

## **Definición de Lineamientos Óptimos de Diseño de Circuitos Impresos.**

### **Lineamiento específico: Distancia Mínima entre Elementos de Cobre y su Relación con la Creación de Cortos de Soldadura.**

Andrés Márquez Barberena<sup>1</sup>

[1]Alumno del posgrado

[andrewave@gmail.com](mailto:andrewave@gmail.com)

#### **RESUMEN**

La obtención de lineamientos óptimos de diseño es fundamental para crear una guía que pueda ser utilizada por los diseñadores. Esta es la única forma de lograr exitosa y consistentemente, que los diseños puedan llevarse a la realidad sin contratiempos.

Los lineamientos específicos que se buscan obtener con este trabajo son la distancia mínima entre elementos de cobre que el fabricante de tarjeta de circuito impreso puede lograr con tecnología estándar y la distancia entre elementos de cobre con pasta a partir de la cual se crean cortos. La distancia entre elementos de cobre es crítica debido a que es uno de los factores limitantes de fabricación de tarjetas de circuito impreso y un punto de inflexión en el cual se incrementan los costos de manufactura.

**Palabras Claves:** Lineamientos de diseño, distancia de cobre, cortos.

#### **1 INTRODUCCIÓN.**

Estos días, los ensamblados electrónicos tienden a utilizar componentes y elementos cada vez más pequeños en las tarjetas de circuito impreso, que a su vez, llevan a las casas de fabricación y ensamble, al límite de sus capacidades. El saber cuáles son las capacidades estándares así como su límite real, es de suma importancia para los diseñadores de tarjetas de circuito impreso porque de esta forma, podrán lograr el menor impacto en el costo y en el tiempo de entrega.

Una de las variables más importantes que limita la fabricación de una tarjeta, y por lo tanto su costo, es el mínimo espacio de cobre. Inclusive, si los elementos de cobre se van a utilizar para soldar pines de componentes, este parámetro está íntimamente relacionado con las aperturas de la mascarilla de soldadura, las aperturas del estencil y por lo tanto, las capacidades de los fabricantes con respecto a estos parámetros.

El objetivo de este trabajo es obtener los siguientes parámetros:

- La distancia mínima a la cual los elementos de cobre crean corto durante la manufactura de la tarjeta de circuito impreso.
- La distancia mínima a la cual los depósitos de pasta crearán un corto de soldadura entre sí durante el proceso del horno de reflujo.

Estos parámetros permitirán a los Ingenieros diseñar tarjetas con la certeza de que no existirán cortos en el proceso de ensamble basado en la cercanía de elementos de cobre y depósitos de pasta durante el proceso de tecnología de montaje superficial (SMT por sus siglas en inglés). Una vez que se conoce el valor en el cual no existen cortos consistentemente por parte del fabricante de tarjetas de circuito impreso con capacidad estándar, este valor se establece como límite en la herramienta de diseño. El resultado, es una tarjeta que no incurrirá en gastos extras por tener que manufacturar mayor cantidad debido a que no todas las tarjetas lograron cumplir con el parámetro de la distancia, aumentar la producción y cargar al cliente lo que no llegó al valor establecido; esta es precisamente la definición de tecnología estándar.

Por otra parte, el conocimiento del valor mínimo al cual se crean cortos entre elementos de cobre, permite al diseñador tener una referencia sobre la distancia mínima a la cual puede establecer las huellas de soldadura de diferentes componentes entre sí.

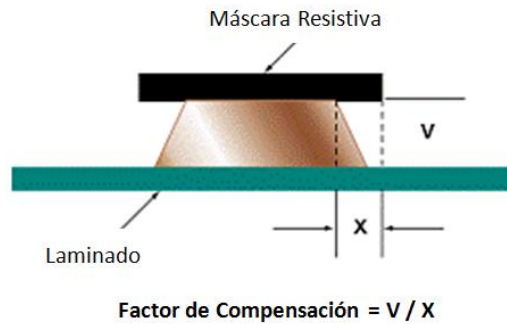
## **2 FUNDAMENTOS**

Debido a que la mayoría de los fabricantes de tarjetas de circuito impreso utilizan el sistema inglés como referencia, se utilizarán las medidas en milésimas de pulgada, mil, como referencia durante este trabajo.

El término espacio mínimo de la tarjeta, está determinado por el mínimo espacio entre elementos de cobre. Los requerimientos de espacio mínimo se incrementan conforme el espesor de cobre de la capa se incrementa. [1]

Comenzando por cada media onza de cobre, se tienen que dar a todos los elementos de cobre una compensación de grabado aproximada de 1 mil [2]. Durante la fabricación, se tiene una máscara de registro que tiene la forma de los elementos de cobre que permanecerán como los trazos y las huellas. Cuando se aplica el ácido, éste va removiendo gradualmente el cobre en forma subtractiva, por lo que el cobre tiene un ángulo observándolo seccionalmente y queda en forma trapezoidal. Entre más gruesa sea la capa de cobre, más compensación se tiene que hacer, es decir, si por ejemplo el trazo se quiere que mida 5 mil, la máscara debe ser de 6 mil aproximadamente para una capa de media onza de cobre. A esto se le conoce como factor de compensación y está

en función de la medida extra de la máscara de registro y el grosor del cobre, como se muestra en la *Figura 1*.



*Figura 1. Factor de compensación*

El grosor de cobre es un factor muy importante para controlar el ancho de una línea y por consiguiente, el espacio entre líneas o elementos de cobre. Usar media onza de cobre reduce el grosor total del cobre y por lo tanto reduce el grabado lateral. [3]

Este estudio se realiza sobre capas externas de una tarjeta de circuito impreso, de esta forma se toman los datos de forma visual y se utilizan capas de media onza antes del platinado debido a que es la práctica más común.

En algunos casos, el diseñador de la tarjeta manualmente establece la posición de las líneas críticas y lo demás lo deja al auto ruteo del software de diseño. Esto puede provocar que algunas líneas queden muy cerca entre ellas y esto, aún cuando no es un problema de diseño por ser la misma red, puede causar problemas de manufactura. [4]

Por otra parte, debido a la utilización de dispositivos cada vez más pequeños, la alta densidad de componentes conlleva a que estén más juntos entre sí y es por esto que es tan importante determinar la mínima distancia a la cual se hacen cortos desde el punto de vista de la soldadura y los elementos de cobre.

### **3 PROCEDIMIENTO**

Para desarrollar el análisis, se diseñó una tarjeta de circuito impreso en la cual se presentan diferentes configuraciones de mascarilla de soldadura y de aperturas de pasta. En base a estos parámetros se determinó el impacto en los cortos durante el proceso de soldadura por reflujo.

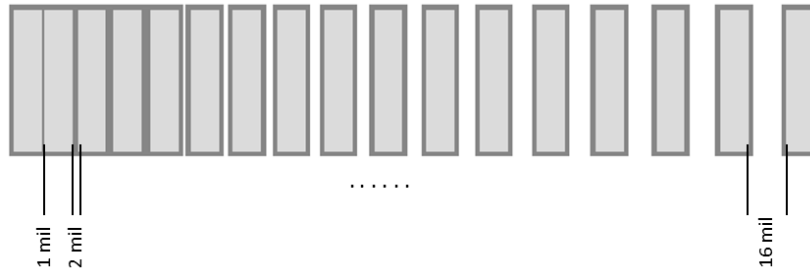
Los detalles y las condiciones incluidas en el diseño de la distribución de elementos fueron de la siguiente forma:

1.- Parámetros fijos:

Tamaño de los elementos de cobre: Rectangulares de 12 mil x 60 mil.

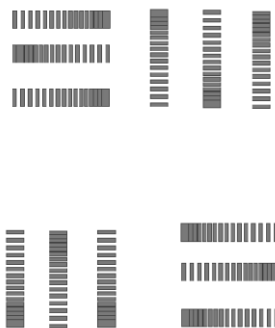
2.- Parámetros variables:

a) Distancia entre los elementos de cobre desde 1 mil hasta 16 mil con incrementos de 1 mil. La *Figura 2* muestra la distribución de elementos.



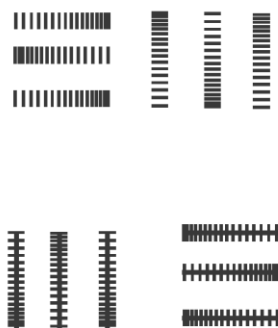
*Figura 2. Elementos de cobre con aperturas de mascarilla en incrementos de 1 mil*

b) 12 filas de elementos de cobre con aperturas de mascarilla para cada elemento de cobre, como se observa en la *Figura 3*.



*Figura 3. Distribución de 12 filas de elementos de cobre en tarjeta de evaluación.*

c) 6 filas de elementos de cobre con apertura de pasta para cada elemento de cobre y 6 filas de elementos de cobre con apertura de pasta para cada elemento y corto de pasta forzado, como se observa en la *Figura 4*.



*Figura 4. Distribución de 6 filas con apertura individual y 6 filas con apertura individual más el corto forzado.*

Se fabricaron 10 tarjetas de circuito impreso con las siguientes características generales:

- Tipo de Mascarilla Anti-Soldadura: Liquida Foto Imprimible.
- Terminado de la tarjeta de circuito impreso: Inmersión Electrolítica de Oro- Níquel (ENIG por sus siglas en inglés) con espesor de Oro de 2 a 8 micro pulgadas.
- Espesor de capa externa de cobre: media onza de cobre. Puede llegar a una onza con el platinado.

El procedimiento se dividió en tres partes:

- a) Antes de la impresión de pasta (tarjeta de circuito impreso únicamente).
- b) Después de la impresión de pasta.
- c) Después del horno de reflujo.

En cada una de las tres partes se procedió a hacer un análisis visual de todos los elementos de las 10 tarjetas con un microscopio óptico. Se registraron cada uno de los casos en los tres escenarios. En el primer caso para determinar distancia en cortos en cobre, en el segundo caso para determinar distancia en cortos de pasta antes de refluir y en el tercer caso para determinar en qué distancia dejó de existir el corto ya que la pasta había refluído. Una vez recopilada toda la información se llevó a cabo el cálculo de medias para determinar los valores.

#### 4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

1) Mínimo espacio entre elementos de cobre:

La siguiente tabla presenta el promedio del porcentaje de cortos obtenidos en las 12 filas de elementos de cobre en las 10 tarjetas de evaluación.

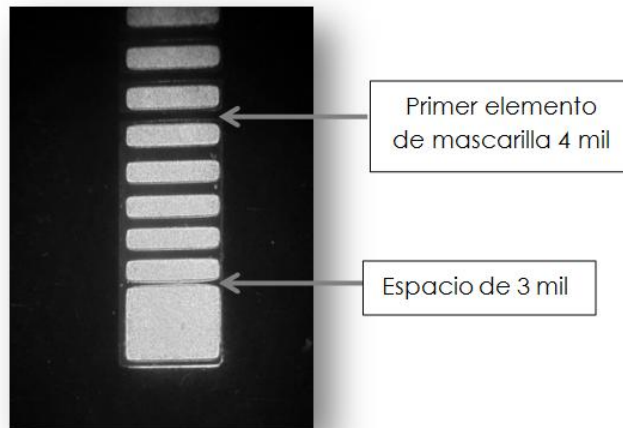
Distancia de Cobre	Porcentaje de Cortos
1 mil	100%
2 mils	100%
3 mils	42%
4 mils	0%
5 mils	0%
6 mils	0%
7 mils	0%
8 mils	0%
9 mils	0%
10 mils	0%
11 mils	0%
12 mils	0%
13 mils	0%
14 mils	0%
15 mils	0%
16 mils	0%

- Promedio de 42% de cortos en una distancia de 3 mil.
- No hubo cortos para espacios de 4 mil.

Los datos se pueden observar en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Porcentaje de Cortos.

En la *Figura 5* se puede observar una imagen del microscopio óptico donde se muestra un ejemplo de la evaluación de corto no o no corto en las distancias de cobre.



*Figura 5. Micro corto en un caso de espacio de 3 mil.*

2) Mínimo elemento de mascarilla de soldadura.

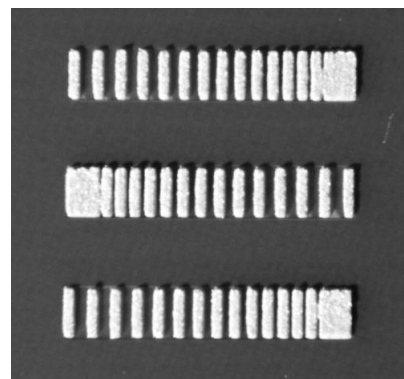
- 100% de las evaluaciones tuvieron un mínimo elemento de mascarilla de 4 mil. Los elementos de 4 mil son formados a una distancia de 8 mil.
- Para tecnología estándar, los elementos de 3 mil no son capaces de ser creados.

3) Mínima distancia a la cual se crean los cortos en la impresión de pasta.

El promedio de cortos para aperturas de estencil individuales se puede observar en la *Tabla 2* y se puede observar un ejemplo en la *Figura 6*.

Elemento de Estencil	Porcentaje de Cortos
1 mil	100%
2 mils	100%
3 mils	67%
4 mils	2%
5 mils	0%
6 mils	0%
7 mils	0%
8 mils	0%
9 mils	0%
10 mils	0%
11 mils	0%
12 mils	0%
13 mils	0%
14 mils	0%
15 mils	0%
16 mils	0%

*Tabla 2. Porcentaje de Cortos en Impresión de Pasta*



*Figura 6. Ejemplo de Impresión de pasta.*

Para apertura de estencil con corto forzado a través de los elementos de cobre, el 100% de los elementos se encontraron en corto como se puede apreciar en la Figura 7.

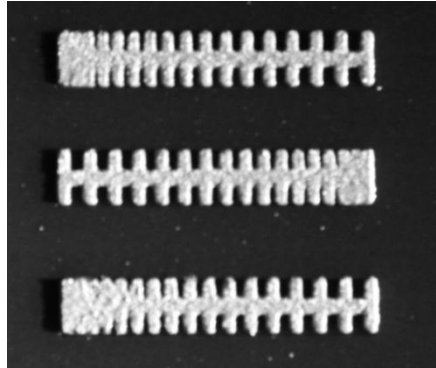


Figura 7. 100% de cortos en corto forzado.

4) Distancia mínima a la cual los cortos se forman después del reflujo.

El promedio de cortos para aperturas de estencil individuales se puede observar en la Tabla 3 y se puede observar un ejemplo de evaluación en la Figura 8.

Distancia de Cobre	Porcentaje de Cortos
1 mil	100%
2 mils	100%
3 mils	72%
4 mils	0%
5 mils	0%
6 mils	0%
7 mils	0%
8 mils	0%
9 mils	0%
10 mils	0%
11 mils	0%
12 mils	0%
13 mils	0%
14 mils	0%
15 mils	0%
16 mils	0%

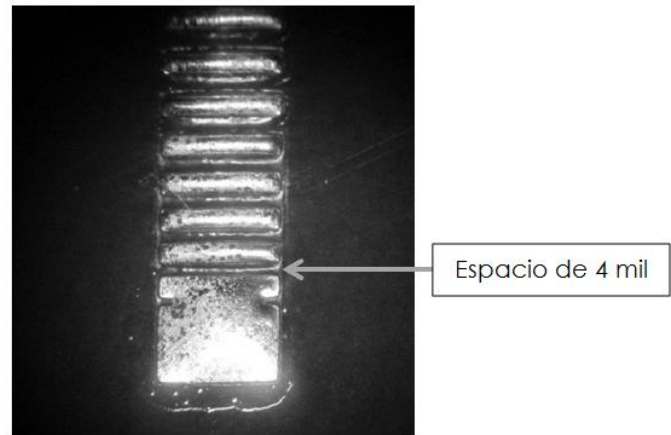
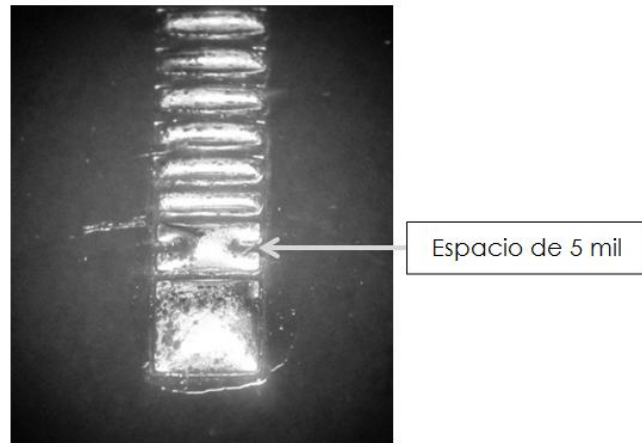


Tabla 3. Porcentaje de Cortos después de reflujo Figura 8. No hay corto hasta 4 mil de espacio después de reflujo

El promedio de cortos para aperturas de estencil individuales con cortos forzados se puede observar en la *Tabla 4* y se puede observar un ejemplo en la *Figura 10*.

Distancia de Cobre	Porcentaje de Cortos
1 mil	100%
2 mils	100%
3 mils	99%
4 mils	0%
5 mils	12%
6 mils	0%
7 mils	0%
8 mils	0%
9 mils	0%
10 mils	0%
11 mils	0%
12 mils	0%
13 mils	0%
14 mils	0%
15 mils	0%
16 mils	0%



*Tabla 4. Porcentaje de Cortos forzado*

*Figura 10. Caso de corto hasta 5 mil después de reflujo.*

## 5 CONCLUSIONES

El objetivo de esta evaluación fue determinar la relación entre la mínima distancia de los elementos de cobre y el efecto que tiene en la creación de cortos durante el proceso de reflujo.

Basado en la inspección visual de valores consistentes para la tarjeta de circuito impreso y los resultados obtenidos de esta evaluación, se pueden establecer los siguientes lineamientos de diseño:

1. El mínimo espacio de cobre sin tener cortos es de 4 mil para tecnología estándar, es decir, sin costo extra.
2. El mínimo elemento de mascarilla es de 4 mil para tecnología estándar.
3. Después del proceso de reflujo, no hay cortos para espacios de 4 mil o más con aperturas de pasta individuales.
4. Después del proceso de reflujo, no hay cortos para espacios de 6 mil o más con aperturas de pasta forzadas a estar en corto durante la impresión.



## REFERENCIAS

[1] ROBERTSON, CHRIS, Printed Circuit Board Designer's Reference; Basics. Chapter 2: Design for Manufacturing, p. 15-46. October 23, 2003.

[2] THOMPSON, MARK, CID, Prototron Circuits; What is DFM, Really?, The PCB design Magazine, p.22-26, May 2014.

[3] BRISETTE, PETER, Learn from a Fabricator; Time and Money Saving Design Rules, Bay Area Circuits Inc. December 20<sup>th</sup>, 2013.

[4] THOMPSON, MARK, CID, Prototron Circuits; Design for Profitability: Avoiding Fabrication Issues and Minimizing Costly Revisions, The PCB design Magazine, p.10-14, March 2013.

[5] IPC-A-610E. Acceptability of Electronic Assemblies, P 1-3., 2010.

[6] HAUSHERR, TOM, Design for Manufacturability of Rigid Multi-Layer Boards, PCB Libraries, 2003.