

IV EL PROCESO DE SOLDADURA DE OLA

Uno de los avances más dramáticos en la industria de ensamblajes electrónicos fue el concepto de la tarjeta de circuito impreso (PCB por sus siglas en inglés). El crecimiento en la complejidad de los equipos electrónicos volvió el alambrado punto a punto dentro de un chasis, engorroso, caro e impráctico de reparar. La tarjeta de circuito impreso resolvió este problema e hizo posible la circuitería altamente densa de hoy en día.

Esta nueva tecnología y sus posteriores niveles de sofisticación (doble lado, multicapa, circuitos flexibles, montaje de superficie o SMT e híbridos) cambió la tecnología de soldadura a mano a técnicas de producción masiva.

La estructura de circuito impreso ofrecía dos importantes ventajas: una superficie plana y un patrón metálico sobre una base aislante. Como consecuencia, fue posible exponer la superficie indiscriminadamente a soldadura fundida y mojar solamente la porción metálica (recuérdese que la soldadura solo puede mojar metales, y nunca puede combinarse con materiales no metálicos). Este hecho abrió la puerta a la soldadura en masa.

Al principio, la superficie planar de la tarjeta de circuito impreso era simplemente rociada con *flux* y sumergida manualmente en la superficie de una olla de soldadura. La soldadura fundida suministraba tanto el calor y el metal para lograr la unión o interconexión. Este proceso no era controlable, y dependía principalmente de la destreza del operador. Aunque el rendimiento era bajo y las mermas incrementaban los costos, todavía era mucho más confiable y económico que el alambrado punto a punto o la soldadura a mano.

La inmersión en soldadura sufría varios problemas. El movimiento de inmersión era muy difícil de reproducir. Adicionalmente, la superficie de la tarjeta que tocaba la soldadura, atrapaba líquidos y gases por debajo. Estos eran principalmente *flux* y fumantes de *flux* que interferían con la transferencia de calor

y el contacto con la soldadura. Como resultado, el tiempo de inmersión era largo, de 8 a 10 segundos, y el daño por calor era sustancial. Un operador habilidoso aprendía rápidamente a ventear esos gases usando un movimiento de mecer que ayudaba a reducir el tiempo de inmersión.

La escoria y el *flux* quemado que flotaban en la superficie de la olla tenían que ser removidos continuamente, puesto que éstos afectaban la operación de soldadura. También reducían la transferencia de calor y contaminaban las tarjetas, dejando residuos insolubles y aún conductivos sobre el producto.

Los problemas de escoria y *flux* quemado fueron aliviados con la introducción de la soldadura de ola. La figura 8 muestra una comparación gráfica entre ambos procesos. En la ilustración de la derecha se observa el proceso de soldadura de ola, donde la soldadura se bombea evitando los problemas de escoria.

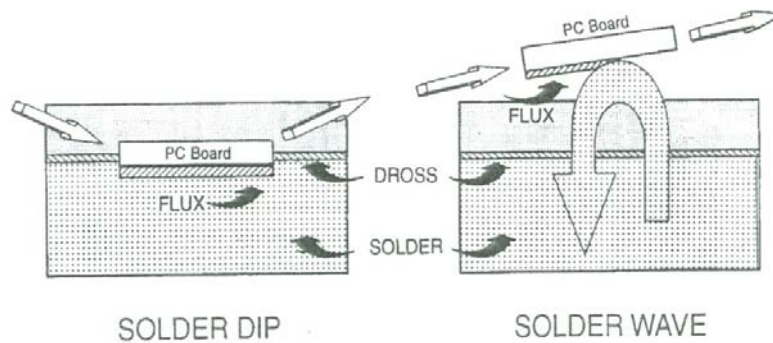


Figura 8. Comparación esquemática de los procesos de soldadura por inmersión y por ola.



El proceso de soldadura de ola, en su forma más pura, consiste de tres simples pasos, que siguen después del proceso de ensamblado de componentes. Algunos pasos intermedios pueden ser incluidos, tales como pre-limpiado o pre-horneado.

Los tres pasos básicos son:

1. Aplicación de *flux*
2. Pre calentamiento
3. Soldadura

El proceso también incluye la transferencia mecánica (transportador), ventilación y otros pasos.

La soldadura por ola es una manera conveniente de sujetar componentes a la configuración plana de las tarjetas de circuito impreso, pero no es éste su único uso. Este proceso puede ser usado también para estañar componentes, recubrir grandes longitudes de alambre o tiras metálicas, etcétera.

1. Aplicación de Flux

Por lo general el *flux* es líquido y se aplica sobre las superficies que van a soldarse.

Existen tres métodos principales para la aplicación de flux:

1. Aplicación de *flux* por espuma
2. Aplicación de *flux* por ola
3. Aplicación de *flux* por aspersion

La selección del método específico, depende de los siguientes factores:

1. La longitud de las patas de los componentes que sobresalen por el fondo de la tarjetas.
2. Si se requiere limpieza y el medio deseado de ésta.
3. La cantidad y uniformidad del *flux* requerido determina su contenido de sólidos.
4. El costo del equipo en relación a su función.

Las propiedades principales del *flux* son las siguientes:

1. Limpia la superficie a soldar removiendo materiales extraños como el polvo acumulado
2. Reduce las fuerzas de cohesión de la soldadura fundida, lo cual ayuda al mojado de la superficie.
3. Protege las superficies durante el calentamiento contra reoxidación y remueve cualquier enmohecimiento formado durante el calentamiento.
4. Se desplaza rápidamente fuera del curso de la soldadura que fluye.

Los principales tipos de *flux* son:

1. *Fluxes* basados en resinas (suspendidas en *tinier*)
2. *Fluxes* basados en resinas y materiales sintéticos. Es una formulación baja en contenido de sólidos (éstos incluyen la categoría de *fluxes* no lavables).
3. *Fluxes* orgánicos intermedios que son en general lavables con agua
4. *Fluxes* inorgánicos. Son los más agresivos, y por lo general contienen ácido fosfórico o clorhídrico en conjunto con sal. Actualmente están en desuso por ser difíciles de eliminar sin dañar el medio ambiente

La aplicación de *flux* a las tarjetas de circuito impreso se logra a través de varios medios. La aplicación de un proceso específico depende de los siguientes parámetros:

1. La longitud de las patas de los componentes que sobresalen de la superficie inferior de la tarjeta.
2. Si se requiere o no lavado después de soldar
3. El costo del equipo en relación a su función.

B. Precaentamiento

El precaentamiento de la tarjeta de circuito impreso es una parte crítica de todo el proceso de soldadura por ola. Es el que da inicio a los cambios físicos y químicos. La química está más orientada hacia el *flux* y la superficie de la tarjeta, aunque la degradación térmica también es parte del proceso químico. La física consiste básicamente de un delicado balance térmico, transferencia de calor, más los efectos mecánicos derivados de la elevación de la temperatura. Las principales razones de la aplicación de precaentamiento son las siguientes:

1. Evaporación de volátiles de *flux*
2. Activación química del *flux*
3. Reducción del choque térmico de tarjeta y componentes
4. Incremento de la velocidad de soldado.

Evaporación de volátiles. Básicamente se refiere a adelgazadores que por diseño son fáciles de evaporar. En el caso de *fluxes* en base a agua, éstos son los más difíciles de manejar. La acción de remoción de volátiles requiere de cierta convección natural de aire alrededor de la tarjeta de circuito impreso.

Activación química de *flux*. El *flux* contiene algunas resinas que dependen del calor para volverse activas. Otras formulaciones se activan tan pronto como entran en contacto con la superficie de la tarjeta; sin embargo, su acción se intensifica con el precaentamiento.

Reducción del choque térmico. El gradiente de térmico entre la temperatura ambiente y la temperatura de soldado es suficiente para causar serios daños a muchos ensamblados no metálicos. Los *chips* de cerámica deben ser calentados lentamente, con incrementos de 2 a 5 grados centígrados por segundo. La mayor preocupación es la distorsión o pandeo de la tarjeta. Este pandeo se debe principalmente a la diferencia en la expansión térmica entre el lado inferior de la tarjeta caliente y su superficie más fría. Como resultado de esta diferencial expansión, se desarrolla un encorvamiento del laminado de la tarjeta de circuito impreso. Esta acción crea un hundimiento en el centro de la tarjeta y lo empuja hacia adentro de la ola de soldadura, mientras que las orillas se levantan y pueden no hacer contacto con la soldadura fundida.

Al precalentar la tarjetas de circuito impreso se reducen significativamente los gradientes térmicos entre el fondo y la superficie de la tarjeta.

Efectos en la velocidad de soldado. Durante el soldado por ola, el calor requerido para elevar las superficies a la temperatura de mojado (aproximadamente 245°C) proviene de dos fuentes: la etapa de precalentamiento y la ola de soldadura. Estas dos fuentes trabajan en serie para suministrar el calor necesario para el proceso de unión. Mientras más alta es la temperatura de precalentamiento, menos calor se requiere en la ola. Esto puede traducirse en menor tiempo en la ola de soldadura, o mayores velocidades de producción.

C. La etapa de la ola de soldadura

La última operación en la cadena, es la aplicación de soldadura en si misma. Esto involucra el contacto directo entre el fondo de la tarjeta y el metal fundido. Esta operación puede dividirse en dos eventos físicos distintos:

1. Transferencia final de calor para elevar la superficie a la temperatura de mojado.
2. Suministrar la soldadura fundida para mojar y llenar los huecos.

Ambas partes del proceso dependen de la dinámica de la ola, la cual a su vez está gobernada por la forma de la ola que esta siendo bombeada.

Dinámica de la soldadura por ola

El propósito del proceso de soldadura por ola es lograr uniones soldadas de alta calidad al menor costo posible. Para lograr esta meta, es necesario reducir y controlar todas las variables de material, diseño y equipo.

Como se mencionó anteriormente, la soldadura fundida que circula en la ola de la máquina soldadora, es una aleación eutéctica de Sn-Pb 63/37 (63% de Estaño y 37% de Plomo). La figura 9 muestra el diagrama de fases de esta aleación de soldadura, donde se puede apreciar el punto eutéctico a 183°C.

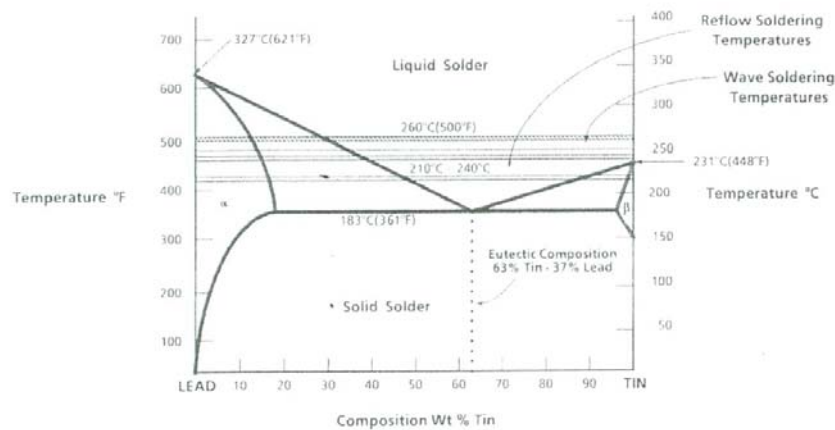


Figura 9. Diagrama de fase Sn-Pb, mostrando la composición eutéctica 63/37.

La figura 10 da una vista esquemática de la ola de soldadura con una tarjeta pasando a través de ésta. La ola ha sido arbitrariamente dividida en dos. El lado izquierdo muestra un área donde no se está bombeando aceite, mientras que el lado derecho muestra un caso típico donde se bombea aceite. En la realidad, ambos lados son iguales, es decir, o se bombea aceite o están secos.

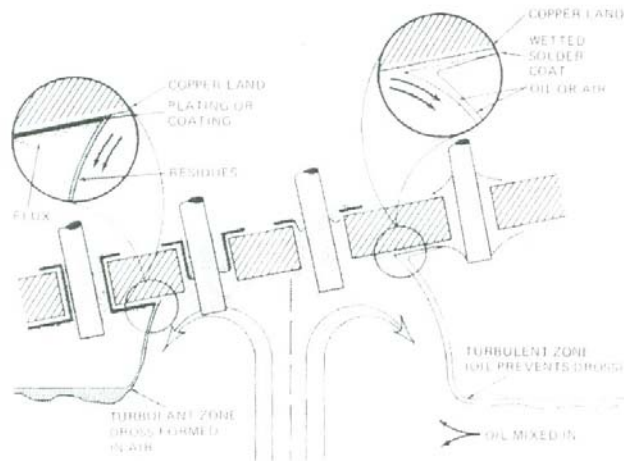


Figura 10. Representación esquemática de la ola refiriéndose a las tres zonas principales de impacto de la ola en el tablero (entrada, transferencia de calor y salida).

La soldadura siempre se bombea desde el fondo donde no hay escoria. Ésta pasa a través de varios deflectores para asegurar uniformidad del flujo hacia arriba (ver figura 11).

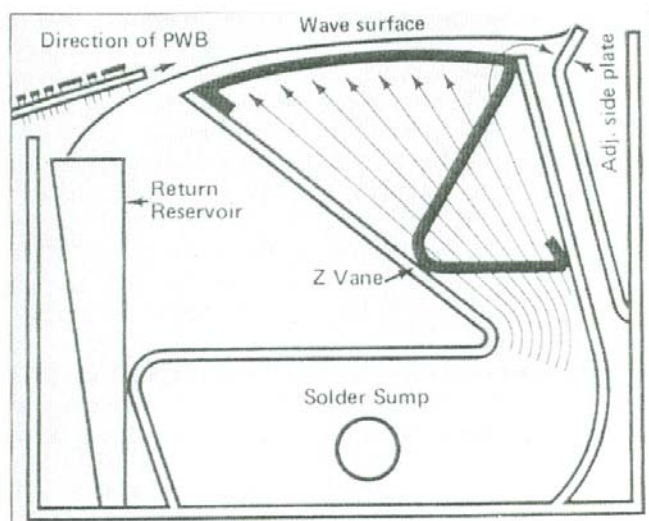


Figura 11. Localización del deflector usado para controlar el comportamiento del flujo en una ola de soldadura.

Estos deflectores pueden ser de hierro y deben estar recubiertas de estaño; otras están hechas de acero inoxidable y no requieren recubrimiento. El área donde la soldadura cae cuando regresa al reservorio se le llama cascada de agua. Es en esta área turbulenta en la que se forma la escoria siempre que no se usa una cubierta protectora de aceite. La escoria normalmente flota en la superficie del reservorio. Nota: en la actualidad, el uso de aceite es una práctica antigua que está siendo desplazada por el uso de nitrógeno inerte, que reduce la formación de escoria.

La interacción de la ola con la tarjeta de circuito impreso puede dividirse en tres zonas que se explican a continuación.

Zona 1: Punto de entrada. Considérese el fondo de la tarjeta conforme entra a la ola de soldadura. Véase la imagen ampliada en parte superior izquierda de la figura 10. Este punto de entrada está en la parte más dinámica de la ola. Aquí la soldadura fluye rápidamente a través de la ola, mientras que el tablero se

mueve en la dirección opuesta. Este movimiento opuesto crea una acción de lavado que remueve la mayor parte de *flux* de la tarjeta. La remoción de *flux* es total en los ojales metálicos de la tarjeta donde el mojado de soldadura ocurre.

Zona 2: Transferencia de calor y flujo ascendente de soldadura. Si solo tuviéramos que mojar el fondo de la tarjeta, la operación de soldadura se completaría rápidamente en el punto de entrada. Sin embargo, también están las patas de los componentes con un consumo sustancial de calor que se necesita para soldarlas; y los orificios recubiertos de la tarjeta que deben ser mojados y llenados con soldadura.

El flujo ascendente de soldadura a través de los orificios de la tarjeta depende de varios eventos, refiérase a la figura 12:

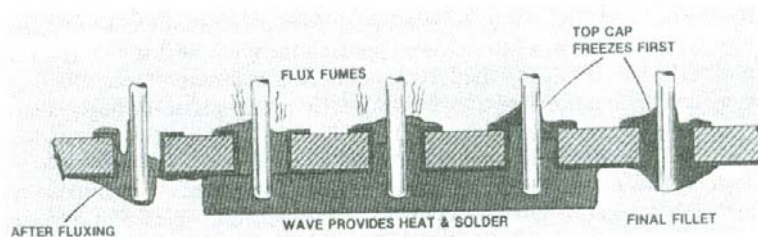


Figura 12. Esquema que ilustra el impacto de la ola de soldadura en una tarjeta doble capa.

1. El *flux* debe cubrir toda la superficie. Esto por lo general ocurre al momento mismo de la aplicación de *flux*, y el *flux* es transportado hasta la parte superior del orificio del tablero.
2. Se requiere calor suficiente para la acción adecuada del *flux*. En esta etapa, la evaporación de volátiles debe ser completa.
3. La transferencia de calor debe elevar a temperaturas de mojado tanto la pata del componente como el barril del orificio de la tarjeta.

4. La soldadura debe fluir en forma ascendente llenando el orificio y desplazando el *flux*.

En la secuencia correcta de eventos, la elevación de la soldadura es precedida por una película de soldadura con un pequeño ángulo de mojado cercano a 0° . Si esta secuencia es alterada, puede haber serios problemas en el formado del filete de soldadura.

Mientras más alto debe la soldadura fluir por el orificio de la tarjeta, más importante se vuelve una buena transferencia de calor.

La tarjeta solo puede sumergirse parcialmente en la ola de soldadura, por lo tanto el flujo ascendente de la soldadura en la parte más alta del filete debe lograrse mediante energía de mojado. Estas fuerzas dependen de parámetros científicos fijos, y en gran proporción a la temperatura. De esta forma, el balance de calor es afectado significativamente por el diseño de la tarjeta, tipo de componentes y la densidad de componentes montados. Las tarjetas multicapa requieren atención especial en este sentido.

Con respecto a la transferencia de calor, revisemos la secuencia de eventos en la solidificación del filete de acuerdo a la figura 13.

1. La superficie superior de la tarjeta es la zona más fría de ésta y la punta del filete de soldadura es la que solidifica primero.
2. El fondo de la tarjeta es la siguiente zona que se enfría por debajo de la temperatura de fundido de la soldadura. De esta forma, el extremo opuesto de la unión de soldadura es la que solidifica en seguida.
3. El centro de la unión de soldadura es normalmente lo último que solidifica y permanece fundido por el periodo más prolongado.

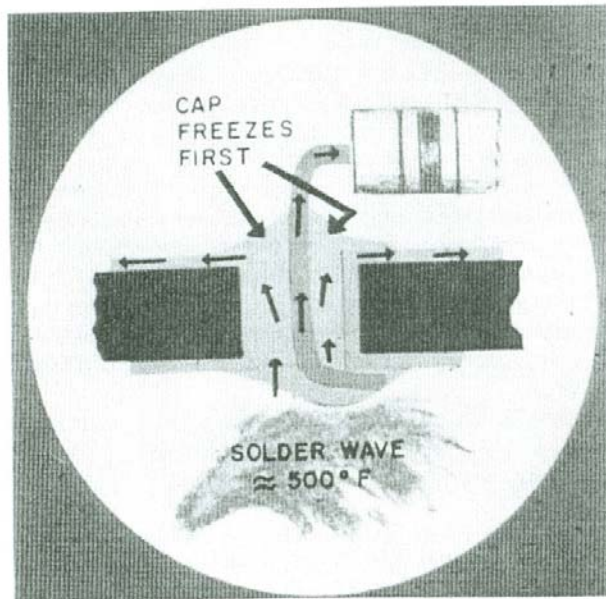


Figura 13. Representación esquemática del flujo de calor en el filete de soldadura.

Zona 3. Punto de salida. Con el fin de obtener el mejor resultado en la ola de soldadura, lo que se busca es obtener un alto grado de uniformidad en la configuración del filete. Si se logra esto, se facilita la inspección y se reduce significativamente la necesidad de retocar las uniones de soldadura. El control del filete no solo se orienta a la máquina soldadora, sino que se requiere buen diseño, materiales apropiados y técnicas correctas de ensamblado. Para obtener tal uniformidad a través del equipo, debemos controlar las fuerzas que moldean la parte inferior del filete en el punto de salida de la ola. Estas fuerzas caen básicamente en dos categorías.

1. Energías superficiales. En esta categoría tenemos la energía interfacial entre la soldadura y el material base que es afectada por la soldabilidad pero es independiente del ambiente. Aquí también existen las fuerzas de cohesión de la soldadura líquida.

2. Fuerzas hidráulicas, que por lo general son aleatorias. Éstas dependen de: a) la profundidad de inmersión en la ola de soldadura; b) diseño de la ola, que está relacionada a la turbulencia, dirección de flujo, y la cantidad de soldadura que está siendo bombeada; c) el ángulo de impedancia del transportador, que varía de horizontal a una inclinación positiva; d) configuración de los trazos de la tarjeta (metal expuesto) y la distribución de la carga térmica.

El mejor punto de la salida de la ola, por lo tanto, correspondería a la localización donde estas fuerzas hidráulicas pueden ser neutralizadas. Esto se puede lograr retirando el filete de la ola en una localización estática, que se encuentra donde la velocidad de viaje de la tarjeta se iguala al flujo y velocidad de la soldadura. Este punto de salida ideal es ajustado por el fabricante de la máquina soldadora para velocidades típicas solamente. Cualquier desviación drástica merece ajustes por parte del usuario.

Formación y prevención de escoria

Escoria es un término metalúrgico que se utiliza para describir productos residuales no metálicos como óxidos y sulfuros que se forman al fundir metal. La escoria se forma en la superficie de soldadura fundida como resultado de la interacción con el ambiente (aire). En adición, cualesquiera partículas no metálicas incluidas en la fundición tienden a flotar en la superficie. Por lo general, en soldadura, la escoria de metales puros es principalmente óxido de estaño más algo de óxido de plomo. Existen varias formas de reducir la formación de escoria en el proceso de soldadura de ola.



Soldadura con atmósfera inerte de nitrógeno

La atmósfera inerte es el método más reciente desarrollado para usarse con fluxes no lavables más débiles, y entre otros de sus beneficios está la reducción de escoria. El proceso se apoya principalmente en el uso de una atmósfera en torno al reservorio y la soldadura que fluye. Atmósferas inertes de nitrógeno, argón y bióxido de carbono han sido usadas satisfactoriamente para mejorar la soldadura.

El nitrógeno inerte contiene poco oxígeno, de tal forma que el proceso está aislado de los efectos oxidantes del aire regular. El uso de nitrógeno tiene las siguientes ventajas:

1. Los fluxes débiles se vuelven mucho más eficientes, es muy importante cuando se usan fluxes RMA o no lavables.
2. Superficies menos soldables pueden ser soldadas con buenos resultados. Esto es muy importante cuando los componentes y tarjetas que se van a soldar fueron almacenados por periodos prolongados.
3. La descomposición química reducida de los *fluxes* hace que estos sean más fáciles de remover al lavarlos. En aquellos casos en que no se lavan, los residuos son duros y fáciles de penetrar durante la prueba eléctrica por medio de un lecho de *pinos* de prueba.
4. Debido a que no existe una capa de óxidos formada en la soldadura fundida, problemas relacionados como puentes y bolas de soldadura son reducidos. También se mejora la brillantez de la superficie de las uniones de soldadura.