

# Determinación de la vida útil de las herramientas utilizadas en el barrenado de materiales no metálicos.

**A. Cabrera Pena, T. Rodríguez-Parra Rivas.**

Instituto Central de Investigación Digital  
Calle 202 #1704 e/ 17 y 19 Siboney, Playa. Ciudad de la Habana.  
E-Mail: [ale@ci.cid.edu.cu](mailto:ale@ci.cid.edu.cu)  
Tel.: 21-0189 . FAX: 33-6387.

(Recibido el 6 de Noviembre del 2000, aceptado el 15 de Diciembre del 2001).

## Resumen

En el barrenado de Placas de Circuito Impreso (PCI) las barrenas de carburo de tungsteno son responsables de más de la mitad de los costos de la operación, siendo de vital importancia la búsqueda de vías para aumentar la eficiencia sin afectar la calidad del agujero.

El siguiente artículo explica la implementación de una metodología para la determinación de la máxima cantidad de agujeros posibles de barrenar con una herramienta sin afectar los parámetros de calidad de los mismos en las condiciones y con los medios disponibles en nuestro país. Esta metodología permitió elevar la vida útil de las herramientas en un 66%.

**Palabras claves:** Barrenado, materiales no metálicos, circuitos impresos.

## 1. Introducción.

En la fabricación de Placas de Circuito Impreso (PCI) adquiere cada día mayor importancia el proceso de barrenado, siendo este el segundo paso en el proceso tecnológico de fabricación después del prensado de los materiales multicapas o de los laminados.

El barrenado de PCI tiene dos funciones fundamentales:

- Producir una abertura en la placa que permita los procesos posteriores para formar una conexión eléctrica entre las capas metálicas del laminado.
- Permitir el montaje de los componentes con la precisión requerida y respetando su integridad estructural.[2]

La primera función se cumple en dependencia de la calidad del agujero barrenado y su capacidad para ser metalizado. Un buen proceso de metalizado se produce en un agujero sin restos de resina que contaminen sus paredes, sin cavidades en las que quede atrapado electrólito, sin delaminación entre los tejidos del material base y sin rebaba en las capas metálicas del laminado. Todos estos defectos están asociados de una forma u otra a la generación de calor y las fuerzas de corte producidas durante el barrenado, estos procesos se incrementan o disminuyen en dependencia de los regímenes de corte, la calidad de los materiales, el

diseño de la herramienta y la cantidad de agujeros realizados por la herramienta (barrena).

A la máxima cantidad de agujeros barrenados por la herramienta sin que disminuya la calidad del agujero por debajo de lo aceptado según normas que rigen la actividad al nivel internacional, se le llama Vida Útil.

Existen varios métodos para determinar la vida útil de las herramientas entre ellos la medición directa del desgaste de las barrenas y los métodos de medición de parámetros en las paredes de los agujeros ya sean encapsulados o sin encapsular. A continuación se tratará sobre el método de la medición de parámetros en las paredes encapsuladas de los agujeros.

## 2. Variables del proceso de barrenado.

La calidad del agujero barrenado depende directamente de la generación de calor durante el proceso de barrenado y de la fuerza de corte ejercida por la herramienta sobre el material. Estos dos fenómenos son consecuencia de la forma en que se barrenen los agujeros, ya sea por el régimen de corte, la calidad de los materiales, características de la máquina herramienta o el diseño de la herramienta [6], según muestra la figura 1.

Es difícil eliminar problemas de barrenado sin tener en cuenta que todas estas variables juegan un papel importante en la calidad final del agujero barrenado y

que su fortaleza radica en que no se puede tratar con cada una de ellas separadamente obviando a las demás, siendo este el error más común que se comete al recomendar tal o más cual valor de vida útil de la herramienta.

La mayoría de los autores plantea que para tarjetas de doble cara metalizada, barrenadas en paquetes de 3

paneles, el valor de vida útil recomendado es de 3000 agujeros sin tener en cuenta las demás variables de barrenado, por eso se plantea además que este es un punto de partida "seguro" para que aquellos fabricantes imposibilitados de determinar el valor de vida útil, según sus condiciones específicas de operación, obtengan un agujero de calidad comercial [4].

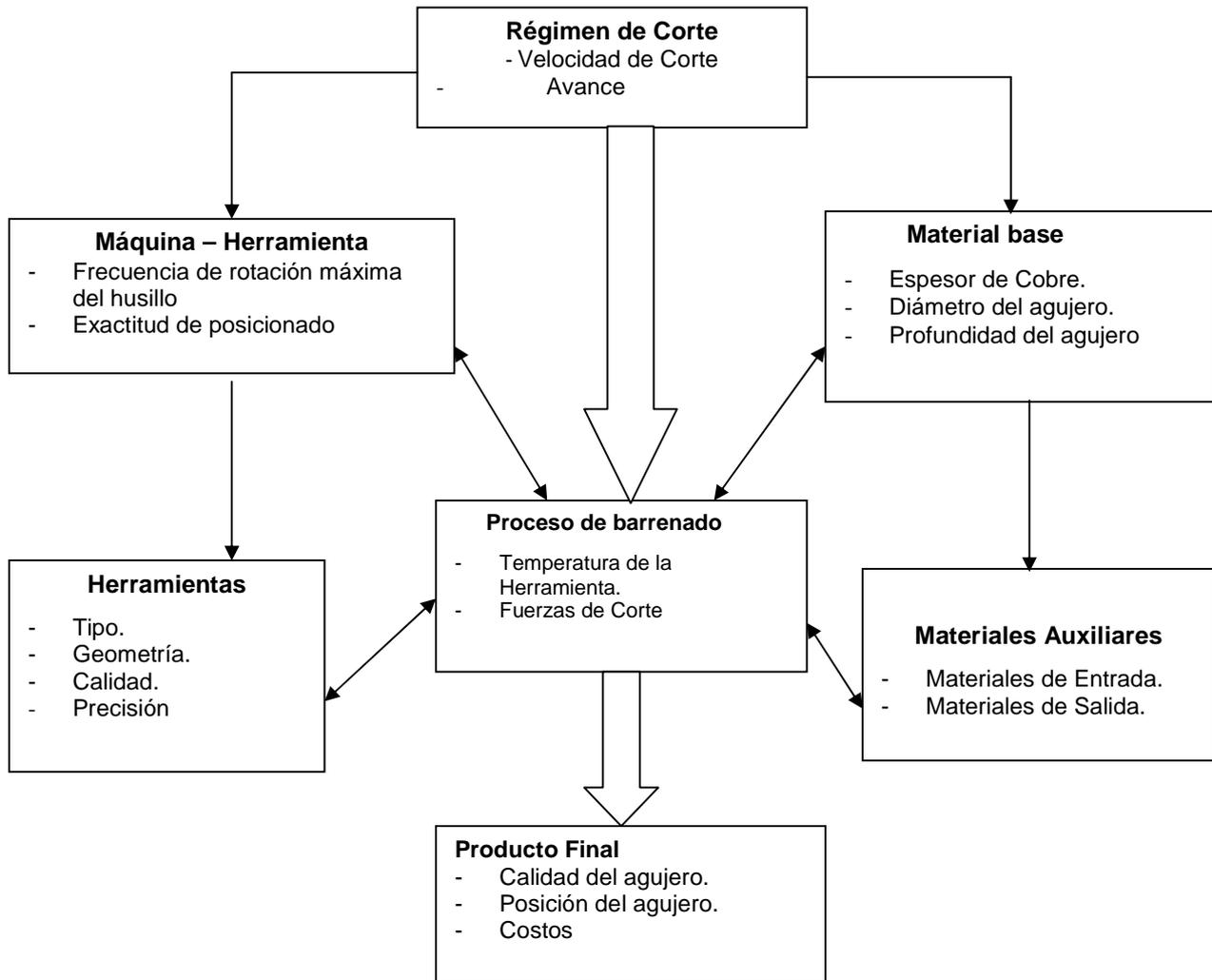


Figura 1- Variables del proceso de barrenado

A continuación se analizan las principales variables del proceso de barrenado y su influencia en la calidad del agujero.

#### Régimen de corte.

El régimen de corte en el barrenado de PCI esta constituido, como en cualquier elaboración mecánica por arranque de virutas, por dos parámetros fundamentales [5]:

- Velocidad de corte: Se define como la velocidad relativa entre el filo de corte de la herramienta y el material elaborado. En el proceso de barrenado la velocidad de corte varia al variar el diámetro tomándose para el cálculo la mayor, correspondiente a la periferia de la herramienta. Este parámetro se expresa en metros por minuto.

- Avance : Se define como la profundidad que penetra la herramienta en el material en una vuelta completa del husillo y se expresa en milímetros por revolución. En la elaboración de PCI a este parámetro se le llama Carga de Viruta.

Al aumentar la velocidad de corte de la herramienta aumenta su desgaste y la generación de calor, mientras que manteniéndola demasiado baja se acrecienta también el desgaste de la herramienta. Al aumentar la generación de calor disminuye la calidad del agujero. El rango de trabajo de este parámetro se recomienda entre los 120 y 180 m/min. [3].

Al aumentar la carga de viruta disminuye el tiempo de permanencia de la barrena en el agujero y por tanto la generación de calor, aunque este incremento no debe sobrepasar el límite a partir del cual la barrena poncha y no taladra o el límite en que el aumento de la fuerza aumenta la fricción por encima del enfriamiento que se produce al disminuir el tiempo de permanencia. Por el contrario la disminución del avance aumenta la generación de calor y empeora la calidad del agujero barrenado.

#### Características de las herramientas.

Las herramientas de PCI se fabrican de materiales metalocerámicos, específicamente de una mezcla de carburo de tungsteno con cobalto. El carburo de tungsteno es un material sumamente duro que le provee a la herramienta de su resistencia al desgaste mientras que el cobalto le brinda su resistencia a la flexión. La composición química del material fluctúa entre un 6 - 10 % de cobalto y un 90 - 94 % de carburo de tungsteno con un tamaño de grano de entre 0.4 - 1.4 micrones. Esta composición le brinda a la barrena una dureza de 92 HRA aproximadamente y una resistencia a la rotura de 3500 - 4000 MPa.

El diseño de la herramienta influye de forma determinante en la generación de calor durante el proceso de barrenado, específicamente el contorno de la hélice de la herramienta.

Existen dos tipos de diseño: el de cono invertido y uno más avanzado conocido como spade drill que disminuye el área de contacto entre la hélice de la herramienta y el material trabajado, minimizando la generación de calor. Ambos tipos de contorno se muestran en la siguiente figura.

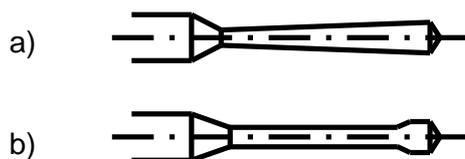


Figura 2- Variantes de diseños de la herramienta.

- a) Tipo Cono Invertido.  
b) Tipo Spade Drill

#### Material base.

El laminado más usado en nuestro país, y el que provoca mayor desgaste en la herramienta, para la fabricación de las PCI es el denominado FR-4 que está compuesto por varias capas de tejido de fibra de vidrio unidas entre sí y a los materiales conductores mediante resina epóxica. Los materiales conductores son laminas de cobre con espesores de 18, 35 y 70 micrones entre otros valores. A su vez el laminado puede ser simple cara, doble cara o multicapa en dependencia de la cantidad de láminas de material conductor que posea. La fibra de vidrio del que está compuesto el laminado es un material muy abrasivo que provoca un rápido desgaste de la herramienta, este desgaste será mayor o menor en dependencia del porcentaje de fibra que haya en el laminado, al aumentar el porcentaje de fibra de vidrio en el laminado aumenta el desgaste de la herramienta. Ocurre otro tanto al aumentar el espesor de la lámina conductora ya que el material utilizado en las herramientas se prefiere para materiales no metálicos aumentando considerablemente su desgaste al trabajar materiales metálicos.

#### Materiales de entrada y salida.

Los materiales de entrada son aquellos que se ponen del lado del paquete donde penetra la herramienta con el objetivo de [2]:

- Evitar la formación de rebaba.
- Disipar parte del calor generado por la barrena.
- Evitar daños al laminado.
- Evitar el pandeo de la herramienta.
- Limpiar la herramienta de residuos del barrenado.

Para cumplir estos objetivos los materiales de entrada deben tener las siguientes características:

- Ser duros.
- Poseer componentes metálicos.
- Ser lo suficientemente rígidos como para no copiar las irregularidades del material base.

Los materiales de salida son aquellos que se ponen en el fondo del paquete, donde termina la barrena su recorrido. Inicialmente este fue su único objetivo: un medio en el cual la barrena terminara su recorrido. Al pasar el tiempo se le fueron adicionando funciones hasta tener las siguientes:

- Tener un lugar donde la barrena termine su recorrido para no barrenar la mesa del taladro.
- Evitar la formación de rebaba.
- Disipar el calor generado por la barrena.
- Limpiar la barrena de residuos del barrenado.

- Evitar la contaminación del agujero al retirarse la barrena.

Para cumplir estos objetivos los materiales de entrada deben poseer las siguientes características:

- Ser duros.
- Poseer componentes metálicos.
- No poseer en su composición resinas de baja temperatura de fusión.

Todos los materiales de entrada y salida que no disipen calor y contengan resinas de baja temperatura de fusión contribuyen a disminuir la calidad del agujero barrenado.

### 3. Parámetros de la prueba.

Para esta prueba se mantuvieron constantes todas las variables del proceso, excepto la del número de agujeros a barrenar que es el parámetro analizado. Los parámetros fijos tienen los mismos valores que se utilizan en la producción:

#### Laminado.

- Tipo: Perstorp
- Doble Cara con 18 micrones de espesor de cobre y 1.6 mm de espesor total.
- Tejido de fibra de vidrio: Estilo 7628 aproximadamente 40% de fibra de vidrio.

#### Material de entrada y salida.

- Lamina de aluminio de 0.4 mm de espesor.
- Lamina de Fenólico de 1.5 mm de espesor.

#### Régimen de corte.

- Velocidad de corte: 165 m/min.
- Carga de viruta: 0.076 mm/rev
- Frecuencia de rotación del husillo: 43 000 r.p.m.
- Avance: 3.27 m/min.

#### Herramienta.

- Composición química:  
94 % de carburo de tungsteno con 1  $\mu\text{m}$  de tamaño de grano.
- Diámetro: 0,9 mm.
- Angulos:
 

De la punta	120 grados
De la faceta primaria	15 grados
De la faceta secundaria	30 grados
De la hélice	30 grados
- Forma: Cono invertido.

#### Otros.

- El paquete esta compuesto por 3 paneles de laminado de 1,6 mm de espesor, un material de entrada y uno de salida.
- Se barrenó según una matriz de 100 por 70 agujeros con sus columnas a 45 grados respecto a la fibra del laminado.
- La profundidad de penetración de la barrena en el material de salida fue de 0.7 mm.

#### Obtención de la muestra.

De los tres paneles barrenados, los paneles superior e inferior se limpiaron y se les depositó una capa de 30 micras de cobre con el objetivo de proteger las paredes del agujero. A los dos paneles se les removi6 8 muestras de 5-7 agujeros cada una correspondiendo a los agujeros 0, 1000, 2000, 7000 respectivamente marcándose adecuadamente con un número de dos dígitos. El primer dígito indica la posición del panel en el paquete y el segundo la posición de los agujeros en el panel:

- Primer dígito: 1, 3
- Segundo dígito: 0, 1, 2, ..., 7

Para la evaluación de la calidad del barrenado se tomó una muestra de 10 agujeros y se realizaron las siguientes mediciones y observaciones:

- Medición de la rugosidad de la pared del agujero. (10 mediciones en cada agujero)
- Medición de la altura de la rebaba en la lámina de cobre. (4 mediciones en cada agujero)
- Presencia de delaminación entre los tejidos de fibra de cristal.
- Presencia de delaminación entre la película de cobre del laminado y el tejido de fibra de cristal.[1]

La inspección de las muestras y medición de los defectos se realizó mediante la técnica de las microsecciones consistente en proteger los agujeros mediante su inmersión en resina polyester y una vez solidificada esta lijar la muestra hasta alcanzar el plano correspondiente al diámetro de los agujeros. En este plano es donde se realiza la medición y observación de los defectos.

Una vez realizados los pasos para hacer una microsección se analizaron las muestras, tomándose 5 mediciones de cada pared del agujero y tomándose 2-3 agujeros de cada serie obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 1.** Resultados de las microsecciones a 45 grados.

Muestra	Rugosidad media ( $\mu\text{m}$ )			Rebaba ( $\mu\text{m}$ )	
	Pared 1	Pared 2	Promedio	Entrada	Salida
10	29.50	14.00	21.70	2.00	-
11	26.00	16.30	21.10	3.00	-
12	26.00	11.50	18.80	6.00	-
13	23.80	14.80	19.30	8.00	-
14	22.90	16.50	19.70	7.00	-
15	22.50	16.70	19.60	9.00	-
16	26.20	16.20	21.40	9.00	-
17	28.10	24.00	26.00	7.00	-
30	25.60	13.00	19.30	-	2.00
31	30.00	22.10	26.10	-	4.00
32	20.70	17.40	18.90	-	5.00
33	25.20	22.80	24.00	-	5.00
34	27.00	20.20	23.60	-	5.00
35	27.50	22.20	24.80	-	6.00
36	39.10	19.10	29.10	-	7.00
37	24.10	17.60	21.10	-	7.00

Las microsecciones de referencia se hicieron con 45 grados respecto a las fibras del laminado ya que con esta posición coincide la porción del agujero de peor calidad.

La diferencia de calidad entre la porción de las paredes del agujero que está ubicada a 0 grados respecto a la fibra y la que está ubicada a 45 grados se observa claramente en la tabla 2.

**Tabla 2.** Comparación entre los resultados de las microsecciones a 0 y 45 grados.

Muestra	Rugosidad promedio a 0 grados ( $\mu\text{m}$ )	Rugosidad promedio a 45 grados ( $\mu\text{m}$ )	Diferencia ( $\mu\text{m}$ )
10	9.20	20.50	11.30
11	9.70	23.60	13.90
12	12.00	18.90	6.90
13	11.80	22.60	10.80

En ningún agujero se observó delaminación entre los tejidos de la fibra de vidrio de los laminados ni entre la fibra y las laminas conductoras.

#### 4. Discusión de los resultados.

Después de analizar los resultados obtenidos en el presente trabajo saltan a la vista algunos aspectos dignos de mencionar como:

- Las microsecciones a 45 grados arrojan que la calidad en esta porción es menor que en las microsecciones a 0 grados, manifestándose en un aumento de la rugosidad de 10 micrones promedio aproximadamente.
- En las microsecciones a 45 grados existe una marcada diferencia entre la calidad de ambas

paredes del agujero que fluctúa entre 6 y 12 micrones, fenómeno que se hace menos evidente en las microsecciones a 0 grados.

- No existe una relación lineal entre la vida útil de la herramienta y la calidad del agujero, observándose desde inicial unos valores de rugosidad relativamente altos.
- La magnitud de la rebaba se comportó en todos los casos por debajo de lo permisible y se observó una tendencia al aumento durante la prueba.
- No se observó en ninguna de las muestras delaminación entre los tejidos de aislante ni entre el aislante y las láminas de material conductor.

La magnitud de los defectos obtenidos en el presente trabajo es inferior a los valores recomendados por la norma IPC-A-600E como aceptables para Placas de Circuito Impreso doble cara metalizada clase III (Clase de calidad con mayores exigencias). Esta norma plantea que la rugosidad promedio en las paredes del agujero no debe ser mayor de 25  $\mu\text{m}$  y la altura de la rebaba en el cobre no debe ser mayor que el 1 % del diámetro. Por lo anterior es factible elevar la vida útil del as barrenas de circuito impreso desde 9000 hasta 15000 agujeros, pues en este punto le rugosidad media es menor de 25 micrones.

Además de la comprensión cabal de las funciones de los materiales de entrada y de los requisitos de diseño y tecnológicos exigidos para tarjetas simple cara, se permite sin inconvenientes de ninguna clase eliminar el material de entrada cuando se barrene este tipo de laminado, siempre y cuando esta operación se realice con el cobre hacia abajo y realizar el barrenado con barrenas que ya vencieron su vida útil en laminados doble cara.

#### 5. Conclusiones.

- La metodología implementada garantiza en las condiciones de las plantas de fabricación de circuitos impresos existentes en Cuba la determinación de la vida útil de las herramientas utilizadas en el barrenado de circuitos impresos mediante el método de la medición de parámetros en las paredes del agujero encapsulado.
- Las mediciones obtenidas muestran que es posible la elevación de la vida útil de la herramienta de 9000 a 15000 agujeros y que esta acción no provoca que la calidad del agujero rebase los límites de aceptación y por tanto su implantación es posible.
- De acuerdo a los requisitos tecnológicos que priman en la fabricación de tarjetas simple cara es

posible barrenar este tipo de tarjetas sin materiales de entrada y sin tener en cuenta la vida útil d la barrena.

## 6. Bibliografía.

- 1- Berlin, Alvin J., Drilled hole wall quality standards. Bare Board Drilling, Miller Freeman Inc. San Francisco, 1992.
- 2- Block, James P. The ideal hole. Bare Board Drilling, Miller Freeman Inc. San Francisco, 1992.
- 3- Coombs, Clyde F. Printed Circuit andbook. Third edition, McGraw-Hill, 1988.
- 4- Drilling guidelines for printed boards. IPC-DR-572, Institute for Interconnecting and Packging Electronic Circuits Illinois, EE.UU. August, 1988.
- 5- Acceptability of Printed Boards. IPC-A-600E. Institute for Interconnecting and Packging Electronic Circuits Illinois, EE.UU. August, 1995.
- 6- Kemmer Corporation. Drilling and Routing of Printed Circuit Boars with Kemmer solid carbide drills and routers, 1981.

---

## Determination of tools life in non-metallic materials drilling.

### Abstract

In the Printed Circuit Board (PCB) drilling, the tools of tungsten carbide are responsible of more than half of the drilling cost. Due to is necessary look for ways to elevate the drilling efficiency without affect hole quality a methodology for several drilling in a PCB is given in the present paper.

**Key words:** Drilling, non metallic materials, printe3d circuit board.