

7-INGENIERIA DE LOS CI Y CIRCUITOS MICROELECTRONICOS

En este capítulo integraremos los elementos que hacen a esta especialidad, como pueden ser el encapsulado de CI síntesis de las características de los CI, la disposición de los Circuitos Microelectrónicas, las reglas que interesan a la fabricación de Circuitos bipolares, de los circuitos MOS, cruces en el conexionado y el trazado con computadora.

7.1-ENCAPSULADO DE CIRCUITOS INTEGRADOS [3]

El ciclo de fabricación queda completado cuando se han cumplido todos los procesos necesarios para formar e interconectar todos los componentes. Cada oblea se corta en chips obteniéndose así los sistemas microelectrónicas individuales. Seguidamente los chips se encapsulan en pastillas dejándolos preparados para su uso. Unas conexiones unen los terminales de los chips con las patillas ó terminales de la pastilla siendo estas las que unirán los elementos externos con los del chip. En general, las conexiones externas vienen determinadas por la forma en que se utilizara el circuito. Normalmente las señales de entrada y de salida, las tensiones de alimentación, conexión a tierra y en general los componentes no incluidos en el chip se aplican a las conexiones exteriores del conjunto. Comúnmente se usa el encapsulado de dos en línea como en la figura 7.1 que puede tener entre 8 y 40 patas, dependiendo su número de la función a desempeñar por el circuito, aunque no siempre se utilizan todas.

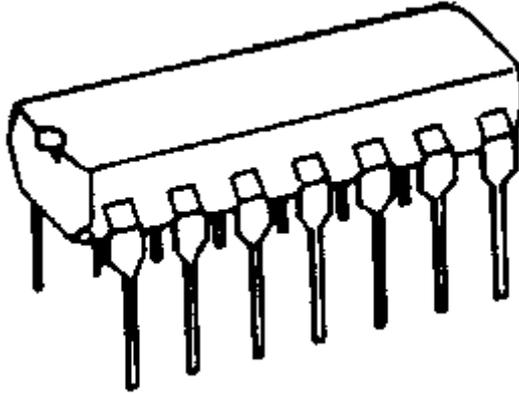


Figura N° 7.1 Encapsulado Integrado dos líneas

7.2- SÍNTESIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES INTEGRADOS

Basados en la tecnología de los circuitos integrados vista hasta ahora, podemos resumir las características más significativas de tales circuitos de la siguiente forma:

- 1- Los circuitos integrados normalizados, de existencia en los depósitos de los fabricantes, son muy económicos. Por ejemplo el LM741 Op-Amp de National Semiconductor, conteniendo 21 transistores, 1 diodo, y 12 resistencias se puede adquirir por menos de 50 centavos de dólar. Sin embargo los chips de diseño especial de poca producción, son relativamente costosos.
- 2- El reducido tamaño de los circuitos integrados permite ubicar sistemas complicados de varios centenares de chips en un solo instrumento de tamaño manejable.
- 3- Puesto que todos los componentes se han fabricado simultáneamente en condiciones muy controladas y debido a que no existen juntas soldadas, los dispositivos microelectrónicas son de gran seguridad.
- 4- Debido a su bajo costo se pueden conseguir circuitos muy complejos en un solo chip para mejorar sus características de funcionamiento. La adición de un transistor a un circuito integrado lo encarece en menos de un centavo de dólar.
- 5- Los parámetros del dispositivo están igualados entre sí, siguiendo bien la temperatura.
- 6- Existe un margen restringido en el valor de las resistencias y capacidades.

Normalmente $10 \Omega < R < 50 \text{ k}\Omega$ y $C < 200 \text{ pF}$.

- 7- Se consiguen tolerancias pobres al fabricar resistencias y capacidades de valores específicos. Por ejemplo, es clásico un $\pm 20\%$ de su valor absoluto excepto para los componentes de implantación de iones. La tolerancia relativa entre resistencias puede fijarse en $\pm 2\%$ ya que todas ellas se han fabricado al mismo tiempo y con las mismas técnicas.
- 8- Los componentes tienen coeficientes de temperatura altos y pueden ser sensibles a la tensión.
- 9- La respuesta en alta frecuencia está limitada por las capacidades parásitas.
- 10- No se pueden integrar inductancias ni transformadores prácticos.
- 11- En la fabricación de resistencias y capacidades de película delgada PD se requieren pasos extra lo que aumenta el costo y disminuye la productividad. Por tanto estos dispositivos de película delgada solo deberían usarse si se necesitan sus características especiales. Se utilizan primordialmente cuando se requieren valores precisos de las resistencias, porque pueden ajustarse con rayos láser.

7.3- DISPOSICIÓN DE LOS CIRCUITOS MICROELECTRONICOS

Conviene citar algunas de las técnicas de integración más comúnmente empleadas para aprovechar al máximo el área del chip.

7.3.1 Circuitos Bipolares

Las siguientes reglas se emplean en la fabricación de circuitos bipolares.

- 1- Para tener en cuenta la difusión lateral, prever unos bordes de aislamiento de espesor doble que el de la capa epitaxial.
- 2- Puesto que la difusión de aislamiento ocupa una parte apreciable de la superficie del chip debe reducirse al mínimo el número de islas aisladas.
- 3- Situar todas las resistencias tipo P en una misma isla y conectar ese aislamiento a la tensión más positiva del circuito. Con resistencias tipo N las regiones de aislamiento deben conectarse a la tensión más negativa del circuito.

- 4- En el diseño de resistencias, proyectarlas tan estrechas como sea posible de acuerdo con las limitaciones del caso. Las resistencias que deban tener una relación muy ajustada deben tener el mismo ancho y estar situadas muy próximas entre sí.
- 5- Todos los transistores que tengan sus colectores unidos deben situarse en la misma isla aislada. En muchos circuitos cada transistor debe estar en una isla separada.
- 6- Conectar el sustrato a la tensión más negativa del circuito.
- 7- Reducir las dimensiones de las regiones de emisor y de base, así como los contactos, al mínimo compatible con las corrientes del dispositivo.
- 8- Fijar la geometría de los componentes y de la metalización de acuerdo con las exigencias de funcionamiento del circuito. Por ejemplo el transistor de la etapa de salida de un amplificador debe tener mas sección que los demás transistores si esa etapa de salida ha de suministrar la corriente máxima.
- 9- Prever las conexiones metálicas tan cortas y anchas como sea posible, particularmente las de emisor y colector de un transistor en saturación.
- 10- Distribuir los elementos tratando de conseguir el mínimo tamaño del chip.
- 11- Emplear un pautado para el dibujo, lo que simplificará el trazado de las sucesivas mascarar.
- 12- reducir al mínimo el número de cruces de conexiones.

7.3.2- Circuitos MOS

Muchas de las reglas anteriores son aplicables también para la fabricación de circuitos MOS. Obsérvese que no son necesarias islas aisladas, aumentando así la densidad de componentes. En la integración a gran escala es importante utilizar para la puerta las dimensiones mínimas compatibles con los niveles de corriente empleados. Las puertas de polisilicio permiten conseguir dispositivos más pequeños. Como el polisilicio constituye una verdadera barrera para los dopantes, la implantación de las regiones de drenaje y de fuente se auto-alinean reduciendo al mínimo los errores debidos a la colocación de la máscara.

7.3.3- Cruces de Conexiones

Muy frecuentemente en un circuito monolítico se presenta el caso de que deban cruzarse conductores. Estos cruces no pueden hacerse directamente ya que resultaría una conexión eléctrica entre dos partes del circuito. Como todas las resistencias están protegidas con un aislador como el SiO_2 puede emplearse cualquiera de ellas como zona de cruce. Dicho de otra forma, si la metalización de aluminio pasa por encima de una resistencia no se establecerá ningún contacto eléctrico entre resistencias y aluminio. A veces el esquema es tan complejo que pueden necesitarse puntos de cruce adicionales. Se puede obtener una estructura de difusión muy empleada en circuitos bipolares y que permite los cruces, de la siguiente forma: durante la fabricación del emisor se difunden impurezas n^+ a lo largo de una línea en la región epitaxial, abriendo ventanas para el contacto en ambos extremos de tal línea. Este proceso forma un "conductor difundido". Se deposita aluminio sobre SiO_2 aislante entre dos contactos extremos según una línea normal a la sección difundida formando un conductor de conexión para alguna otra parte del circuito. Con esto los dos conductores: uno de aluminio y otro de material n^+ , se cruzan entre sí sin que haya contacto eléctrico. Al conductor de difusión se le denomina cruce enterrado. En la fabricación del MOS se tiene un equivalente al cruce enterrado mediante una segunda capa de polisilicio figura 7.2

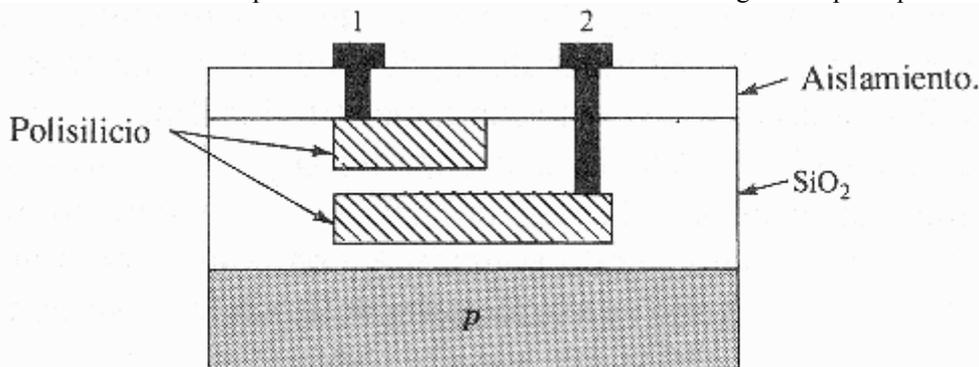


Figura N° 7.2 Condensador MOS formado por dos capa de polisilicio

En consecuencia puede hacerse una conexión empleando una capa enterrada de polisilicio tan bien como con metalización de aluminio.

7.3.4- Trazado con Computador

Una vez que se ha fabricado el chip no se pueden modificar los componentes de un circuito integrado. Por tanto para un diseño dado se requiere antes de ponerlo en fabricación, un análisis mas profundo del que se requiere para los circuitos con elementos discretos. Se emplean extensivamente los computadores para el diseño y equipos para el análisis de circuitos, su fabricación y su disposición. Estos equipos no se emplean para el diseño, pero proporcionan la información necesaria para valorar la eficacia de un diseño dado. No se fabrica ningún circuito integrado comercial sin estos análisis.

7.4- METODO DE INTERCONEXIÓN PARA MICROCIRCUITOS [6]

La confiabilidad de un sistema microelectronico complejo depende, en gran parte, de la confiabilidad de un gran número de conexiones realizadas por medio de varios procesos de unión. Se utilizan 9 técnicas básicas de unión clasificadas bajo los rubros de Soldadura y unión por termocompresion. Para lograr alta confiabilidad se necesita tener un control estricto del proceso.

7.4.1- Soldadura por Resistencia Eléctrica [6]

Puede ser una operación automática o semi automática en la cual los componentes se sueldan en forma individual al circuito usando el calor de disipación $I^2.R$ producido producido entre dos electrodos. No se necesita fundente. Durante el programa Minuteman se desarrollo especialmente y utilizo con éxito una versión automática en la fabricación de circuitos cerámicos híbridos de película delgada.

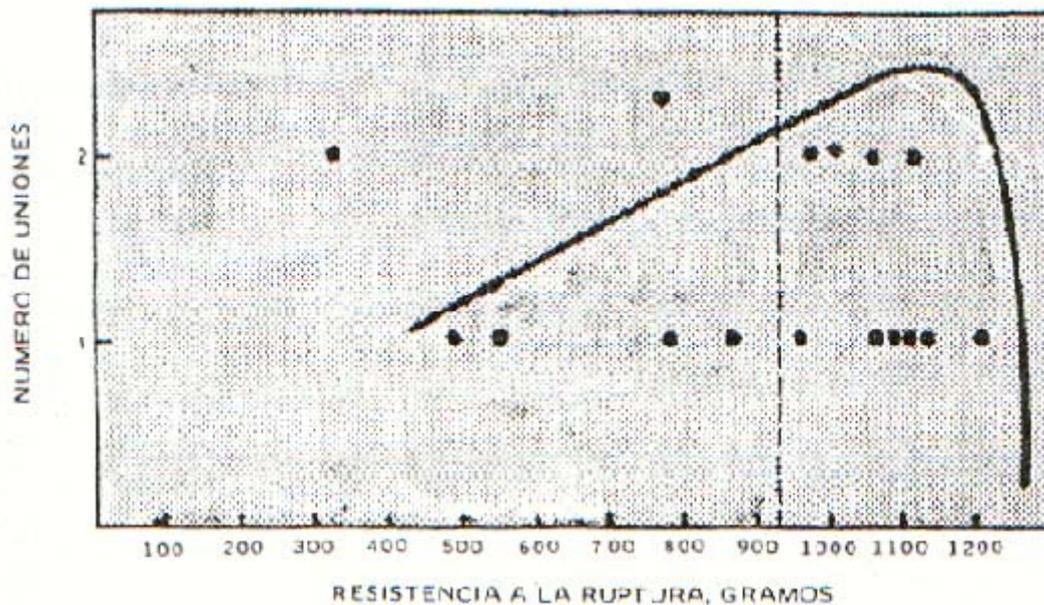


Figura N° 7.3 curva de Distribución de Resistencia de un Kovar dorado de 0,08x0,25 mm Soldado a mano a los conectores de un circuito impreso de Cobre.

En la figura 7.3 se muestra la curva de distribución de resistencia de terminales de Kovar dorado, de 0,08x0,25 mm conectados a una palca de cobre de circuito impreso metalizada con oro. El criterio básico para lograr una unión adecuada por soldadura, es que las dos partes a unir estén en contacto con la misma. Se emplea un criterio visual establecido para determinar si la soldadura esta bien hecha. Para soldaduras que requieren gran confiabilidad se establecieron criterios de rechazo para evitar uniones imperfectas. estas evaluaciones reducen a un mínimo la necesidad de rehacer soldaduras imperfectas, pero funcionalmente aceptables.

El retocar una unión se considera una amenaza para la confiabilidad. En la figura 7.4 se muestran datos comparativos de las composiciones de varios materiales de conexión, y los envejecimientos a que se sometieron. La propiedad de soldarse de los terminales esta dada principalmente por el revestimiento de los mismos; el metal de base no tiene mucha influencia en dicho proceso, excepto en los casos donde la difusión de los materiales de base de los terminales a través del revestimiento disminuye la capacidad de aferrarse a los mismos de la soldadura. La soldadura de alambres cruzados se uso para interconectar circuitos integrados y circuitos de PD. También se utilizo esta técnica para fabricar circuitos de matrices de interconexión de uso en microelectrónica. Con paquetes de módulos soldados que utilizan componentes miniatura, se llego a **densidades de encapsulado** de 1 componente por cada 2 cm³. La soldadura de alambres cruzados, se produce descargando un grupo de capacitores a través de los materiales a unirse. La salida de los capacitores se aplica a través de un transformador, a los pequeños electrodos de soldadura, y de estos a los materiales a unirse. Controlando la energía watt / segundo y el esfuerzo del electrodo en gramos. Se genera calor suficiente para producir una fusión o soldadura por presión. Este tipo de soldadura no se considera como de inspección visual, y se hace necesaria una comprobación continua. Recién ahora se esta desarrollado el equipo de comprobación. Dado que para diferentes materiales se deben tipos distintos de soldadura, el operador puede influir la productibilidad y la confiabilidad. Debido a eso se desarrollo un equipo de soldadura semiautomática, con capacidad de seleccionar los distintos parámetros. La soldadura por resistencia utiliza la descarga de un capacitor o una fuente de tensión continua controlada para suministrar la corriente a través de los terminales de los componentes en serie con un electrodo partido. Se deben adoptar algunos requisitos previos para asegurar uniones confiables.

** Se deben reducir al mínimo las variaciones en el tamaño de los terminales, para controlar adecuadamente la cantidad de calor en la región de unión.

** Se deben mejorar las configuraciones y los materiales de los terminales, los circuitos y el sustrato, y se deben determinar sus tolerancias.

** Se debe desarrollar y probar un método de verificación visual o de proceso, y un criterio no destructivo de inspección.

7.4.2- Soldadura por Haz de Electrones

Es una soldadura de alta pureza que se obtiene mediante un haz de electrones. Dado que se usa un haz de electrones de diámetro reducido 0,013 a 0,25 mm, se puede obtener una mayor densidad de encapsulado. No se necesita un electrodo que haga contacto con los materiales a unirse y por lo tanto los conductores se pueden acercar más. La instalación necesaria puede presentar un problema que debe tenerse en cuenta en el diseño inicial.

La energía de soldadura, se obtiene de la alta energía del haz de electrones, figura 7.6. La energía cinética del haz enfocado, se convierte en calor, en el punto de incidencia. Se obtienen densidades de potencia del orden de $1,6 \times 10^{10}$ watt/cm², que son suficientes para fundir o vaporizar todos los materiales conocidos hasta el presente. La soldadura por haz de electrones tiene ciertas ventajas para uniones en microcircuitos. Estas incluyen:

** Las interfases de unión se eliminan o reducen disminuyendo así la resistencia de las mismas.

** Hay un control preciso sobre la entrada de calor.

** La atmósfera de vacío elimina la mayoría de los elementos contaminantes.

** Se pueden soldar materiales que de otra manera son difíciles de unir.

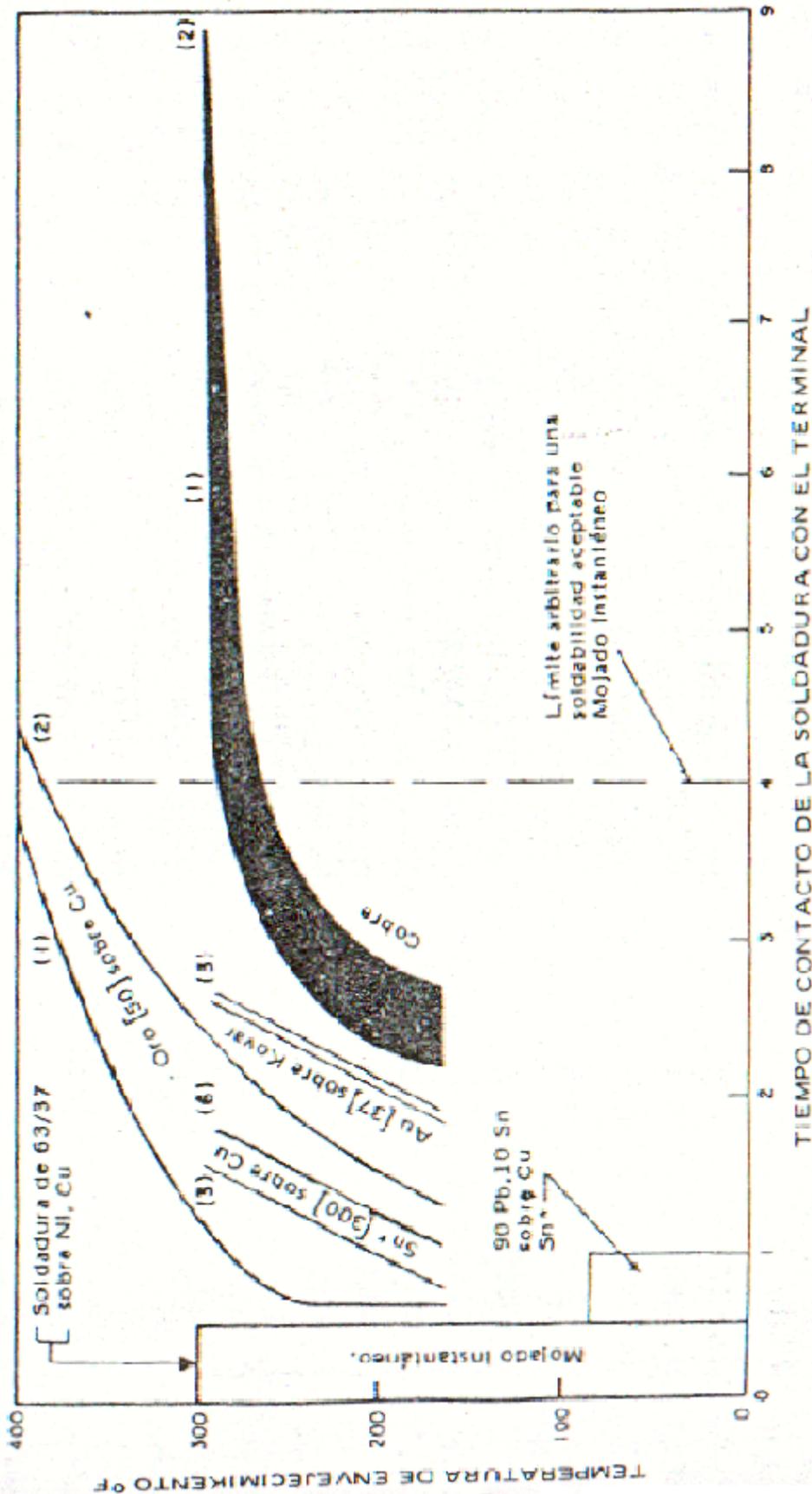


Figura N° 7.4 Efecto de la Temperatura y Tiempo de Envejecimiento sobre la Facilidad de soldarse

** La técnica del haz de electrones, no es sensible a irregularidades en las superficies, reflectividad o impurezas pequeñas.

** No se necesitan ni los electrodos muy juntos a la zona de unión, ni alta presión de contacto.

El control por cinta del proceso de soldadura por haz de electrones, puede ofrecer un medio automático de unir circuitos integrados a circuitos impresos de vidrio epoxico. El proceso produce una soldadura inspeccionable, sin embargo hay que llevar a cabo evaluaciones más extensivas para establecer los criterios de inspección.

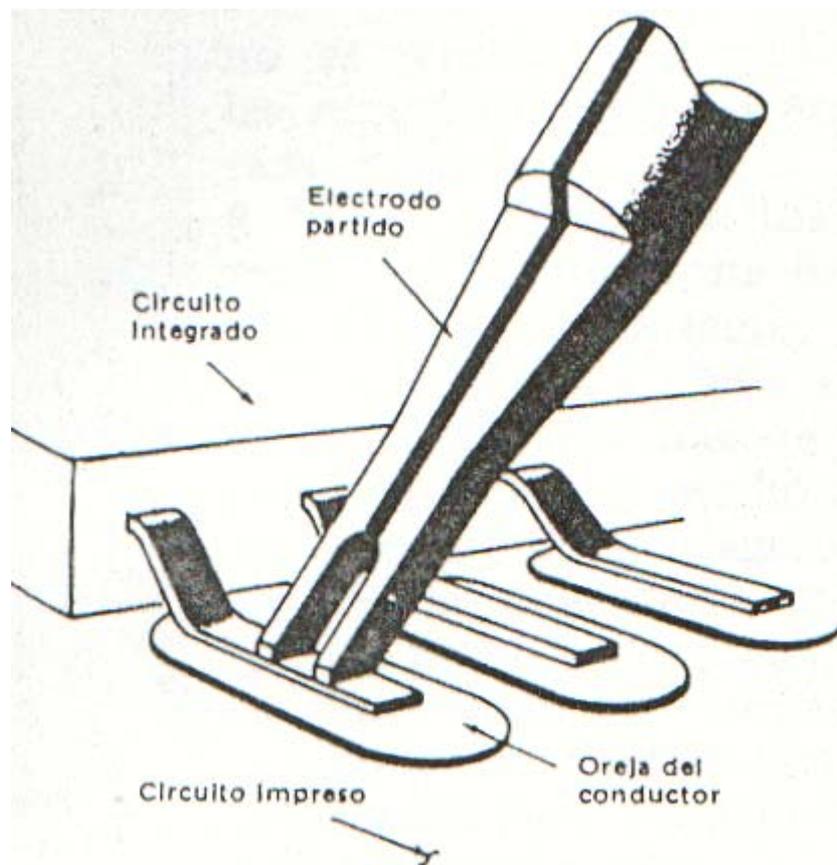


Figura N° 7.5 Disposición del Electrodo Partido usado para Soldadura sobre Circuitos Impresos.

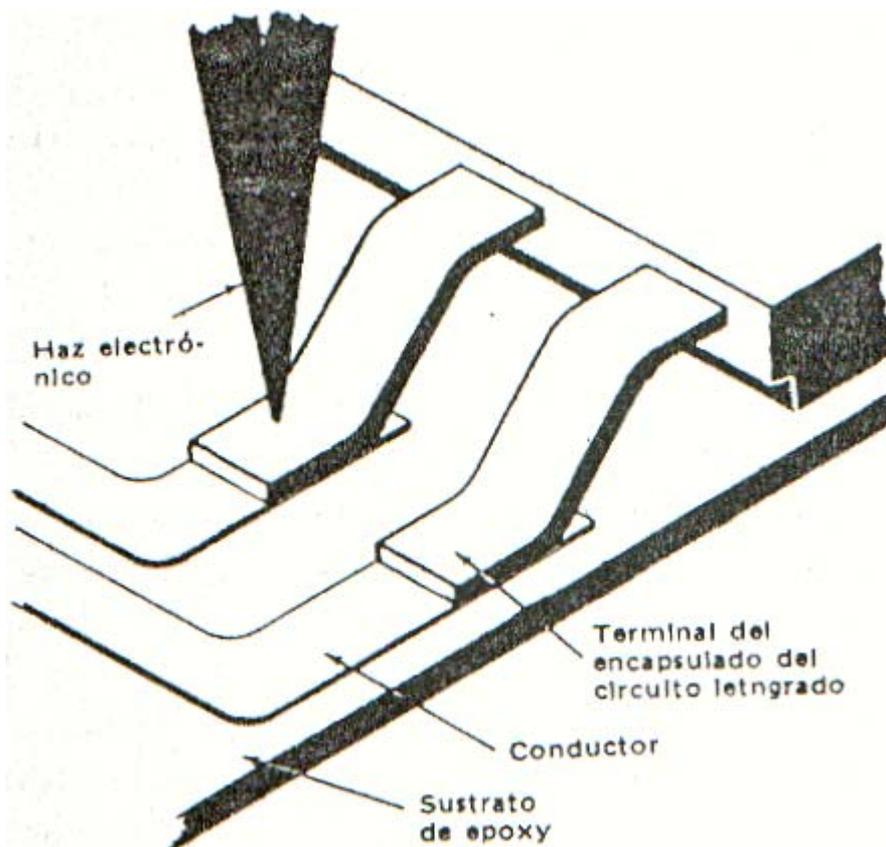


Figura N° 7.6 El Haz electrónico enfocado permite Soldar pequeñas superficies pero requiere una Cámara de vacío.

7.4.3- Soldadura por Láser

Es básicamente similar al proceso anterior en tanto que se usa un haz enfocado de alta energía. El haz de luz es capaz de suministrar mayor potencia que el de electrones. Los láseres de vidrio impurificado con rubí o neodimio, son los más poderosos obtenibles

comercialmente. Estos soldadores por láser se limitan a operación por pulsos, con una frecuencia de repetición baja 10 a 20 pulsos por minuto. Existen láseres de pulsos múltiples, que se asemeja más a un haz continuo. Existen algunas desventajas tales como:

** La absorción de la luz depende del coeficiente de reflexión de la superficie de los materiales a unir. Los metales levemente coloreados con superficies pulidas pueden reflejar hasta el 90% del haz.

** Tanto la salida de la varilla de rubí como la del tubo de destello de xenón, se ven afectados en razón inversa de la temperatura. Además el deterioro de la cavidad óptica y del tubo de destello reduce constantemente el nivel de salida.

** La radiación reflejada puede provocar lesiones permanentes en la vista.

Estas desventajas quedan disimuladas a veces por las características importantes que manifiestan los láseres, y que no aparecen en el haz de electrones: El proceso se puede desarrollar sin cámara de vacío, y el haz se puede enfocar por un sistema óptico simple.

7.4.3.1- SOLDADURA DIRECTA POR RADIACION LASER [9]

El torrente luminoso de un Generador Quántico Óptico GCO láser, es una radiación electromagnética de alta intensidad que por medio de un sistema óptico puede ser fácilmente enfocada sobre la superficie del material en una mancha que mide desde la unidad hasta decenas de micrones. La virtud del rayo láser como fuente de calor en soldadura es la posibilidad de concentrar una energía grande en pequeñas superficies durante cortos intervalos de tiempo, es decir la posibilidad de un elevado proceso local de calentamiento. Gracias a ello se ofrece la posibilidad de efectuar la soldadura de piezas en el estado de termotratamiento, de soldar metales inmediatos a las soldaduras metalovitreas o metalocerámicas, de llevar a cabo la soldadura de diversos metales y aleaciones activos y poco fundibles con la mínima alteración de la estructura inicial del material en la zona de influencia térmica. Entre las ventajas del procedimiento figura la posibilidad de enfocar la radiación con sistemas ópticos normales. El trabajo de los GCO no exige la creación de ambientes especiales: Vacío, atmósfera protectora, etc.; * La radiación del GCO atraviesa las sustancias de transparencias óptica: vidrio, cuarzo y otros; * Por medio de un sistema de prismas y espejos, la radiación puede ser dirigida a sectores de la pieza no accesibles a la soldadura. Gracias a las indicadas ventajas, con rayos láser se pueden soldar piezas que se encuentran dentro de un volumen cerrado, por ejemplo dentro de una lámpara electrónica. El defecto fundamental del procedimiento de soldadura láser consiste en la inestabilidad de las características energéticas de salida de los láser de cuerpo sólido que se utilizan en los equipos de soldar. La falta de homogeneidad en el espacio y en el tiempo de la radiación láser también dificulta la elección de los parámetros de régimen y disminuye su estabilidad y repetibilidad. La falta de homogeneidad en el espacio debida a que la generación de la radiación no tiene lugar simultáneamente en toda la sección del cristal, sino en determinados sectores provoca en la zona de calentamiento una estructura de mosaico que conduce a la brusca diversidad en la distribución de la temperatura por la sección del punto de soldadura. La falta de homogeneidad estructural del impulso láser en el tiempo consistente en régimen de libre generación, dicho impulso consta de una serie de haces de radiación de alta intensidad con una duración de cerca de 10^{-6} seg., y una esponjosidad de $\sim 0,1 - 0,3$ en una duración general de impulso que va de 5×10^{-4} hasta 1×10^{-2} seg. Puede provocar un recalentamiento local del metal en el punto de soldadura y un derrame. Hay que considerar que una de las condiciones para obtener buenos resultados y elevada estabilidad en la calidad de la soldadura láser es la de asegurar el control de la intensidad de la radiación luminosa en la mancha focal. Pasando del cual la soldadura irá acompañada de una vaporización del material en la zona de calentamiento o de un derrame de parte del metal fundido. Para garantizar las condiciones indispensables de la soldadura de la mayoría de combinaciones de materiales: temperatura en los límites del baño soldador igual a la temperatura de fusión, pero en la parte central, menor o igual a la temperatura de fusión, pero en la parte central menor o igual a la temperatura de ebullición, basta una intensidad de 10^5 a 10^6 w/cm². El control de la intensidad de la radiación en la mancha focal puede llevarse a cabo por tres procedimientos: * alterando el tiempo de ataque de la radiación sobre el material; * alterando la superficie de la mancha focal; * alterando la energía de salida.

En la soldadura por radiación láser las velocidades de calentamiento de los materiales alcanzan magnitudes del orden de 10^{10} grad/seg., y los gradientes de temperatura 10^6 grad/cm. A consecuencia de ello la acción térmica en las zonas de influencia térmica se reduce al mínimo, con una duración de impulso pequeña la cantidad de metal evaporado del baño de soldadura puede resultar grande. El aumento del tiempo de radiación con energía constante facilita un calentamiento más suave y disminuye la masa de material evaporado. No obstante un aumento desmesurado del tiempo de radiación con energía constante conduce a una disminución de la profundidad de fusión. Para la mayoría de los metales utilizados en microelectrónica, y en la soldadura de placas con un grosor de hasta 0,2 mm, la duración óptima de la radiación láser está en la gama de 1 a 8 mseg. En la soldadura el procedimiento más conveniente para controlar la intensidad del rayo láser es la variación de la energía en la mancha focal. La soldadura por láser encuentra su aplicación en el montaje de diversos elementos de la técnica de radio. Los conductores redondos y planos, cobre, níquel, oro, kovar, acero inoxidable y tantalio, con un grosor de 0,05 a 0,5 mm, se sueldan de plano, de punta, en forma de "T" o en forma de cruz. En la soldadura de dos conductores paralelos como en la figura 7.6.1 es como deben soldarse.

En los conductores paralelos la repetida reflexión hace que la mayor parte de la radiación láser enfocada en el punto de contacto, sea absorbida por el metal lo que aumenta la eficacia del proceso. En los conductores planos terminales de los CI con los conductores internos impresos, que también admite se den varios puntos de soldadura para elevar la seguridad de la soldadura. Debido a las dificultades que ofrece mantener a nivel de ebullición la temperatura de la zona central del baño, en la soldadura láser de uniones de plano y en particular en el montaje de cápsulas planas sobre circuitos impresos tienen gran aceptación las uniones tubulares. En ellas la parte central del rayo luminoso se hace pasar por un agujero previamente practicado a través de terminal y placa, mientras que las zonas periféricas del chorro funden los materiales siguiendo el perímetro del agujero. La figura 7.6.2 presenta algunas muestras de uniones soldadas por medio de rayo láser. El procedimiento de soldadura por rayo láser a través de un capilar de material dieléctrico: cuarzo, zafiro, con fusión parcial del conductor a unir o sin fusión del mismo.

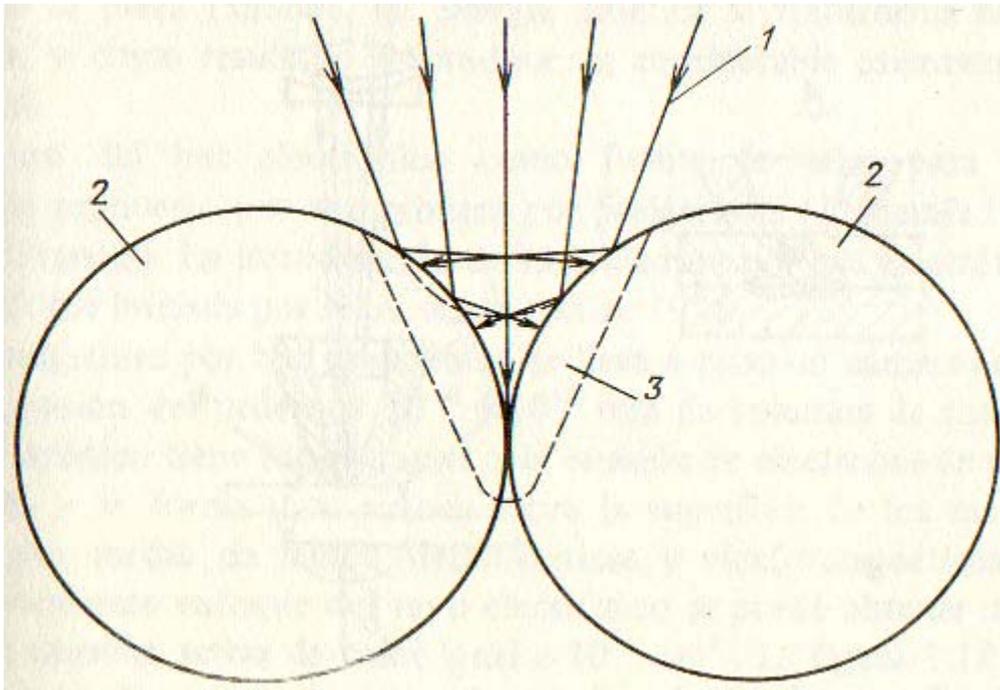


FIGURA N° 7.6.1 Esquema de soldadura por Rayo Láser de conductores colocados paralelamente: 1- radiación Láser; 2- hilos a soldar; 3- zona de fusión. [9]

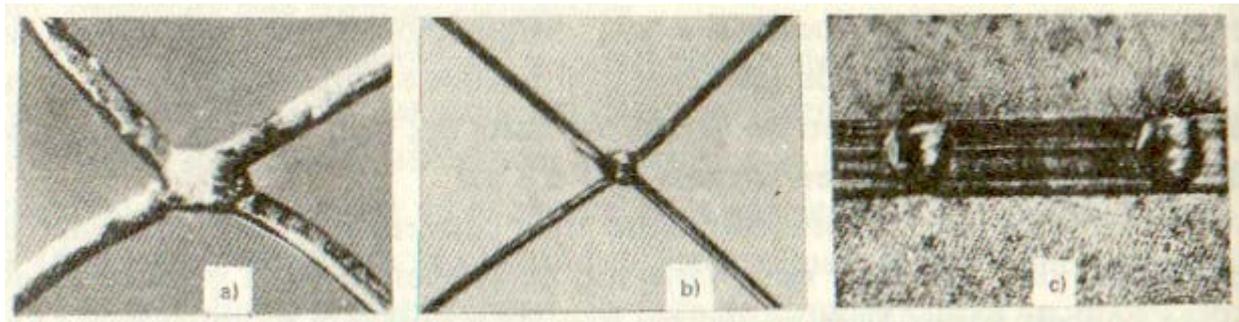


FIGURA N° 7.6.2 Aspecto externo de las Uniones Soldadas Láser: (a) Hilo de cobre de 150 μm de diámetro; (b) Hilo de Nicromo e hilo de Níquel de 50 μm de diámetro; (c) Lamina de Níquel con sección de 50x300 μm con lamina de cobre de 100 μm de espesor. [9]

La figura 7.6.3 presenta el esquema del proceso de soldadura a través de un capilar. En este procedimiento, el capilar cumple la función de instrumento-punzón de soldar. La unión soldada se forma por el calentamiento dado por la radiación láser y a la presión creada por el capilar.

7.4.4- Soldadura por Termo compresión

Es una difusión controlada entre los materiales a unirse. Estos se ponen en contacto íntimo por medio de una herramienta especial de unión a una temperatura menor que la necesaria para fundirlos. Durante un ciclo controlado de tiempo, presión y temperatura se lleva a cabo el flujo plástico y la difusión. Por lo menos uno de los dos materiales a unir debe ser dúctil para evitar el rebote elástico que puede degradar la soldadura cuando se retira la herramienta. Para asegurar una adecuada deformación del alambre, la sección de la herramienta en la zona de trabajo, debe ser la mitad que la del alambre, figura 7.7. La herramienta en forma de prisma triangular o cuña debe tener un radio de una a cuatro veces el del alambre para evitar la formación de tensiones. La temperatura de unión debe estar dentro del margen de temperatura de recocido de los metales dúctiles, pero por debajo del punto eutéctico, o temperatura de aleación. La fuerza de unión, el tiempo y la temperatura, deben determinarse por experimentación. Existen dos procesos básicos de soldadura por termo compresión: Por Cuña; o por Cabeza de Clavo bolita.

LA TERMOCOMPRESION [9]

La termo compresión es un método para unir metales con metales y con metaloides en estado sólido, a presiones específicas relativamente poco altas y caldeo hasta una temperatura inferior a la temperatura de formación de eutexia en los materiales a unir. A juicio del autor, la termo compresión es una unión de materiales en estado sólido bajo condiciones de una difusión limitada y controlada. El término termo compresión fue propuesto por primera vez por Anderson y Christensen en su patente de un medio de unión de piezas diminutas y se refería ante todo a la unión de metales con semiconductores. Para prevenir la ruptura de la unión a causa de tensiones residuales, uno de los materiales, habitualmente el terminal a unir por termo compresión tiene que poseer una elevada ductilidad. Durante la termo compresión, la temperatura de la unión no debe superar la temperatura de formación de eutexia en los materiales a unir: dicha temperatura corresponde a la temperatura de revenido o de destempe del metal más dúctil. Los materiales a unir por termo. Se pueden dividir en tres tipos:

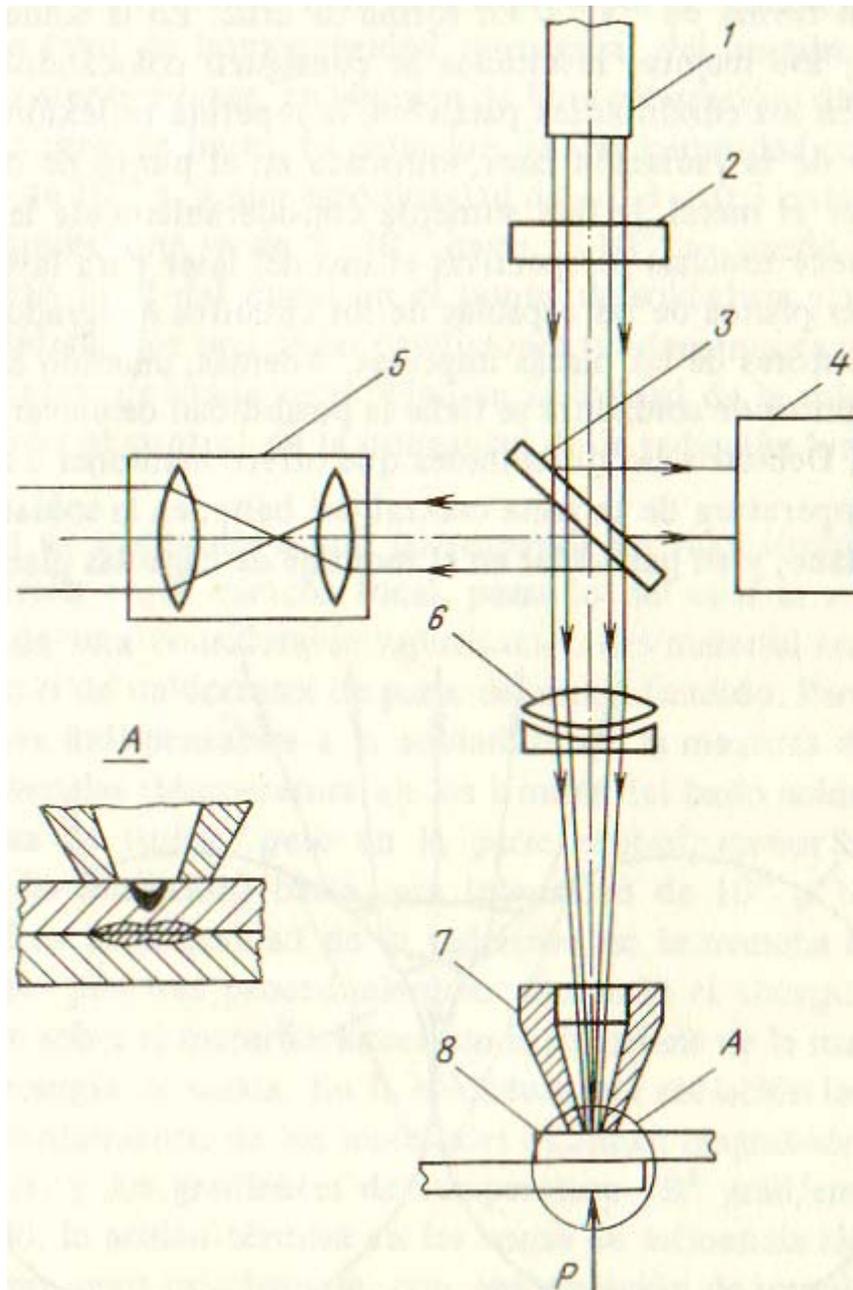


FIGURA N° 7.6.3 Soldadura Láser a través de un Capilar: 1- elemento activo; 2- espejo semitransparente del resonador; 3- placa divisora de luz; 4- dispositivo para la medida de la energía de la radiación; 5- sistema ocular; 6- objetivo; 7- capilar: instrumento soldador; 8- piezas a soldar.

** Los metales con buena difusión recíproca en estado sólido, que forman una serie de soluciones sólidas como Ag - Au ; Au - Cu. Poseen una excelente soldabilidad al ser unidos por termo.

** Los materiales que forman entre sí aleaciones eutécticas o de baja temperatura de fusión: Al-Si ; Au-Si. Poseen una soldabilidad aceptable.

** Los metales cuya difusión recíproca conducen a la formación de uniones intermetálicas y de eutécticas: Au-Al ; Au-Sn. Poseen una soldabilidad aceptable, pero su unión requiere una más cuidadosa observación de los regímenes recomendados.

La formación de una unión robusta por este procedimiento solo puede realizarse dando lugar a una determinada deformación en la zona de unión. Esta deformación debe garantizar la expulsión, de la zona de unión, de los gases absorbidos y de las películas grasas y oxidadas que siempre existen en la superficie de los metales y de los metaloides. Al tomar contacto las limpias y "jóvenes" superficies de dos metales ó de un metal y un metaloide, podrá producirse el "agarrado". Los campos de agarrado surgen en aquellos sectores donde es posible la aparición de una interacción entre electrones libres de átomos de distinta naturaleza y la formación de un enlace intraatómico. Para que se presente esta interacción es preciso superar la barrera energética de los átomos superficiales, es decir elevar su energía hasta un determinado nivel en el que podrá tener su interacción. La energía indispensable se introduce como resultado de la deformación plástica y del calentamiento. La oxidación de la superficie influye en gran manera en la eficacia y en la calidad de las uniones por termo compresión. Se advierte especialmente en la unión de conductores con finas películas pulverizadas. Así en la soldadura de conductores con películas de níquel, cobre o plata previamente pulverizadas, es posible obtener uniones de mucha calidad con parámetros de régimen bajos.

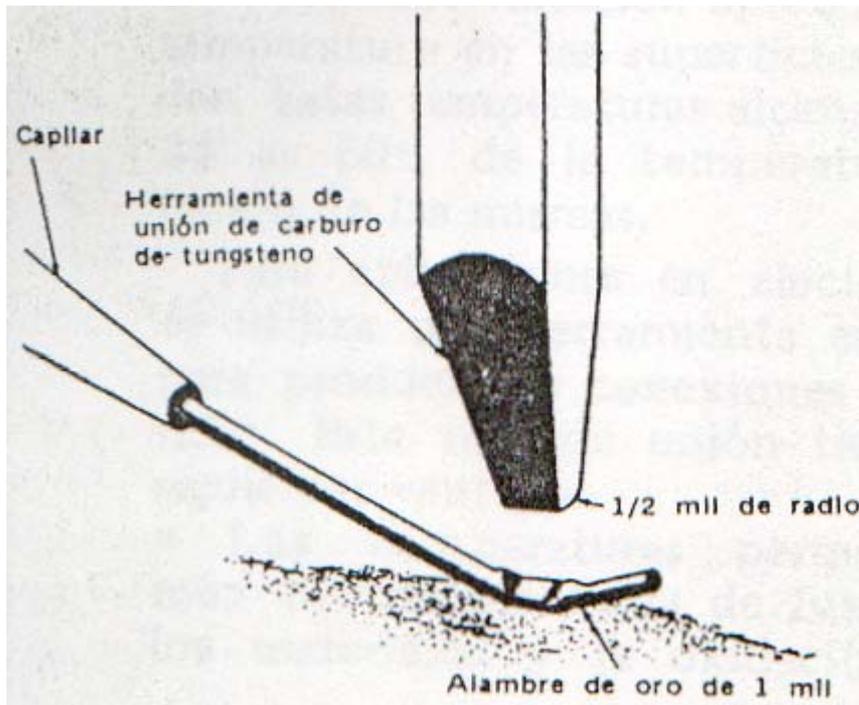


Figura N° 7.7 Soldadura por termo-compresión

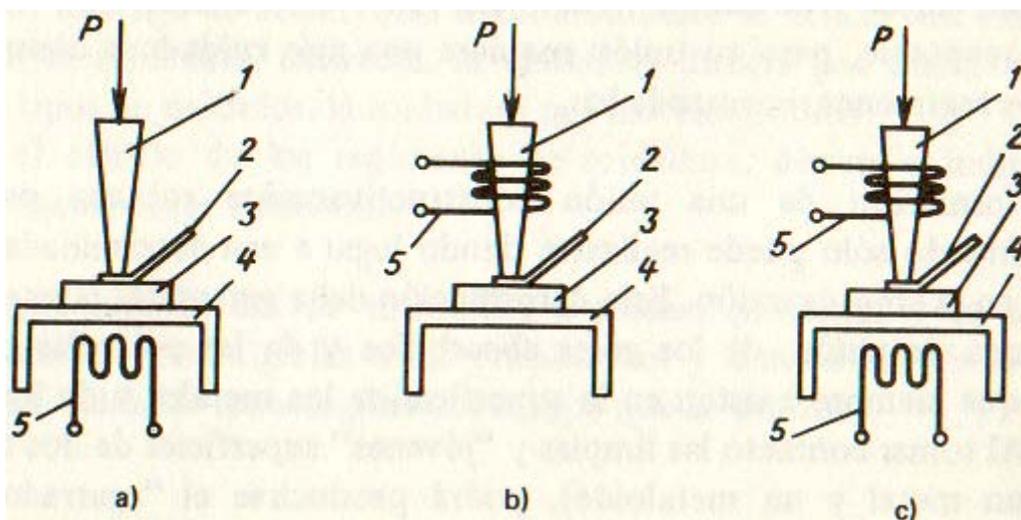


Figura N° 7.7.1 Variedades de termocompresión según el procedimiento de caldeo: (a) Solo caldeo de la mesita de trabajo; (b) Caldeo del instrumento de trabajo; (c) Caldeo simultaneo de la mesita de trabajo y del instrumento; 1- instrumento de trabajo (punzón); 2- conductor a unir; 3- soporte o cristal de un componente semiconductor; 4- mesita de trabajo; 5- espiral para el caldeo.

Si estas películas se mantienen en el aire cierto tiempo ya no se consigue obtener uniones de calidad a base de los mismos regímenes de soldadura es decir a la termocompresión. Con gran frecuencia, la unión por termo. Se lleva a cabo en una atmósfera protectora: nitrógeno desecado, Aragón, gas formir o sea mezcla de Aragón con un 10% de hidrogeno. No resulta posible utilizar el hidrogeno en calidad de restaurador de la atmósfera, ya que la termocompresión se realiza u una temperatura baja. Las ventajas del proceso de termo. son las siguientes:

- ** la posibilidad de soldar materiales blandos de elevada conductibilidad eléctrica en forma de conductores redondos ó planos, con finas películas conductoras pulverizadas sobre frágiles soportes dieléctricos;
- ** la estabilidad del instrumento soldador y su alta resistencia;
- ** la insensibilidad al cambio de régimen: un cambio de los parámetros dentro de los límites de un $\pm 10\%$ no influye, en la calidad de la unión;
- ** la facilidad del control y de la regulación de los parámetros del proceso: esfuerzo de presión, temperatura y duración;
- ** la sencillez del equipo para soldar;
- ** el control de la calidad de la unión basándose en la deformación del conductor y en la forma del punto de soldadura;
- ** el proceso tiene lugar a una temperatura inferior a la de la formación de eutexia en los materiales a unir; ** no se requiere el uso de materiales de aportación ni fundentes, lo que evita la aparición de suciedades y saturaciones gaseosas.

Los defectos del proceso de termo. son:

- ** la limitada cantidad de combinaciones de materiales soldables: es difícil soldar por termo. el kovar, las aleaciones de níquel y las de hierro;

** los soportes han de fabricarse con materiales poco sensibles al impacto térmico y con buena adhesividad frente a las películas pulverizadas: vidrio, sital, óxido de berilio u otras cerámicas;

** las limitadas medidas geométricas de las piezas a soldar: el diámetro o el grosor de los terminales no debe sobrepasar los 0,1 a 0,13 mm, y las películas pulverizadas no tendrán un espesor inferior a 500 Å;

** la necesidad de una muy cuidadosa elaboración de los materiales a unir: decapado, limpieza, desengrase, protección contra el óxido.

Las diferentes variedades de termocompresión se pueden clasificar por alguna de sus características:

1.- Por el procedimiento de caldeo. Figura 7.7.1

2.- Por el procedimiento de unión: ** termocompresión de plano: el hilo se presenta lateralmente, bajo el instrumento, a través de una boquilla especial o a través del instrumento de trabajo: instrumento en forma de capilar, capilar seccionado tipo pico de pájaro, instrumento con agujero lateral para la presentación del conductor; ** termocompresión de punta: el hilo se presenta a través de un capilar, y su extremo, antes de la soldadura, se forma por fusión una bolita.

3.- Por el tipo de unión formada, tipo condicionado por la forma del instrumento figura 7.7.2.

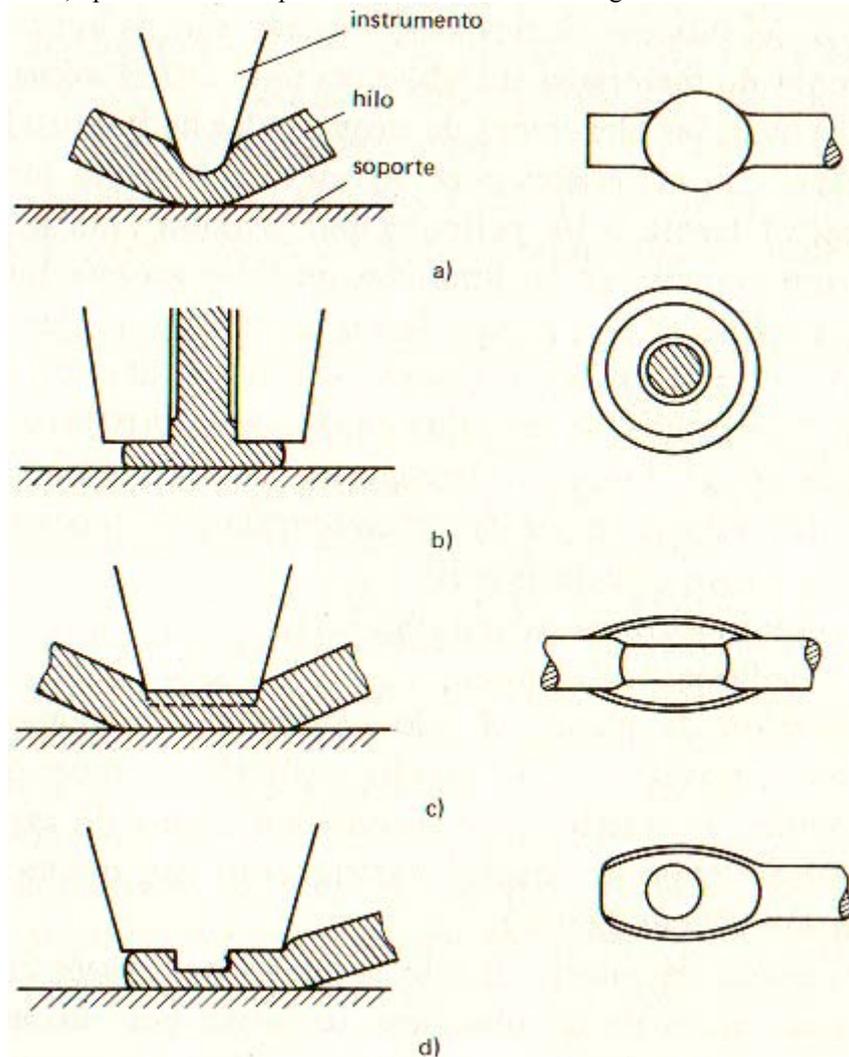


Figura N° 7.7.2 Tipos fundamentales de uniones por Termocompresión: (a) Uniones en forma de punto plano de soldadura: termocompresión en cuña; (b) Uniones en forma de cabeza de clavo: termocompresión por capilar con formación de bolita; (c) Unión con costilla de refuerzos: termocompresión a base de instrumento con ranura o electrodo partido; (d) Uniones tipo "ojo de pez": termocompresión a base de instrumento con un saliente. [9]

La tabla 1.1 presenta las ventajas y los defectos de los procedimientos de calentamiento. El material del instrumento de la termocompresión debe poseer las siguientes cualidades: * baja conductibilidad térmica; * suficiente solidez ante los periódicos impulsos de caldeo y enfriamiento, y también ante los esfuerzos mecánicos de trabajo; * alta resistencia a la oxidación y al desgaste bajo temperaturas de hasta 500°C; * baja tendencia a combinarse con los materiales a soldar.

En uniones de conductores de oro, los instrumentos que menos tienden a combinarse son los fabricados con molibdeno: los pluricristalinos, corindón, óxido de magnesio, aleaciones duras y el óxido de berilio. La mejor aleación es VK-15. En la soldadura de conductores de aluminio, tienen una menor tendencia al agarre el óxido de berilio, la ferrita, el molibdeno y las aleaciones duras. El corindón, el óxido de magnesio y el sital se combinan fuertemente con el aluminio y no es posible recomendarlos como material para el instrumento. El método de unión por termocompresión es actualmente el más extendido en el montaje de los dispositivos semiconductores producidos por el método de la tecnología planar, y en el de circuitos integrados en cajas con conductores de alambres flexibles.

TABLA 1.1

Procedimiento de Caldeo	Ventajas	Defectos
Calentamiento general del componente o de los circuitos mediante calefactor eléctrico	Estabilidad de la temperatura gracias a la gran capacidad térmica del calefactor y a la precisión de la regulación.	El componente se somete al calor en el curso de todo el proceso de montaje.
Caldeo continuo del instrumento mediante calefactor eléctrico.	Permite utilizar un calefactor mas compacto y simplifica la estructura del equipo.	Dificultad para medir la temperatura en la zona de la unión.
Caldeo simultaneo del componente y del instrumento mediante calefactores eléctricos.	*Más exacta regulación de la temperatura; *posibilidad de efectuar uniones a más alta temperatura de caldeo del instrumento; *obtención de uniones más sólidas con la mínima duración del acto de soldar.	Mayor complejidad en la estructura del equipo y del instrumento;* el componente se somete al calor en el curso de todo el proceso de montaje.

7.4.4.1- Soldadura por Termo compresión por Cuña

Se deposita una herramienta sobre un alambre de diámetro pequeño, colocado sobre una pastilla de un dispositivo semiconductor. La herramienta deforma plásticamente el terminal que esta en contacto intimo con la superficie de unión.

7.4.4.2- Soldadura por Termo compresión por Cabeza de Clavo

El segundo método, utiliza un alambre muy fino colocado dentro de un capilar como se muestra en la figura 7.8. Antes de la soldadura se somete el alambre a una llama de hidrógeno formando por tensión superficial, una esfera de diámetro mayor que el alambre. Se baja el capilar hasta que la bolita entra en contacto con la superficie del dispositivo, en ese instante se aplica una fuerza sobre ella, deformándola. Se obtiene la temperatura de unión, calentando el sustrato o el capilar.

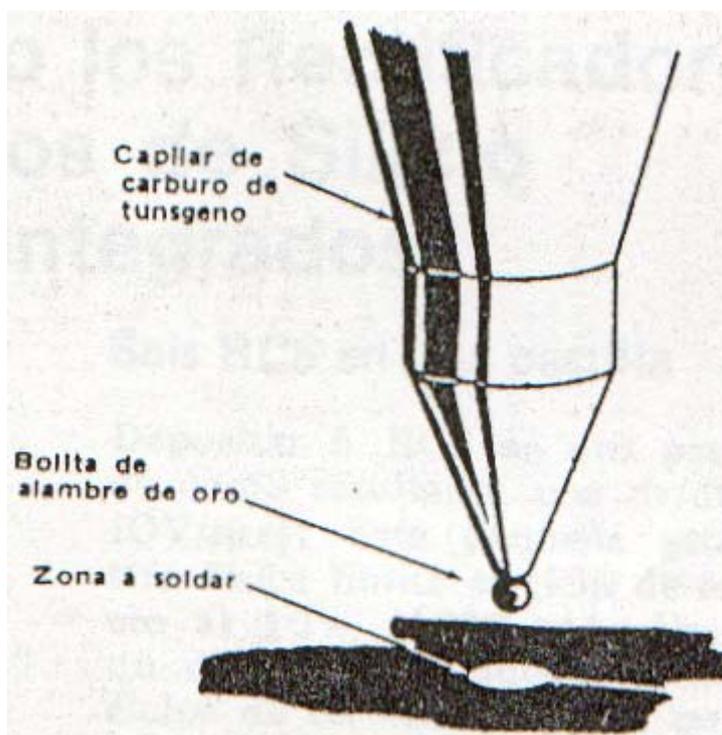


Figura N° 7.8 Soldadura por Termo compresión por Cabeza de Clavo usa una Bolita formada en el extremo de un alambre de Oro.

7.4.5- Soldadura por Ultrasonido

Es un método de unión de metales de estado sólido, que no utiliza fundente o aporte de material alguno. Se aplica energía de ultrasonido y presión inducida a los materiales a unir para deformar las superficies plásticamente, de modo que desaparezcan las películas de oxido y los materiales extraños, haciendo que las superficies irregulares se acomoden una a otra, produciendo una soldadura metalúrgica. Aunque a este proceso se lo considera un método en frío, la fricción produce variación apreciable de temperatura en las superficies a soldar. Estas temperaturas alcanzan del 30 a 50% de la temperatura de fusión de las mismas. Para aplicaciones en electrónica, se utiliza una herramienta especial, para producir las conexiones requeridas. Este tipo de unión tiene las siguientes ventajas:

- ** Las temperaturas permanecen muy por debajo de la de fusión de los materiales y la oxidación térmica de la interfase no crea ningún problema.
- ** Se logran buenos resultados en metales muy distintos.
- ** Raramente se forman fases inter metálicas, en la zona de soldadura de materiales diferentes.
- ** No aparecen potenciales eléctricos que puedan dañar el dispositivo.

** Se pueden unir alambres finos a hojas muy finas o a secciones gruesas.

7.4.5.1- SOLDADURA ULTRASÓNICA [9]

La soldadura por ultrasonido es la unión de metales en estado sólido por medio de la creación en las piezas a soldar, vibraciones elásticas de frecuencia ultrasónica bajo la simultánea presencia de una determinada presión específica. La figura 7.8.1 presenta el esquema de la soldadura ultrasónica con oscilaciones mecánicas longitudinales. Las oscilaciones mecánicas ultrasónicas se crean en un transformador magnetostrictivo, y se transmiten a las piezas a soldar mediante un guía ondas que sirve para amplificar la amplitud de las oscilaciones y un instrumento soldador. En la soldadura ultrasónica, la energía ondulatoria de las vibraciones mecánicas del transformador ultrasónico crea complejos esfuerzos de tracción, compresión y cizalladura. Cuando los esfuerzos originados empiezan a superar el límite de elasticidad de los materiales a unir, se produce una deformación plástica en la zona de contacto. Como consecuencia de esta deformación y de los efectos dispersantes del ultrasonido se produce la expulsión de las películas líquidas, gaseosas y orgánicas, y de las oxidaciones superficiales absorbidas, en virtud de lo cual las superficies de las piezas quedan limpias y se establece un contacto directo entre los dos materiales a unir. En el proceso de deformación tiene lugar un ensanchamiento de la superficie de contacto directo, lo que facilita la obtención de una unión firme. En la soldadura ultrasónica, la temperatura de caldeo, incluso en la zona de contacto, no supera el 30-50% de la temperatura de fusión de los materiales a unir, lo que permite utilizar este método para unir materiales sensibles al recalentamiento.

TABLA 1.2

Material del Soporte	Material de la Película	Espesor de la Película en μm	Material del Hilo	Diámetro del Hilo en μm
Vidrio o Sital	aluminio	0,5 - 3	Aluminio Oro	24 - 250 18 - 100
Vidrio o Sital	Níquel con subcapa de Cobre y Cromo	0,7 - 5	Aluminio Oro	24 - 500 18 - 200
Vidrio o Sital	Oro con subcapa de Nicromo	0,5 - 3	Aluminio Oro	24 - 250 18 - 100
Vidrio o Sital	Nicromo	0,5 - 3	Aluminio	24 - 250
Vidrio o Sital	Platino	0,25	Aluminio	30 - 250
Vidrio o Sital	Plata con subcapa de Nicromo	1 - 25	Aluminio	50 - 250
Cerámica	Plata	5 - 20	Aluminio	24 - 250
Silicio	Aluminio	0,3 - 3	Aluminio Oro	24 - 500 12 - 80

En la tabla 1.2 se reseñan algunas de las posibles combinaciones de materiales, películas finas y conductores, que pueden unirse por el método de soldadura ultrasónica. La soldadura ultrasónica aplicada a la microelectrónica, posee las siguientes ventajas: * La temperatura en la zona de la soldadura es considerablemente menor que la del punto de fusión de los materiales a unir; * Resulta posible realizar la unión de muchos materiales de distinta naturaleza y difíciles de fundir; * Un conductor fino puede ser unido tanto a una lamina delgada como a piezas de mucho espesor. Defectos de soldadura ultrasónica: * Uno de los materiales a unir deberá ser bastante dúctil; * El límite superior en el grueso de una de las piezas a unir queda limitado a 1 - 3 mm según la potencia del transformador ultrasónico. Se ha elaborado algunos nuevos procedimientos de soldadura ultrasónica destinados especialmente a la microelectrónica: * Soldadura ultrasónica con vibraciones torsionales; * Soldadura ultrasónica con caldeo indirecto a impulsos; * Micro soldadura a presión combinada con oscilaciones ultrasónicas de forma especial; * Termo compresión con ultrasonido.

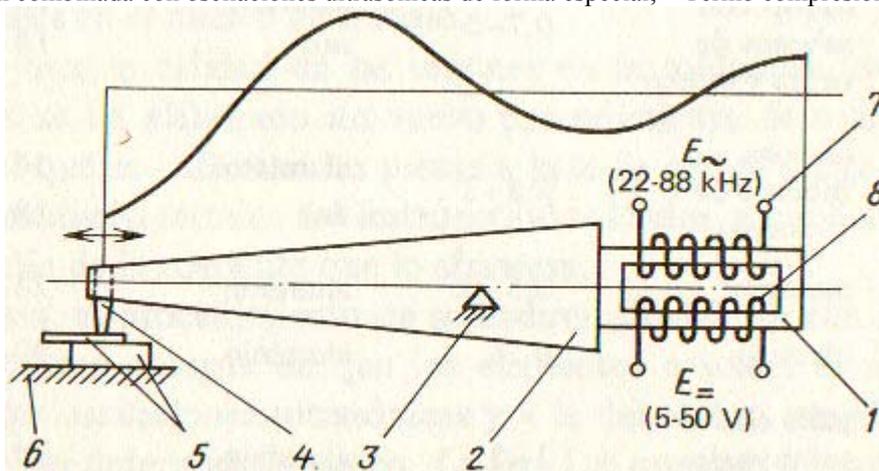


FIGURA N° 7.8.1 Soldadura Ultrasónica con oscilaciones longitudinales: 1- Transformador Magnetostrictivo; 2- guía ondas; 3- soporte y mecanismo para la creación de la fuerza y presión; 4- instrumento soldador: punta; 5- piezas a soldar; 6- soporte para la fijación de las piezas; 7- devanado de excitación; 8- devanado de imantación.

La soldadura ultrasónica con vibraciones torsionales produce sus mejores efectos en la hermetización de cajas metalovitreas cuando se requiere una elevada potencia de las oscilaciones ultrasónicas. Las oscilaciones torsionales en la zona de la soldadura pueden crearse utilizando varios transformadores y guía ondas sincronizados y fijados a un solo instrumento soldador, o también por medio de un guía ondas seccionado especial cuyos brazos tienen diferente longitud y funcionan de modo que crean vibraciones torsionales en el núcleo de trabajo. Para mejorar la calidad de las uniones en la soldadura ultrasónica de micropiezas se ha elaborado un nuevo

procedimiento de soldadura ultrasónica en el que se calientan las piezas a base de caldeo indirecto a impulsos por transmisión térmica del instrumento soldador, el cual se caldea a su vez por medio de la corriente que lo atraviesa. El procedimiento por caldeo indirecto a impulsos consiste en que los elementos a soldar se someten a la acción de las oscilaciones ultrasónicas y a la del caldeo, simultáneamente a siguiendo un determinado orden. La figura 7.8.2 presenta el esquema de un aparato para soldar por este procedimiento.

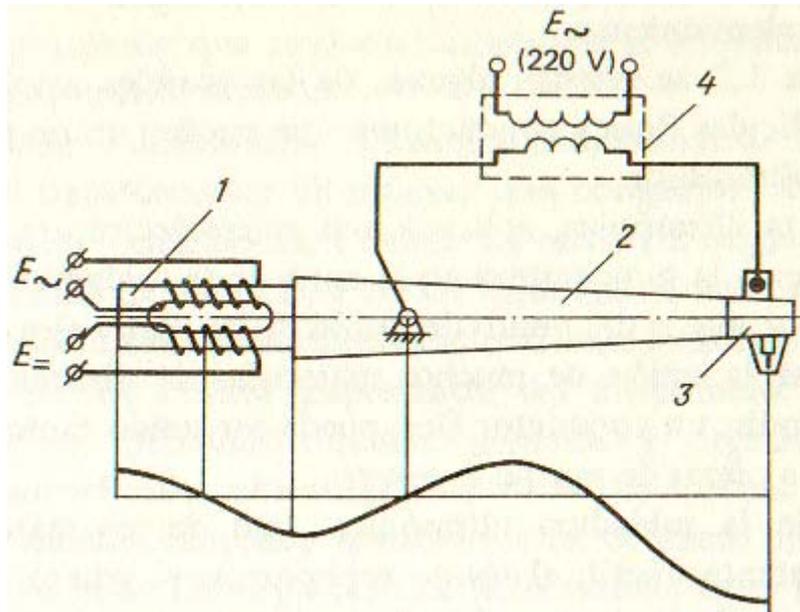


FIGURA N° 7.8.2 Soldadura Ultrasónica con Caldeo Indirecto por Impulsos: 1- transformador magnetoestrictivo; 2- guía ondas; 3- instrumento soldador; 4- fuente de alimentación para el caldeo del instrumento soldador.

El instrumento de trabajo se halla fijado en el extremo de trabajo del guía ondas del sistema oscilador y realiza las oscilaciones siguiendo el circuito de frenado del guía ondas oscilantes en el modo longitudinal. El proceso de la soldadura ultrasónica con caldeo indirecto a impulsos SUCIAI tiene lugar de la siguiente manera: Al principio el instrumento soldador oprime con poca fuerza las piezas a soldar. Luego se deja pasar a través del instrumento un impulso de corriente que produce el recalentamiento del instrumento y al propio tiempo o con cierta antelación o cierto retraso, se da paso a las oscilaciones ultrasónicas creadas en el instrumento. El calentamiento y la acción del ultrasonido pueden durar fracciones de segundo. El valor de la energía de cada impulso y su duración, pueden regularse por separado y entre muy amplios límites lo que permite soldar materiales con distintas propiedades físico - químicas. La SUCIAI, tiene aplicada al montaje de circuitos microelectrónicos, las siguientes ventajas: * La acción simultánea del ultrasonido y del calentamiento permiten rebajar la necesaria temperatura durante la soldadura; * La máxima solidez de la unión de conductores con películas queda asegurada con una menor deformación del conductor; * Permite unir combinaciones de materiales poco fundibles con pequeño calentamiento y deformación. Para unir los terminales metálicos a las estructuras semiconductoras, y también para soldar diversos elementos de finas películas metálicas, se ha elaborado un procedimiento de micro soldadura a presión combinada con oscilaciones ultrasónicas de forma especial. La peculiaridad del proceso consiste en la transformación de las oscilaciones ultrasónicas longitudinales en otras torsionales por medio del sistema guía ondas. Los parámetros fundamentales del proceso son: * La temperatura de calentamiento del lugar de la soldadura, la duración de la acción de las oscilaciones ultrasónicas y el esfuerzo de presión sobre los elementos a soldar. En la unión directa de una cinta orada con una estructura mesa de diodo de silicio por el indicado método, el proceso se lleva a cabo habitualmente a temperaturas algo superiores a la temperatura eutéctica y con una duración no superior a los 0,3 - 0,5 seg. La soldadura ultrasónica y todas sus variantes han empezado a aplicarse con éxito a la producción de micro transistores y CI, utilizándose en la ejecución de montajes con conductores flexibles, en la unión de cristales a la caja, y en el montaje de CI sin conductores por el método del cristal invertido.

7.5 SOBRECARGAS EN MICROELECTRONICA[16]

Los ensayos no destructivos con radiaciones infrarrojas para evaluar el diseño y la producción de componentes electrónicos. Dicho ensayo es un modo de descubrir fallas potenciales en componentes aparentemente perfectos. Este método se usa para ensayar componentes discretos. Este método tiene las siguientes ventajas:

** Puede discriminar entre componentes que exhiben una temperatura diferencia de algunos grados. Como resultado de ellos para propósitos de calidad asegurada. Todo artículo que difiere de la norma resulta sospechoso y descartable.

** Se pueden establecer criterios de diseño. El trabajo eléctrico adecuado y la confiabilidad dependen de la distribución óptima del calor en cada circuito particular. Este método puede detectar puntos calientes y gradientes grandes de temperatura.

** Criterios absolutos de confiabilidad donde se pueden correlacionar los diagramas iniciales de temperatura con las mediciones realizadas. Un comportamiento inicial puede darse como bueno o malo, por lo tanto se pueden aplicar a componentes similares y al comienzo del ensayo cifras de confiabilidad absoluta.

** Predicciones precisas del comportamiento futuro de un componente con suficiente tiempo de ensayo ó con ensayos en un gran numero de muestras. Las fallas internas provocadas por el comportamiento térmico anormal aparecen cuando se conecta el circuito y que dicha técnica es el modo de predecir rupturas y mal funcionamiento antes que estas ocurran.

** Se detectan fallas eléctricas en componentes apenas activados.

** Los componentes no se dañan durante el ensayo dado que no existe contacto físico con ellos, cosa importante en CI.

** Las mediciones pueden repetirse.

** Alto grado de exactitud

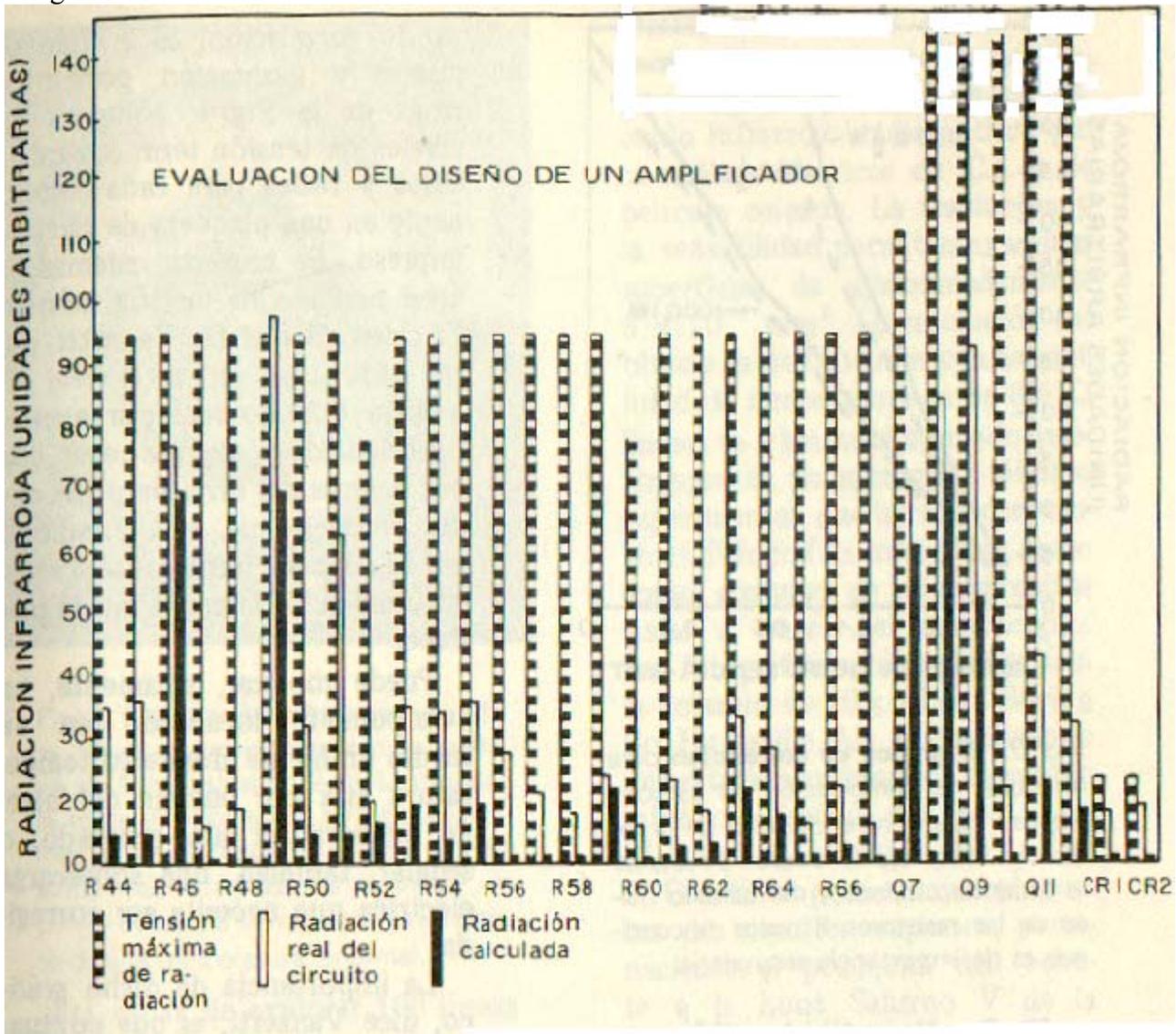


Figura N° 7.9 El Perfil Infrarrojo

De los niveles calculados y medidos de los componentes de un modulo amplificador se comparan con los niveles infrarrojos en los puntos de tensión máxima esperados. Este grafico lo utiliza Raytheon como comparación en unidades de producción para evaluar los daños por tensiones eléctricas y térmicas.

El Dr. Vanzetti descubrió una técnica que utiliza **termografía infrarroja** en la compañía Raytheon que evalúa circuitos electrónicos recién diseñados. El prototipo se explora con una trama que tiene la cantidad de líneas adecuadas. Los niveles de radiación deducidos para cada componente particular del circuito, se traducen en niveles de temperatura y luego se construye un grafico de correlación **figura 7.10** para cada componente.

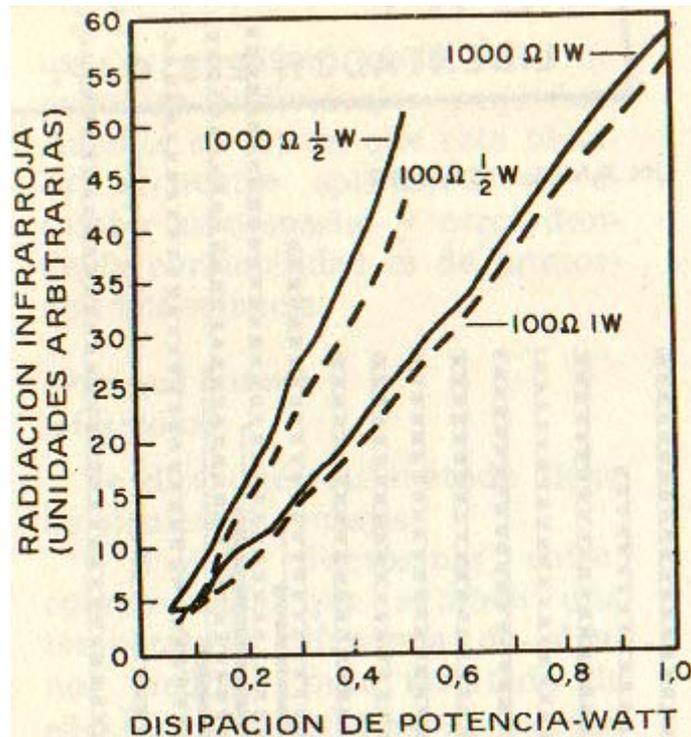


Figura N° 7.10 El gráfico de Correlación

Para resistores de composición de carbón, indica que el nivel de señal de la radiación infrarroja es función directa de la potencia disipada y del tamaño físico de los resistores. El valor de CC es de importancia secundaria.

De este gráfico es evidente que el nivel de señal de la radiación infrarroja es función directa de la potencia disipada: en este caso resistores, y su tamaño. Su valor de CC aparece como de importancia secundaria. Este hecho simplifica el trabajo de correlación dado que se pueden medir familias enteras de resistores con una sola curva de correlación. El gráfico de diseño y evaluación por infrarrojo de la **figura 7.9**, compara los niveles de tensión térmicos calculados y reales para cada componente en una plaqueta de circuito impreso. Se muestra el nivel máximo de tensión térmica. En cada caso el nivel real de tensión térmica está por encima del calculado y aun también superior a plena carga en algunos casos. Muestra un componente localizado en un medio ambiente donde su temperatura está por encima del nivel de temperatura auto-generado o señalar una sobrecarga eléctrica que necesita ser corregido. La importancia que tiene dicho gráfico es que puntualiza inmediatamente toda área que requiere una investigación para verificar que las tensiones eléctricas y térmicas están dentro de los límites seguros.

Las compañías Raytheon Corp. De Comunicaciones y Data Processing Operation, han desarrollado un microscopio infrarrojo de muestreo rápido para la NASA que se emplea para detectar posibles fallas en componentes discretos, CI y de Película Delgada, el que es capaz de explorar superficies de 1 a 2 mm² de CI. Tiene una resolución de 10 micrones, una sensibilidad de Temperatura de 1°C, explorando a razón de 100 líneas en 0,1 seg. La compañía Barnes Engineering Co **figura 7.11** realizó un microscopio Infrarrojo Radiométrico para análisis térmicos de CI y de PD. La resolución y sensibilidad permiten examinar superficies de 3 x 10⁻⁴ mm², y la resolución del blanco es de 0,04mm, siendo su sensibilidad de temperatura es de 0,5°C. Se pueden obtener fotografías infrarrojas tanto como comunes de microcircuitos vistas a través del microscopio. Las fotografías sobre película polaroid de 10 x 13 cm.

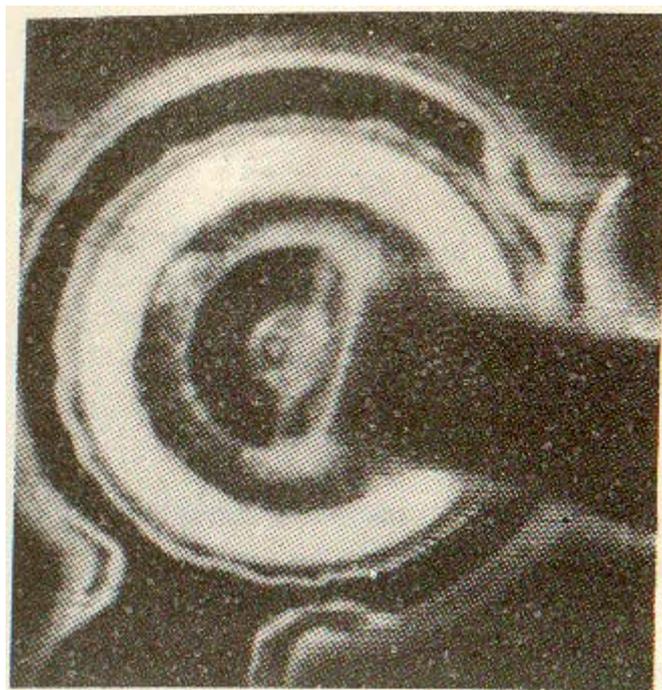


Figura N° 7.11 Exploración Infrarroja

Agrandada 10 veces de un transistor de potencia de 5 A disipando 2 W. La muestra la toma el micrografo térmico de Barnes Engineering Co. El anillo más luminoso es el emisor y el punto a la izquierda es un punto de alta temperatura anormal.
