

# La producción electrónica: una notable ausencia en la Universidad

Gerardo Aranguren, Josu Etxaniz, Pedro M<sup>a</sup> Monje  
Dpto. Tecnología Electrónica, Universidad del País vasco  
UPV/EHU  
Bilbao, Spain  
gerardo.aranguren@ehu.es

**Abstract**—Esta comunicación reivindica la importancia de conocer los procesos de fabricación para los estudiantes de ingeniería. En el ámbito de la electrónica se considera fundamental conocer el proceso de fabricación de los circuitos impresos y el ensamblado de circuitos. En el artículo se presentan algunas experiencias previas, se proponen los conocimientos necesarios y la planificación de una asignatura dentro de las nuevas titulaciones.

**CDIO; fabricación de PCB; ensamblado de PCB; diseño de PCB; Diseño para fabricabilidad.**

## I. INTRODUCCIÓN

“¡Buenos días!” le dijo el Principito. “Su cigarrillo se ha apagado”.

“Tres y dos cinco. Cinco y siete doce. Doce y tres quince. ¡Buenos días! Quince y siete veintidós. Veintidós y seis veintiocho. No tengo tiempo de encenderlo. Veintiocho y tres treinta y uno. ¡Uf! Esto suma quinientos un millones seiscientos veintidós mil setecientos treinta y uno”.

“¿Quinientos millones de qué?” preguntó el Principito.

“¿Eh? ¿Estás ahí todavía? Quinientos millones de... ya no sé... ¡He trabajado tanto! ¡Yo soy un hombre serio y no me entretengo en tonterías! Dos y cinco siete...”

*El Principito de Antoine de Saint-Exupéry.*

Esta admirable conversación entre el Principito y el científico refleja la división actual entre el mundo académico y el mundo real. Los profesores universitarios en el campo de la ingeniería ¿seríamos capaces de realizar y poner en el mercado un producto real? ¿O podríamos enseñar como hacerlo? Cuando nuestros estudiantes comiencen a ejercer su trabajo ¿podrán diseñar productos para el mercado? ¿No es el papel de los ingenieros diseñar y producir equipos que puedan llegar al mercado?

De otra forma, más académica y menos literaria, nos lo recuerda el documento CDIO Syllabus [1]: “Con la venida, en la década de 1950, de un enfoque de la enseñanza de la ingeniería basada en la ciencia, la educación de los ingenieros se hizo más distante de la práctica de la ingeniería. La ciencia de la ingeniería se convirtió en el saber dominante de las escuelas de ingeniería”. Este documento, basado en el acrónimo CDIO (Concepción, Diseño, Implementación y Operación), nos recuerda el ciclo de producción de los circuitos

electrónicas y los programas: Concebir el diseño global considerando el mercado o la oportunidad de negocio, incluyendo el sistema completo y la gestión de desarrollo del proyecto. Diseñar incluyendo tanto los aspectos del diseño propiamente dicho, como el resto de materias relacionadas con el objeto a diseñar. Implementar incluyendo el desarrollo del hardware y el software, el test y la verificación, así como el diseño y la gestión del proceso de implementación. Operar abarcando un amplio rango de temas desde el diseño y gestión de la puesta en funcionamiento, pasando por el soporte a lo largo de la vida del producto, hasta la planificación del fin de la vida útil del producto. El actual modelo de enseñanza suele olvidar la Concepción, Implementación y Operación para centrarse en la parte científica del Diseño.

De otras maneras también nos lo recuerdan otros documentos: Accreditation Board for Engineering Technology (ABET) [2], el consorcio Career Space y numerosas comunicaciones de TAEE que sería difícil recolectar en esta comunicación.

En esta comunicación se reivindica la importancia de todo el proceso de generación de un producto. Particularmente, la importancia de conocer el proceso de producción o implementación para realizar un buen diseño. Por las características del congreso TAEE se centra fundamentalmente en la electrónica, aunque estos comentarios se pueden aplicar a todas las ramas de la ingeniería.

En el apartado II se describen brevemente algunas experiencias realizadas. En el apartado III se enumeran los conocimientos sobre el proceso de fabricación que debe tener un ingeniero dedicado a la electrónica. En el apartado IV se relacionan los conocimientos de fabricación con los conocimientos de diseño. El apartado V describe la estructura de una nueva asignatura que recoge todos estos conocimientos.

## II. EXPERIENCIAS PREVIAS

Durante más de diez años en la asignatura Diseño de Sistema Electrónicos Avanzados de la titulación de Ingeniería de Telecomunicaciones, de la Escuela de Ingeniería de Bilbao, se han impartido conocimientos diversos sobre aspectos de la implementación de los circuitos electrónicos: fabricación de circuitos impresos (PCB, Picture Circuit Board), ensamblado de circuitos, selección de componentes y otros.

Para conocer el proceso de ensamblado de circuitos se ha visitado con los estudiantes una empresa de montaje

electrónico. En la empresa los estudiantes han podido ver una máquina de posicionamiento de componentes en funcionamiento, un horno de refusión, un horno de soldadura por ola generando la ola de estaño, la dificultad de posicionar los componentes de inserción, el control de calidad de los circuitos y todos los demás procesos involucrados en la producción electrónica. Esta experiencia ha sido relatada en una comunicación del congreso TAAE 2008 [3]. También hay numerosos vídeos que muestran este proceso [4-6]

Por limitaciones de tiempo no se ha visitado una empresa de fabricación de circuitos impresos con los estudiantes. Las visitas a empresas de fabricación de PCB también son de gran interés. El proceso de fabricación de los circuitos impresos se puede conocer a través de algunos vídeos disponibles en Internet [7-9].

Otra experiencia realizada este año ha sido el diseño completo de un PCB [10].

También se han mantenido charlas con profesionales de la electrónica sobre distintos aspectos del trabajo: emprender una empresa, mercado electrónico y otros temas de interés.

Estas experiencias han servido para determinar los conocimientos que debe adquirir un ingeniero dedicado a la electrónica. No solo para poder ponerlos en práctica como ingenieros de producción, sino para realizar un correcto diseño que cumpla las condiciones mínimas de fabricabilidad.

### III. CONOCIMIENTOS SOBRE FABRICACIÓN ELECTRÓNICA

Son muchos los conocimientos que engloba el proceso de implementación o fabricación de un producto electrónico. Una vez acabado el diseño se debe fabricar el único elemento original de un producto electrónico: el PCB. Simultáneamente se deben adquirir los componentes. Tras concluir los dos procesos anteriores se procede al ensamblado de los componentes en el PCB. Posteriormente se ensambla dentro de una caja o de otro equipo más complejo. En varios pasos intermedios se realizan test para comprobar el funcionamiento de los equipos y desechar o reparar los deficientes.

#### A. Fabricación de PCB

El circuito impreso tradicionalmente no ha tenido cabida dentro de los planes de estudio de Ingeniería Electrónica. Posiblemente se ha supuesto un conocimiento de menor relevancia y fácil de alcanzar fuera del aula.

Pero hay que considerar que todo el diseño electrónico se plasma en el circuito impreso. Además el circuito impreso es el único componente sobre el que se puede mantener la propiedad intelectual en electrónica, a excepción de los programas y ficheros de configuración de los dispositivos lógicos programables.

Por tanto, consideramos fundamental conocer el proceso de fabricación de los PCB para un ingeniero dedicado al diseño electrónico. Algunos procesos o conocimientos necesarios son:

- Construcción del “stack-up”. Materiales utilizados.
- Proceso de fotograbado y uso de fotomáscaras.
- Proceso químico (Fig. 1).



Figura 1. Procesos químicos.

- Taladrado (Fig. 2).
- Serigrafía.
- Test.
- Y otros procesos.

#### B. Acopio de componentes

El acopio de componentes determina en gran medida el éxito o fracaso de un diseño electrónico. Se puede diseñar el mejor circuito del mundo pero no tener posibilidades de comercialización debido a una mala política de adquisición de los componentes.

El margen en electrónica es muy pequeño debido a la gran competencia existente y el pequeño valor de los componentes. El mercado actual es global tanto para el suministro de componentes como para la comercialización de los productos acabados.



Figura 2. Máquina de taladrado automática.



Figura 3. Componentes dispuestos en un alimentador para máquina de "pick & place".

Un ingeniero dedicado a la electrónica debe conocer los fundamentos de los procesos de acopio, acceso a mercados, fabricantes, distribuidores, almacenamiento, gestión de stock y alimentadores de componentes para las máquinas de montaje (Fig. 3).

### C. Montaje de componentes

Otro gran desconocido son las técnicas de montaje de componentes. Apenas suelen saber los estudiantes las diferencias entre los componentes de inserción y los componentes SMD. Pero es muy necesario y conveniente conocer el proceso de montaje para comprender las implicaciones de la selección de cada tecnología de montaje.

El costo de montaje de un componente de inserción es mucho más elevado que el montaje de un componente SMD mediante una máquina de "pick & place" (Fig. 4).

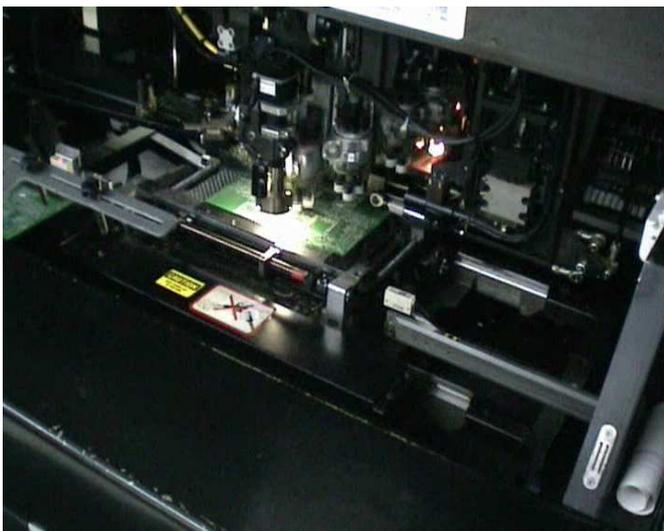


Figura 4. Máquina de "pick & place".

También es necesario conocer los distintos tipos de hornos de soldadura y lo que implica su empleo de cara al diseño, al costo de producción y a la calidad final del circuito: un horno de refusión para los componentes SMD de la cara superior y un horno de ola para componentes de inserción o componentes SMD de la cara inferior.

Por ejemplo, es importante conocer la curva de calentamiento para la soldadura de un componente de cara a programar un horno de refusión con unas temperaturas inferiores a los límites aconsejados por el fabricante del dispositivo. Este dato a veces viene determinado en las especificaciones de los componentes, como se muestra en la Fig. 5 correspondiente a un condensador "bestcap". Normalmente no se le presta atención en el diseño y puede tener consecuencias graves.

### D. Control de calidad

Durante todo el proceso de fabricación de los productos electrónicos se utilizan una serie de técnicas para comprobar el correcto funcionamiento de la totalidad de los circuitos. De esta forma se pueden eliminar o reparar los defectuosos en poco tiempo y antes de continuar con otros procesos

Las técnicas empleadas y que es bueno que conozcan los estudiantes son por ejemplo:

- Inspección Óptica Automática (AOI).
- Inspección automática por rayos X para BGA y otros componentes críticos.
- Cama de pinchos (Fig. 6).

### Temperature profile:

	Temperature	Time
Pre-heat	130°C	0 sec.
Rise	440°C (±10)	2 sec.
Reflow	440°C (±10)	2 sec.
Cool	165°C	

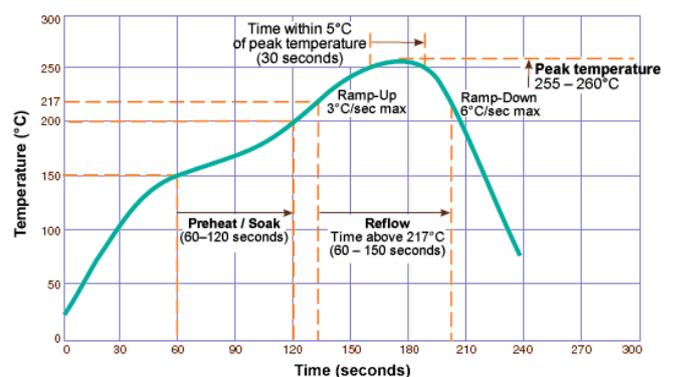


Figura 5. Arriba: temperaturas de soldadura de un componente (extraído de la hoja de especificaciones). Abajo: perfil típico de un horno de refusión para soldadura con normativa RoHS.



Figura 6. Cama de pinchos.

- Inspección en circuito como JTAG (Joint Test Action Group basado en IEEE 1149.1 Standard Test Access Port y Boundary-Scan [11].
- O test funcionales definidos por el cliente.

Es aconsejable prever el proceso de control de calidad durante el diseño del circuito.

#### E. Finalización del proceso de producción

Para finalizar la producción deben realizarse otra serie de procesos con técnicas diversas.

Integración con los programas de procesadores y/o “bitstream” de Dispositivos Lógicos Programables mediante programación en circuito. Es necesario conocer que el procedimiento de grabación para producción es distinto del procedimiento empleado para grabar un programa en un prototipo o en un kit de desarrollo.

Finalmente eliminación de los paneles utilizados para la manipulación durante la producción y empaquetado.

En ocasiones es necesario añadir elementos para disipar el calor, protecciones metálicas, disponer circuitos en sándwich y otras opciones.

Construcción del equipo final utilizando una caja, rack o envoltorio para el circuito electrónico. Para la electrónica de consumo es crucial afrontar este aspecto con calidad.

En la electrónica industrial entran en juego los aspectos de compatibilidad, fiabilidad, robustez, aislamiento y adecuación a las especificaciones.

Se podría continuar con los estudios de mercado, la distribución de productos, el ensamblado con otros productos, etc.

#### IV. DISEÑO PARA FABRICABILIDAD

Todos los conocimientos descritos en el apartado anterior forman parte de la implementación o fabricación de un producto electrónico y son fundamentales para un ingeniero de

producción. Pero también son muy importantes para un ingeniero dedicado al diseño electrónico, ya que es importante conocer cómo se va a fabricar algo para saber cómo diseñarlo.

Este aspecto es tan importante que ha dado lugar al término “Design for Manufacturability” (DFM) [12]. DFM es la técnica de la ingeniería para diseñar productos que puedan ser fabricados fácilmente [13].

#### A. Diseño del PCB.

Para diseñar correctamente un PCB a los estudiantes se les debe enseñar:

- Los tipos de “stack-up” que un fabricante puede construir con todas sus variantes y posibilidades. Al seleccionar un “stack-up” se determina la impedancia de las líneas y otros parámetros del funcionamiento del circuito (Fig. 7).
- Tamaños y formas de las huellas y “pads” de los componentes según la tecnología empleada, para posibilitar y facilitar el ensamblado.
- Los modos de rutados, tipos de pistas, tolerancias de pistas, aislamientos y el resto de especificaciones relacionadas. Determina la clase de fabricación del PCB, las intensidades y las tensiones máximas.
- Los tipos de taladros, distancias a pistas, especificaciones de vías y microvías.
- Contenidos de la capa de serigrafía. Señalización de componentes, puntos fiduciaros para facilitar el ensamblado y puntos de test para el testeo.
- Especificaciones de panelado, acabado de contactos y cualquier otra especificación adicional a la fabricación.
- Finalmente, los ficheros que es necesario suministrar para la fabricación de un circuito: ficheros Gerber del PCB (Fig. 8), fichero Excellon para el taladrado, lista de materiales, fichero de emplazamiento de componentes, fichero para la fabricación de las máscaras de soldadura y fichero de posicionamiento para las máquinas de posicionamiento.

#### B. Selección de componentes

Los estudiantes suelen conocer los componentes de forma genérica para su empleo en un programa de simulación. Pero normalmente no se les enseña a realizar una selección detallada basada en la totalidad de las especificaciones de un dispositivo.

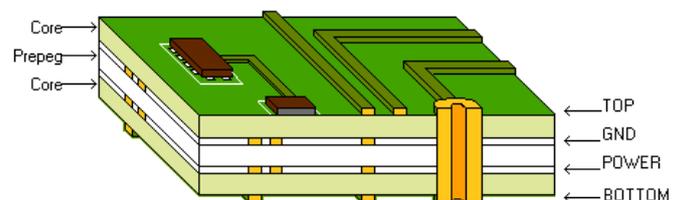


Figura 7. “Stack-up” para el diseño de un PCB.

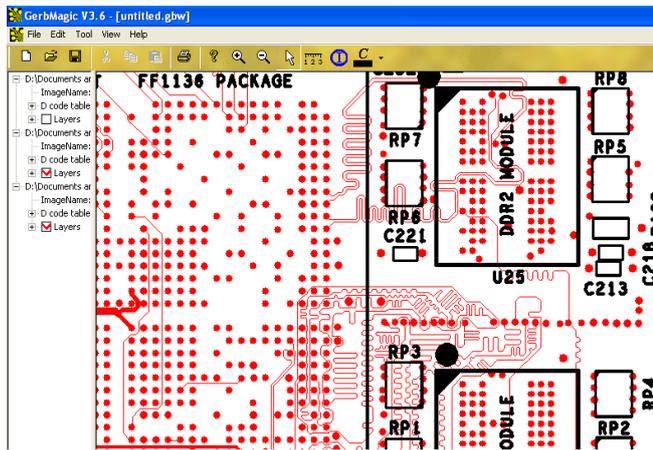


Figura 8. Vista de un fichero Gerber con Gerber Magic.

Es importante que aprendan a determinar un componente con todas sus características. Las características electrónicas habituales más el encapsulado, temperatura de funcionamiento, fiabilidad, acabado, etc.

Además deben conocer como llegar a través de Internet a los documentos suministrados por los fabricantes e, incluso, a concretar los precios a través de las páginas de los distribuidores.

La determinación de la lista de componentes (Bill of Material, BoM) con todas las características de acopio perfectamente determinadas es fundamental para favorecer el proceso de fabricación.

### C. Regulación y otras especificaciones

Actualmente se considera de gran relevancia el proceso de calidad en todos los ámbitos, pero en nuestras aulas normalmente se descuida explicar muchos de los aspectos relacionados con la puesta en el mercado de los diseños: normativa electrónica (marcado CE, RoHS o “lead-free”), prevención contra Emisiones Electromagnéticas, procedimientos de homologación y cualquier otra normativa de aplicación a un sector determinado.

Para completar los conocimientos de DFM también se deben considerar otros fundamentos básicos sobre:

- Test electrónico.
- Disipación térmica.
- Fabricación de cajas de plástico o metal.

## V. DISEÑO EN LOS NUEVOS PLANES

Hablar de nuevos planes de estudio se ha convertido en una constante de nuestro mundo universitario, tal vez porque nunca llegamos a determinar lo que nuestros clientes, es decir los estudiantes y los contratantes de nuestros estudiantes, requieren dentro de su formación universitaria.

En la redacción de los nuevos planes de estudio de nuestra Escuela de Ingeniería se ha considerado importante dedicar una asignatura, Tecnología de Sistemas Electrónicos, dentro de la titulación de grado de Ingeniería de Telecomunicación, que

recoja todos los conocimientos definidos para DFM y los sistemas de producción de los equipos electrónicos.

El temario resumido, los medios empleados y la dedicación prevista son los siguientes:

- Diseño de esquemáticos. Breves explicaciones y demostraciones en clase (4 horas), prácticas en laboratorio con programa EDA (8 horas), trabajo personal con programa EDA (20 horas).
- Diseño de circuitos impresos. Breves explicaciones y demostraciones en clase (6 horas), prácticas en laboratorio con programa EDA (14 horas), trabajo personal con programa EDA (60 horas).
- Fabricación de circuitos impresos. Explicación en clase (2 horas), visita a empresa (4 horas).
- Montaje de circuitos. Explicación en clase (2 horas), visita a empresa (4 horas).
- Diseño para prevenir problemas de Emisiones Electromagnéticas. Seminario con experto en EMC (6 horas).
- Pruebas de homologación. Charla y dialogo con experto en el tema (2 horas).
- Empresa electrónica, emprendedor, comercio electrónico. Charlas con expertos (4 a 8 horas según disponibilidad de tiempo).

El orden de impartición de las clases no será el reflejado en la lista anterior. Se deben intercalar los aspectos del diseño del circuito impreso con el resto de temas según las disponibilidades horarias.

El diseño de esquemáticos ya debe ser conocido por asignaturas anteriores. En esta asignatura se concretaran algunos aspectos previos al diseño del PCB como concretar los conectores con otros equipos, la selección de componentes, eliminación de errores y generación de netlist.

La mayor parte del conocimiento de DFM y fabricación se basa en la experiencia. No hay libros que recopilen todo este conocimiento de cara a su exposición en un aula. Por tanto, se ha previsto una metodología didáctica para “aprender haciendo” y con la participación de especialistas.

El procedimiento de evaluación se realizará por la medida en que se alcanzan los objetivos de cada tema (entregables) y no mediante un examen.

Se dispondrá de toda la documentación del curso en Moodle, como se realiza en la mayor parte de asignaturas de la titulación.

## VI. CONCLUSIONES

Los conocimientos sobre la electrónica no deben acabar en los aspectos científicos, sino que deben concretarse en el diseño completo de un circuito.

Para realizar correctamente el diseño de un circuito (DFM) se deben conocer los procesos de fabricación de los circuitos impresos y su montaje.

Por experiencia adquirida en anteriores cursos, se han propuesto los conocimientos que un ingeniero dedicado a la electrónica debe adquirir. También se ha realizado una propuesta de temas y tiempo empleado para una asignatura dedicada a la tecnología electrónica.

En un momento de crisis general es importante apostar por una enseñanza donde se prepare a los estudiantes para el ejercicio profesional en todos sus ámbitos.

#### REFERENCIAS

- [1] E. F. Crawley, J. Malmqvist, W. A. Lucas, D. R. Brodeur, "The CDIO Syllabus", Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, January 2001, <http://www.cdio.org> (15 march 2012).
- [2] ABET, <http://www.abet.org/>, (15 march 2012).
- [3] G. Aranguren, I. Odriozola, J. Gómez Y I. M. Rubina , L. A. López Nozal, "Las visitas a empresas electrónicas", TAEE-2008, p. 81, Zaragoza, 2008.
- [4] AmistarAutomation, "iPulseM7 pick and place machine", [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_detailpage&v=6CBcoyj eRf8](http://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=6CBcoyj eRf8), (15 march 2012).
- [5] Video 1 "Wave soldering", [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_detailpage&v=sw0XPI2 5hc8](http://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=sw0XPI2 5hc8), (15 march 2012).
- [6] Protechelectronics, "PCB Assembly Workflow", [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_detailpage&v=g2TXhq Cq9-c](http://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=g2TXhq Cq9-c), (15 march 2012).
- [7] Lab Circuits, "Proceso de fabricación de un circuito impreso", <http://www.lab-circuits.com/es/fabricacio.php>, (15 march 2012).
- [8] Hi-Tech Corp., "HiTech PCB Manufacturer", [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_detailpage&v=o78RxD OnAQg](http://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=o78RxD OnAQg), (15 march 2012).
- [9] Fomet China Ltd, "PCB Manufacturer - Fomet China Ltd - Factory Video 260910", [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_detailpage&v=g2TXhq Cq9-c](http://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=g2TXhq Cq9-c), (15 march 2012).
- [10] Gerardo Aranguren, Josu Etxaniz, Luis Antonio López, "¿Diseño de circuitos impresos en la Universidad?", TAEE 2012, Vigo, 2012.
- [11] JTAG, <http://www.jtag.com/>, (15 march 2012).
- [12] Vijay Pitchumani, "Design for Manufacturability", Design Automation Conference, 2005. Proceedings of the ASP-DAC 2005. Asia and South Pacific.
- [13] Dorigo System Ltd, "DFM Design for Manufacturability" [http://www.dorigo.com/Images\\_PDF/DFM\\_Guideline.pdf](http://www.dorigo.com/Images_PDF/DFM_Guideline.pdf) (15 march 2012).