



Componente formativo

Ensamble de tarjetas electrónicas según especificaciones y normativa técnica

Breve descripción:

Este componente formativo presenta los conceptos básicos acerca del ensamble de tarjetas electrónicas, teniendo en cuenta las normas internacionales relacionadas con el ensamble electrónico, además de revisar aspectos de la producción de tarjetas electrónicas que son necesarios.

Área ocupacional:

Procesamiento, fabricación y ensamble

Junio 2023

Tabla de contenido

Introducción.....	3
1. Planificación del ensamble de tarjetas electrónicas.....	4
1.1. Equipos de ensamblaje electrónico	5
1.2. Técnicas y sistemas de microscopía óptica y ampliación de imágenes	11
1.3. Funcionalidades y características de accesorios.....	12
1.4. Métodos de uso, procesos de ensamble, accionamiento y configuración	13
2. Soldadura en electrónica	17
2.1. Técnicas, tipos y propiedades de aleaciones y aceleradores	18
2.2. Métodos de uso y mantenimiento de herramientas	23
2.3. Características de soldabilidad	25
2.4. Técnicas de retiro y limpieza de excesos	26
3. Tratamiento térmico	27
3.1. Efectos del calor en componentes electrónicos.....	28
3.2. Técnica de reflujo	30
3.3. Perfil ideal de temperatura.....	32
Síntesis	35
Material complementario	36
Glosario.....	37
Referencias bibliográficas	38
Créditos.....	39

Introducción

Dentro del proceso de fabricación de equipos electrónicos está el subproceso de ensamble de las tarjetas electrónicas, el cual implica una serie de elementos muy importantes que influyen de gran manera en la calidad del producto final.

A continuación, se expone un proceso general de ensamble de tarjetas electrónicas.

Figura 1. Proceso de ensamble



El proceso de ensamble consiste básicamente en ubicar correctamente y fijar los componentes a la PCB (*Printed Circuit Board*).

01. El proceso empieza con el alistamiento de los equipos e insumos necesarios para el ensamble.
02. Luego, sigue la inspección de las tarjetas a ensamblar.
03. Después, se procede a la ubicación de los componentes de acuerdo con la planimetría suministrada o, si es un proceso automatizado, con el archivo Gerber correspondiente.

El ensamble de tarjetas electrónicas requiere de técnicas adecuadas y de la aplicación de normas de calidad que aseguren que este proceso cumpla con los parámetros solicitados.

Para la elaboración de este componente, se abordaron varios autores conocidos en ensamble de tarjetas electrónicas, de quienes se han citado y referenciado conceptos y ejemplos para los fines educativos de esta materia, en el entendido de que el conocimiento es social y, por lo tanto, es para ser usado por quienes necesitan adquirirlo. Se espera que este documento sea útil para todos aquellos, aprendices y lectores en general, que estén interesados en acercarse a asuntos básicos del desarrollo de productos electrónicos.

1. Planificación del ensamble de tarjetas electrónicas

La planificación es una fase importante de cualquier proceso. En el ensamble de tarjetas, esto influye mayormente en el resultado de la producción general de cualquier equipo electrónico. Una mala planificación traerá muchas consecuencias, desde errores de ensamble hasta pérdidas económicas para una empresa.

La planificación requiere que se tenga un conocimiento amplio de la naturaleza de la tarjeta a ensamblar, es necesario contar con los planos y la documentación completa del proyecto, tal como se observa en la figura.

Figura 2. Planificación del ensamble



La planificación requiere que se tenga un conocimiento amplio de la naturaleza de la tarjeta a ensamblar, por ello la necesidad de determinar correctamente cada una de las fases.

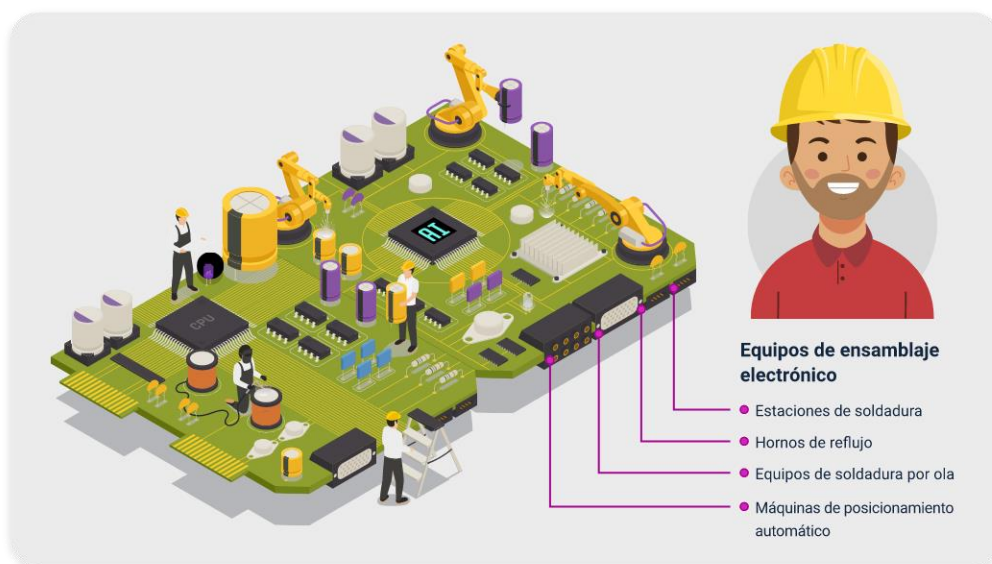
- 01. Planos esquemáticos establecidos.
- 02. Listado de materiales definido.
- 01. Esquemas de posición de componentes.

1.1. Equipos de ensamblaje electrónico

Los equipos usados para el ensamblaje electrónico son muy variados, dependiendo de si el proceso es manual o automatizado, pero todos cumplen el mismo propósito: posicionar y fijar con soldadura los componentes electrónicos a la PCB (Printed Circuit Board).

Los equipos más destacados son los siguientes:

Figura 3. Equipos destacados



Equipos de ensamblaje electrónico

- a. Estaciones de soldadura.
- b. Hornos de reflujo.
- c. Equipos de soldadura por ola.
- d. Máquinas de posicionamiento automático.

A continuación, se explica cada uno de ellos:

a. Estación de soldadura

La estación de soldadura es un equipo que reemplazó, con el paso de los años, el uso del típico cautín. Es un equipo encargado básicamente de regular a través de la potencia que entrega al elemento calefactor la temperatura en la punta del mango que es el elemento que tiene contacto final con el estaño y el elemento a soldar.

Esta se caracteriza por ser una caja metálica que cuenta con controles manuales digitales o analógicos para dominar la temperatura de cada mango por separado. Generalmente, cuenta con algún tipo de elemento de visualización, como *display* o pantalla, que permite observar de forma precisa la temperatura presente en cada mango, y en algunos casos, si hay algún tipo de fallo, también cuenta con puertos conectores donde se ancla el cable que lleva la alimentación al elemento calefactor; en la mayoría de casos, cada mango es también la entrada de señal de algún sensor que detecta la temperatura en la punta del mismo.

En algunas estaciones se cuenta con una función adicional, que consiste en brindar un flujo de aire caliente para soldar (mangos de aire caliente) o desoldar componentes, y en las estaciones más especializadas se cuenta con una función de succión, donde se tiene un mango especial hueco, el cual tiene también un calefactor, que ayuda, mediante una bomba ubicada en la estación, a absorber la soldadura fundida (mango extractor). Esta función es usada para desoldar componentes de hueco pasante (*thru-hole*).

En la siguiente imagen, se pueden observar varios tipos de estaciones de soldadura electrónica.

Figura 4. Tipos de estaciones de soldadura electrónica



- a. Estación con mango tipo lápiz y mango de aire caliente
- b. Estación con mango tipo lápiz y mango extractor de soldadura

Estos equipos son usados principalmente en la reparación de tarjetas electrónicas, en ocasiones se utilizan en el proceso de ensamble solo cuando esté es manual; hoy en día en las Industrias solo se ensamblan manualmente los prototipos de los productos electrónicos cuando ya estos están en una producción definitiva su ensamble es automatizado.

Las estaciones de soldadura electrónica que más mantenimiento requieren por parte del ensamblador, el técnico/tecnólogo u operador son las que cuentan con mango extractor, ya que estas cuentan con un filtro que evita que los trozos de soldadura extraídos paren dentro de la bomba que genera la succión.

Es necesario que cada vez que el mango pierde poder de succión, se extraiga este filtro, se desocupe y se limpie, para evitar su avería.

- b. Hornos de reflujo

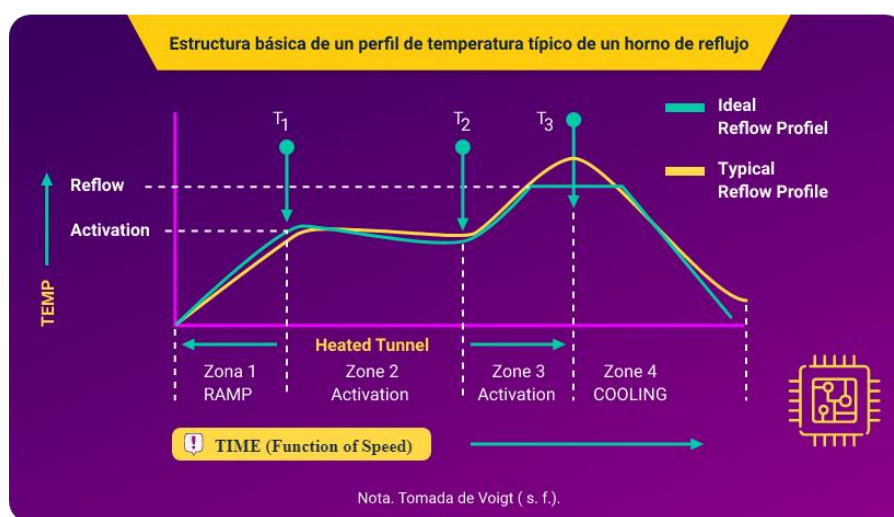
A nivel industrial, se hace necesario que la producción y el ensamble de las tarjetas sea un proceso más ágil. El ensamble manual es engorroso y toma tiempo, además de requerir de una gran experticia por parte del ensamblador, por esto son muy útiles equipos como el horno de reflujo. Es una máquina de convección, que posee un control sofisticado de temperatura que permite crear el llamado “perfil”, el cual es la curva de temperatura durante el proceso de reflujo de la soldadura.

El reflujo es el proceso mediante el cual la soldadura en pasta se derrite mientras se sueldan así los componentes.

El perfil depende de varios factores asociados: el tamaño del horno, el tipo de la soldadura, el tipo de fundente y, por supuesto, las características del horno como tal. Generalmente, los fabricantes de estos hornos ya tienen caracterizados estos perfiles, los cuales son los recomendados, pero en el proceso se pueden ir ajustando de acuerdo con las necesidades de la parametrización que se hace con el control mismo del horno.

Los perfiles son muy similares y tienen como objeto hacer un control preciso de la temperatura, para asegurar una correcta soldadura protegiendo así la integridad de los componentes. La siguiente imagen presenta una estructura básica de un perfil.

Figura 5. Perfil de temperatura



Existen hornos de reflujo prácticamente de todos los tipos, pero en general todos funcionan igual y su perfil es parecido al mostrado en la figura anterior. Los hornos de tipo industrial cuentan con una banda que mueve las tarjetas por diferentes zonas de calentamiento, de forma que aseguran la ejecución del perfil y permiten procesar una gran cantidad de tarjetas al mismo tiempo, generando un proceso continuo y en serie.

Figura 6. Hornos de reflujo



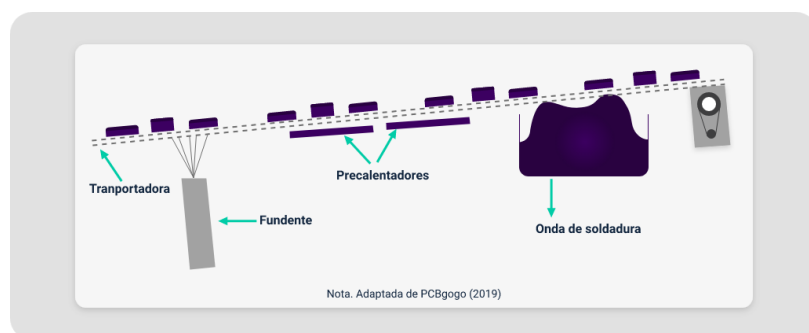
Nota. Tomada de Das (2021).

c. Equipos de soldadura por ola

La soldadura por ola es usada exclusivamente para los componentes del tipo hueco pasante (thru-hole). Básicamente, el equipo contiene un recipiente con un calefactor que derrite una cantidad considerable de estaño y lo mantiene en su estado líquido. Dentro de este, hay un equipo de bombeo, que genera literalmente una pequeña ola; también cuenta con un sistema de spray que pulveriza fundente sobre las tarjetas previo a la soldadura.

También, dentro del equipo, hay un sistema de rieles que mueven constantemente los lotes de tarjetas, las cuales ya tienen previamente insertados y acomodados los componentes. Las tarjetas pasan por la sección donde se les aplica el fundente y, luego, por la ola de estaño, la cual suelda instantáneamente los componentes de una manera muy eficiente; la gravedad se encarga de retirar el exceso de temperatura.

Figura 7. Estructura del equipo de soldadura por ola



En los últimos años, se desarrolló un avance en este tipo de equipos y es la ola selectiva, la cual conserva el mismo principio, pero, en vez de ser una ola que baña toda la tarjeta, es un sistema que puede movilizar un pequeño tanque con una ola muy pequeña que va soldando pin por pin. Esto es útil cuando las tarjetas tienen una tecnología combinada entre hueco pasante (thru-hole) y superficie (SMD).

d. Máquinas de posicionamiento automático de componentes

Las máquinas automatizadas, mejor conocidas como Pick and Place, son máquinas que, mediante el uso de uno de los archivos generados en el diseño de la tarjeta, están en capacidad de posicionar de manera automática los componentes en la tarjeta.

Figura 8. Típica máquina *Pick and Place* en funcionamiento

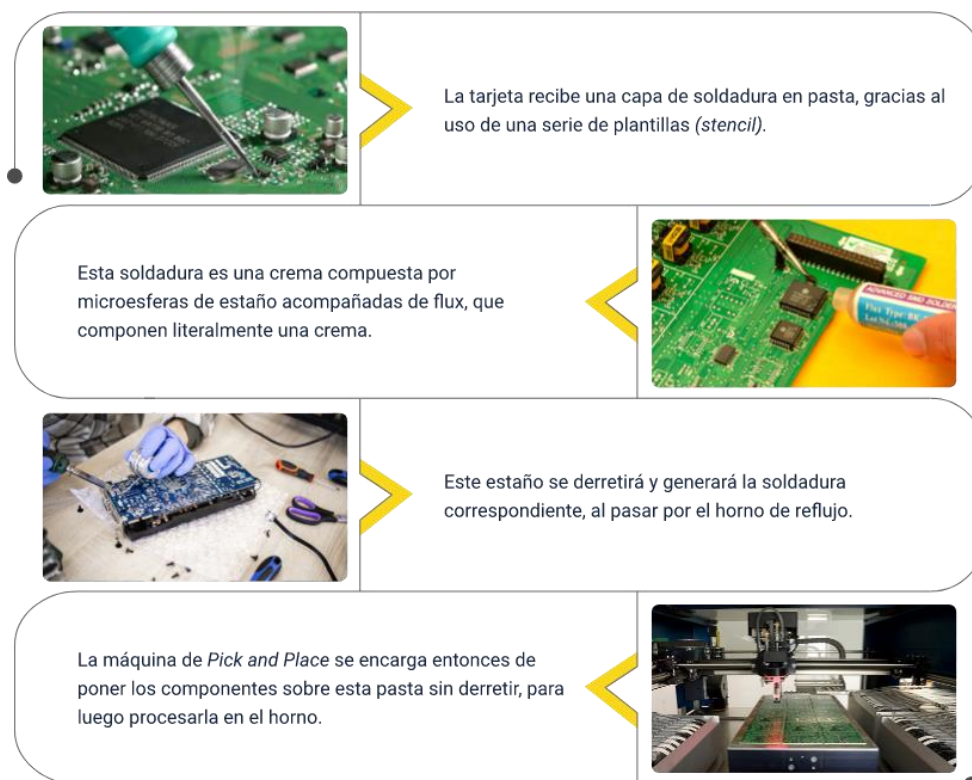


Típica máquina *Pick and Place* en funcionamiento

Estos equipos son usados, esencialmente, cuando hay en su mayoría componentes de superficie que por su tamaño se hace más complejo su posicionamiento.

La siguiente figura presenta el proceso que realiza este tipo de equipo:

Figura 9. Proceso de una máquina de posicionamiento automático



- La tarjeta recibe una capa de soldadura en pasta, gracias al uso de una serie de plantillas (stencil).
- Esta soldadura es una crema compuesta por microesferas de estaño acompañadas de flux, que componen literalmente una crema.
- Este estaño se derretirá y generará la soldadura correspondiente, al pasar por el horno de reflujo.
- La máquina de Pick and Place se encarga entonces de poner los componentes sobre esta pasta sin derretir, para luego procesarla en el horno.

1.2. Técnicas y sistemas de microscopía óptica y ampliación de imágenes

Antes de realizar el ensamble, es necesario inspeccionar el PCB, en busca de posibles fallas de fabricación o defectos que pueden llegar a afectar su correcto funcionamiento, para ello existen diferentes equipos. Una vez ensamblada, es necesario realizar nuevamente una revisión minuciosa de la misma.

Normas internacionales que rigen este tipo de procesos, como la IPC 610E, especifican los aspectos a tener en cuenta para elegir un equipo de aumento visual adecuado para cada tarea, tal como se presenta en las siguientes tablas, adaptadas de la IPC-A-610E-2010.

Tabla 1. Normatividad en la ampliación de imágenes.

Aumento visual para inspección (ancho de pistas)		
Ancho de pistas o diámetro de pads ¹	Potencia de aumento visual	
	Rango de inspección	Arbitraje máximo
>1.0 mm [0.0394 pulg.]	1.5X to 3X	4X
>0.5 to ≤1.0 mm [0.0197 a 0.0394 pulg.]	3X to 7.5X	10X
≥0.25 to ≤0.5 mm [0.00984 a 0.0197 pulg.]	7.5X to 10X	20X
0.25 mm [0.00984 in]	20X	40X

Nota 1: una porción de un patrón conductivo usado para hacer la conexión y/o unión de componentes.

Tabla 2. Normatividad en la aplicación del aumento de imágenes.

Aplicaciones de ayuda de aumento visual	
Limpieza (con o sin procesos de limpieza)	No se requiere aumento visual. Ver nota 1
Limpieza (procesos no- <i>clean</i>)	. Nota 1
Recubrimientos conformal y encapsulados	Notas 1, 2
Marcados	Nota 2
Otros (daños a componentes y alambres, etc.)	Nota 1
Nota 1: la inspección visual puede requerir el uso de un aumento visual; por ejemplo, cuando está presente un fine pitch, o un ensamble de alta densidad, pudiera ser necesaria la ayuda de un aumento visual mayor, para determinar si hay una contaminación que afecte forma, ajuste o función.	
Nota 2: si se utiliza aumento visual, está limitado a 4X máximo.	

Como se puede observar en la anterior tabla, se puede notar que, dependiendo de la tarea y del ancho de las pistas, se establece un aumento visual determinado. La norma establece, sin embargo, que el aumento máximo para tareas como la inspección de la limpieza no puede ser superior a 4X.

1.3. Funcionalidades y características de accesorios

Dentro de la tarea de ensamblar una tarjeta, existen muchos accesorios que pueden ser utilizados para facilitar este proceso, lo que se aplica exclusivamente a la tarea de ensamble manual. A continuación, se presentarán algunas herramientas útiles para ello.

Pinzas de puntas planas

Estas pinzas tienen como propósito el agarre de piezas relativamente pequeñas. En ensamble electrónico, lo recomendado es que su punta sea completamente lisa.

Pinzas de precisión

Las pinzas de precisión, tipo “*Tweezers*” o pinza de Bruselas, son altamente recomendadas para el ensamble de componentes de superficie. Es indicado, además, que estas tengan un recubrimiento de pintura antiestática.

Juego de destornilladores

Es conveniente contar con un variado juego de destornilladores, ya que en la tarjeta es necesario ajustar elementos como disipadores de calor o postes, que se ajustan con tornillos y tuercas.

Cortafríos

Esta herramienta es útil para cortar los pines sobrantes de los componentes o realizar el corte de cables que van sujetos al ensamble.

Manta estática

Esta cumple la función exclusiva de proteger todos los componentes de daños por descargas de estática generadas por una mala manipulación.

Manilla antiestática

Cumple la misma función de la manta solo que esta va sujeta a la mano del ensamblador. El uso de una no excluye necesariamente el uso de la otra, toda la protección antiestática es requerida.

Prensa para placa de circuito impreso

También se les conoce como tercera mano, su función es precisamente brindar al ensamblador un soporte adicional para sostener en la posición adecuada la tarjeta.

1.4. Métodos de uso, procesos de ensamble, accionamiento y configuración

En el ensamble electrónico, hay muchos factores que demarcan su calidad y el uso adecuado de las herramientas dentro de los procesos. La correcta planeación de la

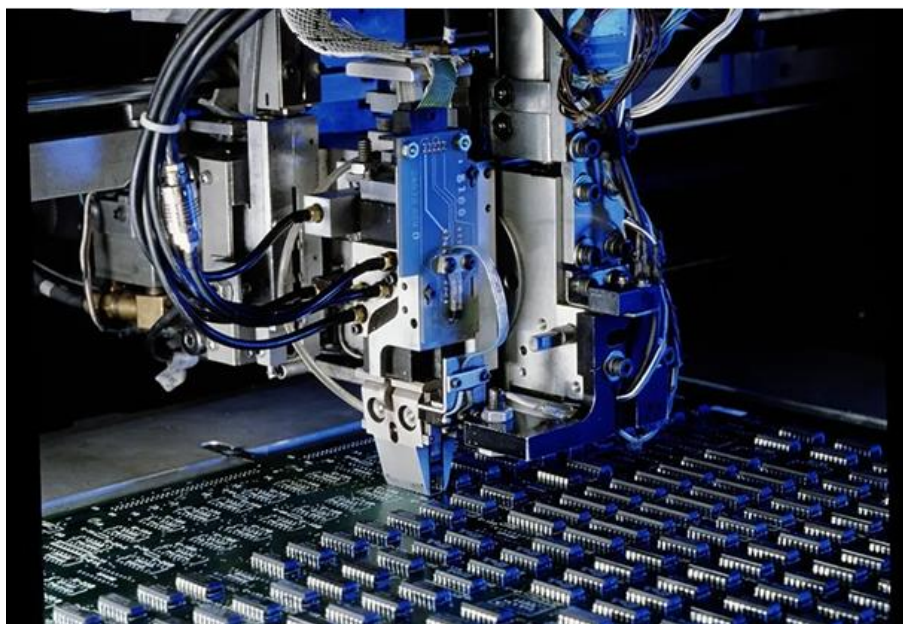
producción, junto con un seguimiento minucioso de los detalles, puede hacer la diferencia entre un ensamble con criterios de aceptabilidad o un ensamble con defectos.

No existe gran literatura acerca de las técnicas más adecuadas, las normas solo nos hablan de cómo debe quedar el resultado final y los criterios para determinar los defectos del ensamble en aspectos como la orientación de los componentes, la limpieza, aspectos eléctricos, entre otros.

Vale la pena resaltar que, luego de inspeccionar las tarjetas a ensamblar en busca de defectos, el paso a seguir es realizar una correcta limpieza de la tarjeta, con alcohol isopropílico; después, se procede a hacer el alistamiento de la documentación necesaria para el ensamble. Es necesario tener disponibles los planos esquemáticos y los diagramas de posicionamiento de los componentes, brindados por el diseñador; estos serán la guía para el ensamblador, ya que le brindarán la información requerida para posicionar cada uno de los componentes.

En procesos industriales, las máquinas de posicionamiento automático, o Pick and Place, se alimentan de los archivos digitales del diseño para realizar esta tarea de forma automática.

Figura 10. Robot de ensamblaje electrónico.



De manera general, en los procesos industriales, luego de que todos los componentes son posicionados, se procede al proceso de soldadura; la interacción humana allí es mínima y solo se interviene supervisando el correcto funcionamiento de las máquinas y poniendo los carretes con componentes que se requieran para el ensamble. Al final, la inspección de calidad se hace o por el ojo experto de un técnico supervisor o con la ayuda de máquinas de visión artificial que están programadas para ello.

En un ensamble manual, se procede, con la ayuda de la documentación mencionada, a posicionar componente por componente y se dispone entonces a su soldadura, de tal manera que componente que se posiciona, componente que se suelda a la placa; esa es la gran diferencia con los procesos industriales automatizados: el posicionamiento de los componentes no es un proceso al azar ni algo que se deba ejecutar de cualquier manera, dados los parámetros que debe cumplir de acuerdo con las normas internacionales, como la IPC-610.

La secuencia recomendada dependerá del tipo de tarjeta. Si esta solo contiene componentes de hueco pasante (*thru-hole*) o solamente de montaje superficial (*surface mount*) se le conoce como tarjeta de tecnología; por el contrario, en caso de que la tarjeta contenga de los dos tipos de componentes, se le conoce como una tarjeta de tecnología mixta.

A continuación, se explica cuáles son los pasos a seguir de acuerdo con esta clasificación.

Tarjeta de tecnología de hueco

Los pasos para seguir con una tarjeta de una tecnología de hueco pasante son:

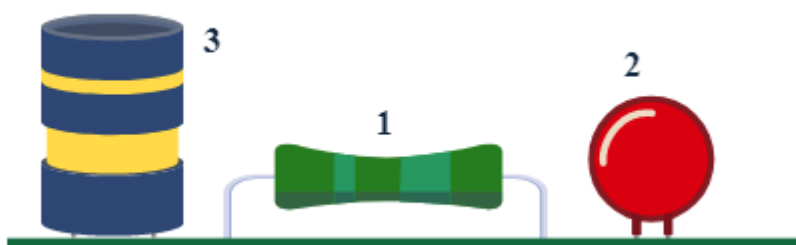
- a. Hay que comenzar por hacer el alistamiento de cada componente a ubicar y soldar. Para elementos axiales, como las resistencias, asegúrese de que el doblez de los pines de conexión cumpla con el estándar IPC. Es recomendable que antes de insertarlos en la tarjeta se limpien los pines con un poco de alcohol isopropílico, para retirar cualquier impureza que pueda afectar la soldadura del mismo.

Figura 11. Doble recomendado de los elementos de tipo axial.



- b. Ubicar primero los elementos más cortos en el espacio vertical, es decir, entre una resistencia y un condensador, el orden de ensamble sería: primero la resistencia y luego el condensador.

Figura 12. Orden de ensamble de acuerdo con su altura.



- c. Asegurar, con la documentación del diseño, la orientación de componentes que tienen polaridad, como diodos y condensadores, con elementos sin polaridad. Se recomienda que las resistencias estén orientadas de tal manera que su código de colores se pueda leer de derecha a izquierda y todas queden en la misma orientación.
- d. Proceder con el proceso de soldadura.

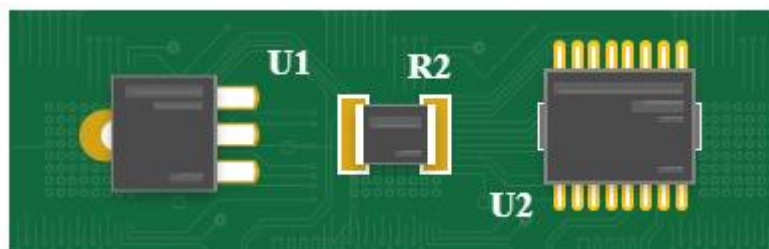
Tarjeta de tecnología de superficie

Los pasos a seguir con una tarjeta de una tecnología de superficie son:

- a. Aplicar la misma regla de tamaño que con los componentes de tipo hueco pasante: primero se ponen los componentes más bajos y luego los más altos.

b. Se sugiere ubicar y soldar primero los componentes con mayor cantidad de pines, es decir, entre un transistor de tres pines y un integrado de 16 pines primero se ensambla el integrado y luego el transistor.

Figura 13. Orden de ensamble de acuerdo con su cantidad de pines.



Hay que tener especial precaución con la orientación de elementos polarizados, como diodos, y asegurarse muy bien antes de proceder a soldar. Se recomienda que antes de ubicar cada elemento, se aplique una pequeña capa de fundente tipo flux.

Tarjeta de tecnología mixta

En el caso de tener una tarjeta de tecnología mixta, se recomienda lo siguiente:

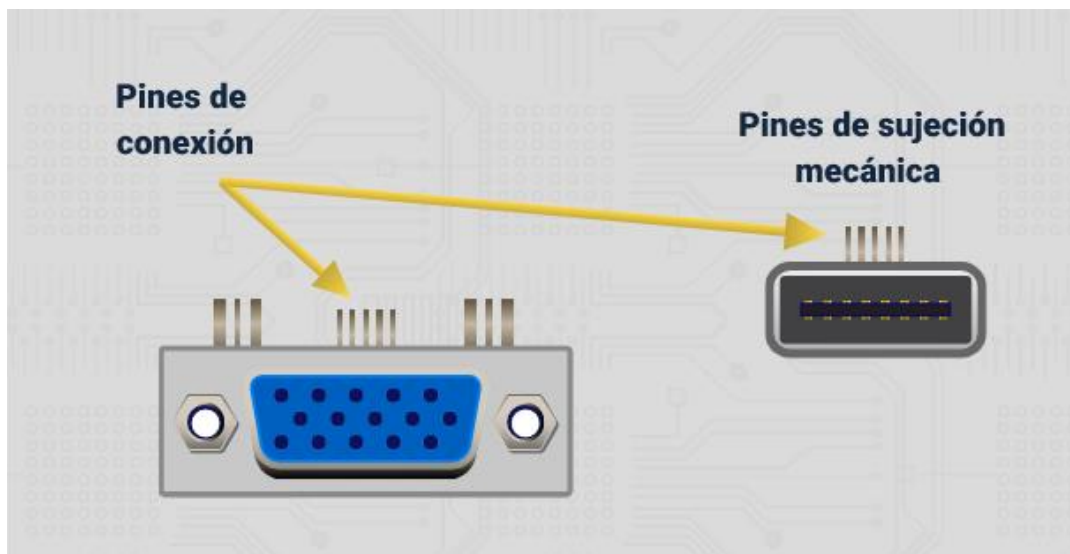
- Primero se ubican y se sueldan los elementos de montaje superficial, siguiendo las recomendaciones dadas anteriormente.
- Proceda así mismo con los elementos de hueco pasante (thru-hole), teniendo también en cuenta las recomendaciones.
- Al soldar los elementos de hueco pasante (thru-hole), tenga especial precaución en no llegar a calentar por accidente los elementos de superficie, ya que esto podría ocasionar graves daños.

2. Soldadura en electrónica

La soldadura tiene un propósito doble. Por un lado, provee la conexión eléctrica efectiva entre los componentes, al unir cada uno a la tarjeta donde los caminos llevan esta

interconexión a los demás elementos. Su segundo propósito es brindar una sujeción mecánica de los componentes.

Figura 14. Pines de anclaje mecánico en conectores USB.



- a. Pines de conexión
- b. Pines de sujeción mecánica

Un ejemplo claro de ello son los conectores de puertos periféricos, como el USB, que, a parte de los pines que hacen la conexión con el puerto, tienen generalmente dos pines más, cuyo propósito principal es el anclaje mecánico del puerto como tal; sin estos pines, la conexión de este elemento quedaría vulnerable a fracturas por desgaste mecánico al conectar y desconectar elementos de este puerto.

La soldadura es el proceso de unir por medio de una fusión dos metales que, en este caso, resultan ser conductores. Esta fusión requiere un proceso térmico de calentamiento, que da como resultado, al fundirse perfectamente los metales, que queden como un solo elemento metálico y conductor.

2.1. Técnicas, tipos y propiedades de aleaciones y aceleradores

Existen básicamente dos tipos de soldaduras para el uso en electrónica: soldadura con plomo y libre de plomo. Están compuestas a base de estaño y se les conoce, a veces,

como soldaduras blandas, ya que requieren una temperatura baja, con respecto a otros tipos de soldaduras, para generar esa fusión. En el caso de la electrónica, esta es una capa que mide apenas unos pocos micrómetros, por lo que se le conoce como capa intermetálica.

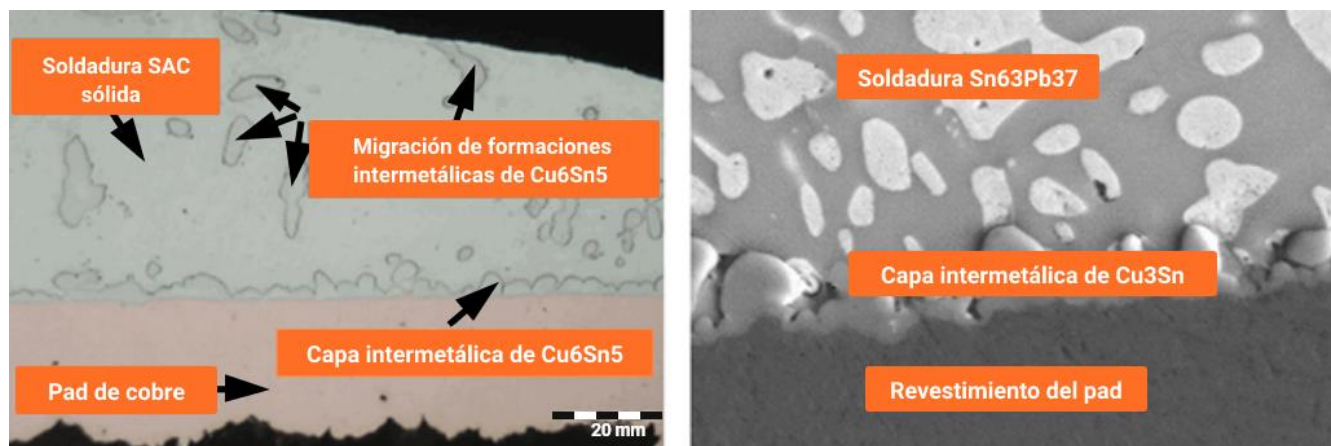
Figura 15. Placa de circuito.



La capa intermetálica es una microfusión del estaño y el metal sobre el que se está soldando, que puede ser la pista de cobre o el pin de un componente.

Una soldadura bien adherida requiere, según Microensamble (2016), de lo siguiente: “su componente primario debe disolver parte del metal de la superficie donde se va a soldar. Este proceso forma una capa compuesta básicamente por una aleación de los dos metales a unir, recibiendo el nombre de intermetálicos”.

Figura 16. Los desafíos de soldar intermetálicos.



Capas intermetálicas formadas por soldaduras con plomo y libres de plomo.

Nota. Tomada de Microensamble (2016).

Soldadura

Soldadura SAC sólida

Migración de formaciones intermetálicas de Cu_6Sn_5

Pad de cobre

Capa intermetálica de Cu_6Sn_5

Soldadura $\text{Sn}63\text{Pb}37$

Capa intermetálica de Cu_3Sn

Revestimiento del pad

La soldadura con plomo está compuesta en un 63% de estaño con un contenido de 37% de plomo, también existe una proporción de 60/40 de estaño – plomo. Aunque aún se encuentra comercialmente esta soldadura, está destinada a desaparecer porque el plomo es un elemento altamente tóxico para el hombre y la naturaleza, mientras la soldadura sin plomo es una soldadura que no tiene ese inconveniente y, por lo tanto, se ha venido posicionando cada vez más en la producción de todo tipo de equipos electrónicos.

Según Microensamble (2016): “existe una gran variedad de soldaduras que no contienen plomo, como las aleaciones $\text{SnAg}3.5$ y $\text{Sn}96.5\text{Ag}3\text{Cu}0.5$ (SAC 305), entre otras”.

Ahora bien, dejando a un lado el aspecto químico, lo más importante aquí es tener en cuenta la temperatura a la cual se funden estos dos tipos de soldadura, lo cual genera una de las diferencias más trascendentales a la hora de ensamblar o planear una producción.

La soldadura con plomo se funde entre $183\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $225\text{ }^{\circ}\text{C}$ mientras que la soldadura sin plomo se funde entre 217°C y 227°C , como es evidente se requiere de mayor temperatura para lograr fundir soldadura libre de plomo, por esta razón, es necesario trabajar siempre con una estación que nos permita llevar ese control preciso de la misma.

Figura 17. Símbolo libre de plomo.



Símbolo libre de plomo

La identificación entre una y otra puede hacerse fácilmente por color o por el símbolo de libre de plomo característico. Generalmente, todas las soldaduras libres de plomo vienen en un empaque de color verde con el símbolo de libre de plomo.

La presentación de la soldadura también permite una clasificación, ya que existen soldaduras en alambre blando, soldaduras en pasta y lingotes de soldadura. Dependiendo de la manera como se ensamblen las tarjetas se requerirá uno u otro, tal como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 18. Uso de los tipos de soldadura.



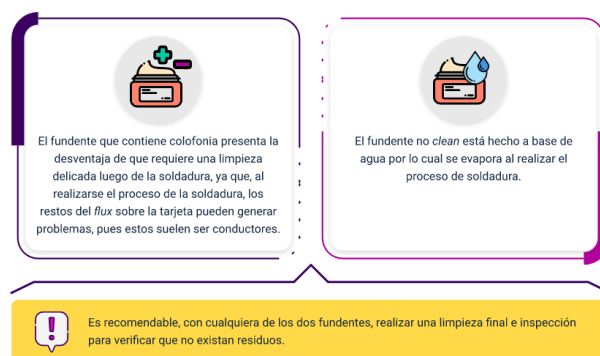
- a. El alambre blando es el indicado para el ensamble manual.

- b. La soldadura en pasta es indicada para componentes que se van a soldar con horno de reflujo.
- c. El lingote de soldadura es el insumo que alimenta un equipo de soldadura por ola.

Los fundentes, por su parte, son básicamente sustancias que proveen dos funcionalidades importantes a la hora de soldar:

1. Proteger la capa intermetálica de la formación del óxido, proveniente de las partículas de agua presentes en el momento de la soldadura.
2. Concentrar la temperatura y distribuirla de manera más uniforme.

Figura 19. Limpieza de soldadura.

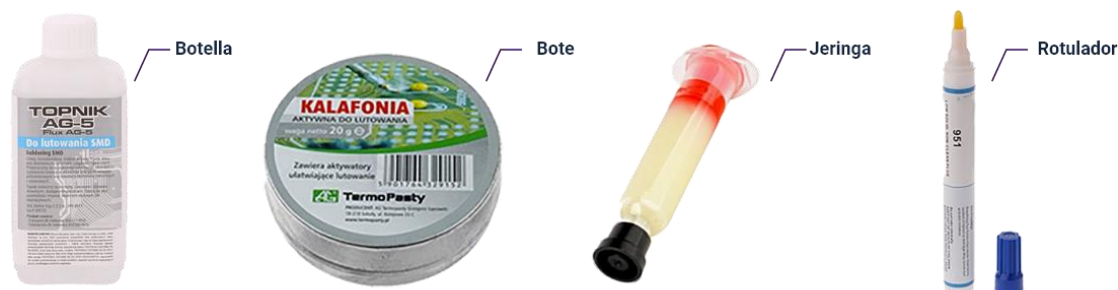


- a. El fundente que contiene colofonia presenta la desventaja de que requiere una limpieza delicada luego de la soldadura, ya que, al realizarse el proceso de la soldadura, los restos del “flux” sobre la tarjeta pueden generar problemas, pues estos suelen ser conductores.
- b. El fundente no “clean” está hecho a base de agua por lo cual se evapora al realizar el proceso de soldadura

Es recomendable, con cualquiera de los dos fundentes, realizar una limpieza final e inspección para verificar que no existan residuos.

Las presentaciones comerciales de los fundentes conocidos comúnmente como “FLUX” son muy variadas, ya que hay desde aerosoles, geles y líquidos, hasta presentaciones en polvo. La selección de cada presentación depende del tipo de ensamble que se hará, es decir si este es automatizado o manual.

Figura 20. Variedad de presentaciones de los fundentes comerciales.



Nota. Tomada de MovilOne (2018).

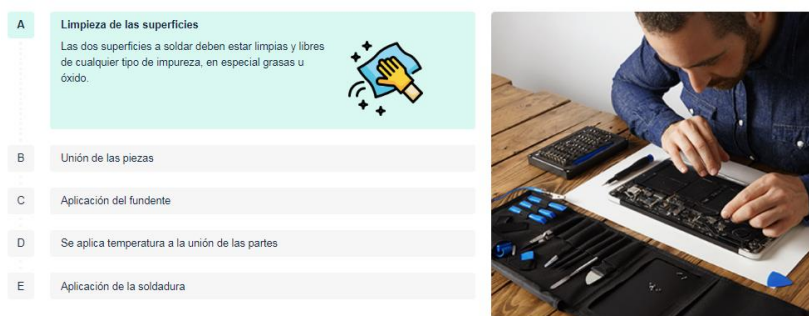
- Botella.
- Bote.
- Jeringa.
- Rotulador.

En el mercado podemos encontrar presentaciones en jeringa, botes y hasta en lápiz tipo marcador que permite, literalmente, pintar las pistas con la cantidad de “flux” necesaria.

2.2. Métodos de uso y mantenimiento de herramientas

El procedimiento general de la soldadura es el mismo, pero se debe tener en cuenta, como siempre, si este es automático o si es manual. En general, el procedimiento para soldar dos piezas se expone en el siguiente recurso.

Figura 21. Procedimiento para soldar piezas con estaño.



a. Limpieza de las superficies

Las dos superficies a soldar deben estar limpias y libres de cualquier tipo de impureza, en especial grasas u óxido.

b. Unión de las piezas

Ya sea un componente posicionado en la tarjeta o dos cables entorchados, previo a aplicar la soldadura, las piezas deben estar juntas y en contacto mecánico.

c. Aplicación del fundente

Este paso, dependiendo del caso, puede ir previamente, ya que el fundente se aplica justo antes de soldar y no puede permanecer por mucho tiempo aplicado, pues puede llegar a corroer los metales. En el caso de las tarjetas de montaje superficial, este se aplica previo al posicionamiento de los componentes.

d. Se aplica temperatura a la unión de las partes

Dependiendo del tipo de soldadura aplicada, se ajusta la temperatura del elemento calefactor, ya sea horno o punta de mango soldador, teniendo en cuenta si es soldadura con o sin plomo.

e. Aplicación de la soldadura

Se aplica la soldadura formando un puente entre las partes y el elemento calefactor; en el caso de la soldadura manual, con mango soldador o cautín, en los casos industrializados, se aplica por una pequeña ola de estaño fundido.

Si la soldadura es hecha en un horno de reflujo, al aplicar el flux o fundente, también se aplica una delgada capa de soldadura, pero en pasta.

Ahora bien, hay algunas consideraciones muy particulares para la soldadura manual que deben ser tenidas en cuenta, si se quiere lograr una soldadura de calidad. Entre ellas, se encuentran las siguientes:

Se recomienda el uso de guantes de nitrilo para evitar contaminarse con el plomo de la soldadura, si es el caso, o para evitar contaminar con el sudor los pines, las pistas y pads de la tarjeta. Este tipo de contaminación afecta de gran manera la soldadura.

Cuando se aplica la soldadura en alambre blando, esta empezará a derretirse inmediatamente y entra en contacto con la temperatura de los elementos a soldar. Se recomienda que este alambre sea movido para que la soldadura se esparza por toda el área.

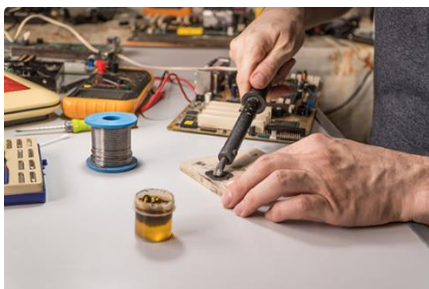
Erróneamente, se piensa que se debe mover la punta del mango soldador, pero, por el contrario, esta debe permanecer en este proceso firme calentando las dos superficies a unir; si se mueve el soldador, habrá una pequeña pérdida de temperatura que afectará el resultado final.

El tiempo de aplicación del calor y la soldadura es fundamental, ya que muy poco daría como resultado una soldadura fría, que se agrieta fácilmente, y mucho tiempo dará como resultado una capa intermetálica demasiado gruesa, que también puede sufrir grietas fácilmente. Este procedimiento dura unos pocos segundos, dependiendo del tamaño de las piezas a soldar.

En cuanto al mantenimiento de las herramientas, el más importante en la soldadura manual es el de las puntas de los mangos soldadores. Al terminar el trabajo, se recomienda dejar una gruesa capa de estaño sobre estas y dejar que se seque y se enfríe. Si la punta queda demasiado “limpia”, es decir, libre de soldadura, esta tenderá con el tiempo a oxidarse y su vida útil será mucho más corta.

2.3. Características de soldabilidad

Figura 22. Cuidado y manipulación de componentes electrónicos.



En general el estaño es un material soldable al cobre, bronce y a la chapa de hierro; y aunque es válido tenerlo presente, no es una propiedad relevante, ya que todos los materiales usados en los ensambles electrónicos están diseñados para asegurar la solubilidad con el estaño.

Lo que sí se debe tener en cuenta es que esta propiedad puede llegar a perderse por culpa de contaminantes tan comunes como el sudor humano, el polvo y la corrosión generada por la humedad; por lo tanto, los componentes electrónicos y las tarjetas deben estar almacenados por corto tiempo y, en caso de que deban permanecer por largos periodos, se recomienda usar indicadores de humedad y un correcto almacenaje, así como manipulación por parte del ensamblador, quien debe usar siempre guantes de nitrilo para que no se transfieran impurezas a las tarjetas ni a los componentes.

Un consejo muy útil es que, en caso de que los componentes o la tarjeta hayan sufrido contaminación, se deben limpiar con alcohol isopropílico. También algunos pines de considerable tamaño, como los de las borneras, pueden ser ligeramente raspados con la ayuda de un bisturí, antes de proceder a hacer la soldadura. Este último procedimiento no es recomendado con componentes nuevos y sellados.

2.4. Técnicas de retiro y limpieza de excesos

Así como el proceso de ubicar los componentes y soldarlos es crucial en el ensamble, el proceso de retiro de excesos de soldadura y la limpieza de impurezas posterior también es de vital importancia, ya que los restos de fundente son extremadamente peligrosos, especialmente de aquellos con mayor capacidad.

Figura 23. Lavadora de ultrasonido industrial.



Son muy populares en el mantenimiento de equipos móviles, ya que, después de una reparación, se debe hacer una limpieza minuciosa de la tarjeta.

Desafortunadamente, los mejores fundentes son extremadamente resinosos (grasosos) y, al enfriarse, se vuelven conductores, generando resistencias parásitas y cortos dentro de la placa ensamblada.

A nivel industrial, se usan lavadoras que utilizan ultrasonido, combinado con alcohol isopropílico, para limpiar las impurezas. Su funcionamiento es muy simple, en realidad. Se trata de un receptáculo metálico que puede vibrar a muy altas frecuencias; dentro de este, se pone una cantidad de alcohol que apenas cubre las tarjetas que son puestas allí; la lavadora, al vibrar, genera ondas dentro del alcohol que disuelven y desprenden las impurezas.

Cuando no se cuenta con estos equipos de limpieza, se debe recurrir a técnicas manuales tradicionales. Una de las más reconocidas por los ensambladores es la llamada técnica japonesa, la cual consiste en poner un paño especial para la limpieza de PCB sobre la tarjeta; luego, se rocía alcohol sobre este, de tal manera que se humedezca por completo; luego, con un cepillo antiestático, se frota el paño contra la tarjeta, de tal forma que las impurezas quedan pegadas a este.

3. Tratamiento térmico

Figura 24. Temperatura clave en ensamble electrónico.



La temperatura es un factor determinante dentro de todo el proceso de ensamble, ya que establece tanto la calidad del ensamble como la integridad de los componentes que se están soldando. Por tanto, es importante conocer y dominar las características específicas térmicas de cada uno de los elementos que interactúan en el proceso de ensamble.

A continuación, se abarcarán los efectos del calor, la técnica de reflujo y el perfil ideal de temperatura.

3.1. Efectos del calor en componentes electrónicos

Todos los componentes electrónicos se ven afectados con los cambios de temperatura. Los fabricantes especifican en sus hojas de datos los límites máximos que pueden soportar los componentes; esto es un insumo para los ensambladores y diseñadores como referencia para saber las capacidades de cada componente.

De manera típica, cada componente tiene un par de parámetros que indican las temperaturas máximas que puede aguantar. Como se puede observar en la siguiente imagen, el último ítem indica las recomendaciones del fabricante a la hora de soldar. El “lead temperature” se refiere a la temperatura máxima que puede aguantar por 10 segundos alejado del cuerpo del componente, que en este caso es hasta los 300°C.

Figura 25. Parámetros máximos del integrado controlador TPS64200.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS	
over operating free-air temperature range unless otherwise noted (1)	
Supply voltage, VIN	-0.3 V to 7V
Voltage at EN, SW, ISENSE	-0.3 V to VIN
Voltage at FB	-0.3 V to 3.3 V
Maximum junction temperature, T _J	150°C
Operating free-air temperature, T _A	-40°C to 85°C
Storage temperature, T _{stg}	-65°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	300°C
(1) Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.	
Parámetros máximos del integrado controlador TPS64200. Nota. Tomada de Texas Instruments (2003, p. 2).	

Parámetros máximos del integrado controlador TPS6-4200. Nota. Tomada de Texas Instruments (2003, p 2).

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

over operating free-air temperature range unless otherwise noted

<i>Supply voltage, V_{IN}</i>	-0.3 V to 7V
<i>Voltage at EN, SW, ISENSE</i>	-0.3 V to V_{IN}
<i>Voltage at FB</i>	-0.3V to 3.3V
<i>Maximum junction temperature, T_j</i>	150°C
<i>Operating free-air temperature. T_A</i>	-40°C to 85°C
<i>Storage temperature. T_{sgt}</i>	-65°C to 150°C
<i>Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds 300°C</i>	

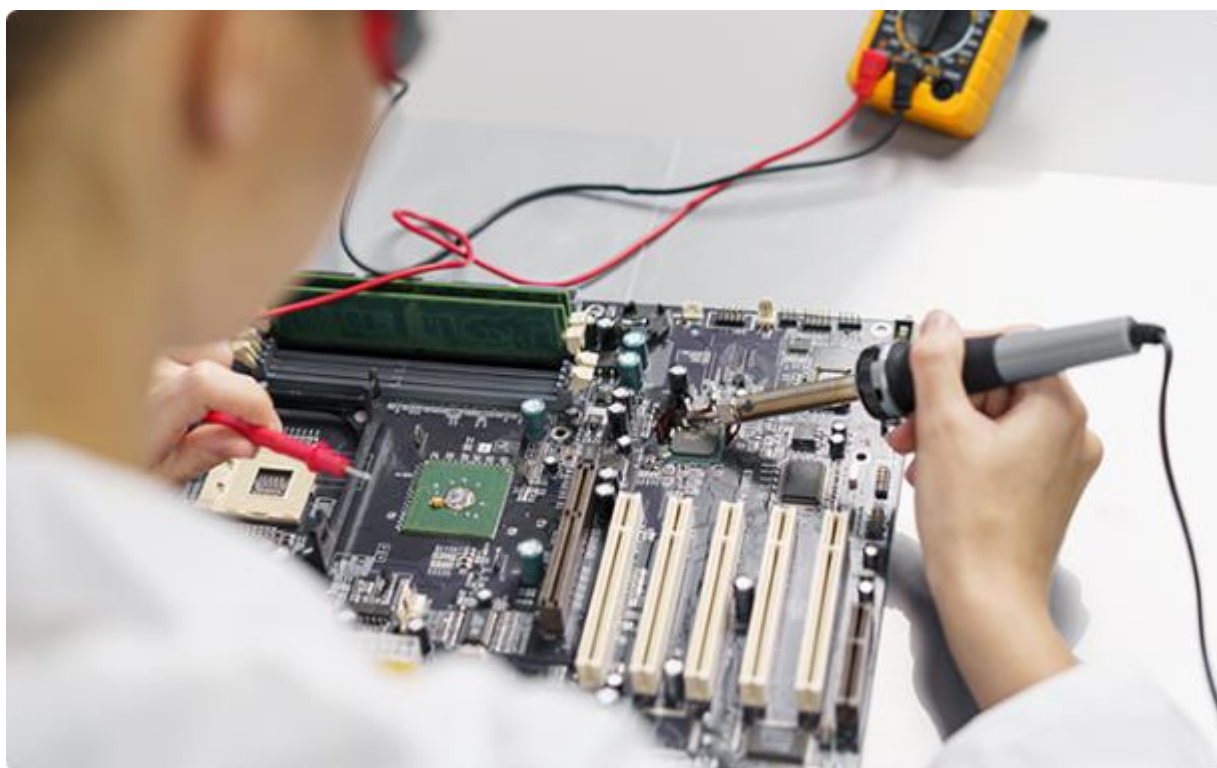
(1) Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

La temperatura puede llegar a afectar de gran manera el desempeño óptimo de un componente electrónico, cambiando las propiedades resistivas de los materiales, lo que afectará el comportamiento en general del circuito.

3.2. Técnica de reflujo

Las tarjetas con componentes de montaje superficial usualmente son soldadas con la técnica de reflujo, la cual no es más que derretir la soldadura puesta previamente sobre los “pads” de la tarjeta y sobre la cual se han posicionado los componentes para que esta fusión de soldadura genere en sí misma las uniones requeridas entre los pines de los componentes y la tarjeta.

Figura 26. La 'lápida': un defecto crítico en ensambles de 2 pines.



Lograr que este proceso, llamado en inglés “*reflow*”, que se traduce literalmente como “reflujo”, pero en un sentido más simple es la fusión de la pasta de soldadura, sea exitoso (es decir, que genere los puntos adecuados de soldadura con una capa intermetálica idónea) se ha vuelto uno de los principales problemas de la industria, ya que un reflujo exitoso no solo depende de un adecuado perfil. El problema se debe considerar desde el mismo diseño.

Existe, por ejemplo, un fenómeno conocido como “lámpida”, en el cual, si no están adecuadamente equilibradas las áreas circundantes de los “*pad*” de un elemento de dos pines, como un condensador o una resistencia, al pasar por el horno de reflujo, los condensadores tienden a levantarse y a quedar literalmente como una lámpida despegándose de uno de los “*pads*”, lo cual obviamente es un defecto grave de la tarjeta.

Hay otras consideraciones importantes, como el diseño de zonas de cobre que sirven como disipadores de calor y que, a su vez, ayudan a mantener la integridad de ciertos circuitos. En este proceso, llega a influir, incluso, la calidad de la pasta de soldadura usada.

Es importante recalcar que las soldaduras tienen un tiempo de vida útil de dos años. Cuando este tiempo se excede o está por cumplirse, la calidad de los puntos de soldadura obtenidos no es la misma que cuando la soldadura está fresca.

El proceso completo puede ilustrarse con la siguiente figura, donde se ve la secuencia completa.

Figura 27. Proceso de reflujo e inspección de calidad.



01 aplicación de la soldadura en pasta.

02 inspección visual de los “pads” para verificar que no hayan excesos de pasta o que estén fuera de ellos.

03 posicionamiento de los componentes.

04 luego viene todo el proceso térmico de reflujo. Se calienta todo el circuito y ocurre la fundición de los puntos.

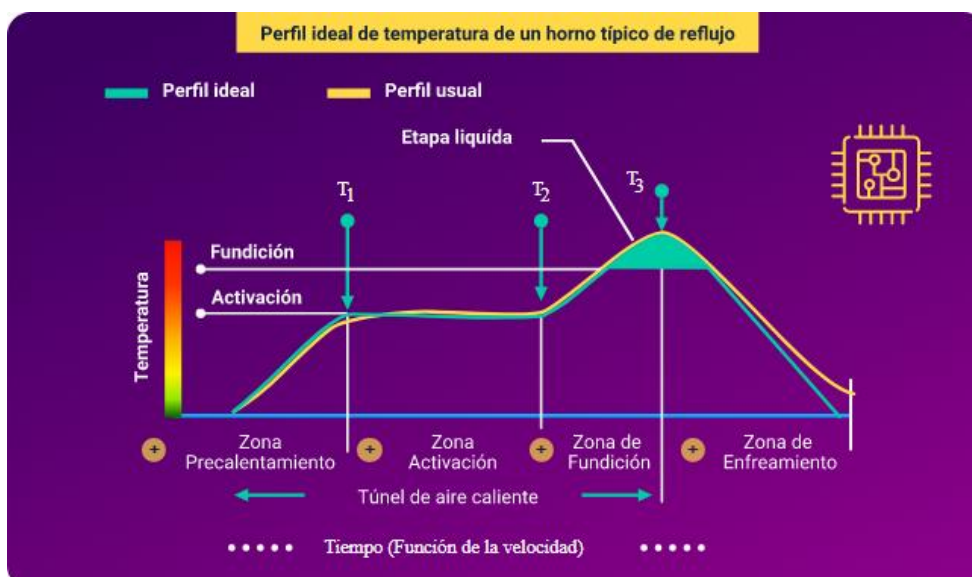
05 finalmente, hay una inspección visual del proceso.

3.3. Perfil ideal de temperatura

Tal vez el elemento más crucial y determinante en el proceso de soldadura por horno de reflujo es el perfil idóneo de temperatura, que nos permita obtener los mejores resultados de ensamble soldado. Este perfil no es otra cosa que una función que describe el comportamiento de la temperatura dentro del horno versus el tiempo o la velocidad de la banda que transporta las tarjetas.

En general, un perfil de temperatura tiene cuatro partes o zonas. A continuación, a través de un perfil ideal de temperatura de un horno típico de reflujo, se amplía un poco más sobre cada una de ellas.

Figura 28. Perfil ideal de temperatura.



En la **zona de precalentamiento** es donde la tarjeta, como su nombre lo indica, empieza un precalentamiento. Allí puede pasar de la temperatura ambiente a aproximadamente 100°C.

Esto es un promedio cada perfil, ya que puede variar de acuerdo con la densidad de los componentes, el tipo de soldadura y hasta el diseño.

Se recomienda un incremento gradual casi lineal, ya que, de tener una curva logarítmica donde el aumento de la temperatura exceda el tiempo transcurrido, o la velocidad de movimiento de la tarjeta en el horno, los componentes se verán afectados junto con sus características de funcionamiento.

En la **zona de activación** es donde literalmente se activa el proceso, ya que el fundente, al calentarse, protege la unión del óxido y los componentes alcanzan una temperatura segura para reducir la tensión superficial. Idealmente, esta parte de la gráfica debería permanecer prácticamente plana, es decir, a una temperatura constante en este período de tiempo.

En esta zona, puede suceder que, en vez de mantenerse estable la temperatura, esta baje, afectando la activación del flux y, por ende, el calentamiento requerido de los componentes para llegar adecuadamente a la zona de *reflow*. Esto produce soldaduras frías, que pueden generar grietas en la unión.

La **zona de fundición** o de *reflow* es donde la curva alcanza su máximo pico y este no debería exceder ni en temperatura ni en tiempo las recomendaciones de los fabricantes.

En este punto es donde se funde la soldadura y la tensión superficial es la adecuada para lograr la unión, y la capa intermetálica se forma.

Sin embargo, también en la zona de *reflow*, una excesiva temperatura podría literalmente generar una carbonización de los puntos de soldadura y, en algunos casos, puede generar el levantamiento de las pistas de la PCB.

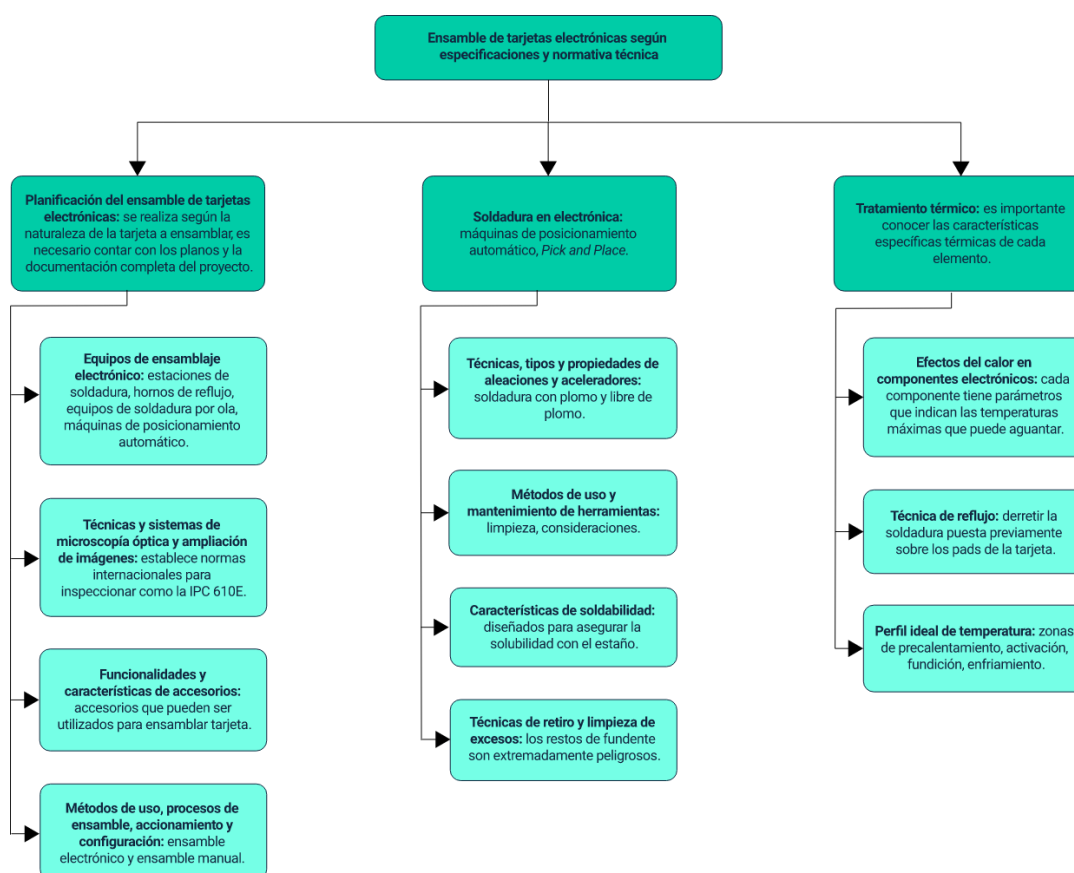
La **zona de enfriamiento** es donde la curva debe describir una pendiente igual a la de subida de la zona de *reflow*, ya que esto garantiza que la soldadura no se cristalice y termine de formar una adecuada capa intermetálica.

Asimismo, hay que tener presente que una temperatura que baja demasiado rápido generaría, aparte de soldaduras cristalizadas, un riesgo de fractura en los componentes.

Síntesis

A continuación, se describe el tema principal del componente formativo Ensamble de tarjetas electrónicas según una organización de los participantes del proceso, las especificaciones y normativas técnica, donde se identifican los conceptos básicos acerca del ensamble de tarjetas electrónicas, teniendo en cuenta las normas internacionales relacionadas con el ensamble electrónico, además aspectos importantes como la planificación del ensamble, técnicas de soldadura y tratamiento térmico de cada elemento dependiendo de sus características y funciones.

Figura 29. Síntesis de la información presentada.



Material complementario

Tema	Referencia APA del Material	Tipo de material	Enlace del Recurso o Archivo del documento material
Técnicas de soldadura manual.	Techspray. (s. f.). Ultimate Guide to Electronic Soldering.	Sitio web	https://www.techspray.com/ultimate-guide-to-electronic-soldering
Defectos en la soldadura.	Seeed Studio. (2021). 13 Common PCB Soldering Problems to Avoid.	Sitio web	https://www.seeedstudio.com/blog/2021/06/18/13-common-pcb-soldering-problems-to-avoid/
Perfiles de temperatura del proceso de reflujo	Microensamble. (2016c). Que es un perfil de temperatura para ensamble de circuitos impresos.	Sitio web	https://microensamble.com/perfil-de-temperatura-circuitos-impresos/
Técnica de reflujo	Microensamble. (2016a). ¿Cómo se forma la soldadura SMT en los hornos de reflow?	Sitio web	https://microensamble.com/soldadura-smt-hornos-reflow/

Glosario

Componente: elemento electrónico que será adherido con soldadura a la tarjeta

Componente tipo axial: es un componente electrónico de dos conexiones cuyos pines se ubican a lado y lado del cuerpo del componente.

Pad: dona de cobre puesta sobre la tarjeta que cuenta con un agujero que atraviesa la misma; la función del pad es alojar el pin de un componente.

PCB: del nombre en inglés *Printed Circuit Board*, o tarjeta de circuito impreso, que contiene pistas en cobre que interconectan los componentes en un circuito.

Pin: conexión externa de un componente que le permite hacer contacto eléctrico con los demás elementos del circuito.

Referencias bibliográficas

Das, S. (2021). SMT Reflow Soldering Equipment / Machine. Electronics and You.

<http://www.electronicandsyou.com/blog/smt-reflow-soldering-equipment-machine.html>

Electronics notes (s. f.) Pick and Place Machine for PCB Assembly.

https://www.electronics-notes.com/articles/constructional_techniques/pcb-assembly-process-manufacture/pick-place-machine.php

IPC (2010). IPC-A-610E-2010. Acceptability of Electronic Assemblies.

Microensamble. (2016b). Los intermetálicos en una soldadura, ¿una pesadilla?

<https://microensamble.com/los-intermetalicos-una-soldadura-una-pesadilla/>

Microensamble. (2016d). Precauciones con la mezcla de soldaduras normal con libre de plomo. <https://microensamble.com/precauciones-la-mezcla-soldadura-normal-libre-plomo/>

MovilOne. (2018). Flux para soldar, qué es y cómo utilizarlo.

<https://www.movilone.es/blog/flux-para-soldar-que-es-y-como-utilizarlo/>

Qtsolder. (2021). Solder Reflow Oven: PCB Assemble and Solder Paste.

<https://www.qtsolder.com/solder-reflow-oven-pcb-assemble-and-solder-paste/>

Soltec. (2010). Utilización de la máquina de limpieza por ultrasonidos SOLTEC 3300 ETH en la fábrica Eletech en Bitonto Bari Italia. <http://www.soltec.it/d1/es/limpieza-pcb-eletech>

Stakhniak, Y. (2012). How to Choose a soldering station. ToolBoom

<https://toolboom.com/en/articles-and-video/how-to-choose-a-soldering-station/>

Voigt, R. (s. f.). Selecting a Reflow Oven. DDM Novastar

<https://www.ddmnovastar.com/smt-quick-tips-selecting-a-reflow-oven>

Créditos

Nombre	Cargo	Regional y Centro de Formación
Claudia Patricia Aristizabal	Responsable del Equipo	Dirección General
Norma Constanza Morales Cruz	Responsable de Línea de Producción Regional Tolima	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Ángela Rocío Sánchez Ruiz	Experto Temático	Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones
Miroslava González H.	Diseñador y Evaluador Instruccional	Regional Distrito Capital Centro de Gestión Industrial.
Juan Gilberto Giraldo Cortés	Diseñador Instruccional	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Ana Catalina Córdoba Sus	Revisora Metodológica y Pedagógica	Regional Distrito Capital Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica.
Viviana Esperanza Herrera Quiñones	Asesora Metodológica	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Rafael Neftalí Lizcano	Asesor Pedagógico	Regional Santander Centro Industrial del Diseño y la Manufactura.
Darío González	Corrección de Estilo	Regional Tolima - Centro Agropecuario La Granja
José Jaime Luis Tang	Diseñador Web	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Francisco José Vásquez Suárez	Desarrollador Fullstack	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Gilberto Junior Rodríguez Rodríguez	Storyboard e Ilustración	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios

Nelson Iván Vera Briceño	Animador y Producción Audiovisual	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Oleg Litvin	Animador	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Oscar Iván Uribe Ortiz	Actividad Didáctica	Regional Tolima Centro de Comercio y Servicios
Javier Mauricio Oviedo	Validación y Vinculación en Plataforma LMS	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Gilberto Naranjo Farfán	Validación de Contenidos Accesibles	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios