recomienda ubicar la vía separada de un pad, y realizar la conexión a través de una pista de al menos

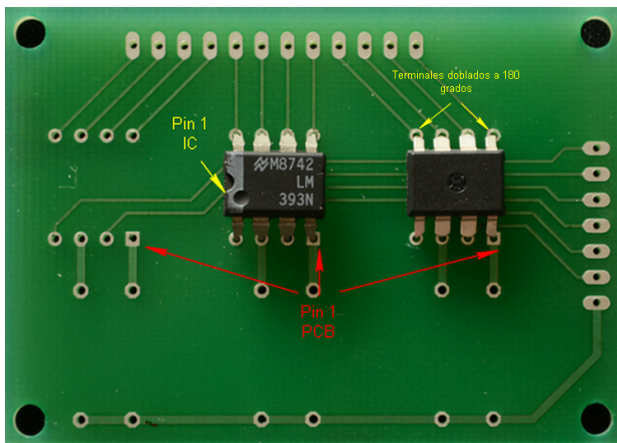


Figure 11. Ejemplo de una PCB de una capa con pistas en la capa TOP. Imagen tomada de [8].

0.2 mm de longitud, que además debe estar cubierta por una máscara antisoldante, para evitar que la soldadura aplicada al pad se esparza hacia la vía.

Es común también encontrar vías posicionadas debajo de un componente SMD, lo cual debe evitarse ya que una vía ubicada allí tiene altas posibilidades de absorber el exceso de soldadura aplicada al componente, causando su ocasional paso a la otra cara de la placa, y ocasionando cortos, errores que además serían difíciles de detectar de manera visual. Para solucionar este problema lo recomendable es ubicar las vías a un costado del cuerpo del componente SMD, manteniendo una distancia prudente para que no se presente la absorción de soldadura durante dicho proceso.

C. Precauciones en el diseño de tarjetas de dos capas [10]

1) *Ensamblaje tipo 2A:* Este tipo de ensamblajes se refieren a circuitos que tengan únicamente dispositivos THT en ambas caras. En caso de tener una placa muy densa, es decir, con los elementos muy juntos entre sí, se requiere que haya distancias considerables entre los componentes, en función de las alturas de los mismo, esto para permitir el acceso de la herramienta de soldar sin quemar los componentes vecinos, por lo que un correcto diseño de este tipo de ensamblaje produce un aumento considerable en el tamaño de la tarjeta. En este tipo de tarjeta es importante tener en consideración tanto el peso como la orientación de los dispositivos, dado que componentes muy pesados pueden llegar a fracturar sus terminales por efecto de la eventual vibración o a algún tipo de presión mecánica durante su manipulación, especialmente si su orientación es vertical. En estos casos, con el fin de prevenir el deterioro y/o desprendimiento del dispositivo, se puede fijar a la placa de formas adicionales a la soldadura, como podrían ser abrazaderas, siliconas, o incluso fijando horizontalmente un elemento de montaje vertical, como se puede ver en la figura 12.

2) *Ensamblaje tipo 2B:* Este se refiere a un diseño de PCBs donde la tarjeta tiene solo componentes SMD ubicados en ambas caras de la tarjeta y por lo tanto requiere dos secuencias de procesos de ensamblaje para obtener tarjetas terminadas.

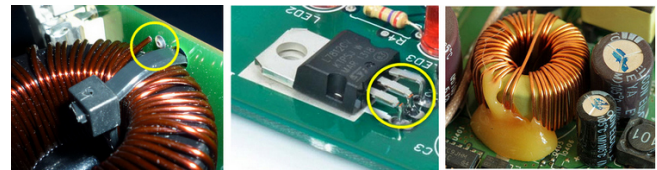


Figure 12. Ejemplos de técnicas para fijar elementos pesados a la PCB. Imagen tomada de [10].

En este tipo de ensamblaje las principales consideraciones que deben tenerse en cuenta son:

- De ser posible, posicionar en una sola cara del circuito los componentes activos (circuitos integrados), y en la otra cara los componentes discretos (resistencias, condensadores, etc.).
- Se debe tener una separación de 1 mm entre los cuerpos de los componentes pasivos, y 3 mm entre dispositivos activos, con el fin de disminuir el riesgo de cortos y facilitar la inspección de la soldadura y posibles reparaciones.

3) *Ensamblaje tipo 2C:* Son circuitos que tienen ambos tipos de dispositivos ubicados en las dos caras del circuito. En este tipo de ensamblaje, además de tener en cuenta las consideraciones necesarias para los circuitos de tipo 2B, se debe considerar lo siguiente:

- En lo posible se deben agrupar los componentes THT en áreas específicas de la tarjeta para que su posterior proceso de soldadura no se afecte los componentes SMD ya soldados.
- Mantener una separación mínima de 3 mm en cercanía a los pads de componentes SMD para evitar que su soldadura sea derretida o que el dispositivo se desprenda en los procesos de soldadura manual o de Ola Selectiva.

III. ESPECIFICACIONES PARA DISEÑO EN EL LABORATORIO DE PROTOTIPADO.

La Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, cuenta con un laboratorio de prototipado en el que es posible fabricar tarjetas de circuito impreso para los estudiantes de la universidad. Las placas fabricadas en este laboratorio deben cumplir con ciertas especificaciones, dadas por las características del equipo usado para la fabricación de las placas, por lo cual, además de tener en consideración las pautas mencionadas en la sección anterior, los estudiantes deben diseñar sus placas de tal manera que cumplan con los lineamientos dados por el laboratorio. Dichas especificaciones se listan a continuación:

- El ancho de las pistas debe ser mayor o igual a 0.8 mm.
- El distanciamiento entre dos pistas adyacentes debe ser mayor o igual a 0.4 mm.
- Para pads tipo THT, las perforaciones (diámetro interior b en la figura 13) deben tener un diámetro mínimo de 0.6 mm.
- El recubrimiento de cobre de estas perforaciones (diámetro exterior a en la figura 13) debe tener un diámetro mínimo de 0.8 mm.

Además de esto, se recomienda usar la herramienta disponible en KiCad de visualización en 3D para visualizar

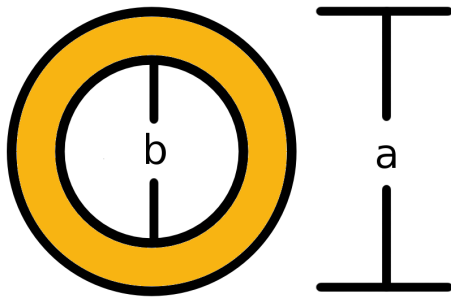


Figure 13. Representación de un pad THT con las dimensiones de perforación b , y de recubrimiento de cobre a .

el correcto posicionamiento de todos los componentes, y se solicita una impresión de dicho esquema. Adicional a ello, pese a que KiCad genera varios archivos Gerber, el laboratorio solicita que únicamente se envíen los archivos con las extensiones `.gbl`, `.gbr` y `.drl` (este último es el archivo que contiene información acerca de las perforaciones de la placa).

IV. LINKS DE INTERÉS

A. Tutoriales de KiCad

Lista de reproducción: tutorial básico de KiCad: https://www.youtube.com/watch?v=X2N5CMPHbk4&list=PLkG_6vam3blBFCwXZlqtOZ5JATY2doK5p.

Tutorial Kicad - Diseño de placas de circuito impreso: <https://www.youtube.com/watch?v=13ZixE7oVdg>.

Documento tutorial KiCad: <https://www.dropbox.com/s/y94r6elcqf0tgav/TUTORIAL%20KICAD.7z?dl=0>.

REFERENCES

- [1] MICROENSAMBLE. Glosario de PCBs. [Online] disponible: <http://microensamble.com/glosario/>.
- [2] L. GONG. (2017, Sep 10). What is FR-4 PCB material?. [Online] disponible: <https://www.seedstudio.com/blog/2017/09/20/fr4-pcb-material/>.
- [3] pcbGO. Cómo elegir el peso de cobre de una PCB [Online] disponible: <https://blog.pcbgo.cc/es/post/18/como-elegir-el-peso-de-cobre-de-una-pcb>.
- [4] IPC Designers Council. IPC PCB Designers Certification: Study Guide. 2016.
- [5] Cálculo de ancho de pista en una PCB. [Online] disponible: <https://cuningan.wordpress.com/2010/10/19/calculo-de-ancho-de-pista-en-una-pcb/>.
- [6] MRCHUNKUEE. (2015, Feb 14). PIC TRAINER : Modulo para PICs de 40 pines (v1.0). [Online] disponible: <https://mrchunckuee.blogspot.com/2014/05/pic-trainer-modulo-para-pics-de-40-pines.html>.
- [7] PCB Trace Width Calculator (2006, Jan 31). [Online] disponible: <http://circuitcalculator.com/wordpress/2006/01/31/pcb-trace-width-calculator/>.
- [8] MICROENSAMBLE. (2016, Jul 11). Error común en el diseño de PCBs de una capa. [Online] disponible: <http://microensamble.com/precauciones-diseno-pcb-una-capa/>.
- [9] MICROENSAMBLE. (2016, Dic 22). Dónde no ubicar vías en un circuito impreso. [Online] disponible: <http://microensamble.com/donde-no-ubicar-vias-circuito-impreso/>.
- [10] MICROENSAMBLE. (2016, May 19). Precauciones en el diseño de tarjetas con componentes SMD en ambas caras. [Online] disponible: <http://microensamble.com/precauciones-componentes-smd-ambas-caras/>.