



Sistemas Embebidos, cómo pasar del diagrama esquemático al circuito impreso y no fracasar en el intento



Laboratorio de
Sistemas Embebidos



**FACULTAD
DE INGENIERIA**
Universidad de Buenos Aires



UTN.BA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES



Asociación Civil para la Investigación,
Promoción y Desarrollo de los
Sistemas Electrónicos Embebidos

Circuitos Impresos - Introducción

Ing. Juan Manuel Cruz

juanmanuel.cruz@hasar.com

Gerente de Ingeniería - Cia. Hasar SAIC

Profesor Asociado Ordinario - Técnicas Digitales II UTN FRBA

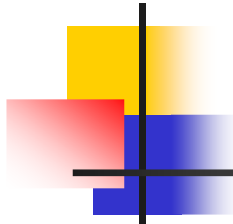
Profesor Adjunto Interino - Sistemas Embebidos FIUBA

ACSE - Laboratorio de Sistemas Embebidos FIUBA

Laboratorio Abierto UTN FRA

4º Jornadas de Sistemas Embebidos LSE – UTN FRA

UTN FRA – 16 y 17 de Noviembre de 2017



Temario

- De la ignorancia al conocimiento en cuatro etapas
- ¿Qué es un sistema embebido?
 - ¿Cuáles son sus requerimientos?
 - ¿Qué conocimiento se necesita?
 - ¿Qué más se necesita saber?
- Del diagrama esquemático al circuito impreso
 - Normas de referencia técnica
 - Normas del IPC (a tener en cuenta)
- El proceso de diseño del circuito impreso
 - Dibujo del Circuito Impreso (PCB)
- Referencias



De la ignorancia al conocimiento ...

- Etapa de la **ignorancia inconsciente**
 - **No sabemos** que hay cosas **que no sabemos**
- Etapa de la **ignorancia consciente**
 - **Sabemos** que hay cosas **que no sabemos** y **queremos aprenderlas**
- Etapa del **conocimiento consciente**
 - **Se aprende lo que uno no sabía** de forma consciente
- Etapa del **conocimiento inconsciente** o **incorporado**
 - **Se aprende lo que uno no sabía** de forma inconsciente

¿En que etapa de conocimiento del diseño de PCB cree Ud. estar?



¿Qué es un sistema embebido?

- Cuando hablamos de **sistemas embebidos** nos referimos a **equipos electrónicos** que incluyen **procesamiento de datos**
- A diferencia de una PC (en cualquiera de sus diversos formatos), los **sistemas embebidos** se diseñan para satisfacer una **función específica** (reloj digital, reproductor de MP3, teléfono celular, router, sistema de control de automóvil –ECU– o de satélite o de planta nuclear, etc.)
- Un **sistema embebido** es entonces un **sistema electrónico contenido** (“embebido”) **dentro de un equipo completo** que incluye otras partes (**mecánicas**, **electromecánicas**, etc.)
- Implica **desarrollar** simultáneamente **hardware** y **software**



¿Qué es un sistema embebido?

- En buena parte de las aplicaciones reales como **cerebro** de un **sistema embebido** se recurre a un **microcontrolador** (**SoC**: System-on-a-chip solution), o bien:
 - **DSP** (Digital Signal Processing)
 - **FPGA** (Field Programmable Gate Array)
 - **Microprocesador** (CPU con Memoria externa)
 - **ASIC** (Application-Specific Integrated Circuit)
- El **diseño** de un **sistema embebido** usualmente **se orienta a**:
 - **Reducir** su **tamaño**, su **consumo** y su **costo**
 - **Aumentar** su **eficiencia**, **confiabilidad** y **re-usabilidad**
 - **Mejorar** su **desempeño**
 - **Asegurar** su **determinismo** y su **tiempo de respuesta**
 - **Atender** la **mayor cantidad de tareas** posibles, **etc.**



¿Cuáles son sus requerimientos?

- Históricamente **sea cual fuese la función específica** del **sistema embebido** se ha requerido **contar con**:
 - Las **conectividades** en uso corriente (USB, Ethernet, Wifi, Bluetooth, Zigbee, etc.)
 - Las **interfaces de usuario** en uso corriente (display LED, touch screen, multimedia, etc.)
- Para cumplir tales requerimientos (en permanente evolución) se hace necesario contar con **plataformas** (micros/DSP/FPGA/ASIC/ etc.) de **rendimiento** y **recursos en crecimiento** que permitan atender el **incremento del procesamiento** necesario para soportar periféricos avanzados con capacidad de atender las nuevas **conectividades** e **interfaces de usuario** requeridas por el **mercado** (**usuarios**)

- **Potencia** = $P_{\text{estática}} + P_{\text{dinámica}} = K \times V + (C \times F \times V^2)/2$

16 y 17 de Nov. 2017

Ing. Juan Manuel Cruz

OJO!!!
+Calor
-Volumen



¿Qué conocimiento se necesita?

- **Tecnologías actuales** de microcontroladores de 32 bits
- **Ingeniería de Software**, que sirvan para organizar el ciclo de vida de un proyecto y mejorar la eficiencia del trabajo en equipo
- **Modelos**, soluciones utilizando diagramas y notaciones de uso más frecuente (Diagramas de Estado, de Actividad, etc.)
- **Lenguaje C** (C++ / Java / etc.), con y sin un **sistema operativo de tiempo real (RTOS)**, empleando técnicas de programación específicas para lograr **eficiencia, confiabilidad y re-usabilidad**
- **Circuitos de apoyo e interfaz**
- **Documentar** relacionados a un desarrollo de ingeniería
- Consolidar los conocimientos teóricos mediante la **práctica debida**



¿Qué más se necesita saber?

Elije un trabajo que ames y no tendrás que trabajar un día de tu vida.

Confucio

- Que existen algunos lineamientos a seguir (**como en juegos**):
 - **Simpleza** (**KISS** "Keep It Simple, Stupid")
 - **Excelencia** (**DFE** "Design for Excellence")
 - **Documentarse debidamente** antes de comenzar el diseño
 - **Método de trabajo** (contar con uno)
- Los **sistemas embebidos** son **herramientas** que permiten ofrecer **soluciones a aplicaciones antes resueltas** mediante el uso de **otras tecnologías/técnicas**
- Sepamos que puede ser necesario recurrir al auxilio de expertos en disciplinas muy específicas relacionadas a la aplicación



Del esquemático al circuito impreso

- Debido al permanente avance tecnológico hoy los proyectos, diseños y sus respectivos prototipos (eléctricos, electrónicos y electromecánicos) **crecen** en **complejidad**, **exigencia** y **especificaciones**
- Es responsabilidad del **diseñador** del circuito impreso **lograr la efectividad** en la generación de un **producto** (solución)
- Su labor puede ir desde **disminuir la funcionalidad** de la aplicación debido a técnicas de layout inapropiadas, hasta **mejorar** su desempeño en condiciones adversas, **reducir** requerimientos adicionales, **robustecer** la aplicación, darle **valor agregado** a dicha solución generando las condiciones que le permitan acceder a mercados internacionales, logrando un **producto** completamente **documentados** y **competitivo**



Del esquemático al circuito impreso

- Para pasar de un **diagrama esquemático** a un **circuito impreso confiable** de **simple fabricación, armado y prueba** es preciso recurrir a **normas técnicas de referencia**, pues se deben tener en cuenta:
 - Consideraciones relativas a **ubicación de componentes, Compatibilidad electromagnética, Formas y dimensiones de pistas, Manejo térmico**, etc.
- Tales normas son emitidas por entidades internacionales como la **IEC** (Internacional Electrotechnical Commission) y la **IPC** (Association Connecting Electronic Industries, asociación de industrias relacionadas con interconexión electrónica y la **máxima autoridad** en lo que tiene que ver con el **diseño de circuitos impresos en el mundo**). **Capacitarse en su uso**

OJO!!!

No basta
con
conectar



Normas de referencia técnica

- La **aplicación** de normas del **IPC** garantiza el **buen funcionamiento** electrónico del **producto final** (siendo de obligatorio cumplimiento para el acceso en algunos países)
- Son **estándares**, **guías** desarrolladas **por diseñadores** de PCB, **fabricantes** y **ensambladores** de módulos electrónicos; elaboradas **para diseñadores**, que ayudan en el proceso de:
 - Entender los **conceptos básicos** para diseñar circuitos
 - Diseñar para la manufacturabilidad (**DFM**), diseñar para hacer “**pruebas & mediciones**” y diseñar para que el resultado sea amigable con el medio ambiente (**DFE**)
 - Minimizar el **tiempo de lanzamiento** al mercado de un producto
 - **Formación** como profesional en diseño y ensamble
 - Obtención de un **excelente** producto final
 - Generación de **métodos** de realimentación y **mejora** de diseños



Normas del IPC (a tener en cuenta)

- Los estándares básicos contienen información sobre:

- Diseño de Layout
- Consideraciones eléctricas y térmicas
- Especificaciones de materiales
- Especificaciones de componentes
- Requerimientos de ensamble y montaje
- Aspectos de fabricación de PCB
- Características físicas de PCB
- Documentación
- Inspección y prueba
- Confiabilidad

OJO!!!

Considerando todo esto

Estamos en la etapa de la **ignorancia **consciente****

Sabemos que hay cosas que **no sabemos y queremos aprenderlas**

¿O me equivoco?

- Los estándares a tener en cuenta son:

- **IPC 2221A** Generic Standard on Printed Board Design
- **IPC 2222** Sectional Standard on Rigid PWB Design



Normas del IPC (a tener en cuenta)

- **IPC 2251** Design Guide for the Packaging of High Speed Electronic Circuits
- **IPC 2152** Standard for Determining Current-Carrying Capacity in Printed Board Design
- **ANSI/IPC A-610D** Acceptability of Electronic Assemblies
- **IPC HDBK-610** Handbook and Guide to IPC-A-610
- **ANSI/IPC A-600G** Acceptability of Printed Boards
- **IPC 6212** Sectional Requirements for Electronic Diagramming Symbol Generation Methodology
- **IPC 7251** Generic Requirements for Through Hole Design and Land Pattern Standard
- **IPC 7351A** Generic Requirements for Surface Mount Land Pattern and Design Standard (INCLUDES LAND PATTERN VIEWER SOFTWARE)
- **IPC 7525A** Stencil Design Guidelines
- **IPC 9592** Requirements for Power Conversion Devices for the Computer and Telecommunications Industries
- **IPC C-406** Design and Application Guidelines for Surface Mount Connectors



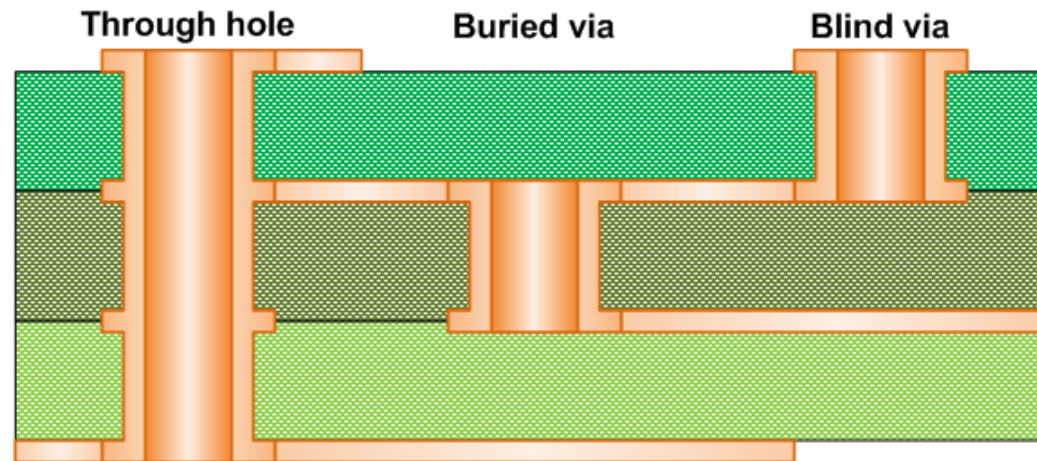
Normas del IPC (a tener en cuenta)

- Para aplicar adecuadamente las normas (por ejemplo para circuitos impresos rígidos orgánicos), es fundamental clasificar al producto por:
 - Clases de **rendimiento**:
 - Clase **1** "Productos de **electrónica general**"
 - Clase 2 "Productos electrónicos de servicio dedicado"
 - Clase 3 "Productos electrónicos de alta confiabilidad"
 - Nivel de **productividad**:
 - Nivel A "Diseño de complejidad general" (preferido)
 - Nivel **B** "Diseño de complejidad moderada" (**estándar**)
 - Nivel C "Diseño de complejidad alta" (reducido)

Normas del IPC (a tener en cuenta)

- Tipo de **placa**

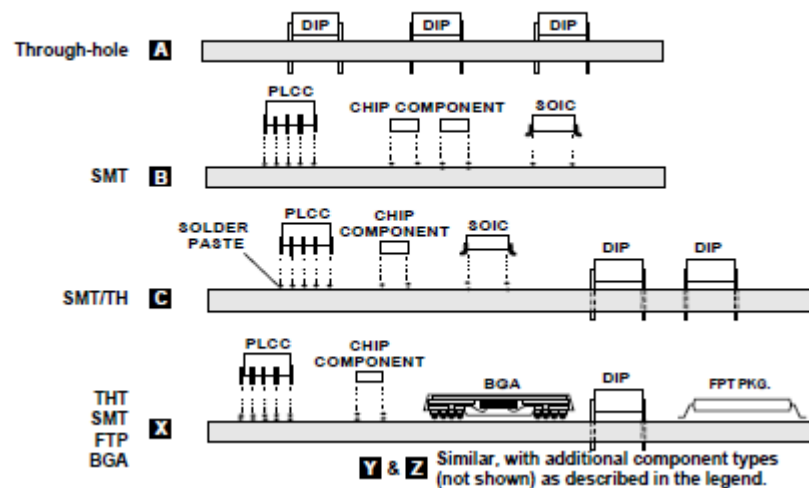
- Tipo 1 "Simple faz"
- Tipo 2 "Doble faz"
- Tipo 3 "Multicapa sin vías **ciegas** o **enterradas** (**blind** or **buried**)"
- Tipo 4 "Multicapa con vías vías ciegas y/o enterradas"
- Tipo 5 "Multicapa de núcleo metálico sin vías ciegas o internas"
- Tipo 6 "Multicapa de núcleo metálico con vías ciegas y/o enterradas"



Normas del IPC (a tener en cuenta)

■ Tipos de **ensamblado**

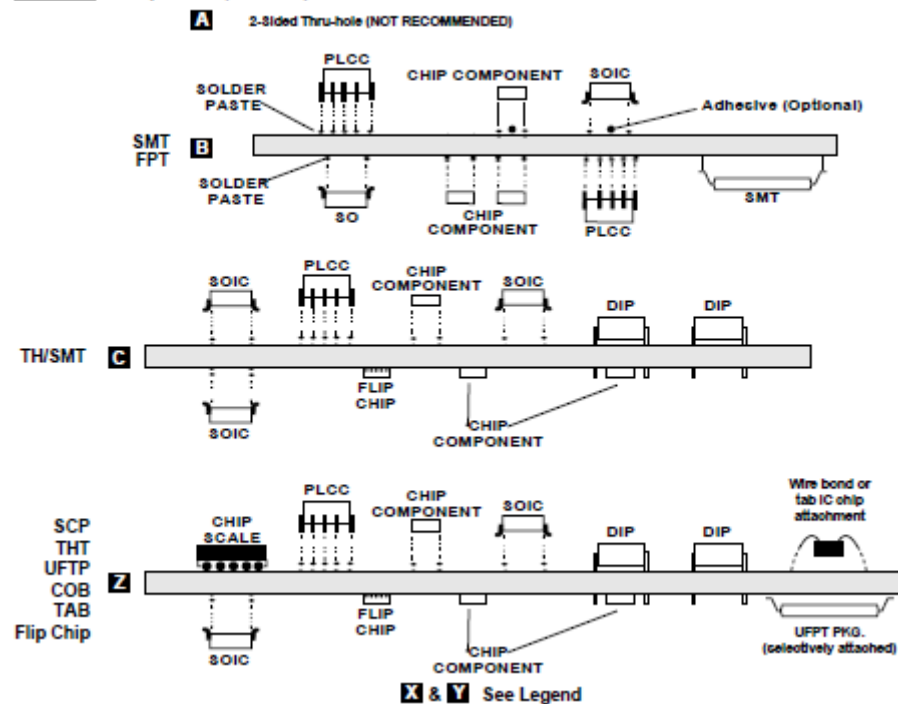
Type 1 Components (mounted) on only one side of the board



Legend:

Class A = Through-hole component mounting only
 Class B = Surface mounted components only
 Class C = Simplistic through-hole and surface mounting intermixed assembly
 Class X = Complex intermixed assembly, through-hole, surface mount, fine pitch BGA
 Class Y = Complex intermixed assembly, through-hole, surface mount, ultra fine pitch, chip scale
 Class Z = Complex intermixed assembly, through-hole, ultra fine pitch, COB, flip chip, TAB

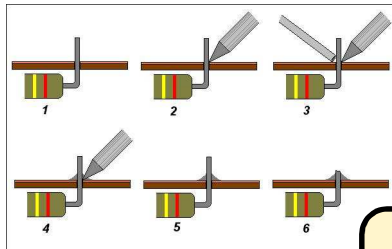
Type 2 Components (mounted) on both sides of the board



Normas del IPC (a tener en cuenta)

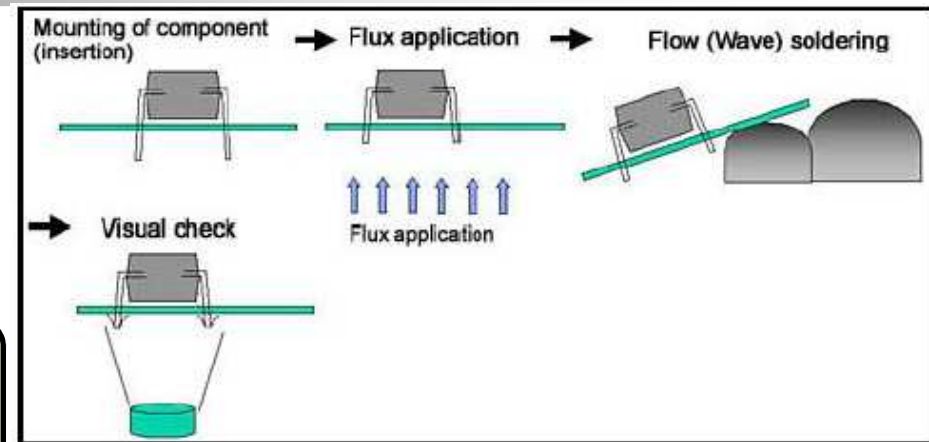
■ Tipos de soldadura

- PTH x ola
- SMD x ola
- SMD x refusión

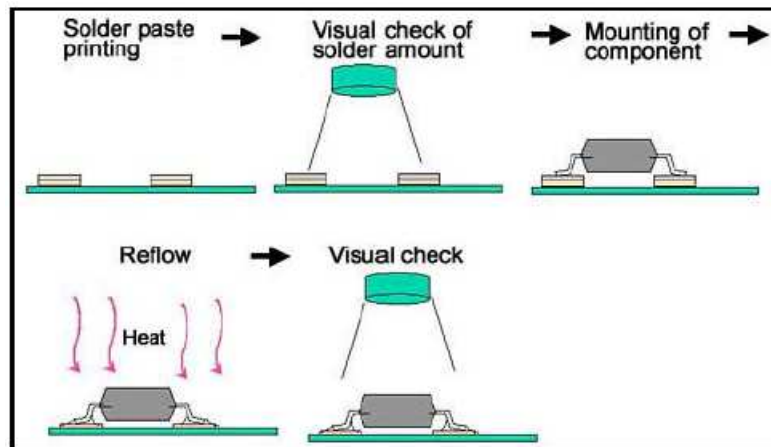


OJO!!!

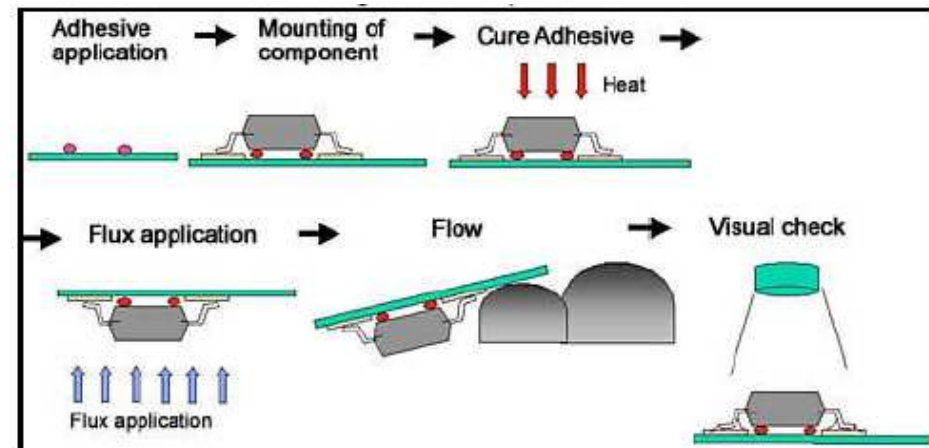
¿Cómo se mueve el calor?



Through-hole Wave Soldering



SMD Reflow Soldering



SMD Wave Soldering



Normas del IPC (a tener en cuenta)

- **EMC** (ElectroMagnetic Compatibility)

- Los circuitos integrados digitales de **alta velocidad** operan a frecuencias en que los componentes **pasivos** (PCB, capacitores de desacoplamiento, conexiones de PCB, encapsulados de los componentes, ...) **no** se pueden considerar **ideales**, sino **con** elementos **parásitos** (inductancia, resistencia, ...)
- Debido a que sus **impedancias** dependen de la **frecuencia**, los niveles de **emisión** generados por las **caídas** de **tensión** y **corriente** **no** puede ser **compatible** con las diferentes **normas EMC**
- Es **imposible predecir el cumplimiento** de un sistema pero es **posible reducir el riesgo** mediante la **aplicación** de algunas **reglas** y **técnicas de diseño** en la mayoría de aplicaciones
- Lo que se puede es **listar** los principales puntos que pueden **degradar EMC** así como algunas **técnicas** básicas que pueden ayudar a **reducir** los niveles de **emisión** y **endurecer** el sistema electrónico



Normas del IPC (a tener en cuenta)

- **EMC**: Compatibilidad Electromagnética, **capacidad** de un producto para **convivir en su entorno electromagnético** determinado **sin causar o sufrir degradación funcional o daños**
- **EMI**: Interferencia Electromagnética, **proceso** por el cual la **energía electromagnética** perturbadora **se transmite** de dispositivo electrónico a otro **por caminos, radiadas o conducidas** o ambos
 - **Radiada**: Energía transmitida **por el aire** a través de **antenas** o **lazos**
 - **Conducida**: Energía transmitida **a través de un medio sólido**, como **cables, conexiones** de PCB, **encapsulados** de los componentes,
- Elementos en modelo de EMC p/analizar/comprender problema de EMC
 - Una **fuentes de ruido** (que genera una perturbación electromagnética)
 - La **víctima** (dispositivo electrónico q/recibe la perturbación q/provoca falla)
 - Una **ruta de acoplamiento**, (medio q/transmite la energía de la fuente de ruido a la víctima)

Normas del IPC (a tener en cuenta)

- Una **fente de ruido** conduce una corriente $i(t)$, que fluye por la rama de **acoplamiento** izquierda (conexión PCB por ejemplo) provocando caídas de tensión. La perturbación de tensión se transmite a la **víctima** por la rama de **acoplamiento** derecho, puede causar **fallas** si el nivel es suficientemente alto
- **Modos** (caminos) de **acoplamiento**
 - **Conducido** (corriente eléctrica)
 - **VCC/GND/Señales**
Modo Común/Diferencial
 - **Reactivo**
 - **Inductivo** (campo **magnético**)
Grandes corrientes
 - **Capacitivo** (campo **eléctrico**)
Grandes tensiones
 - **Radiado** (campo **electromagnético**)
- Para mejorar la **calidad** del **diseño EMC** debemos **analizar su entorno EMC**

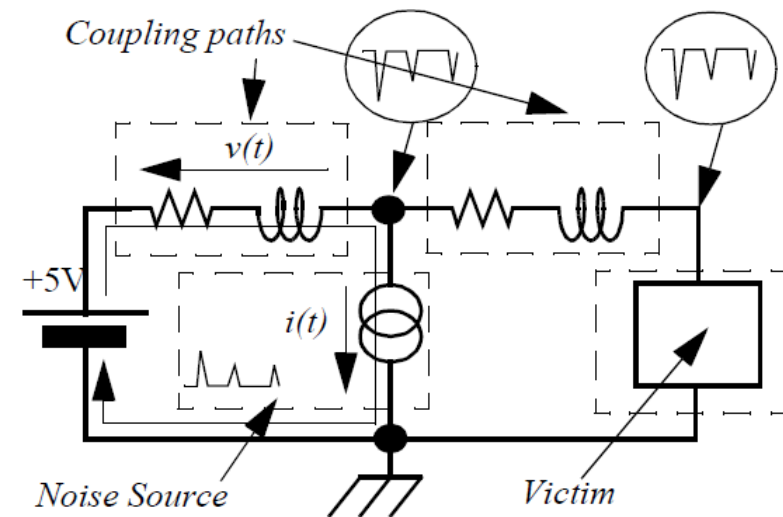


Figure 1. Elements of EMC environment

Normas del IPC (a tener en cuenta)

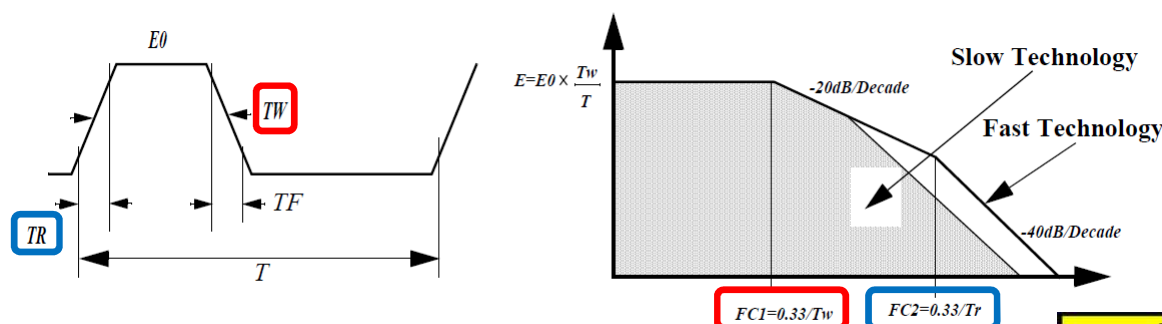


Figure 2. Spectrum of the trapezoidal signal for a fast and slow technology

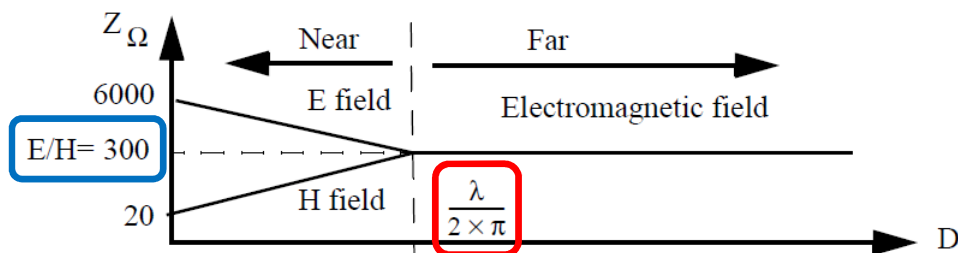
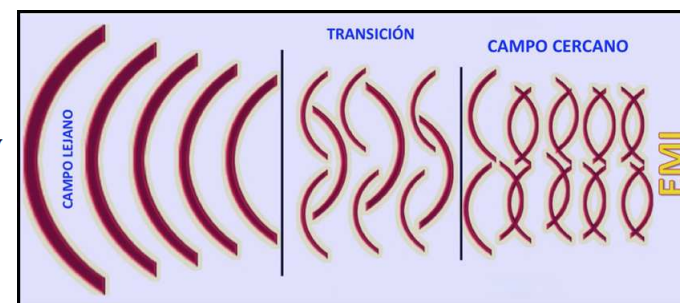


Figure 3. Far and near field conditions

TABLA 2: LIMITES PARA EL CAMPO LEJANO EN CEM					
FRECUENCIA	UNIDADES	SEGÚN $\lambda/2\pi$		SEGÚN $5\lambda/2\pi$	
		LÍMITES	UNIDADES	LÍMITES	UNIDADES
50	Hz	955	Km	4.775	Km
1	kHz	47,7	Km	238,7	Km
9	kHz	5,31	Km	26,5	Km
32	kHz	1,49	Km	7,46	Km
100	kHz	477	m	2,39	Km
150	kHz	318	m	1,59	Km
1	MHz	47,7	m	239	m
10	MHz	4,77	m	23,9	m
30	MHz	1,59	m	7,96	m
50	MHz	0,95	m	4,77	m
100	MHz	47,7	cm	2,39	m
200	MHz	23,9	cm	1,19	m
300	MHz	15,9	cm	79,6	cm
500	MHz	9,55	cm	47,7	cm
900	MHz	5,31	cm	26,5	cm
1	GHz	4,77	cm	23,9	cm
1,8	GHz	2,65	cm	13,3	cm
2	GHz	2,39	cm	11,9	cm
3	GHz	1,59	cm	7,96	cm
6	GHz	7,96	mm	39,8	mm

El Proceso de Diseño del PCB

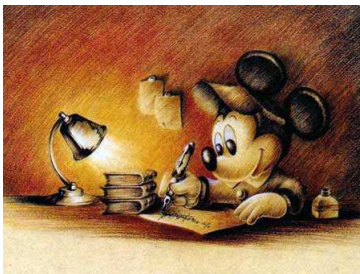
- El **objetivo** del proceso de diseño de PCB es diseñar un PCB, incluyendo todos sus circuitos activos, que:

- **Funcionen correctamente en todo el rango de variación normal de los parámetros de sus componentes:**



- Valores / Velocidades
- Rangos de temperatura
- Rangos de tensión de alimentación
- Tolerancias de fabricación

- **Producir** toda la **documentación** y los **datos** necesarios para:



- **Fabricar** / **Ensamblar** / **Probar**
- Solucionar problemas del PCB **desnudo** y del PCB **ensamblado**



El Proceso de Diseño del PCB

- **Hacer menos** que esto nos expone a:
 - Pérdidas de rendimiento
 - Incremento de costos de fabricación
 - Funcionamiento inestable
- **Hacerlo bien** implica:
 - Diseñar un proceso compatible con el producto final
 - Seleccionar herramientas de diseño con prestaciones de control y análisis
- Seleccionar un **sistema** de **materiales** y **componentes compatible**

OJO!!!

**Consolidar lo aprendido
mediante la práctica debida**

Pasos del Proceso de Diseño

- Comienza con las **especificaciones** del **producto final deseado**
- Culmina en el **almacenamiento** de la base de **datos de diseño** (que posibilite modificaciones de diseño a posteriori o bien la regeneración de los documentos de soporte a la producción en curso)
- Este proceso recurre a herramientas informáticas desarrolladas para asegurar un “**diseño correcto desde el primer momento**”
- El proceso básico es el mismo, ya sea para PCB **analógicos** o **digitales**
- Las **diferencias** en el proceso de diseño para las dos clases de PCB se centran en torno a las diferencias en la **complejidad** de estos dos tipos de circuitos (ya abordadas)

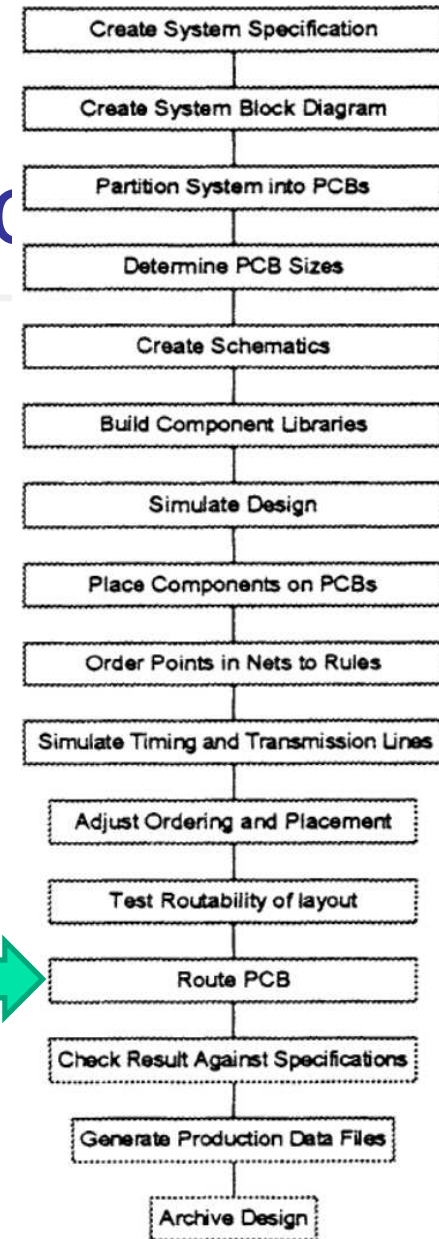


FIGURE 14.1 PCB design process steps. 24



Herramientas Informáticas

- Las **herramientas informáticas** han evolucionado, automatizan o mejoran la velocidad y precisión de c/u de los pasos del **proceso de diseño** de PCB. Se agrupan en:
 - Herramientas **CAE** (computer-aided engineering)
 - Herramientas **CAD** (computer-aided design)
 - Herramientas **CAM** (computer-aided manufacturing)
- Permiten mantener **vinculados** los dibujos del **Esquema Eléctrico** y **Circuito Impreso** (**sincronizados**), pudiendo efectuar cambios durante el proceso de diseño o a posteriori a causa de revisión (incluso a partir de cualquiera de ellos)
- **Metodología de trabajo** que asegura la **portabilidad** del **diseño** permitiendo el **posterior aprovechamiento** parcial o total del mismo (**re-uso**)

OJO!!!

Portabilidad =>
re-uso



Dibujo del Esquema Eléctrico (SCH)

- En base a la especificación del sistema crear un **diagrama de bloques** de sus **principales funciones**, cuyo objetivo es mostrar:
 - **Cómo se ha particionado el sistema**
 - **Cómo se relacionan sus funciones principales entre si**
- Crear esquema de **conexiones detalladas** entre los componentes seleccionados **de cada bloque**, cuyo objetivo es mostrar:
 - **Cómo se relacionan sus componentes entre si**
- **Adecuar** cada **componente** al que usará **realmente**:
 - **Extraer** un componente similar de las bibliotecas de su CAD
 - **Copiarlo** en una **biblioteca** o "Library" creada especialmente para este diseño **particular**
 - **Modificarlo** hasta **cumplir 100%** con su **hoja de datos** (**respetando nombre, número y función** de cada **conexión**)
 - Al modificarlo **respetar** las **ER** o "**Electrical Rules**"

OJO!!!

≠ a hoja
de datos

=>

Problemas



Dibujo del Esquema Eléctrico (SCH)

OJO!!!

conexiones
críticas
producen
problemas

- Identificar las **conexiones críticas** asignándoles nombres que las destaque (posibles **fuentes** o **víctimas** de **EMI**, tales como: alimentación, tierra, señales de conmutación, etc.)

Aplicar el **ERC** o "**Electrical Rules Check**" a medida que se avanza en el dibujo y ver que el dibujo lo pasa OK

- Generar la lista de conexiones eléctricas o "**Netlist**"
- Verificar que las conexiones del esquema eléctrico coinciden con la lista de conexiones eléctricas o "**Netlist**" generado
- Para estar seguro de un diseño llevará a cabo su función prevista en todo el rango de condiciones, es conveniente realizar alguna forma de **verificación del diseño mediante sintetizadores / simuladores / emuladores / analizadores de circuitos**

OJO!!!

Verificacio
nes evitan
problemas



Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

OJO!!!

Mecánica
condicio-
na lo
eléctrico

OJO!!!

Hacerlo al
principio
evita
problemas

OJO!!!

Trabajar
en grilla lo
facilita
todo

- Comenzar por el **contorno** de la placa y **calados** (**cotas mecánicas** y **puntos de sujeción**)

- **Dimensionar de acuerdo a la especificación del sistema**
- **Dejar una banda sin cobre en los bordes de la placa**

Adecuar cada **componente** al que usará **realmente**:

- **Extraer** un componente similar de las bibliotecas de su CAD
- **Cópielo** en una **biblioteca** o "Library" creada especialmente para este diseño **particular**
- Modificarlo hasta **cumplir 100%** con estándares del **IPC** (**PTH: IPC 7251, SMT: IPC 7351**)
- Al modificarlo **respetar** las **DR "Design Rules"**

Determinar Grillas (**IPC 7215 & IPC 7351 & Specs** del Fabricante del PCB) para:

- Posicionar **Componentes** // Posicionar **Trazas, Pads** y **Vías**



Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

OJO!!!

Hacerlo al
principio
evita
problemas

- **Determinar Dimensiones Adecuadas (IPC 2152):**
 - De **Trazas** (**transportar corriente, calor**)
 - De **Pads** y **Vías** (perforaciones con dimensión de perforado final, **acotar la variedad de perforados**)
 - De **Textos** (relación altura/ancho de la traza, **legible**)

Determinar Separación Mínima (IPC 7215 & IPC 7351):

- Entre **Trazas**, **Pads** y **Vías** (**disrupción, fabricar**)
- Entre **Componentes** (**montar, soldar**)

OJO!!!

Bloque a
bloque se
facilita
todo

- Dividir el dibujo en **bloques funcionales** o **áreas de trabajo**:
 - **Resolver un bloque a la vez comenzando** por las **conexiones críticas** (posibles **fuentes** o **víctimas** de **EMI**, tales como: tierra alimentación, señales de conmutación, etc.). Ayudarlas recurriendo a **Planos de Tierra**
 - **Disposición de Componentes** para **minimizar EMI**, **optimizar el trazado** y **enfriamiento** de Componentes que generan **Calor**



Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

OJO!!!

Dibujar
ordenada
mente
evita
problemas

- **Orientar & Alinear** en **patrones simétricos ortogonales**: **Componentes, Trazas, Vías & Textos**, pues facilita: proceso de **soldadura**, **localización** de componentes, **lectura** de textos, **re-dibujo** y **re-uso** parcial o total del diseño
- **Colocar fiduciales** (marcadores) p/montaje automatizado
- **Colocar test points & patterns** p/verificación & puesta a punto
- **Evaluar Ruteabilidad** (**rats-nest**) p/acotar N° de capas (**layers**)
- **Acotar**: la **frec. máxima** del sistema/enlaces, la **longitud** del trazado, el **número** de vías, efecto de los **lazos magnéticos**
- **Proveer vínculo de conexión concentrado** e/fuente y cargas (**sintonizar** capacitores de **desacople**)
- **Terminado** un bloque **reubicarlo** (adyacentes x interacción)
- **Terminados** los bloques **interconectarlos** y **Revisión General**
- Aplicar el **DRC "Design Rules Check"** a medida que avanza en el dibujo y vea que su dibujo lo pasa



Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

OJO!!!

Verificacio
nes evitan
problemas

- Para estar seguro de un diseño llevará a cabo su función prevista en todo el rango de condiciones, es conveniente realizar alguna forma de **verificación el ruteo mediante simuladores** (predictores) / **analizadores de circuitos**:

- **Temporización / Integridad de señal**
 - **Líneas de transmisión**: **retardos** / **reflexión**
 - **Ajustes de disposición**
 - **Adaptación de impedancia** (terminaciones)
- **Calor**

- **Verificar** dibujo **libre de**:

- **Superposición** entre **componentes**
- **Superposición** entre **soldadura** & **pintura**
- **Superposición** entre **planos de tierra** diferentes
- **Desequilibrio** entre **conexiones** de **pads** opuestos
- **Trazas** salientes **más anchas** que el **pads** del que salen
- **Areas de cobre sin conectar**

OJO!!!

Verificacio
nes evitan
problemas



Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

- **Panelizar** el PCB (determinar **tipo de corte** de placas)

OJO!!!

**Panelicar
minimiza
costos**

- El costo final de un PCB deviene del **número de capas** y la **cantidad de placas** que entren en el tamaño de los **paneles** de fabricación **estándar** (**maximizar aprovechamiento del panel**)
- Para la mayoría de los fabricantes de PCB éste tamaño es de **18" x 24"** (457,2mm x 609,6mm) con una superficie útil de 16,5" x 22,5" (419,1mm x 571.5mm). Usado para **PCBs multicapa de 6 o más capas** mediante "**pin lamination**"
- Muchos **PCB de 4 capas** se fabrican en oriente mediante "**mass lamination**" con tamaños de paneles de **36" x 48"** (4 veces un panel "estándar")

OJO!!!

**Verificacio
nes evitan
problemas**

Generar y verificar **Archivos de Manufactura** (**Gerber**/otros):

- Archivos de impresión fotográfica, Archivos de pick-and-place
- Archivos de prueba del placas desnudas y pobladas
- Dibujos y listas de materiales necesarios para la fabricación real

Generación de Archivos de Manufactura

TABLE 14.1 A Typical Collection of Design Files Sent to a PCB Fabricator

File name	File contents
BBBBpCCC.arc*	Arc file of Gerber files containing:
applist.p	List of photoplot apertures for artwork
ly1 thru lyx.ger	Gerber photoplot data for x PCB layers
topmsk.ger	Gerber photoplot data for top solder mask
botmsk.ger	Gerber photoplot data for bottom solder mask
topslk.ger	Gerber photoplot data for top silk screen
botslk.ger	Gerber photoplot data for bottom silk screen
pc_356.out	IPC 356 data for blank PCB netlist testing
name0.rep	Drill allocation report for plated holes
name0.prf	Excellon drill file for all plated holes
name1.rep	Drill allocation report for all nonplated holes
XX.XX.fab	Fabrication drawing in HPGL format, sheet XX of XX

* BBBBpCCC is the part number of the PCB.

TABLE 14.2 A Typical Collection of Design Files Sent to a PCB Assembler

File name	File contents
BBBBaCCC.arc*	Arc file of all assembly data containing:
applist.a	Aperture list for plotting paste mask
readme.asy	Readme file describing assembly
tpstmsk.ger	Gerber photoplot data for top paste mask
bpstmsk.ger	Gerber photoplot data for bottom paste mask
BBBB-CCC.dbg	Mfg. output, data format info.
BBBB-CCC.dip	Mfg. output, x-y loc. dip components
BBBB-CCC.log	Mfg. output, component log.
BBBB-CCC.man	Mfg. output, x-y loc. manual insert components
BBBB-CCC.smt	Mfg. output, x-y loc. top smt components
BBBB-CCC.smb	Mfg. output, x-y loc. bottom smt components
BBBB-CCC.unp	Mfg. output, parts not mounted
BBBB-CCC.vcd	Mfg. output
XX_XX.asy	Assembly drawing in HPGL format, sheet XX of XX
XX_XX.fab	Fabrication drawing in HPGL format, sheet XX of XX

* BBBBaCCC is the part number of the assembly.

OJO!!!

¿Qué,
cómo,
cuándo,
quién,
dónde y
porqué o
para qué?

Recordar que:

- El desarrollo del producto se basa en el “**Design For Excellence**”
- Cada **desarrollador** de producto tiene su propio **equipamiento** y **método/s** de desarrollo que **acotan su capacidad de desarrollo**
- El producto desarrollado dependerá fuertemente del **contexto** en que se lleve a cabo su desarrollo y posterior producción



Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

- Para garantizar el éxito de la tarea será necesario:

OJO!!!

Lo usual
es un
prototipo
en
3 intentos

- **Prototipo/s**

- Fabricación del PCB => **industrial**
- Montaje & soldadura de componentes => ~~industrial~~/**manual**
- **Ajustes** al diseño

OJO!!!

Aunque
debería
ser un
producto
en
3 intentos

- **Producción** piloto

- Fabricación del PCB => **industrial**
- Montaje & soldadura de componentes => **industrial**/~~manual~~
- **Ajustes** al diseño

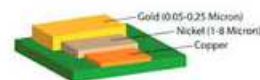
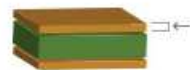
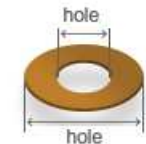
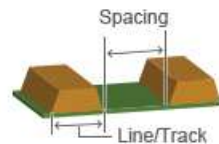
- **Producción** definitiva

- **Ajustes** al diseño

Dibujo del Circuito Impreso (PCB)



1.6mm (Default)



PCB Board Thickness

0.4mm, 0.6mm, 0.8mm, 1.0mm, 1.2mm, 1.6mm, 2.0mm, 2.4mm
Please contact us if your board exceeds these.

Min Track/Spacing

Min. Line Spacing & Min. Line Width: 4/4mil 5/5mil 6/6mil ↑

Min Hole Size

0.2mm 0.25mm 0.3mm ↑

Silkscreen

White, Black, None

Finished Copper

1oz/2oz/3oz(35μm/70μm/105μm)

Inner Layer Copper Thickness:1oz/1.5oz(35μm/50μm)

Surface Finishing

HASL with lead,HASL lead free,Immersion gold,Hard Gold ,OSP...



Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

TECNOLOGIA	12 MILS	10 MILS	8 MILS	6 MILS
DIAMETRO DE AGUJERO	28 (0.70 mm)	20 (0.50 mm)	16 (0.40 mm)	16 (0.40 mm)
DIAMETRO DE PAD O VIA	50 (1.27 mm)	40 (1.00 mm)	32 (0.80mm)	28 (0.70 mm)
ANCHO DE TRAZA	12 (0.30mm)	10 (0.25 mm)	8 (0.20 mm)	6 (0.15mm)
SEPARACION ENTRE TRAZAS	12 (0.30mm)	10 (0.25 mm)	7 (0.18 mm)	6 (0.15mm)
SEPARACION ENTRE TRAZA Y PAD/VIA	10 (0.25 mm)	8 (0.20 mm)	6 (0.15mm)	6 (0.15mm)
DISTANCIA DE COBRE A BORDE	12 (0.30mm)	12 (0.30mm)	12 (0.30mm)	12 (0.30mm)
ALTURA - TRAZO DE LETRAS	48 - 8	36 - 6	30-5	30-5

Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

Saturn PCB Design, Inc. - PCB Toolkit V6.86 - www.saturnpcb.com

File Program Function Tools Help Contact Saturn PCB Design, Inc.

Conductor Spacing Conductor Impedance Conversion Data Planar Inductors Plane Calculator Thermal

Fusing Current Embedded Resistors PPM Calculator Crosstalk Calculator Wavelength Calculator Er Effective

Via Properties Conductor Properties Bandwidth & Max Conductor Length Differential Pairs Padstack Calculator Mechanical Information

Conductor Characteristics

Solve For:

☒ Amperage

☐ Conductor Width

Parallel Conductors?

☒ No

☐ Yes

Plane Present?

☒ No

☐ Yes

Conductor Width: 85 mils

Conductor Length: 1000 mils

PCB Thickness: 62 mils

Frequency: 1 MHz

Options:

Base Copper Weight:

☒ 0.25oz

☒ 0.5oz

☐ 1oz

☐ 1.5oz

☐ 2oz

☐ 2.5oz

☐ 3oz

☐ 4oz

☐ 5oz

Units:

☒ Imperial

☐ Metric

Substrate Options:

Material Selection:

FR-4 STD

Et: 4.6

Tg (°C): 130

Plating Thickness:

☒ Bare PCB

☒ 0.5oz

☐ 1oz

☐ 1.5oz

☐ 2oz

☐ 2.5oz

☐ 3oz

Plane Thickness:

☒ 0.5oz / 1oz

☐ 2oz

Conductor Layer:

☐ Internal Layer

☒ External Layer

Temp Rise (°C): 10

Temp in (°F) = 18.0

Ambient Temp (°C): 22

Temp in (°F) = 71.6

Press Solve

Print Solve

Information:

Total Copper Thickness: 1.40 mils

Via Thermal Resistance: N/A

Via Count: 10

Conductor Temperature: N/A

Temp in (°C) = 32.0

Temp in (°F) = 89.6

Via Voltage Drop: N/A

Skin Depth: 2.59867 mils

Power Dissipation: 0.05164 Watts

Conductor DC Resistance: 0.00607 Ohms

Skin Depth Percentage: 100%

Power Dissipation in dBm: 17.1295 dBm

Conductor Cross Section: 117.04 Sq.mils

Voltage Drop: 0.0177 Volts

Conductor Current: 2.9160 Amps

The Result

SATURN PCB DESIGN, INC.

Turnkey Electronic Engineering Solutions

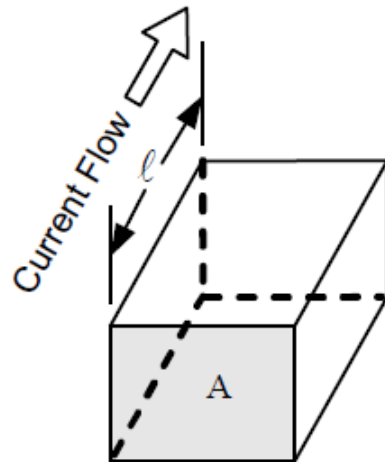
Follow Us

f t in g+

Enter the signal frequency in the conductor.

Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

Sample Resistance Calculation



$$R = \frac{\rho l}{A}$$

$\rho = \text{resistivity}$

Material	$\mu\Omega\text{-cm}$	$\mu\Omega\text{-in}$
Copper	1.70	0.67
Gold	2.2	0.87
Lead	22.0	8.66
Silver	1.5	0.59
Tin -Lead	15	5.91
Palladium	11	4.3

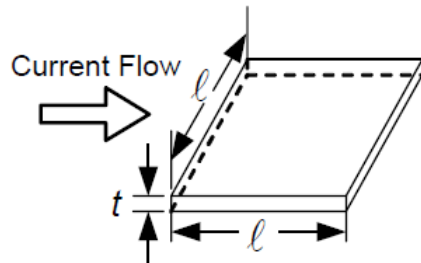
Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

Count Squares to Estimate Trace Resistance

Vias Have Resistance Too

◆ Copper resistivity is $0.67 \mu\Omega$ in. at 25°C and doubles for 254°C rise

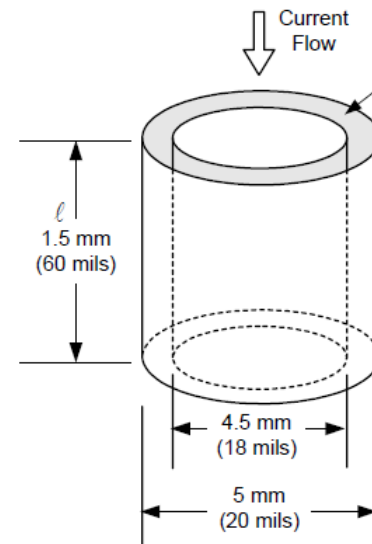
◆ Typical rule of thumb is 1 A to 3 A per via



$$R = \frac{\rho(\ell)}{t(\ell)}$$

$$R = \frac{\rho}{t}$$

Copper Weight (Oz.)	Thickness (mm/mils)	mΩ per Square (25°C)	mΩ per Square (100°C)
1/2	0.02/0.7	1.0	1.3
1	0.04/1.4	0.5	0.65
2	0.07/2.8	0.2	0.26



$$R = \frac{\rho l}{A}$$

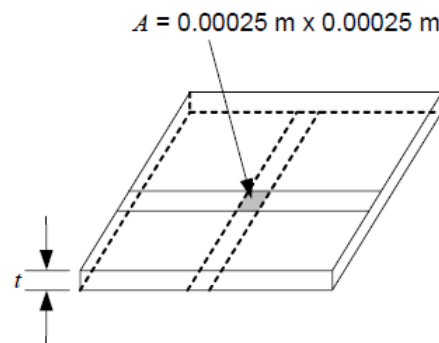
$$R = \frac{\rho l}{\pi(r_o^2 - r_i^2)}$$

$$R = \frac{2.36 \times 10^{-6} \times 0.06}{\pi(0.01^2 - 0.009^2)} = 2.4 \text{ m}\Omega$$

Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

Sample Capacitance Calculation

Consider two 10 mil traces crossing with 10 mil PWB thickness



Note: 10 mils = 0.00025 m

Not much capacitance but consider the area of all those components connected to the summing node

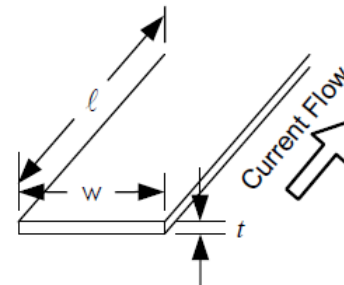
$$C = \frac{\epsilon_R \times \epsilon_O \times A}{t}$$

$$C = 5 \left(\frac{10^{-9}}{36\pi} \right) \left(\frac{0.00025^2}{0.00025} \right)$$

$$C = 0.01 \text{ pF}$$

Self Inductance of PWB Traces

◆ Due to the natural logarithmic relationship, large changes in conductor width have minimal impact on inductance



$$L = 2\ell \left(\ln \left(\frac{\ell}{t+w} \right) + \frac{1}{2} \right) \text{ nH (cm)}$$

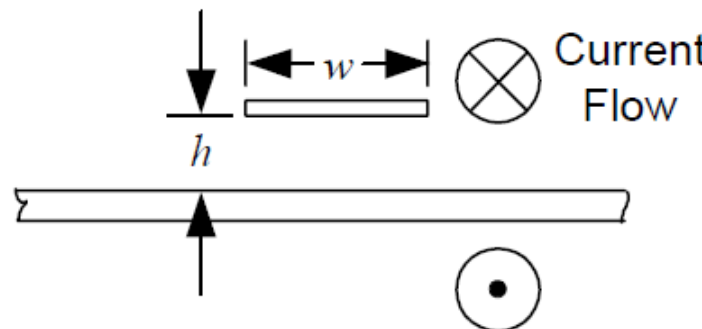
$$L = 5\ell \left(\ln \left(\frac{\ell}{t+w} \right) + \frac{1}{2} \right) \text{ nH (in)}$$

w (mm/in)	T(mm/in)	Inductance (nH/cm or nH/in)
0.25/0.01	0.07/0.0028	10/24
2.5/0.1	0.07/0.0028	6/14
12.5/0.5	0.07/0.0028	2/6

Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

PWB Traces Over Ground Planes

- ◆ Substantial inductance reduction
- ◆ Inductance inversely proportional to width

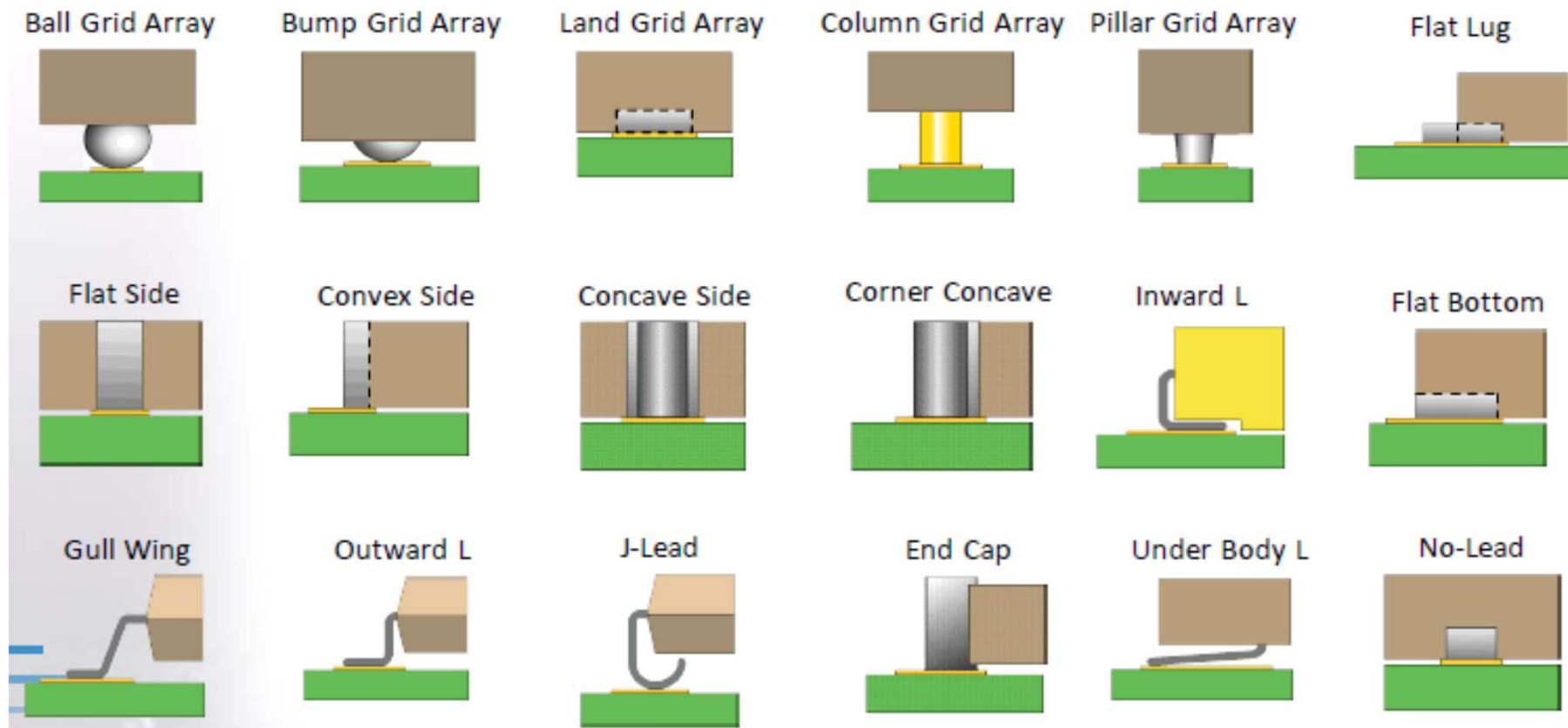


Current Flow

$$L = \frac{2hl}{w} \text{ nH/cm}$$
$$L = \frac{5hl}{w} \text{ nH/in}$$

Metric			English		
h (cm)	w (cm)	Inductance (nH/cm)	h (in)	w (in)	Inductance (nH/in)
0.25	2.5	0.2	0.01	0.1	0.5
1.5	2.5	1.2	0.06	0.1	3.0

Dibujo del Circuito Impreso (PCB)



Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

Under Body "L"



End Cap



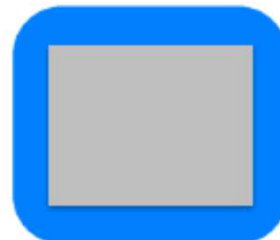
Gull Wing



PQFN D-Shape



Corner Concave



QFN D-Shape



Sharp Corner pads are not good for RF design

Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

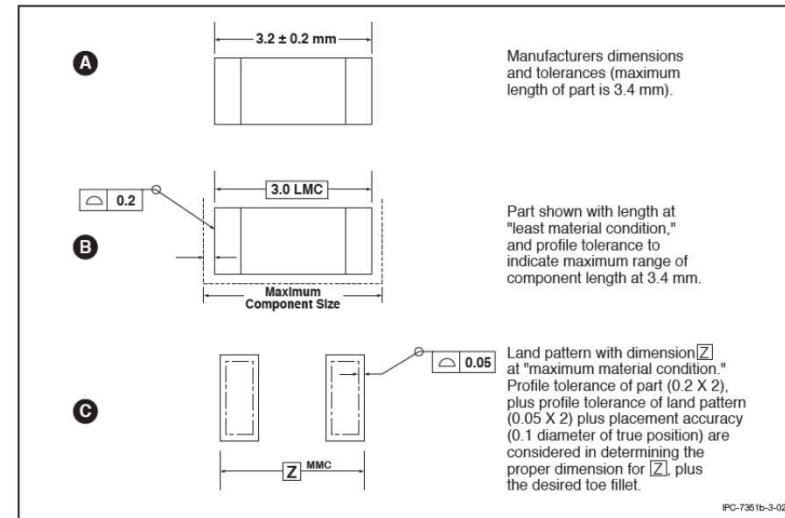
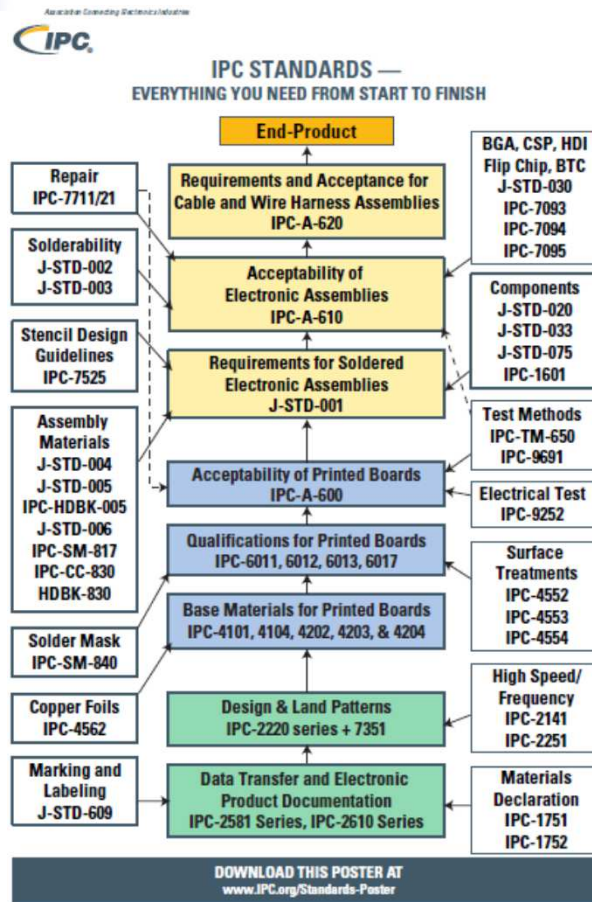


Figure 3-2 Example of 3216 (1206) Capacitor Dimensioning for Optimum Solder Fillet Condition

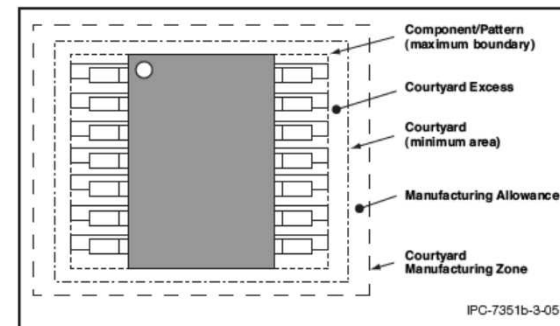


Figure 3-5 Courtyard Boundary Area Condition

Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

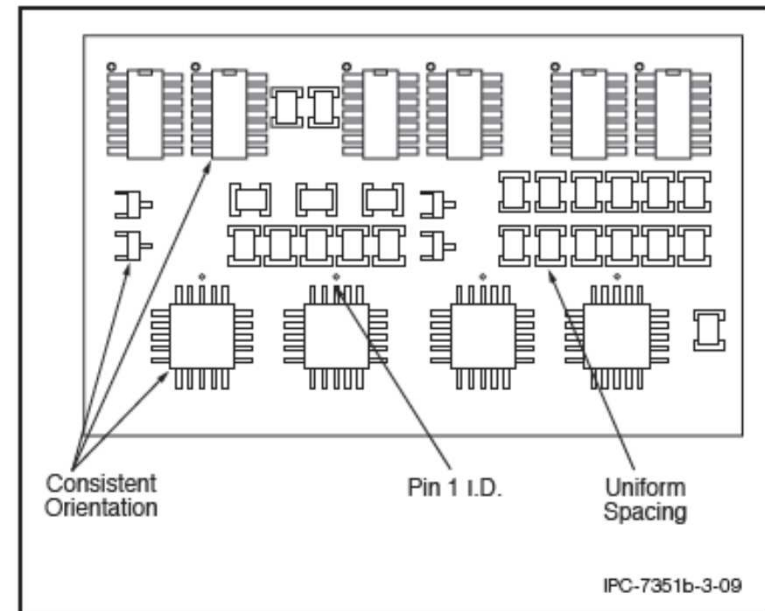
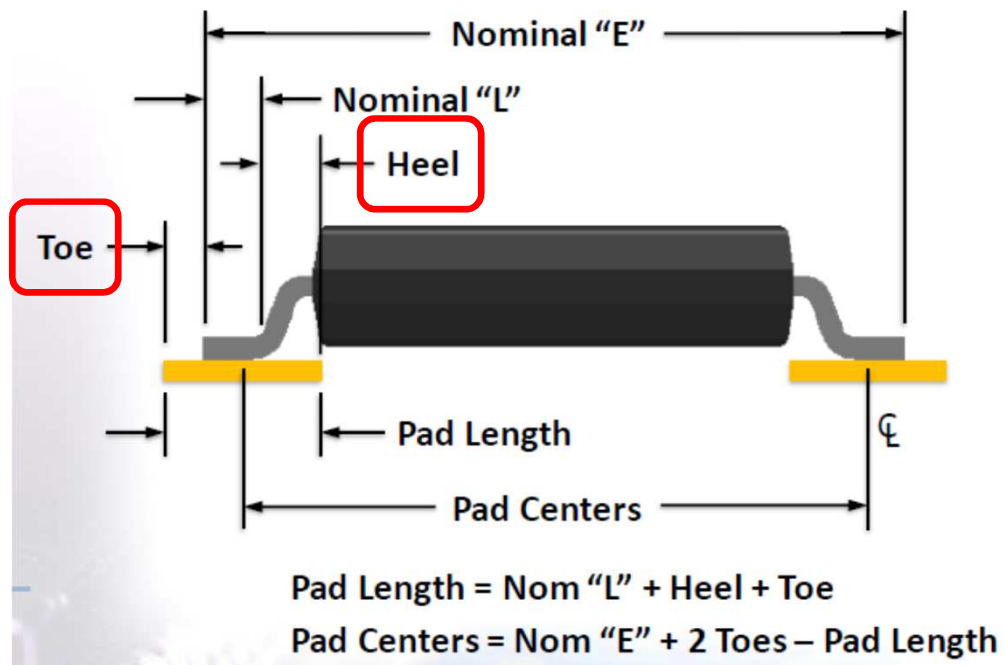


Figure 3-9 Alignment of Similar Components

Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

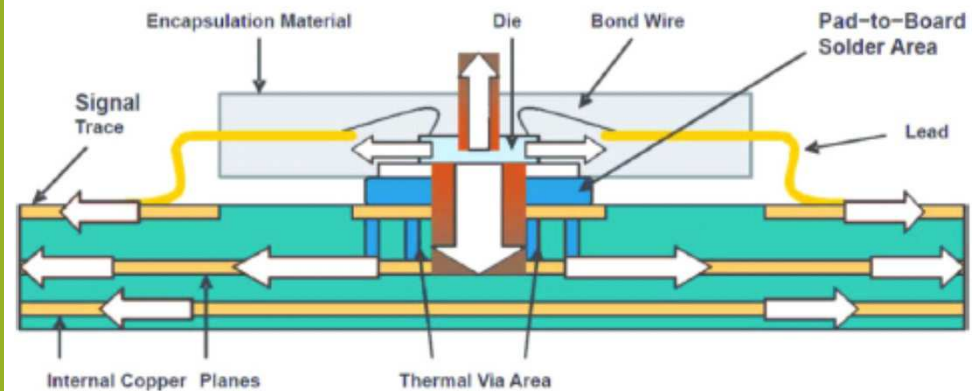
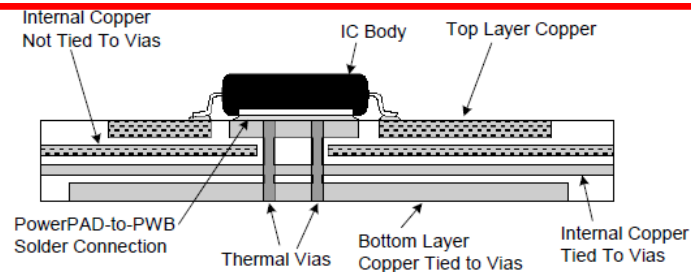


Figure 7. Cross-Section of EP Package with Heat Transfer Schematic

Dibujo del Circuito

Typical Thermal Requirements

- ◆ Ambient temperature: 70°C, T_A
- ◆ Maximum semiconductor: 125°C, Max T_J
- ◆ Maximum board temperature: 120°C
- ◆ Typical semiconductor loss: 2 W
- ◆ PowerPAD™ SO-8 thermal resistance: 2.3°C/W
- ◆ Calculated PWB temperature under semiconductor is 125°C – (2 W x 2.3°C/W) = 120°C



Convection Cooling (Metric Units)

- ◆ To a first approximation, temperature rise is proportional to power dissipation and inversely proportional to surface area
- ◆ The proportionality constant, h , is called heat transfer coefficient and is about 0.001 W/cm²/°C for air

$$\Delta T = \frac{P}{(Sa \times h)} = \frac{P}{(Sa \times 0.001)} \quad \Delta T = \frac{1000 \times P}{Sa} \quad R_{SA} = \frac{1000}{Sa}$$

- ◆ Or 1 W over a square cm yields about 1000°C rise
- ◆ More precise equation accounting for the nonlinearity of h

$$\Delta T = P^{0.8} Sa^{-0.7} (650^\circ\text{C})$$

Convection Cooling Area Calculations (Metric)

- ◆ Applying the simple formula and solving for 50°C rise

$$\Delta T = \frac{1000 \times P}{Sa}$$

$$Sa = \frac{1000 \times P}{\Delta T}$$

$$Sa = \frac{1000 \times 2}{50}$$

$$Sa = 40$$

- ◆ The package is much smaller than this dimension and something must be done to provide a larger cooling surface



Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

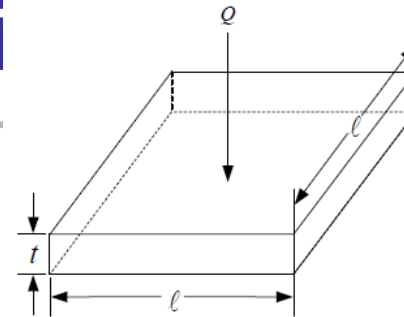
Thermal Conductivity of Other Materials

Material	W/(cm °C)	W/(in °C)
Air	0.0002	0.0007
Alumina	0.2	0.9
Aluminum	1.8	4.4
Beryllia	1.6	4
Copper (OFC)	3.6	9
Epoxy (PC board)	0.0003	0.007
Ferrite	0.04	0.10
Steel	0.15	0.60
Tin-lead	0.4	1.00

Dibujo del Circui

Thermal Resistance

Through board is much less than board-ambient



$$R = \frac{t}{(\sigma \times A)}$$

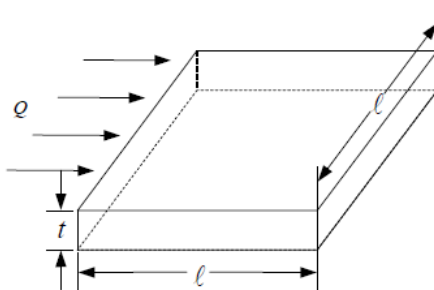
$$R = \frac{1.5}{(0.0003 \times 25.4 \times 25.4)} \text{ Metric}$$

$$R = \frac{0.06}{(0.007 \times 1)} \text{ English}$$

$$= 8^\circ\text{C/W}$$

Calculations based on one square inch of board area

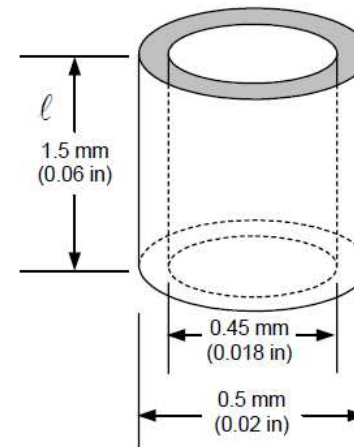
Lateral Heat Flow



Metric	English
2-oz, 0.07-mm thick copper	2-oz, 2.8-mils thick copper
$R = \frac{l}{(\sigma \times l \times t)}$	$R = \frac{l}{(\sigma \times l \times t)} = \frac{1}{(\sigma \times t)}$
$R = \frac{1}{(0.4 \times 0.07)}$	$R = \frac{1}{(9 \times 0.0028)}$
$R = 40^\circ\text{C/W}$	$R = 40^\circ\text{C/W}$
1.5-mm FR4	0.06-inch FR4
$R = \frac{1}{(0.00028 \times 1.5)}$	$R = \frac{1}{(0.007 \times 0.06)}$
$R = 2400^\circ\text{C/W}$	$R = 2400^\circ\text{C/W}$

Thermal Resistance

A single via has about 100°C/W thermal resistance and they can be paralleled

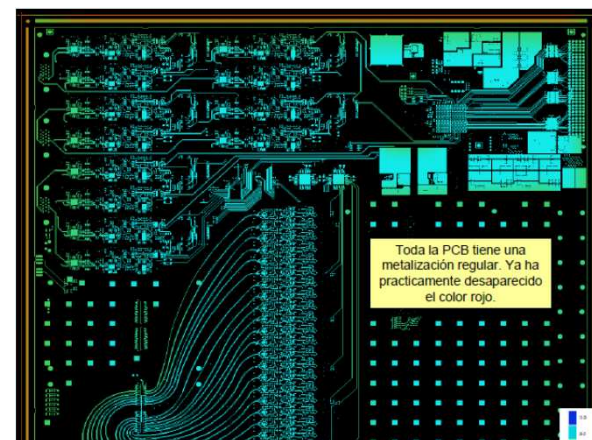
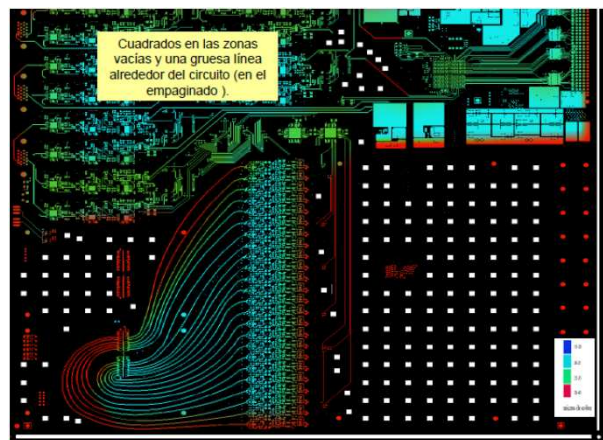


$$R = \frac{l}{(\sigma \times A)}$$

$$R = \frac{l}{\sigma \times \pi \times (r_o^2 - r_i^2)}$$

$$R = 100^\circ\text{C/W}$$

Dibujo del Circuito Impreso (PCB)





Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

Vertical Cools Better Than Horizontal

Surface Orientation	K' (cm. °C, and W)	K' (in. °C, and W)
Vertical	650	100
Horizontal plane, top surface	675	104
Horizontal, bottom surface	1375	204

$$\Delta T = Pd^{0.8} \times \frac{K'}{A^{0.7}}$$

Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

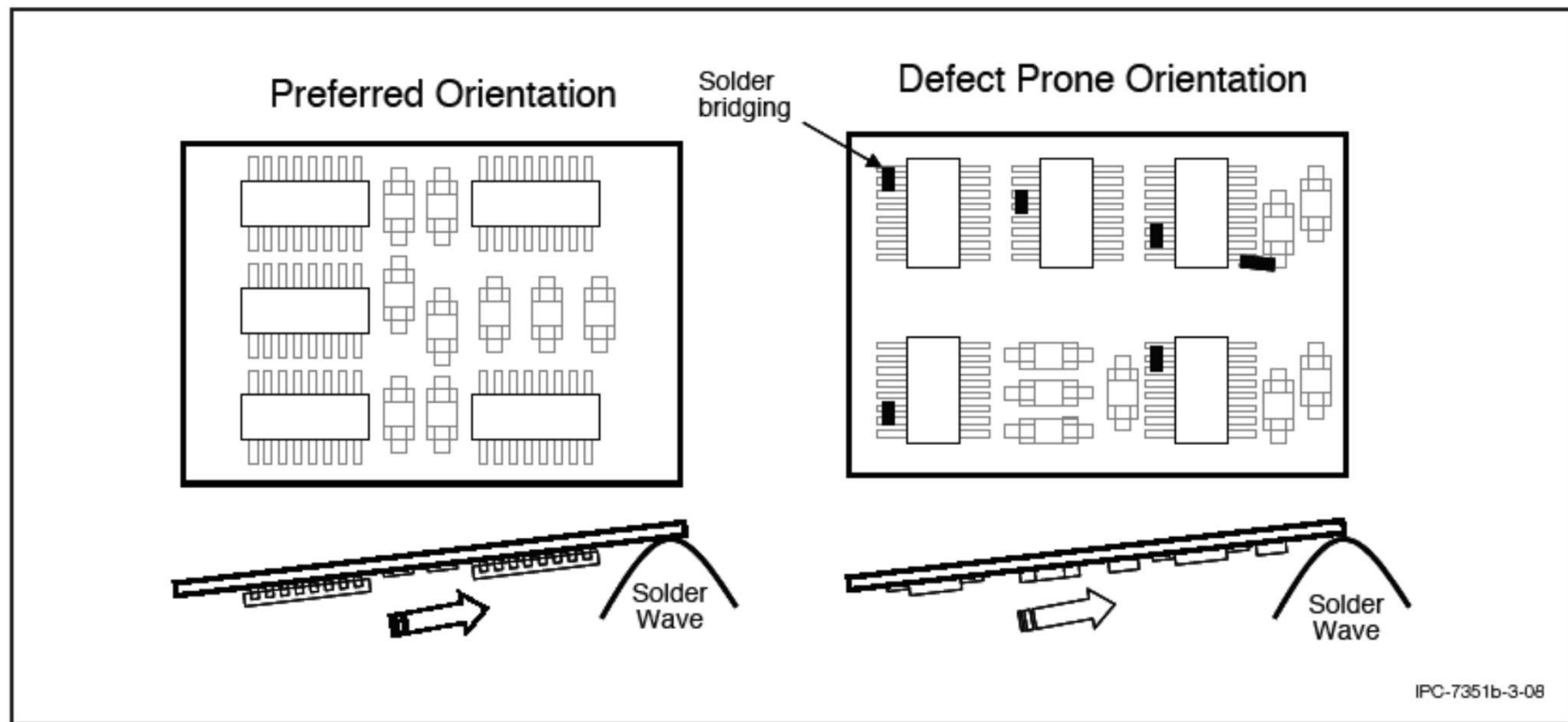


Figure 3-8 Component Orientation for Wave-Solder Applications

Dibujo del Circuito

Tipos de conexión	EIA 1206	EIA 0805	EIA 0603	EIA 0402	EIA 0201
	No recomendado	No recomendado	No recomendado	No recomendado	No recomendado
	Aceptable No recomendado	Aceptable No recomendado	Aceptable No recomendado	Aceptable No recomendado	No recomendado
	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable No recomendado
	Preferido Recomendado	Preferido Recomendado	Preferido Recomendado	Preferido Recomendado	Preferido Recomendado

A	separable assembly	LS	loudspeaker, buzzer
AR	amplifier	M	meter
AT	attenuator, isolator	MG	motor-generator
B	blower, motor	MH*	mounting hole
BT	battery	MK	microphone
C	capacitor	MP	mechanical part
CB	circuit breaker	P	connector, plug, male
CP	connector adapter, coupling	PS	power supply
CN	capacitor network	Q	transistor
D or CR	diode	R	resistor
D or VR	breakdown diode	RN	resistor network
DC	directional coupler	RT	thermistor
DL	delay line	S	switch
DS	display, lamp	T	transformer
E	terminal	TB	terminal board, terminal strip
F	fuse	TC	thermocouple
FD*	fiducial	TP**	test point, In-circuit test points
FL	filter	TZ	transzorb
G	generator, oscillator	U	inseparable assembly, IC pkg
GN	general network	V	electron tube
H	hardware	VR	voltage regulator
HY	circulator, directional coupler	W	wire, cable, cable assembly
J	connector, jack, female	X	fuse holder, lamp holder, socket
K	contact, relay	Y	crystal, magnetostriction oscillator
L	coil, inductor, bead, ferrite bead	Z	miscellaneous

Table 1: Standard Reference Designators for Schematic Symbols

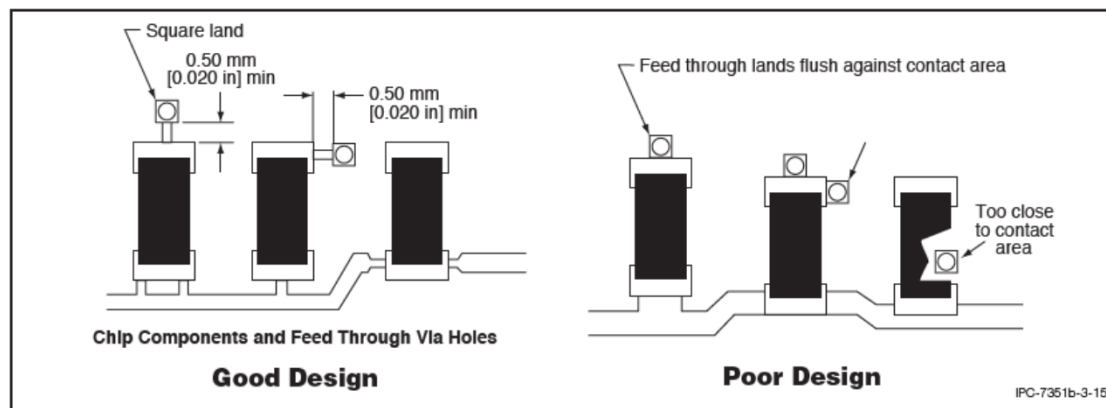


Figure 3-15 Land Pattern to Via Relationship

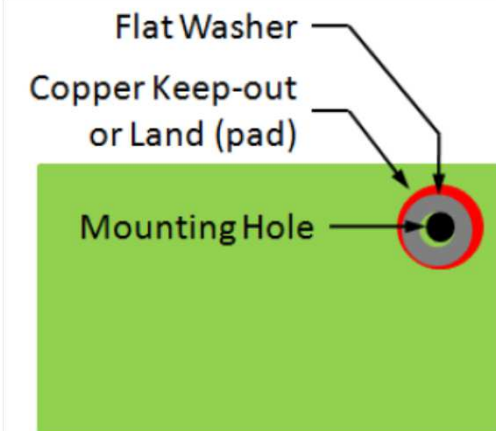


Figure 2 - Keepout

Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

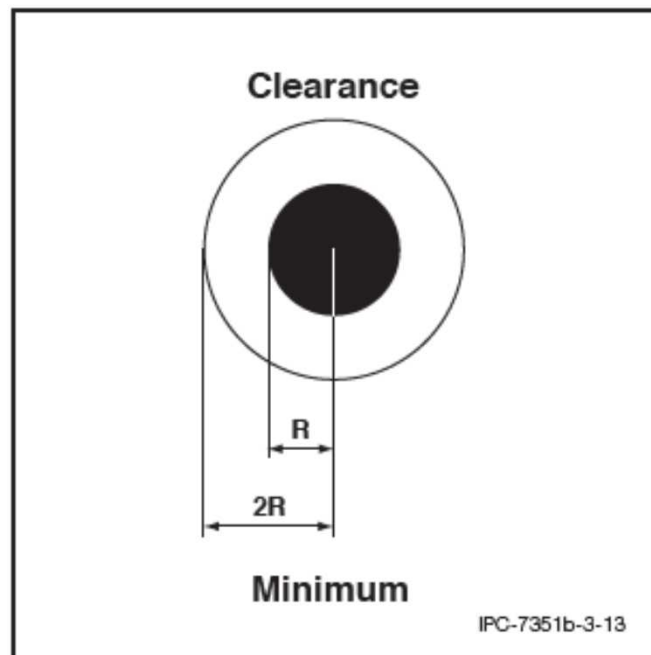


Figure 3-13 Fiducial Size and Clearance Requirements

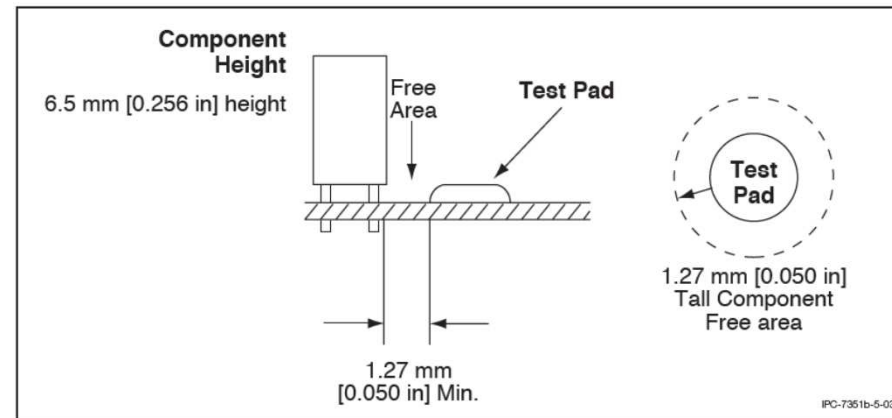


Figure 5-3 Test Probe Feature Distance from Component

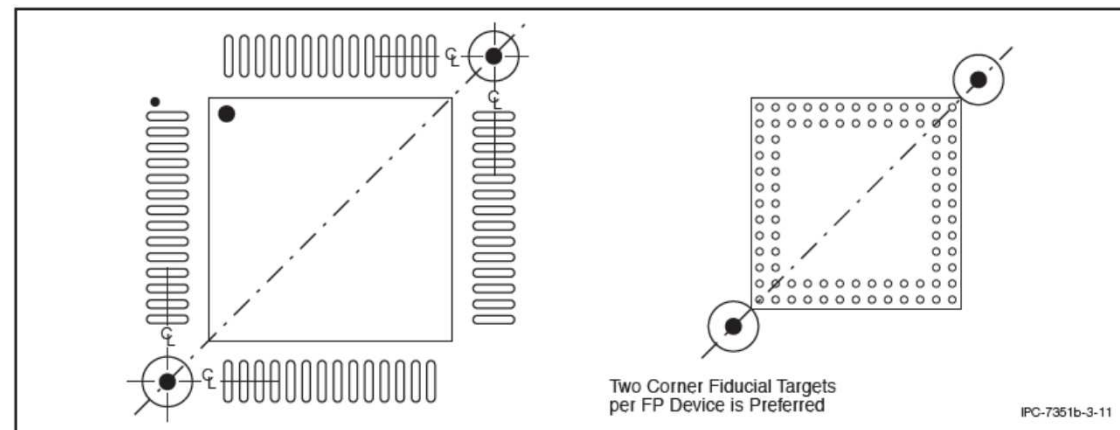


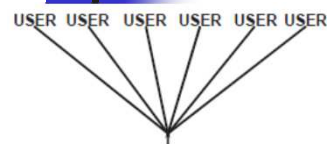
Figure 3-11 Local Fiducials

Ing. Juan Manuel Cruz

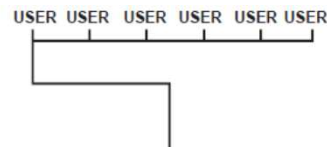
16 y 17 de Nov. 2017

JT

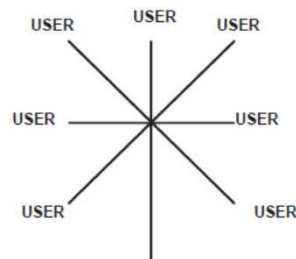
Dibujo del Circuito Impreso (PCB)



Source Single Point



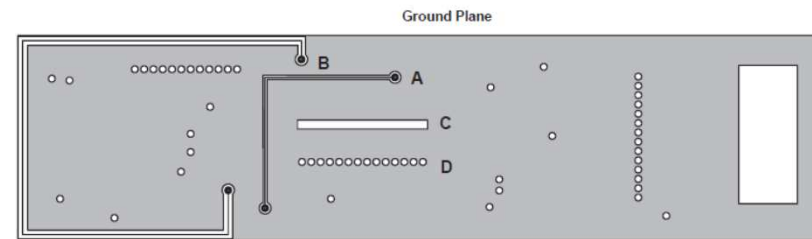
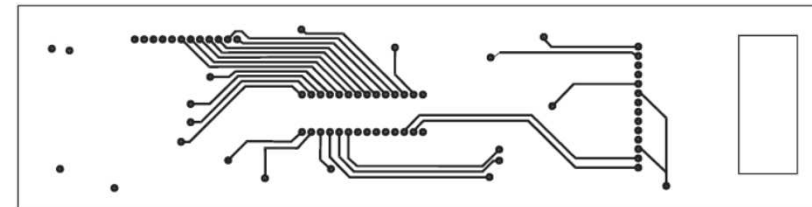
Source Multipoint



Source "Star"

	Trace Type	
	Power	Signal
Single Point	Best	O.K.
Star	O.K.	Best
Multipoint	Worst	Worst

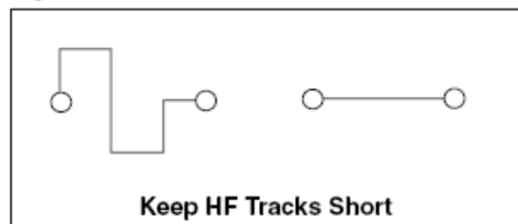
Figure 6. Power Distribution



- A POOR – Buried trace cuts ground plane into two parts
- B BETTER – Buried trace around the perimeter
Best solution is no trace at all in the ground plane
- C POOR – Slot formed by 100-mil spacing cuts up ground plane and focuses slot antenna radiation into that connection
- D BETTER – Ground plane extends between 100-mil centers

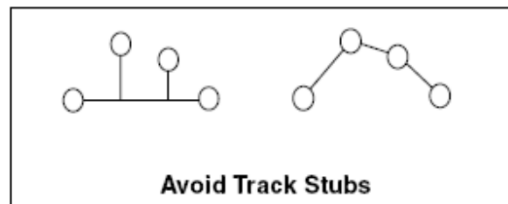
Figure 5. Layout Considerations

Figure 1



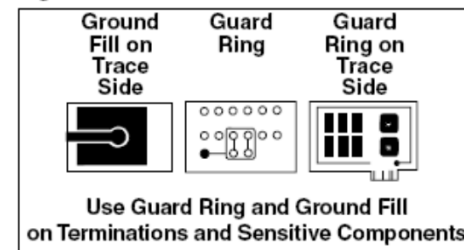
Keep HF Tracks Short

Figure 2



Avoid Track Stubs

Figure 3



Use Guard Ring and Ground Fill on Terminations and Sensitive Components

Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

Figure 4

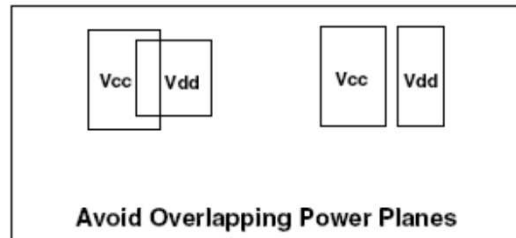


Figure 5

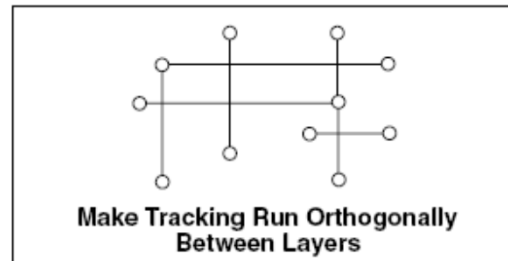


Figure 6

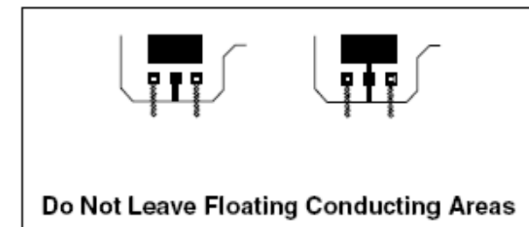


Figure 7

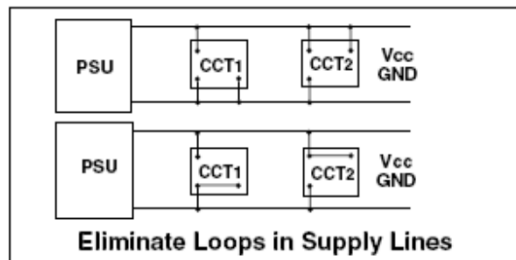


Figure 8

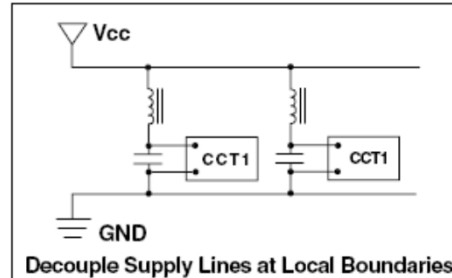


Figure 9

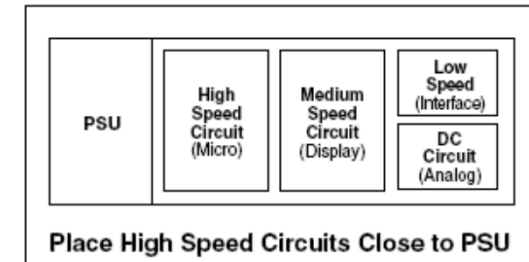


Figure 10

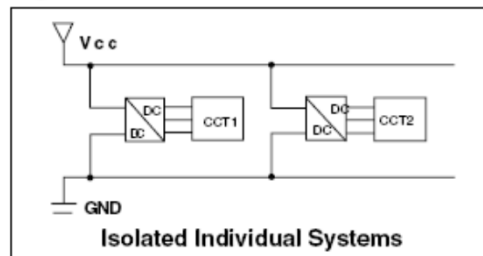


Figure 11

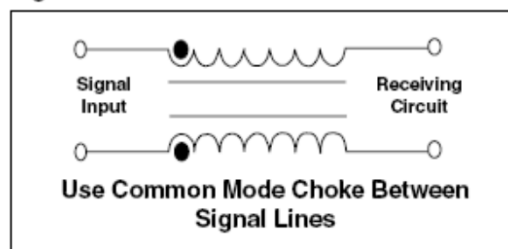
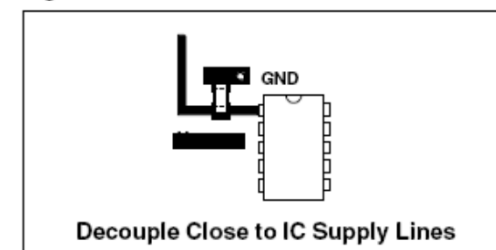


Figure 12



Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

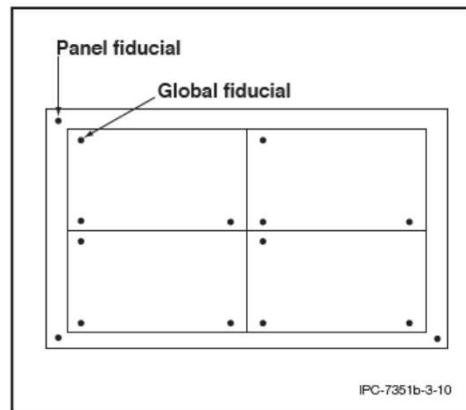


Figure 3-10 Global/Panel Fiducials

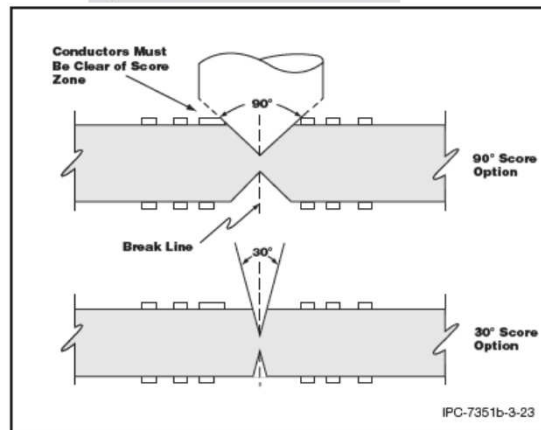


Figure 3-23 Conductor Clearance for V-Groove Scoring

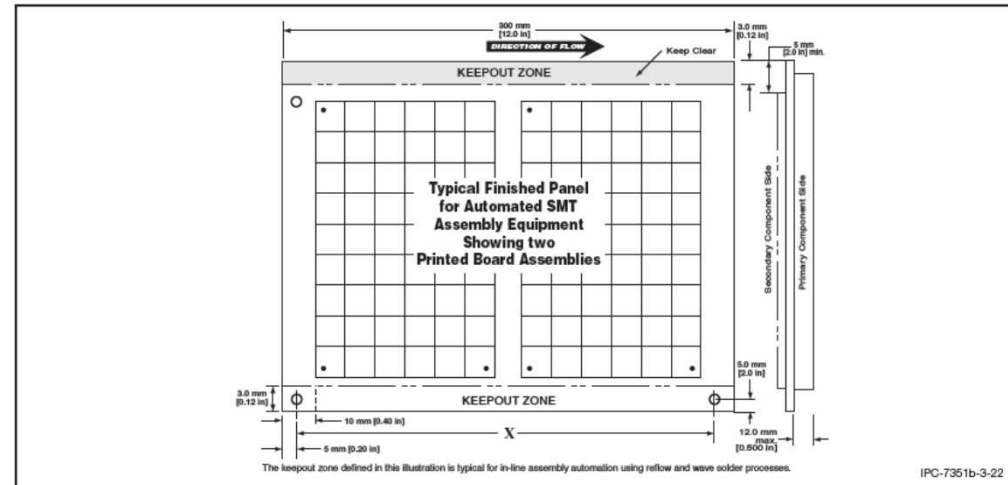


Figure 3-22 Typical Copper Glass Laminate Panel

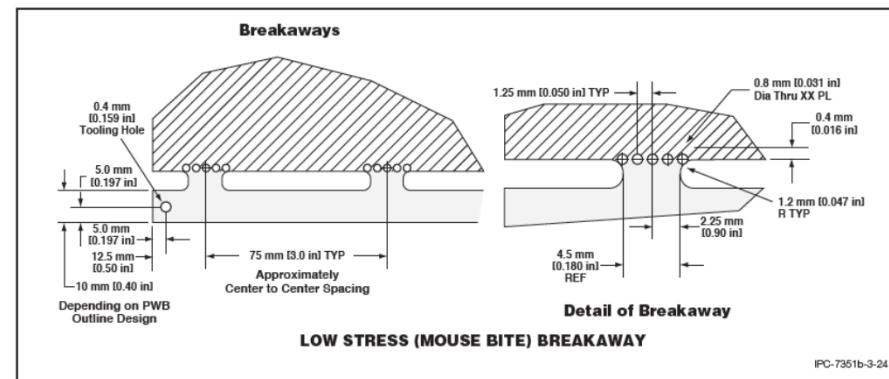
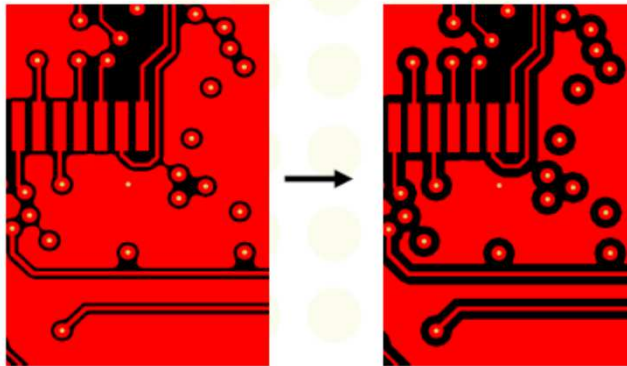


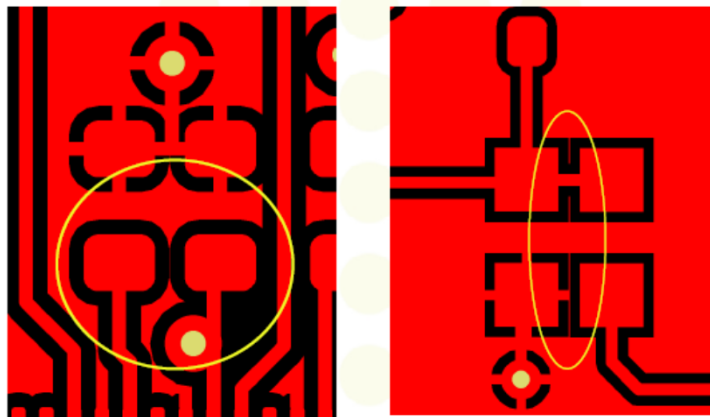
Figure 3-24 Breakaway (Routed Pattern) with Routed Slots

Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

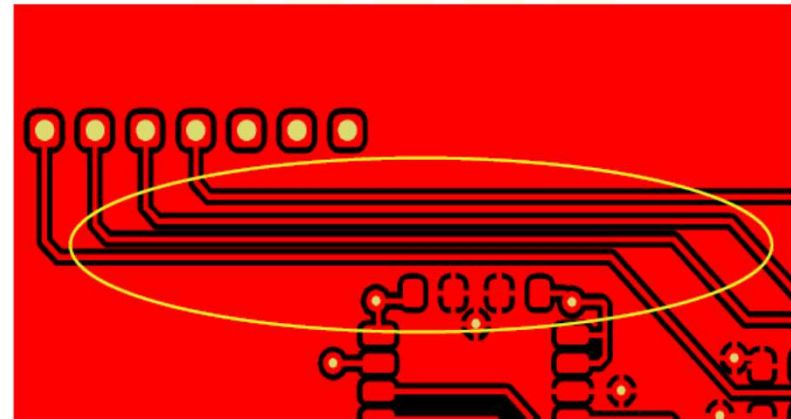
Dejar una separación entre señales y las masas de cómo mínimo 0,25 mm



Más casos: pueden provocar cortes o cortocircuitar con la masa



¡ATENCIÓN!: Pequeños hilos de cobre entre pistas (< de 0,1 mm)



La película fotosensible se ha despegado antes de la metalización.



Dibujo del Circuito Impreso (PCB)

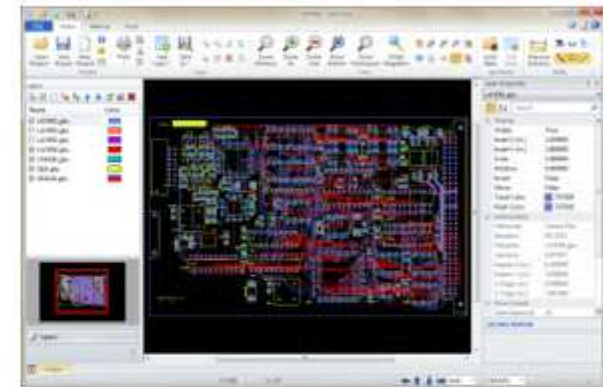
Gerber file(Rs-27x)

We Offer a Full Range of Printed Circuit Board Capabilities to Fit All of Your PCB Needs. Currently we only accept 4 PCB files format(gerber file, .pcb, .pcbdoc or .cam file format) for PCB fabrication.

Gerber file format: RS-274X

Gerber file naming:

- GTL Gerber top layer
- GTO Gerber top overlay
- GTS Gerber top solder
- GBL Gerber bottom layer
- GBO Gerber bottom overlay
- GBS Gerber bottom solder
- GKO Gerber keepout layer
- DRD Excellon drill file





Referencias

- **IPC** (Association Connecting Electronic Industries) www.ipc.org
- Diseño de PCB y normas, CIDEI www.cidei.net/disen-de-pcb-y-normas-2/
- **ANM085** - EMC Improvement Guidelines www.atmel.com/images/doc4279.pdf
- **Vishay - Electro-Magnetic Interference and Electro-Magnetic Compatibility (EMI/EMC)** www.vishay.com/docs/34097/ferritenote.pdf
- **AN0004** - PCB Current Capacity www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/2191402BPS-AN0004PCBCurrent.pdf
- **AN2409 - Small Outline Integrated Circuit (SOIC) Package** www.nxp.com/docs/en/application-note/AN2409.pdf
- **TI-SLUP230 - Constructing Your Power Supply-Layout Considerations** <http://focus.ti.com/lit/ml/slup230/slup230.pdf>
- www.cemdal.com/2016/09/04/los-l%C3%ADmites-entre-el-campo-cercano-y-el-campo-lejano/
- **Printed Circuits Handbook** (Clyde F. Coombs, Jr.), Sixth Edition, Mc Graw-Hill
 - Part 4. Engineering and Design - CHAPTER 14. THE PCB DESIGN PROCESS - Lee W. Ritchey
- **Saturn PCB Design Toolkit** Version 7.03 www.saturnpcb.com/pcb_toolkit.htm
- **PCB Matrix IPC LP Calculator** (V2009)
- **PCB Library Expert for IPC** www.pcblibraries.com