

PROYECTO FINAL

**RECICLADO DE ALEACIONES Sn-Pb A PARTIR DE  
ESCORIAS PROVENIENTES DEL PROCESO DE  
SOLDADURA DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESOS**



Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Córdoba

Ingeniería Metalúrgica

**Autores**

Mayorga, Guillermo

Gorod, Federico

**Tutor**

Ing. Cantero, Santiago

**Co-tutor**

Ing. Roure, César

**Año**

2022

### Agradecimientos

En primera instancia agradecer a la Universidad Tecnológica Nacional como institución académica, como así también a todas las personas que la conforman, las cuales nos han acompañado y ayudado en este camino.

Así mismo agradecer a nuestras familias, ya que sin su ejemplo y esfuerzo no podríamos haber llegado a donde hoy estamos.

Queremos agradecer a nuestro tutor Ing. Santiago Cantero y cotutor Ing. Cesar Roure. Como así también un especial agradecimiento al Dr. Ing. Roberto Oscar Lucci quienes nos han guiado y ayudado durante esta última etapa.

Un agradecimiento a la dirección de Laboratorio CETeA que nos dispuso los equipos y servicio de micrografía y macrografía.

Un agradecimiento a nuestros amigos y compañeros de la carrera con los cuales hemos compartido innumerables momentos y situaciones.

Y por último un saludo especial para aquellas personas que sin su apoyo nunca hubiéramos llegado hasta este punto, nuestras familias.

¡Muchas gracias a todos!

### Resumen

El proceso de unión más empleado para la manufactura a gran escala de placas de circuitos impresos, es aquella que emplea la soldadura por ola o cascada, utilizando aleaciones no ferrosas de bajo punto de fusión, basadas principalmente en los sistemas Sn-Pb, Sn-Ag y Sn-Cu. En nuestra región, las empresas dedicadas a la fabricación de plaquetas mediante soldadura por ola, emplean aleaciones de la familia Sn-Pb. El principal subproducto que se genera en dicho proceso de soldadura, son escorias compuestas por una combinación de óxidos y restos de la aleación Sn-Pb que quedan atrapadas entre ellos. Según las leyes vigentes, este residuo es considerado peligroso y requiere un tratamiento especial. En la actualidad, no existen plantas de tratamientos de estos residuos en Argentina, siendo su principal destino el enterramiento a cielo abierto.

El interés en la recuperación de las aleaciones Sn-Pb a partir de las escorias del proceso de soldadura, toma relevancia tanto desde un punto de vista medioambiental y de salud como en lo económico, ya que permite revalorizar los residuos aprovechándolos nuevamente en el proceso productivo. Por lo tanto, este proyecto propone efectuar el estudio, desarrollo e implementación de un proceso de reciclado de escorias de Sn-Pb mediante un método pirometalúrgico, que permita obtener una aleación recuperada, dentro de los estándares comerciales para su reutilización en los procesos de soldadura por ola de placas de circuitos impresos.

## Índice de contenidos

1. Objetivos .....	8
1.a. Objetivo general. ....	8
1.b. Objetivos específicos. ....	8
2. Estado actual del conocimiento .....	9
3. Introducción .....	11
3.a. Placas de circuitos impresos .....	11
3.c. Soldering.....	13
3.b.1. Fundentes .....	15
3.c.1. Soldadura por cascada.....	16
3.d. Control de calidad.....	19
3.e. Tecnología actual.....	19
3.e.1. Tendencia a futuro .....	20
3.b.2. Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.....	23
3.b. Plomo como residuo peligroso.....	24
3.d. Aleaciones empleadas en soldadura .....	26
3.d.1. Comparación entre el sistema Sn-Pb y Sn-Cu.....	29
4. Materiales y métodos .....	32
4.a. Material base.....	32
4.b. Horno eléctrico.....	32
4.c. Balanza .....	33
4.e. Microscopios .....	34
4.f. Herramental auxiliar.....	35
4.g. Proceso.....	38
4.g.1. Diagrama de flujo del proceso .....	41
5. Experiencias preliminares .....	42
6. Resultados y discusiones.....	43
6.a. Porcentaje de recuperación general .....	43
6.b. Influencia de la temperatura en el porcentaje de recuperación .....	43
6.c. Influencia del tiempo en el porcentaje de recuperación.....	44

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

6.d. Influencia de agitación en el porcentaje de recuperación .....	44
6.e. Inspección Visual de los productos .....	45
6.f. Análisis macrográfico.....	46
6.g. Análisis micrográfico .....	48
6.g.1. Análisis micrográfico de escorias iniciales .....	48
6.g.2. Análisis micrográfico de la aleación Sn-Pb de proveedor .....	49
6.g.3. Análisis micrográfico de los lingotes obtenidos por recuperación .....	51
6.g.4. Análisis micrográfico de escorias finales .....	58
6.h. Análisis químico .....	60
6.h.1. Análisis químico de las escorias iniciales.....	60
6.h.3. Análisis químico del lingote obtenido .....	60
6.h.2. Análisis químico de las escorias finales .....	63
7. Conclusiones.....	64
7.a. Generales .....	64
7.b. Específicas .....	64
8. Recomendaciones para trabajos futuros .....	65
9. Anexos.....	66
Anexo 1. Cartilla técnica de la aleación utilizada. ....	66
Anexo 2. Instructivo de proceso. ....	69
10. Referencias bibliográficas .....	73

## Índice de figuras

Figura 1. Placa de circuitos impresos. ....	12
Figura 2. Esquema de la soldadura por cascada u ola. ....	17
Figura 3. Esquema de la soldadura por cascada u ola con protección. ....	17
Figura 4. Diagrama del proceso de soldadura con sus respectivas etapas. ....	18
Figura 5. Efecto de reforzamiento en el límite de fluencia de una aleación 63Sn-37Pb. .....	22
Figura 6. Diagrama binario Sn-Pb .....	30
Figura 7. Diagrama binario Sn-Cu . ....	31
Figura 8. Morfología característica del material con el cual se inicia la recuperación..	32
Figura 9. (a) Horno eléctrico. (b) Controlador. ....	33
Figura 10. Balanza. ....	33
Figura 11. Microscopio óptico. Microscopio electrónico.....	34
Figura 12. Crisol. Herramental de manipulación y colada. ....	35
Figura 13. Impresora 3D y filamento utilizado. ....	36
Figura 14. Modelo y lingotera de aluminio. ....	37
Figura 15. Herramental auxiliar. ....	38
Figura 16. Gráfica del porcentaje de recuperación como función de la temperatura. .	44
Figura 17. Lingote OK. Lingote NOOK. ....	45
Figura 18. Imagen macrográfica de una sección transversal de lingote OK. ....	47
Figura 19. Imagen macrográfica de una sección transversal de lingote NOOK. ....	47
Figura 20. Imagen macrográfica de una sección transversal de la aleación de origen empleada en el proceso de soldadura. ....	47
Figura 21. Imágenes SEM-EDS de la materia prima (escoria de soldadura) previo al proceso de reciclado. ....	49
Figura 22. Detalle de la muestra 1.. ....	50
Figura 23. Imágenes SEM-EDS de la aleación original Sn67Pb37.....	51
Figura 24. (a) Lingote OK. Magnificación: 200 X. (b) Lingote NOOK.....	52
Figura 25. Detalle de la zona con dos frentes de solidificación. ....	53
Figura 26. Detalle de la muestra 1.. ....	53
Figura 27. Detalle de la muestra 2. ....	54
Figura 28. Imágenes de diagrama de equilibrio Sn-Pb. ....	54
Figura 29. Imágenes SEM-EDS de la zona 1 del lingote reciclado. ....	56
Figura 30. Imágenes SEM-EDS de un lingote reciclado.....	57
Figura 31. Imágenes SEM-EDS de las escorias finales del proceso de recuperación. ...	59
Figura 32. Morfología característica de las escorias finales.....	60

## Índice de tablas

Tabla 1. Aleaciones usadas para procesos de Soldering.....	27
Tabla 2. Referencias del diagrama de flujo. ....	40
Tabla 3. Recuperación en función de temperatura. ....	43
Tabla 4. Resultados del análisis de composición química de materia prima.....	60
Tabla 5. Resultados del análisis de composición química en aleaciones recicladas de Sn67Pb37.....	61
Tabla 6. Resultados del análisis de composición química de escoria final. ....	63

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

**1. Objetivos**

**1.a. Objetivo general.**

El objetivo general de este proyecto final estará dirigido a realizar el estudio, desarrollo y puesta en marcha de un proceso pirometalúrgico que permita reciclar aleaciones de Sn-Pb, a partir de residuos generados en el proceso de soldadura por ola para placas de circuitos impresos, que se presentan formando escorias en estado sólido.

**1.b. Objetivos específicos.**

- Acondicionar instalaciones y herramental para el proceso de reciclado pirometalúrgico.
- Caracterizar química y metalográficamente las escorias que formarán parte de la materia prima a reciclar.
- Analizar la influencia de los parámetros y variables del proceso de fusión de las escorias de Sn-Pb, para establecer los parámetros óptimos del proceso de reciclado, tales como: temperatura, tiempo y agitación.
- Determinar el rendimiento del proceso de reciclado.
- Evaluar la calidad de las aleaciones recuperadas, mediante estudios químicos y metalográficos.
- Caracterizar química y metalográficamente las escorias remanentes posteriores al proceso de reciclado.
- Generar un instructivo para dejar de manera clara los pasos a seguir para realizar el proceso definido por este trabajo.



## 2. Estado actual del conocimiento

Las plaquetas electrónicas existen en todos los productos eléctricos y electrónicos, proporcionando un puente entre el software y el hardware. En los últimos años, el promedio de la tasa de crecimiento en la industria de placas de circuitos impresos en el mundo fue del 8,7 %, pero las estadísticas para el sudeste asiático se encuentran en el orden del 10,8 % y para China continental de un 14,4 %, proyectando crecimientos mayores para los próximos años [1].

El proceso de unión más empleado para la manufactura a gran escala de las mismas, es aquella que emplea la soldadura por ola o cascada [2], utilizando aleaciones no ferrosas de bajo punto de fusión, basadas generalmente en los sistemas de Sn-Pb, Sn-Ag y Sn-Cu [3].

En nuestra región, las empresas dedicadas a la fabricación de placas mediante soldadura por ola, emplean principalmente aleaciones de la familia Sn-Pb [4]. El principal subproducto que se genera en dicho proceso de soldadura, son escorias compuestas por una combinación de óxidos y restos de la aleación de Sn-Pb que quedan atrapadas entre dichos óxidos. La escoria se genera por reacciones con el oxígeno presente en la atmósfera del aire y la aleación de Sn-Pb empleada en estado líquido para la soldadura. El grado de oxidación con la que se presenta el residuo en forma de escoria depende de muchos factores: temperatura, superficie específica del metal, concentración de oxígeno, concentración de humedad en el aire, composición química de la soldadura, la presencia o ausencia de atmósferas protectoras durante la soldadura, entre otras [5]. Además, la densidad de la escoria y la aleación son muy similares, lo que provoca una separación lenta entre ellas, una vez generada durante el proceso de soldadura. Por lo general, la escoria no está relacionada con las impurezas, sino más bien con las tasas de oxidación (aunque algunas impurezas como el aluminio y el zinc aumentan las tasas de escoria debido a su rápida oxidación) [6].

Los requisitos medioambientales modernos, han prohibido completamente el uso de plomo en soldaduras y recubrimientos en la fabricación electrónica. No obstante, su empleo se sigue llevando a cabo implementando aleaciones con menor contenido de

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

plomo y mayor contenido de estaño, por ejemplo, la aleación eutéctica Sn63Pb37 [7]. La aplicación de soldaduras con menor contenido de plomo conduce a la formación de una mayor cantidad de escorias debido a una temperatura de fusión más elevada y una mayor cantidad de contenido de estaño en las aleaciones de soldadura empleadas en la actualidad [8].

En la región centro del país y, principalmente en la provincia de Córdoba, uno de los insumos más empleados en soldadura y montaje de plaquetas de la industria electrónica es la aleación eutéctica Sn63Pb37 [9]. Sin embargo, tras el proceso de producción de las mismas, queda un gran remanente de residuos en forma de escorias. Según las leyes vigentes, este residuo es considerado peligroso y requiere un tratamiento especial [10-13].

Las escorias de los procesos de soldadura por ola se encuentran en estado sólido, seca, y libre de contaminantes como aceites, grasas o suciedad. Algunos estudios emplean técnicas hidrometalúrgicas que permiten lixiviar los elementos presentes en las escorias y posteriormente llevar a cabo su separación mediante precipitaciones en formas de sales, tales como cloruros y/o nitratos de plomo o estaño, entre otros [14, 15]. Sin embargo, estos métodos requieren instancias posteriores para efectuar la recuperación de los elementos en estado metálico y su subsiguiente fusión para formar la aleación necesaria para el proceso de soldadura, siendo considerados como procesos que deben evaluarse estrictamente su factibilidad técnico-económica, dado los bajos costos de comercialización de las aleaciones de Sn-Pb recuperadas [16].

Otros estudios, proponen la recuperación secundaria por refusión en crisol con atmósfera de aire. Sin embargo, esta metodología promueve la formación de altos niveles de escorias en la fusión y, por ende, menores niveles en el rendimiento del proceso de recuperación de la aleación [17].

Algunos estudios proponen el empleo de mezclas de sales protectoras a base de sulfuros, cloruros, fluoruros, entre otros; sin embargo, se ha comprobado que los niveles remanentes cloro, flúor, azufre u otros, pueden quedar atrapados en la aleación reciclada y afectar posteriormente la calidad del proceso de soldadura [18].

**Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica**

En otro orden, algunas investigaciones sugieren el empleo de agentes desoxidantes basados en compuestos de fosfuros, los cuales permitirían inhibir el proceso de oxidación durante la re-fusión de las escorias y mejorar así los niveles de recuperación de las aleaciones a partir de la escoria, sin embargo, se deben controlar muy bien los niveles de impurezas de fósforo remanente, ya que pueden afectar la integridad de la unión soldada con aleaciones recuperadas [19].

Por último, otras posibilidades que fueron estudiadas son aquellas que emplean atmósferas protectoras de gases inertes como argón o que pueden ser consideradas inertes en determinadas condiciones de proceso, como el nitrógeno. Estas técnicas, requieren de instalaciones más complejas y mayores costos iniciales de inversión, sin embargo, pueden mejorar tanto los rendimientos de recuperación, como la calidad de la aleación recuperada [18].

El interés en la recuperación de las aleaciones Sn-Pb a partir de las escorias del proceso de soldadura, toma relevancia tanto desde un punto de vista medioambiental y de salud como en lo económico, ya que permite revalorizar los residuos aprovechándolos nuevamente en el proceso productivo. Por lo tanto, este proyecto propone efectuar el estudio, desarrollo e implementación de un proceso de reciclado de escorias de Sn-Pb mediante un método pirometalúrgico, que permita obtener una aleación recuperada, dentro de los estándares comerciales para su reutilización en los procesos de soldadura por ola de placas de circuitos impresos.

### **3. Introducción**

#### **3.a. Placas de circuitos impresos**

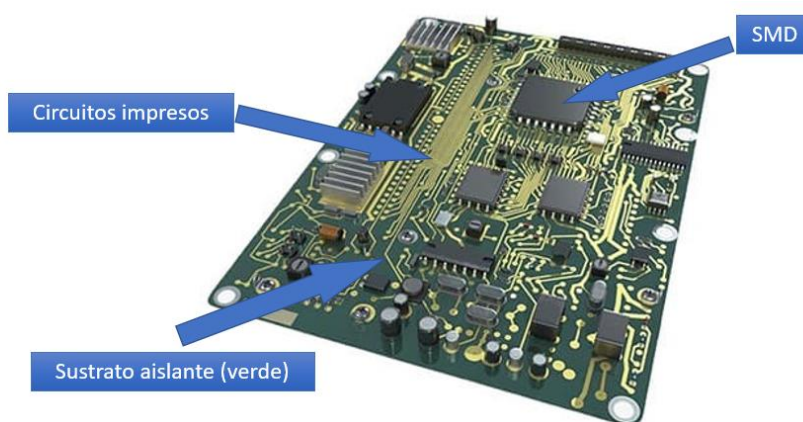
Una placa de circuitos impresos, es el eje principal de funcionamiento de diferentes dispositivos militares, industriales y domésticos.

Para su fabricación se recibe como materia prima planchas de material compuesto, (plástico, fibra de vidrio, papel prensado, resinas), de poco más de un milímetro de espesor, recubiertas por una fina lámina de cobre de varias micras, que

**Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica**

puede estar por un lado (mono cara) o a ambos lados (doble cara). Estas planchas son cortadas en paneles más pequeños con unas medidas (ancho y largo) en función del tamaño del circuito que se quiera fabricar. El material base puede tener varios niveles de calidad, así como diversos espesores estandarizados.

Sobre los paneles se realizan diferentes operaciones hasta obtener finalmente el circuito impreso acabado. La primera operación importante de la fabricación consiste en una primera impresión seguida de un grabado, donde se elimina el cobre de unas zonas concretas en función del diseño del circuito. Las siguientes fases de producción son, en resumen, impresiones de tintas conductoras como las de grafito o plata, impresiones de tintas no conductoras como las mascarillas o las protecciones, pulidos, curado en horno de la tinta, que puede ser parcial o al 100 %, mecanizados en prensa, mecanizados en control numérico, acabados para proteger el cobre como por ejemplo el estañado por inmersión o el pasivado con un producto orgánico, entre otros. El aspecto más importante del proceso de fabricación necesario para este proyecto es que en todos los circuitos hay unas zonas de cobre sobre las cuales el cliente soldará sus componentes y que debe ir protegida mediante un acabado para evitar la corrosión. Estos son diferentes componentes electrónicos como: resistencias, diodos, capacitores, microcontroladores, circuitos integrados, etc. [21] A modo orientativo, la figura 1 muestra una plaqueta electrónica.



**Figura 1. Placa de circuitos impresos.**

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

Una soldadura no satisfactoria entre la tarjeta y sus componentes provoca una inadecuada conexión eléctrica, dando como resultado que la respuesta o la función esperada se ejecute de manera incorrecta.

En la industria electrónica el proceso comúnmente utilizado para la unión de componentes electrónicos a la tarjeta es la soldadura por cascada, en el cual se involucran varios parámetros que se interrelacionan para que los componentes se unan a la plaqueta por medio de la soldadura. [21]

### **3.c. Soldering**

Muchos productos se ensamblan a partir de dos o más componentes individuales que a menudo se unen permanentemente para producir ensamblajes estructuralmente sólidos. Los métodos de unión incluyen varios sujetadores, juntas de interferencia, adhesivos y, para las uniones de la más alta integridad, las muchas técnicas clasificadas bajo soldadura.

Los primeros trabajadores metalúrgicos, estimulados por el deseo de producir estructuras que eran difíciles o imposibles de construir utilizando métodos entonces en existencia, se dieron cuenta de que era posible llenar la junta entre dos piezas de metal con metal fundido y dejar que se solidifique. Estos artesanos pronto aprendieron por experiencia que, para lograr la adherencia, los metales a unir y el metal de aporte debía mantenerse libre de óxidos y tener un punto de fusión más bajo, además que un metal de aporte dado no se adherirá necesariamente a todos los metales. A partir de estos requisitos básicos, la soldadura blanda se convirtió en un oficio cuyos practicantes sabían bien qué hacer y qué no para producir juntas sólidas.

Así como la técnica se desarrolló empíricamente, también lo hicieron los metales de aporte de bajo punto de fusión. Los trabajadores utilizaron por primera vez soldaduras de plomo-estaño, así como minerales de plata y cobre-arsénico, que estaban fácilmente disponibles y tenían puntos de fusión bajos.

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

Este proceso presenta las siguientes ventajas principalmente:

- Fabricación económica de ensamblajes complejos y multicomponentes.
- Capacidad de la unión de mantener sus propiedades a temperaturas cercanas a la de fusión del material base.
- Excelentes propiedades de distribución de tensiones y transferencia de calor.
- Capacidad de mantener el revestimiento de protección del material base.
- Capacidad de unir materiales disímiles.
- Capacidad de unir dos componentes de espesores que varían ampliamente.
- Capacidad de conservar características metalúrgicas especiales de los metales.
- Apto para producción en serie.
- Capacidad de realizar controles de calidad reproducibles y confiables.
- Las uniones pueden ser desmontadas fácilmente para su reparación.

Esta técnica de soldadura fue masificada con máquinas de ola, arrastre o inmersión y ha sido el método preferido para fabricar productos confiables y conexiones de alta calidad durante muchas décadas. El proceso correctamente controlado, es uno de los métodos menos costosos para fabricar conexiones eléctricas. Mal controlado, puede ser uno de los procesos más costosos, no por el costo inicial, sino por los costos de retrabajo posteriores.

La soldadura se puede aplicar en varias maneras como veremos a continuación:

- Como una mezcla de aporte en polvo con fundente, conocida como soldadura en pasta, puede ser aplicado a juntas mediante tamizado, esparcido o utilizando máquinas que aplican puntos con pasta mediante sistemas neumáticos. Este método es especialmente útil cuando se

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

tienen que unir componentes electrónicos y no se puede recurrir a soldadura por ola.

- Las piezas pueden revestirse con una capa de fundentes y después pasar por metal fundido. Este caso general es el que más se asemeja al relacionado con el proyecto en cuestión.
- El metal de aporte puede obtenerse en forma de anillos, arandelas, tubos que son colocados de forma adyacente al componente a unir y posteriormente es aplicado calor para fundir el metal de aporte. Este puede ser suministrado con o sin recubrimiento fundente. [24]

Los metales de aporte de soldadura también han cambiado. La primera soldadura electrónica se realizó con el material de soldadura 50Sn-50Pb utilizado por plomeros. En la década de 1950, la elección de materiales había cambiado a aleaciones eutécticas de estaño y plomo para contrarrestar los problemas creados por un transportador de máquina de soldadura de onda vibrante. Hoy en día se utiliza una amplia gama de materiales de aporte en la industria electrónica. Con la difusión de la tecnología electrónica en todas las facetas de la vida, las demandas ambientales y de materiales han crecido sustancialmente, lo que requiere el uso de materiales especializados como rellenos de indio y oro-estaño.

### **3.b.1. Fundentes**

La tecnología de fundentes también ha evolucionado [24]. Como resultado de las restricciones de las especificaciones militares y gubernamentales, se ha hecho hincapié en la adición de nuevos tipos de fundentes en lugar de reemplazar los antiguos. Se ha trabajado mucho con ácidos orgánicos, que amplían las ventanas de procesamiento. Otras categorías incluyen materiales sintéticos activados, que son tipos de fluorocarbono sin colofonia que se pueden quitar con solvente y fundentes con bajo contenido de sólidos para montaje en superficie que se pueden usar en lugar de las clásicas formulaciones de colofonia completamente activada.

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

**3.c. Producción en masa**

Con la introducción de técnicas de soldadura en masa [24], el tema de la soldabilidad se ha convertido en uno de los de mayor interés. Los procesos de producción en masa no son tan versátiles como el proceso de soldadura manual. Además, los componentes modernos no pueden soportar tanto calor como los componentes más antiguos. Temperaturas de soldadura más bajas y menos trabajo mecánico ha sido necesario para alcanzar la más alta soldabilidad para asegurar una conformidad metalúrgica y junta de soldadura fiable.

La soldadura en máquina o en masa [24] puede realizar miles de uniones en pocos segundos, proporcionando conexiones eléctricas y al mismo tiempo la fijación mecánica de los componentes. Todavía no se ha desarrollado ningún otro proceso que pueda interconectar circuitos electrónicos de manera económica.

**3.c.1. Soldadura por cascada**

Del concepto original de inmersión manual de las plaquetas surgió la idea de bombear soldadura a través de una ranura o boquilla para formar una ola, o montículo de metal sin escoria en constante movimiento a través del cual se puede pasar la placa. Esto ofrecía varias ventajas: la superficie de la soldadura siempre estaba limpia y no requería desnatado, la acción de bombeo mantenía una temperatura uniforme, y la ola elevada proporcionaba una forma fácil de agregar un sistema de transporte para movimiento automático de la placa sobre la pileta líquida. La unión entre los componentes se genera por la acción capilar del aporte y material base. En la figura 2 se muestra un esquema de la etapa bajo análisis. La acción capilar es la capacidad de un líquido de fluir por espacios estrechos de manera natural. Los componentes por ensamblar en una tarjeta, utilizando el método de soldadura por ola, son los denominados “through hole” que significa que atraviesan la tarjeta. Mientras que la figura 2 muestra un proceso sin protección del baño líquido existen otros sistemas más complejos, los cuales utilizan aceites que se mantienen sobre la superficie del metal para evitar su excesiva oxidación reduciendo así la formación de escorias. Esto se esquematiza en la figura 3.



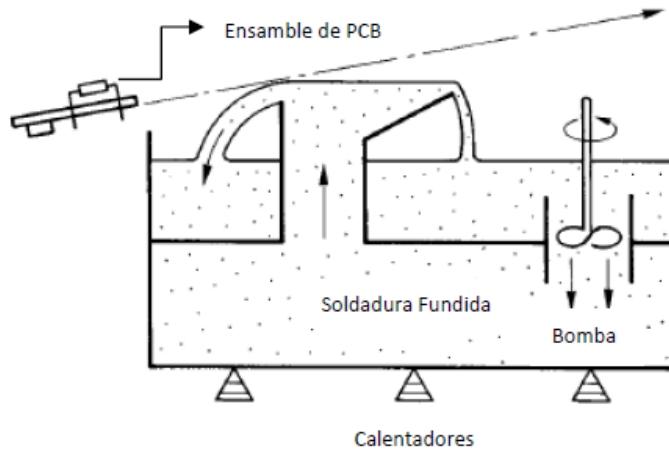


Figura 2. Esquema de la soldadura por cascada u ola. [21]

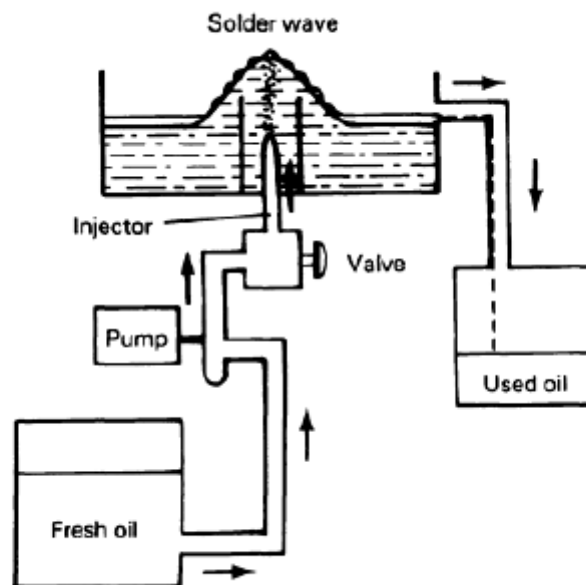


Figura 3. Esquema de la soldadura por cascada u ola con protección. [24]

Una vez que nació la idea de la soldadura por ola, era lógico usar un método similar para aplicar el fundente, y así apareció la primera máquina para soldadura automatizada. Estas máquinas originales eran bastante rudimentarias y consistían en módulos individuales con un transportador independiente (a menudo agregado por el usuario) colocado sobre ellos.

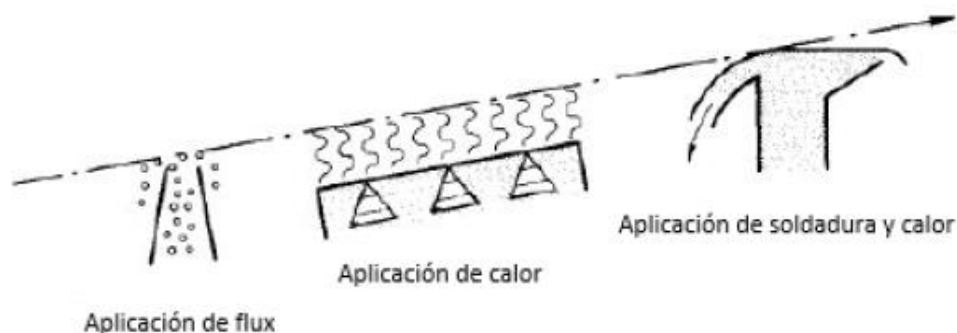
**Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica**

Se trabajó mucho en el desarrollo en las máquinas para soldadura por ola para mejorar la velocidad de soldadura y reducir la incidencia de cortocircuitos y defectos. El vertedero de soldadura, la onda doble y la cascada experimentaron breve popularidad. La ola en cascada, que consta de varias ondas en serie, fue una de las más interesantes de este desarrollo y se utilizó con un transportador inclinado que fue la base de las máquinas construidas para uso interno por varios fabricantes. Sin embargo, nunca alcanzó gran popularidad.

Otro desarrollo fue el uso de ultrasonidos para formar una onda, con la intención de causar cavitación en la unión y evitando el uso de fundente, o al menos reduciendo la actividad requerida. Se construyeron algunas máquinas experimentales, pero el costo fue excesivo, los resultados de la soldadura no fueron mejores que los producidos con la onda bombeada convencional. Con la llegada de los semiconductores, se descubrió que los ultrasonidos causaban daños ocasionales a los dispositivos.

Existió también la introducción del aceite en la ola de soldadura. Esta idea funcionó muy bien y ha sido una característica de algunas máquinas de soldar durante muchos años. Figura 3.

Comúnmente, al proceso de soldadura por cascada se lo divide en 3 subprocesos principales, los cuales interactúan para lograr la unión de los componentes a la tarjeta. Estos subprocesos son: aplicación de flux, precalentado y en sí mismo el soldeo a través de la cascada, como se observa en la figura 4.[21]



**Figura 4. Diagrama del proceso de soldadura con sus respectivas etapas. [21]**

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

**3.d. Control de calidad**

Una vez realizada la unión, se debe evaluar su calidad mediante inspección. La tecnología avanzada produjo algunos diseños de ensamblaje electrónico que son imposibles de inspeccionar visualmente, y un grupo completo de sistemas automatizados herramientas de inspección ha surgido. Estas herramientas incluyen radiografía, firma infrarroja y sistemas de visión bidimensional o tridimensional. La mayoría de estos cuentan con la ayuda de software informático muy sofisticado. El papel de la inspección, que históricamente fue localizar aquellas juntas que necesitaban retrabajo, está cambiando junto con la tecnología. Ahora se utiliza la inspección como una auditoría de control de procesos para ubicar aquellas partes del proceso que necesitan mejoras o deberían regresar a una posición dentro de los límites de control. Por lo tanto, el énfasis ha pasado de simplemente enviar un producto aceptable a fabricarlo correctamente la primera vez.

**3.e. Tecnología actual**

Hoy en día, las máquinas están disponibles de una amplia variedad de modelos de fabricantes diferentes, cada uno con sus propias particularidades y características. Estas máquinas tienen varios niveles de sofisticación y capacidad, desde pequeñas unidades de laboratorio hasta unidades de sistemas de alta producción, a menudo completos con montaje, limpieza en línea y transportadores de retorno. Las máquinas que se usan hoy en día son generalmente autónomas, con un alto grado de control, sistemas auxiliares opcionales y ventilación de escape.

Los procesos de soldadura han evolucionado dramáticamente desde la introducción de las técnicas de soldadura en masa. Las máquinas de soldadura por ola tienden a volverse altamente especializadas, especialmente desde la introducción de la tecnología de montaje en superficie y técnicas de reflujo, que antes se limitaban a tecnología híbrida y flatpacks con plomo, han crecido notablemente.

El rendimiento de una junta de soldadura en su entorno de servicio es una consideración importante en la electrónica moderna. Muchas aplicaciones, como motores a reacción, lavavajillas y automóviles, imponen un ciclo térmico en el equipo,

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

esto produce deformaciones termo mecánicas, que resultan en fallas por fatiga o por fluencia si el diseño de la unión es deficiente o si las predicciones de vida se han calculado incorrectamente. Cada situación debe analizarse cuidadosamente y emplearse el diseño correcto para que el equipo cumpla su vida útil prevista.

Las fallas por fatiga y fluencia inducidas térmicamente, virtualmente desconocidas en la década de 1950 pero comunes hoy en día, son ilustrativas de las tensiones añadidas que se ejercen sobre las articulaciones. Se debe enfatizar que la miniaturización de partes electrónicas, particularmente caminos de corriente, da como resultado un aumento dramático en la densidad de corriente, lo que genera fuertes choques térmicos y mecánicos al oscilar su uso. Un diseño adecuado puede minimizar estas tensiones y hacer que las uniones sean más productivas. Por los motivos mencionados el diseño se ha convertido aún más crítico con la introducción de la tecnología de montaje en superficie. [24]

### **3.e.1. Tendencia a futuro**

Se están desarrollando y probando varias otras tecnologías y materiales para soldar [24]. Un proceso que se está utilizando ampliamente es la soldadura por condensación o en fase de vapor. En este proceso, el vapor de un líquido con un punto de ebullición se condensa en los elementos que se van a soldar, lo que produce una unión soldada sólida. El método es simple, limpio y extremadamente bien controlado. Requiere de equipos especializados.

En otro método, las piezas se sumergen en un aceite calentado por encima del punto de fusión de la soldadura. Se puede usar aceite de maní, aunque varios productos sintéticos excelentes están disponibles. Aquí, los componentes están sujetos a las mismas temperaturas de la junta. Este es un proceso complicado y las piezas deben limpiarse después de soldar para eliminar el aceite.

El calentamiento por infrarrojos es un método útil para producir la temperatura necesaria para soldar. Las longitudes de onda más cortas pueden ser enfocadas en áreas muy pequeñas, lo que permite el calentamiento selectivo de las uniones a soldar, sin someter los componentes cercanos a la temperatura de soldadura. El equipo y las

**Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica**

herramientas son costosas y la emisividad relativa de los metales de unión y los materiales adyacentes puede causar problemas de procesamiento. Por lo tanto, este proceso requiere un control muy cuidadoso.

El calentamiento por resistencia se puede utilizar para soldar de dos maneras. El primer método pasa una corriente a través de las partes de la junta, haciendo que su temperatura aumente en virtud de la resistencia existente en la estructura de unión. Esto no es muy controlable y se usa principalmente para aplicaciones menos críticas y/o en conexiones grandes. El segundo método pasa una corriente a través de un alambre que tiene la forma de las partes a calentar. A pesar de la falta de un control preciso, el proceso se utiliza a menudo para soldar los cables en componentes montados en superficie

Se han utilizado láseres para proporcionar calor para soldar, aunque todavía no es un método común. Un láser puede proporcionar una muy alta energía, haz de área pequeña y, por lo tanto, el calentamiento es extremadamente rápido, localizado y limitado solo por la capacidad de los materiales de unión para absorber esta energía. Sin embargo, las superficies metálicas brillantes en la unión reflejan la mayor parte de la energía de los láseres de uso común, y el acoplamiento del láser y la articulación es un problema importante. El fundente de soldadura se utiliza a menudo como medio de acoplamiento. Cuando se configura correctamente, la soldadura láser ofrece un método rápido y limpio para realizar uniones. El costo del equipo es bastante alto.

Desde 1980, mejoras e innovaciones significativas en el campo de la soldadura con respecto a materiales, equipos y procesos han ocurrido. Sin embargo, quedan dos tareas principales: desarrollar materiales de soldadura respetuosos con el medio ambiente y establecer una tecnología de juntas de soldadura sin fallas [24].

Para las soldaduras y la soldadura blanda, dos cuestiones que están directamente relacionadas con las preocupaciones ambientales son la sustitución de clorofluorocarbono (CFC) como agente de limpieza principal para ensamblajes electrónicos y la viabilidad de usar alternativas a las soldaduras que contienen plomo. La limpieza acuosa y las configuraciones "sin limpieza" son dos soluciones viables. La

## Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

otra tarea a realizar es el desarrollo de una tecnología de juntas de soldadura sin fallos mediante soldadura reforzada. Se espera que los materiales posean las propiedades que impiden la ocurrencia de fenómenos metalúrgicos indeseables durante su vida útil bajo diversas condiciones internas y externas, particularmente temperatura y esfuerzos inducidos.

Se están examinando tres enfoques: mezclas macroscópicas de rellenos seleccionados en una matriz rica en estaño (soldadura compuesta), incorporación microscópica de aditivos dopantes al material base rico en estaño e interacción a nivel atómico. Experiencias preliminares se han llevado a cabo para lograr comprobar el primer enfoque. La figura 5 demuestra el aumento del límite elástico de la soldadura compuesta 63Sn-37Pb con varias cantidades de refuerzo [24].

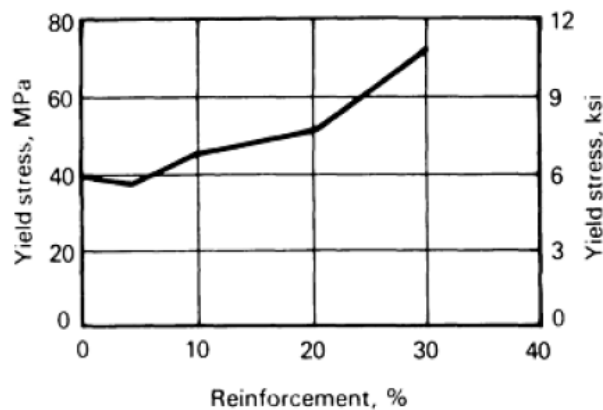


Figura 5. Efecto de reforzamiento en el límite de fluencia de una aleación 63Sn-37Pb. [24]

### **3.b.2. Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos**

Actualmente, se están promoviendo políticas que se centran en reducir el impacto ambiental que generan todas las actividades relacionadas con estos elementos. Esto se intenta lograr mediante el reciclado y/o correcto tratamiento previo a su disposición final.

Con el objeto de proteger el ambiente y preservarlo de la contaminación generada por los residuos provenientes de aparatos eléctricos y electrónicos, existen varios proyectos de ley en América Latina que tratan de reducir la disposición final, promover la reutilización, el reciclado y otras formas de valorización de los mencionados residuos. Siguiendo el ejemplo de muchos actuales proyectos de ley, las futuras regulaciones deberían abordar los siguientes puntos:

- Incorporación del análisis del ciclo de vida en los procesos de diseño y producción de los aparatos eléctricos y electrónicos.
- Promoción de la reducción de los residuos generados por los aparatos mencionados.
- Definición del concepto de aparatos eléctricos y electrónicos en oposición al concepto de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Determinación de excepciones e inclusiones en la legislación.

La clave de la gestión de dichos residuos se encuentra en la categorización de los residuos, en el gestor de los mismos, en el circuito de manejo que incluye las actividades de retoma y recolección, reacondicionamiento, reparación y reutilización, acopio y almacenamiento, transporte y logística, desarmado, aprovechamiento, valorización y disposición final. Asimismo, es fundamental la organización de los productores, sistemas individuales y colectivos. Las formas de responsabilidad constituyen uno de los temas más discutidos en cuanto a su individualidad o su extensión.

Al momento de diagramar la estrategia a fin de legislar un programa de responsabilidad extendida del productor, hay varios puntos especialmente importantes a considerar, ya que hay muchas y variadas maneras de implementar esta política.

En los proyectos de legislaciones de América Latina se tienen en cuenta los principios de la responsabilidad individual y compartida, así como deberá tenerse en

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

cuenta la responsabilidad no sólo del gobierno, sino también de otros actores como los recicladores informales. En el contexto latinoamericano no hay una legislación. [27]

**3.b. Plomo como residuo peligroso**

Para entrar en contexto, se introduce la definición de residuo peligroso, citada en la Ley Nacional N° 24051 “Ámbito de aplicación y disposiciones generales”. Registro de Generadores y Operadores. Manifiesto. Generadores. Transportistas. Plantas de Tratamiento y disposición final. Responsabilidades. Infracciones y sanciones. Régimen penal. Autoridad de Aplicación. Disposiciones Complementarias” [10]. Esta ley, define al residuo peligroso como “todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente, a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general”. Según el Anexo 1 de esta ley [10], el residuo que se trata en este trabajo queda enmarcado dentro de los residuos peligrosos de tipo Y31 “Plomo y compuestos con Plomo”.

Los efectos tóxicos producidos por el plomo son conocidos desde hace más de 2000 años y a pesar de ello continúa siendo un tema importante en materia de salud pública en la mayoría de los países industrializados. Si juzgáramos el interés de los médicos por el número de escritos que se han originado a raíz de este tema, podríamos afirmar que la intoxicación con plomo es el tema más importante de todos los que se han sido considerados hasta el presente.

La intoxicación con plomo afecta a millones de niños, niñas y adolescentes. Por esta razón ha generado la realización de diversas iniciativas en los países en desarrollo, con el fin de implementar programas nacionales de prevención y diagnóstico. Se considera que el plomo es una de las sustancias tóxicas mejor estudiadas y la más conocida entre los efectos adversos para la salud. No obstante, a raíz de la irresponsabilidad e ilegalidad en la que incurren muchas empresas, sumado a la falta de controles pertinentes por parte de las autoridades nacionales, provinciales y municipales, estas medidas han resultado insuficientes.



Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

Las dos formas más frecuentes de intoxicación con plomo en Argentina son: en los niños, niñas y adolescentes por exposición ambiental y en adultos por exposición ocupacional.

Las principales fuentes de contaminación son por fundición y recuperación de plomo, fábricas de baterías de automóviles (una de las fuentes más frecuentes en ambientes urbanos), fábricas de vidrios, fundidoras, etc.

Los síntomas pueden presentarse como anorexia, dolor abdominal, cólicos, vómitos intermitentes y constipación. Por otra parte, se observa debilidad muscular y fatiga fácil. Los grupos musculares afectados suelen ser los más activos: brazos, dedos y pies.

Además, las concentraciones muy altas de plomo en sangre pueden dañar los riñones y el sistema nervioso central, produciendo anemia, coma, convulsiones y hasta la muerte.

Un estudio publicado en The New England Journal of Medicine (NEJM), afirma que el nivel máximo tolerable de plomo en sangre (10 ug/dl) establecido y aceptado por el Centro de Control de Enfermedades (CEC) de EEUU es demasiado alto.

Si hablamos de las consecuencias en los niños, niñas y adolescentes se relaciona al envenenamiento por plomo con la reducción del coeficiente intelectual, problemas de aprendizaje y comportamiento, daño auditivo, hiperactividad y otras alteraciones del neuro-desarrollo.

Concretamente, con concentraciones de plomo en sangre menores a 10 ug/dl se presenta una disminución de 1.37 puntos del coeficiente intelectual por cada 1 ug/dl de plomo en sangre.

Por su parte el Centro Nacional de Salud Ambiental de los Estados Unidos también ha detallado que el envenenamiento por plomo afecta casi todos los sistemas en el cuerpo, comenzando sin síntomas evidentes. Puede dañar el sistema nervioso, los riñones, el sistema reproductivo de los niños y, en niveles muy altos, puede dejar a un paciente en estado de coma, generar convulsiones y causar la muerte.

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

Asimismo, detallaron que inclusive con niveles bajos de plomo, los niños pueden ver reducida su inteligencia, a través de un deterioro del desarrollo neuro-conductual, también falta de audición y problemas de crecimiento lento. [26]

**3.d. Aleaciones empleadas en soldadura**

El negocio de los metales de soldadura ha cambiado radicalmente, pasando de producir meramente alambre a producir a granel, preformas y pastas para satisfacer las necesidades de las técnicas de soldadura. [24]

La tendencia global es a la producción de bienes bajo las directivas de “restricción de sustancias peligrosas”, sancionada por la Unión Europea el año 2011 [22]. En este dictamen se restringe el uso de seis materiales peligrosos en la fabricación de varios tipos de equipos eléctricos y electrónicos. Entre los materiales que restringe se encuentra el plomo. Por este motivo, se desarrollan y mejoran continuamente aleaciones alternativas a las de Estaño-Plomo. Siendo un reemplazo común a este grupo de aleaciones las Estaño-Cobre.

Las diferentes aleaciones pueden tener características y comportamientos diferentes como se desarrolla a continuación:

- Estaño-Plomo: familia de aleaciones más diversificada.
- Estaño-Antimonio-Plomo: se añade antimonio porque mejora las propiedades mecánicas del material de aportación.
- Estaño-Plata: se utiliza en instrumentos de trabajo delicados.
- Estaño-Zinc: se utiliza para soldar aluminio.
- Estaño-Bismuto: tiene una gran aplicación en el campo de la electrónica. [28]

Cada aleación presenta puntos de fusión y formas de provisión diferentes, las cuales se detallan en la tabla 1: [29]

Tabla 1. Aleaciones usadas para procesos de Soldering

Aleación	Norma	T° Fusión	Tubo	Alambre	Varilla y barra	Lámina
Sn63Pb37	PN-EN 29453	183°C eutéctica	X	X	X	X
Sn60Pb40	PN-EN 29453	183- 190°C	X	X	X	X
Sn50Pb50	PN-EN 29453	183-215°C	X	X	X	X
Pb60Sn40	PN-EN 29453	183-235°C	X	X	X	X
Pb70Sn30	PN-EN 29453	183-255°C	X	X	X	
Pb75Sn25	PN 681- 220	183-262°C		X		
Pb92Sn8	PN-EN 29453	280-305°C			X	
Pb82Sn18	- -	183-270°C			X	
Sn90Pb10	-	183-220°C			X	
Sn62Pb37Cu1	PN 681- 214	183°C eutéctica	X	X		
Sn60Pb38Cu2	PN-EN 29453	183-190°C	X			

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

Sn62,5Pb36Ag1,5	PN 681-215	179°C eutéctica	X			
Sn62Pb36Ag2	PN 681-209	178-190°C	X		X	
Sn57Pb39Ag4	PN 681-111	175-180°C			X	
Sn99,75	PN 681-305	232°C		X	X	X
Sn97Ag3	PN-EN 29453	221-230°C		X	X	
Sn96Ag4	PN-EN 29453	221°C eutéctica	X	X	X	X
Sn95,5Ag3,8Cu0,7	PN 681-227	217-218°C eutéctica	X	X	X	
Sn97Cu3	PN-EN 29453	230-250°C		X		
Sn99Cu1	PN-EN 29453	230-240°C		X	X	
Sn70Zn30	PN 681-226	200-320°C				
PbSn5,5Ag2,5	PN 681-111	286-301°C			X	
PbSn2,5Ag2,5	PN 681-111	300-305°C			X	

## Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

PbSn15Ag1	PN 681- 111	200-280°C	X
PbSn20Zn4,5	PN681- 117	170-267°C	X
PbSn25Zn1,5	PN681- 121	170- 261°C	X
Pb48Sn32Bi	PN 681- 207	140-160°C	X

La cartilla técnica de la aleación utilizada por el cliente que genera el residuo que se trata en este proyecto se encuentra en el Anexo 1.

Aunque los métodos y herramientas para la soldadura suelen mantener semejanza, los problemas que se pueden producir con una u otra aleación, el tipo de flux utilizado, las variables de proceso necesarias, como temperaturas, presiones, tiempos de inmersión, orientación boquillas, velocidad, etcétera, son muy diferentes y más profundas de lo que a primera vista aparentan [29].

### 3.d.1. Comparación entre el sistema Sn-Pb y Sn-Cu

Con el fin de soldar los componentes electrónicos a las plaquetas, se utilizan en ambos casos aleaciones con composiciones eutécticas. Esto se busca con el objetivo de obtener una aleación con el menor punto de fusión posible.

Analizando los diagramas de equilibrio de ambas aleaciones, Figura 6 y 7, se puede apreciar las composiciones y temperaturas de fusión de cada sistema. Para el sistema Sn-Pb se tiene una composición eutéctica para un 63 % de Sn y 37 % de Pb, con una temperatura de fusión de 183 °C. Mientras que el sistema Sn-Cu, presenta un punto eutéctico para la composición 99,3 % de Sn y 0,7 % de Cu, con una temperatura de fusión de 227 °C. Observando que la aleación de Sn-Cu tiene una temperatura de fusión 40 °C aproximadamente superior a la correspondiente al sistema Sn-Pb.

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

Cabe resaltar que las condiciones mencionadas anteriormente son de equilibrio, por ende, durante un proceso real las temperaturas de trabajo son por lo general de 245 °C para el sistema Sn-Pb y 280 °C para el Sn-Cu. [21].

Es de destacar que el sistema Estaño – Cobre, presenta el problema que al ser contaminado con porcentajes de 0,5 % en peso de Cobre, el punto de fusión de la aleación se eleva a 340 ° C aproximadamente. Lo que dificulta mucho la continuidad del proceso de soldadura. [21]

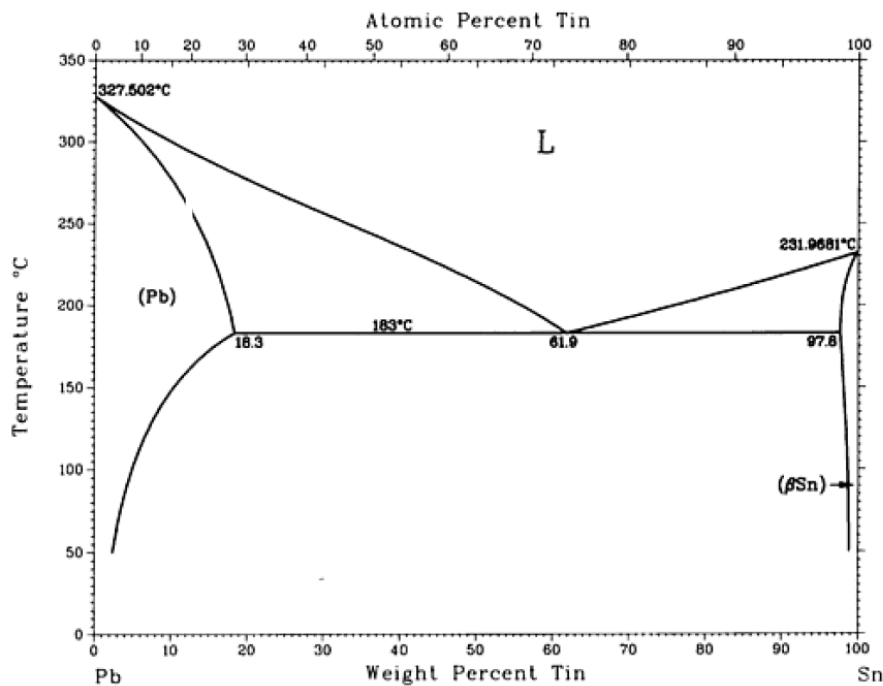


Figura 6. Diagrama binario Sn-Pb [23].

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

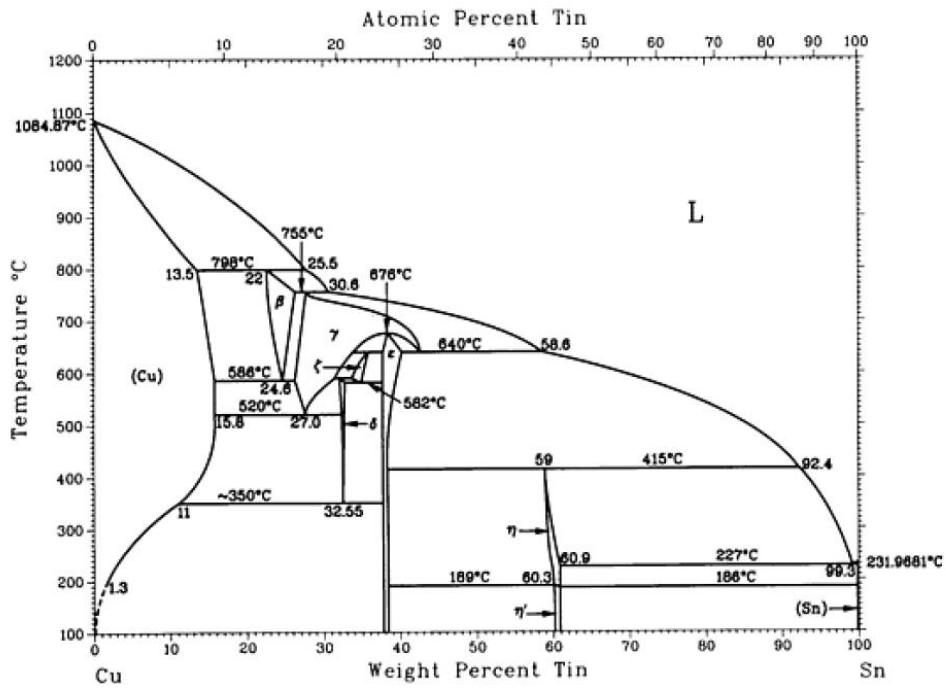


Figura 7. Diagrama binario Sn-Cu [23].

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

**4. Materiales y métodos**

**4.a. Material base**

Inicialmente, se parte de una mezcla sólida conformada por escorias y restos metálicos ocluidos dentro de la misma. Esto se puede ver con más detalle en la figura 8.



**Figura 8. Morfología característica del material con el cual se inicia la recuperación.**

**4.b. Horno eléctrico**

Con este horno se lleva a cabo los procesos pirometalúrgicos, necesarios para la recuperación de la aleación en cuestión.

El horno empleado es de la marca Thermolyne, el cual tiene una potencia de 3.6KW, calefaccionado por resistencias eléctricas, con capacidad de calentamiento hasta 1200 °C, equipado con termocupla tipo k y controlador programable marca Indef, que permite cubrir los rangos de temperatura empleados en el proceso de reciclado.

Previo al uso, el horno fue reacondicionado en la instalación eléctrica que lo vincula con el controlador y verificado mediante termocupla patrón se registró un error de +/- 5 °C. La imagen de la figura 9 muestra el horno y el controlador empleados.





Figura 9. (a) Horno eléctrico. (b) Controlador.

#### 4.c. Balanza

Se utilizó una balanza SYSTEL, con un rango de 0 – 31 Kg y una apreciación de  $\pm 5$  g (Figura 10). La misma se utilizó al realizar los pesajes de la carga inicial de las escorias a recuperar, como así también el pesaje final del lingote a ser entregado al cliente. Este instrumento fue adquirido con los fondos recaudados por el proyecto ya que el laboratorio no contaba con balanzas que permitieran pesar cargas elevadas (mayores a 2kg).



Figura 10. Balanza.

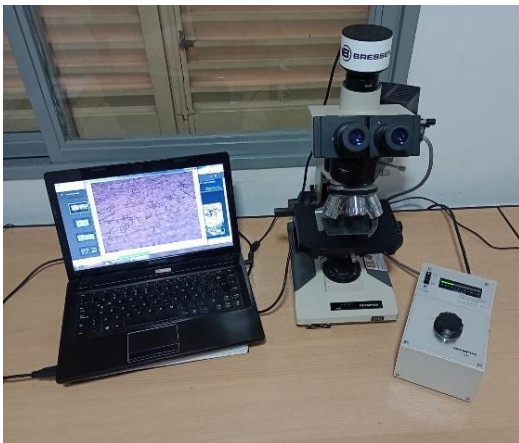
## Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

**4.e. Microscopios**

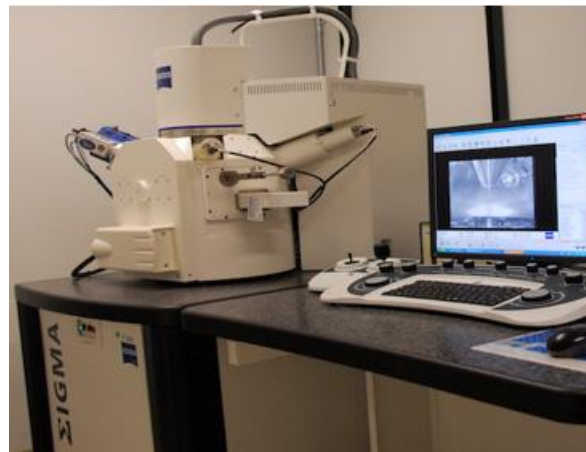
Con el fin de analizar características la microestructura y composición química de la materia prima (escoria inicial), productos resultantes del proceso de re-fusión de las escorias y escorias finales, se utilizó un microscopio óptico (Figura 11a) y un microscopio electrónico de barrido (Figura 11b).

Para los análisis por microscopía óptica se utilizó un microscopio marca Olympus, con aumentos de 50 X, 100 X, 200 X y 500 X disponibles. Este aparato está acompañado de una cámara metalográfica, de marca Bresser, la cual junto con el software fue posible realizar el análisis micrográfico de todos los elementos de relevancia para este proyecto.

En el caso del análisis por microscopía electrónica se utilizó un microscopio marca Sigma el cual se encuentra en las instalaciones de la Facultad de Astronomía Matemática y Física de la Universidad Nacional de Córdoba. En dichas instalaciones funciona el laboratorio LAMARX, el cual realiza servicios de investigación en materiales para la industria y otras universidades.



(a)



(b)

**Figura 11. (a) Microscopio óptico. (b) Microscopio electrónico**

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

**4.f. Herramental auxiliar**

A continuación, se describen los instrumentos, herramientas y/o equipos secundarios utilizados para realizar el proceso de reciclado. Algunas se utilizaron existentes del laboratorio y otras se recurrió a fabricar especialmente para el proyecto ya que lo existente no nos era de utilidad.

- **Crisol y herramientas de manipulación:** se fabricó un crisol de 3,3 lts de capacidad de trabajo, de acero SAE 1020, proveniente de un caño de uso mecánico adaptado con manijas necesarias para utilizar el herramental de manipulación y colada. (Figura 12).



**Figura 12. Crisol (izquierda). Herramental de manipulación y colada (derecha).**

A su vez se utilizaron las herramientas de manipulación (pala, pinza de mango largo y pinza para crisol) las cuales eran existentes en el laboratorio para el sector de fundición. Las herramientas de colado (manija y gancho de colado) fueron fabricadas para facilitar la manipulación del crisol, el cual en el momento de carga y colada tenía un peso bastante considerable y resultaba dificultosa su manipulación.

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

- **Impresora 3D:** se empleó una impresora 3D marca TRIDEO y filamentos de ácido poliláctico existentes en el laboratorio en el sector de impresión 3D, la cual nos permitió materializar el diseño del molde con identificación de la facultad. (Figura 13).

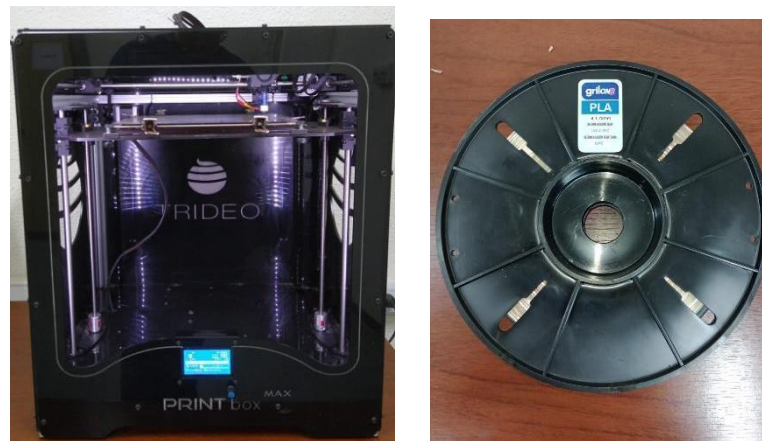


Figura 13. Impresora 3D y filamento utilizado.

- **Lingoteras:** inicialmente, se utilizó una lingotera de fundición de hierro disponible en el laboratorio la cual tiene una capacidad de 2 lingotes de 2.7Kg aproximadamente. Al observarse que la misma no poseía ningún tipo de identificación que pudiera diferenciar nuestros lingotes, se dispuso a utilizar un modelo construido partiendo del molde hecho por impresión 3D, el cual se realizó el pertinente moldeo y fabricación en aleación de aluminio AlSi9Cu3. Esta lingotera, se desarrolló con el fin de marcar los productos obtenidos, con la identificación de la aleación correspondiente, así como colocar la identificación de la Universidad Tecnológica Nacional y del Departamento de Ingeniería Metalúrgica. La lingotera obtenida se muestra en la figura 14.



Figura 14. Modelo y lingotera de aluminio.

- **Tamices:** se usaron tamices, marca Retsch estándares ASTM de tamaño (o mesh) NRO 1,68 mm. Se emplearon con el fin de recuperar parte de la aleación que aún se encuentra como remanente en la escoria generada en el primer proceso de recuperación (primera fusión).
- **Elementos de protección personal o EPP:** debido a la toxicidad de los polvos y gases productos del proceso de fusión, se debieron utilizar una variedad de EPP para reducir al mínimo el impacto en la salud. Con este fin, se emplearon máscaras con filtros de polvo, antiparras y guantes. Asimismo, para evitar salpicaduras de metal líquido, se trabajó con prendas que cubrieran el cuerpo.



(a)





(b)

**Figura 15. Herramental auxiliar. (a) Tamiz. (b) Elementos de protección personal.**

#### **4.g. Proceso**

En este punto se describe el proceso utilizado para la recuperación de aleación Sn-Pb de las escorias del cliente.

Se inicia el proceso en la planta del cliente en donde se genera la materia prima de nuestro proceso (Cliente M.P.). A continuación, se procede a transportar este material hacia el laboratorio de la facultad (Transporte 1). Allí son almacenados para su posterior tratamiento. (Almac. 1)

El proceso pirometalúrgico usado es el siguiente:

Se hace el pesaje inicial de las escorias que se carga en el horno. El procedimiento utilizado es la colocación del crisol sobre el equipo, con la posterior tara de este. A continuación, se carga el mismo con el material para recuperación. Se pesa y se registra el valor inicial de peso (Reg. 1).

Luego, continúa la etapa de fusión (1ra fusión), aquí se registran los tiempos a los que se realizaron las agitaciones y por qué medio fueron realizadas (Reg. 2). Todos estos valores son anotados inicialmente en una hoja de trabajo.

Una vez concluido en tiempo establecido para una prueba determinada, se procede a la colada del metal líquido. Una vez solidificados los lingotes, son pesados y registrados en la hoja de trabajo (Reg. 3). Además, se realiza una inspección visual 100 %, para comprobar una calidad estética del producto. Posteriormente, con frecuencia de 5 coladas, se efectúan controles adicionales, como ser: macrografía óptica, microscopía óptica y análisis de composición química. Todo esto es realizado sobre un corte transversal y central del lingote que es seleccionados para los controles antes

**Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica**

mencionados, obteniendo una muestra con forma semejante a la que se aprecia en la figura 18. Por último, se almacenan tanto los lingotes de aleación recuperada y se separan como subproducto la escoria generada en el proceso de reciclado.

Se detectó que el subproducto obtenido del proceso de primera fusión (1ra fusión) aún contenía cantidades significativas de aleación retenida entre la escoria. Por este motivo, se procedió al tamizado (Tamizado) del subproducto obtenido, a fin de recuperar parte de la aleación retenida en la escoria para una nueva recuperación. Además de continuar con la recuperación de aleación útil, se observó que la escoria posterior al proceso de tamizado ocupaba menor volumen que previo al estado resultante del proceso anterior. Posterior al tamizado, se procede al pesaje del material inicial, se registra el valor (Reg. 1T) y se introduce el crisol al horno. La secuencia de tratamiento en esta etapa es semejante a la descrita para la primera fusión (2da Fusión). En esta etapa, se registra al igual que en la primera etapa, los tiempos a los que se realizaron las agitaciones y por qué medio fueron realizadas (Reg. 2T).

Todos los lingotes y la escoria restante son almacenados en el Laboratorio de Ingeniería Metalúrgica (Almac. 3), para su posterior transporte al cliente y quien se encargue del tratamiento/disposición final de la escoria (Transporte 2).

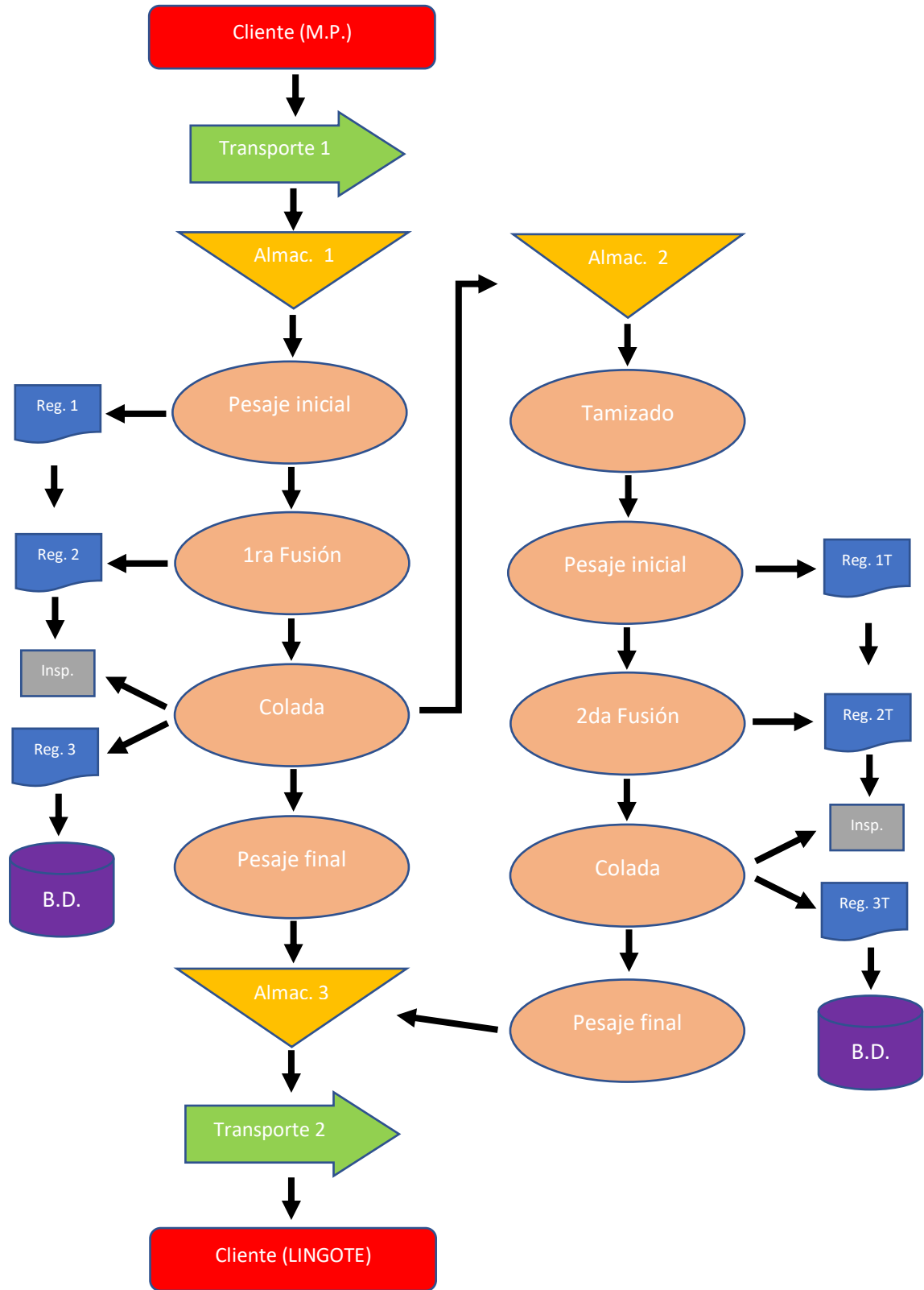
Por último, estos lingotes procedentes del tamizado son inspeccionados por lotes, con los mismos criterios finales en la etapa de colada que los obtenidos en la primera fusión (Insp.). Una vez recopilados todos los datos pertinentes en la hoja de trabajo, esta información es traspasada a formato digital (Base de datos o B.D., en el diagrama de flujo) a una planilla de cálculo de Excel para su análisis estadístico.

**Tabla 2. Referencias del diagrama de flujo.**

	Inicio o fin de proceso
	Operación
	Transporte
	Almacenamiento
	Registro
	Registro de datos
	Inspección



4.g.1. Diagrama de flujo del proceso



## 5. Experiencias preliminares

Inicialmente, se comenzaron los ensayos realizando la fundición de pequeñas cargas de materia prima. Esta etapa, se realizó con el propósito de relevar la viabilidad del proyecto, así como efectuar la puesta a punto de equipos, herramientas, variables y parámetros de proceso. Para evaluar la efectividad de las experiencias preliminares y retroalimentar los resultados para la mejora del proceso, se relevaron los porcentajes de recuperación en peso, la composición química y aspecto visual de los lingotes obtenidos. Con lo que respecta a composición química, se realizó un análisis por microscopía electrónica de barrido. En lo que respecta a calidad de los lingotes, se realizaron ensayos metalográficos a una serie de lingotes obtenidos en diferentes coladas, buscando observar principalmente la presencia de escoria, óxidos o gases ocluidos. Cabe resaltar que, en una primera etapa, no se tuvieron en cuenta variables como la temperatura, agitación, tiempo, etc.

Una vez concluida la etapa inicial de viabilidad, se comenzó a estudiar e indagar la forma de optimizar el proceso de recuperación. Para este fin, se realizaron una serie de modificaciones. El primero de estos, fue la construcción de un nuevo crisol con una capacidad de 3,3 lts, equivalente a aproximadamente 6 kg de carga. Con este recipiente, se pasó de obtener pequeños lingotes a producir dos en simultáneo, con un peso comprendido entre 1,5 a 2 Kg cada uno.

Por otra parte, surgió la iniciativa de fabricar lingoteras en las cuales se obtuvieron lingotes de aproximadamente 1 a 2 kg. Este formato de lingotes es adquirido por el cliente y permite generar trazabilidad de la cantidad y lotes entregados al cliente. La identificación contiene información del logo de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba, Departamento de Ingeniería Metalúrgica (demarcados con sus iniciales I.M.). Además, contiene información de la designación de la aleación y el peso del lingote.

## Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

## 6. Resultados y discusiones

### 6.a. Porcentaje de recuperación general

Con las sucesivas coladas que se realizaron durante este proyecto se logró constatar un valor promedio de recuperación. Este valor fue obtenido por el promedio de 40 coladas. El resultado final obtenido fue de 51 % de recuperación. El peso promedio de productos obtenidos por colada es de aproximadamente 3,3 Kg.

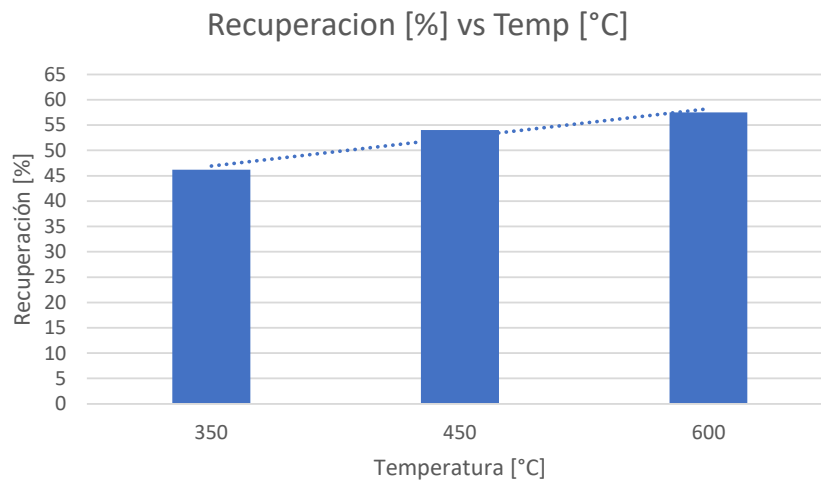
### 6.b. Influencia de la temperatura en el porcentaje de recuperación

Se observó un aumento de recuperación con el incremento de la temperatura del proceso de reciclado. La tabla 3 muestra los resultados obtenidos a las tres principales temperaturas empleadas. La figura 16 muestra el grafico de la tabla 3.

Si bien se probaron otras temperaturas, por debajo de 350 °C, no se obtenían buenos resultados. Luego de las pruebas, la temperatura de proceso seleccionada es de 600 ° C, ya que es la temperatura en la que se observó el mayor porcentaje de recuperación.

**Tabla 3. Recuperación en función de temperatura.**

Temperatura [°C]	Coladas consideradas	Porcentaje de recuperación [%]
350	11	46
450	15	54
600	10	57



**Figura 16. Gráfica del porcentaje de recuperación como función de la temperatura.**

### 6.c. Influencia del tiempo en el porcentaje de recuperación

Inicialmente se consideró esta variable como relevante, sin embargo, no se encontraron variaciones significativas en el porcentaje de recuperación obtenido. Durante las experiencias, se observó que al pasar el tiempo se forma una escoria de carácter compacta, con lo que, la aleación líquida aún atrapada dentro de la misma, se le dificulta unirse al baño de metal fundido al fondo del crisol.

Como regla general, se establece un tiempo de mantenimiento dentro del horno de la carga de 50 minutos como mínimo. Este tiempo se establece así para permitir las diferentes etapas de agitación y homogeneización del baño líquido.

### 6.d. Influencia de agitación en el porcentaje de recuperación

No se observó diferencias sustanciales entre diferentes tiempos de agitación durante el proceso, como así tampoco se lograron mejores resultados con el aumento de frecuencia de agitación en el lapso en el cual se mantiene la carga a temperatura de trabajo.

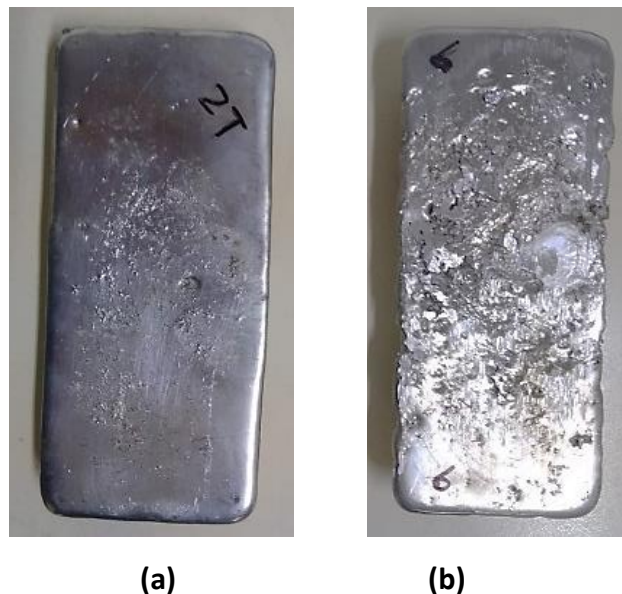
Por lo mencionado anteriormente, se establecieron dos etapas de agitación dentro de los 50 minutos de mantenimiento de la carga dentro del horno. La primera agitación a los 20 minutos y la segunda a los 40 minutos. Dejando reposar 10 minutos después de la segunda agitación. Este tiempo después de la segunda agitación es para

## Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

conseguir una separación por densidad el metal fundido y la escoria, lo que permite una correcta, asegurando bajo contenido de escorias en los lingotes, como se explicó en la sección 6.d.

**6.e. Inspección Visual de los productos**

Durante el desarrollo de este trabajo se observó que, bajo condiciones determinadas, por ejemplo, un procedimiento de agitación incorrecto (explicado en el punto 6.c) o con bajas temperaturas de proceso, se dificulta-colar el metal de manera tal de lograr lingotes de calidad aceptable. La diferencia entre un producto aceptable u OK y uno No conforme o NOOK se muestra en la figura 17. Debido a la naturaleza del proceso y el control necesario, se puede realizar una inspección visual para evaluar este aspecto en el cien por ciento de los lingotes producidos.



**Figura 17. (a) Lingote OK. (b) Lingote NOOK.**

La conformidad de este punto viene dada principalmente por la uniformidad superficial del lingote y la ausencia de escorias adheridas a su superficie. La escoria, se considera como un contaminante, ya que el cliente corre el riesgo de reinsertar en su proceso de soldadura, un material con presencia de inclusiones no metálicas. Por este

**Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica**

motivo, toda colada en la cual resulten lingotes con presencia visual de escorias se las considera como NOOK y se procede a su re-fusión y posterior colada en condiciones óptimas.

Además, se tenía como hipótesis que estos lingotes NOOK, tenían escoria ocluida en su interior lo que podría empeorar su calidad final.

**6.f. Análisis macrográfico**

En este apartado se mostrará la estructura macrográfica de los lingotes resultantes del proceso. Como se puede apreciar en la figura 18 y figura 19 se observa una estructura característica de un proceso de solidificación en lingotera. Se aprecian granos de morfología columnar, perpendiculares a las zonas de mayor extracción de calor (paredes del molde). Además, se detectó una línea que divide la macroestructura del producto. Esta línea, manifiesta claramente dos velocidades de enfriamiento diferentes de la aleación. Debido a la imposibilidad de caracterizar las fases o constituyentes presentes en cada zona por macrografía, se realizó un análisis micrográfico para su caracterización. Por otro lado, se muestra en la figura 20 una macrografía de la aleación de origen empleada en el proceso de soldadura por ola, que posteriormente es recuperada.



Figura 18. Imagen macrográfica de una sección transversal de lingote OK.



Figura 19. Imagen macrográfica de una sección transversal de lingote NOOK.

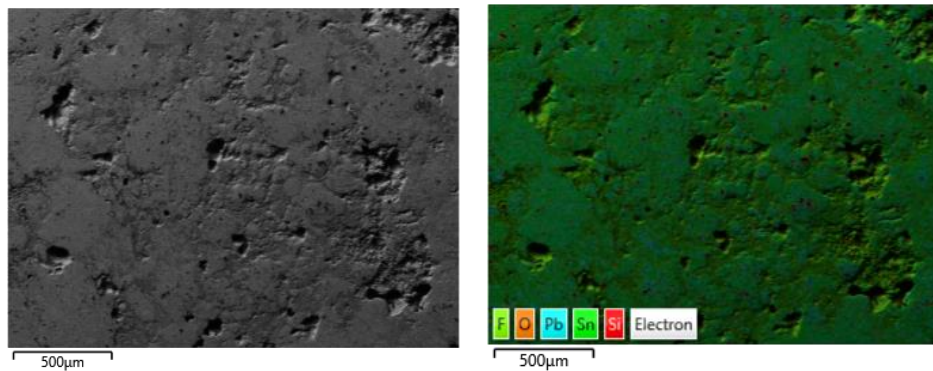


Figura 20. Imagen macrográfica de una sección transversal de la aleación de origen empleada en el proceso de soldadura.

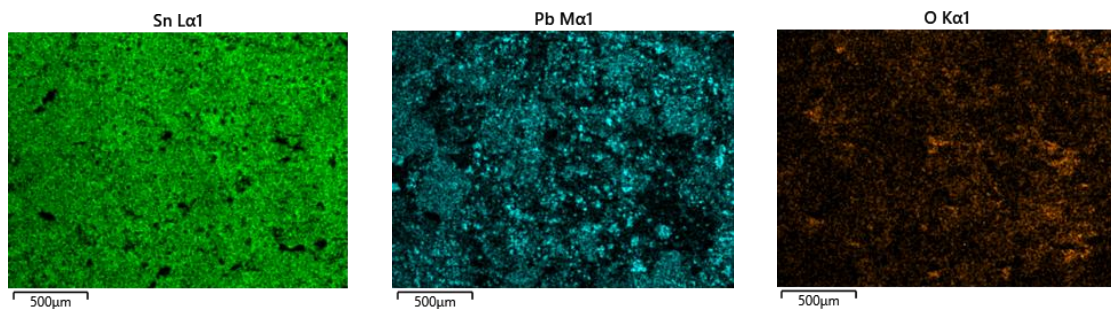
**6.g. Análisis micrográfico**

**6.g.1. Análisis micrográfico de escorias iniciales**

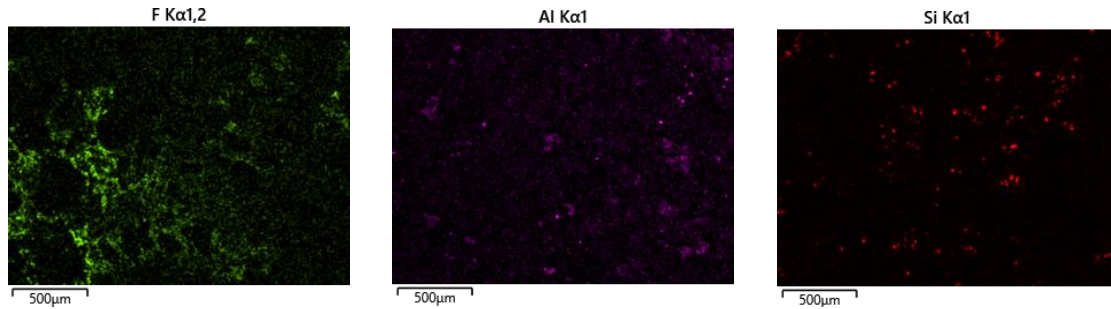
La figura 21 muestra un análisis metalográfico por microscopía electrónica de barrido con espectroscopía dispersiva de rayos X (SEM-EDS) en la materia prima, previo al proceso de reciclado. La figura 21a muestra la zona de análisis y una reconstrucción por colores del mapa de distribución química elemental sobre dicha sección de análisis. La figura 21b muestra la distribución química de cada elemento químico encontrado en la sección analizada. Por último, la figura 21c detalla el espectro de rayos X obtenido en la sección analizada. Se observan diferentes elementos y en concentraciones variables. En mayor grado, se aprecian Sn y Pb, los cuales forman parte de la aleación de interés para la recuperación. Sin embargo, se evidencian otros elementos no deseados, tales como O, Al, Si, F, que deben llevarse a los límites permitidos para la aleación, luego de su reciclado.



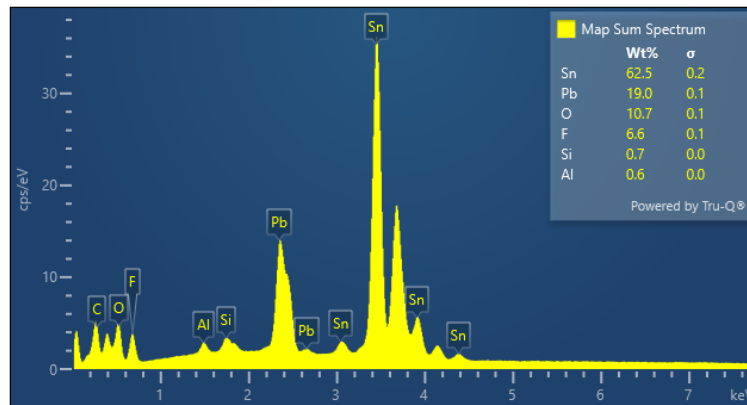
(a)







(b)

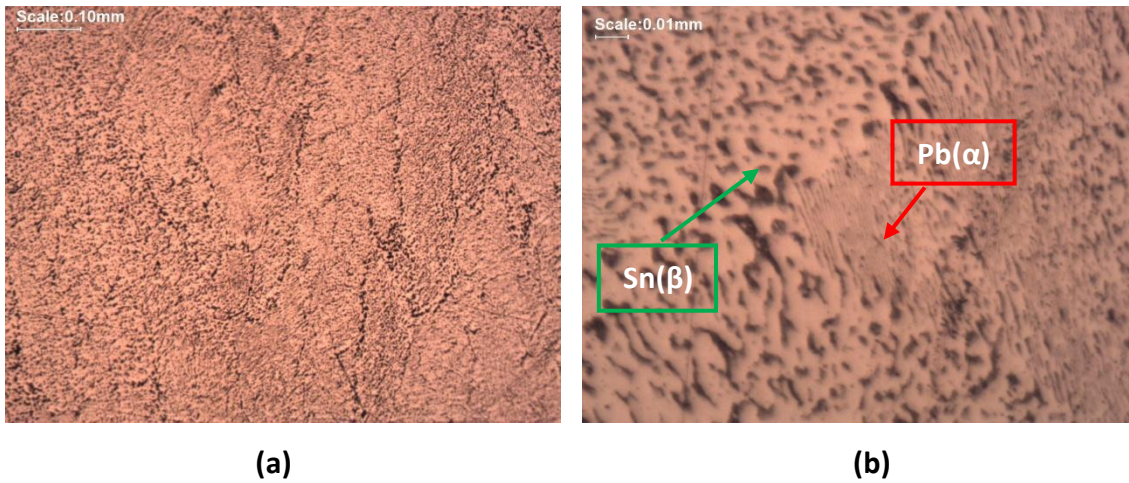


(c)

**Figura 21. Imágenes SEM-EDS de la materia prima (escoria de soldadura) previo al proceso de reciclado. (a) Sección de análisis y reconstrucción por colores de los elementos presentes. (b) Mapas de distribución de cada elemento químico presente. (c) Espectro de rayos X de la sección de análisis**

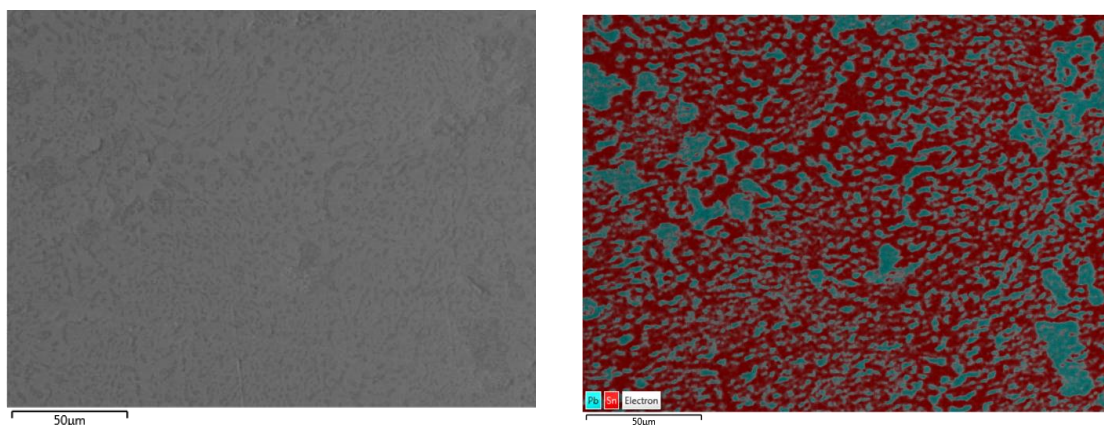
**6.g.2. Análisis micrográfico de la aleación Sn-Pb de proveedor**

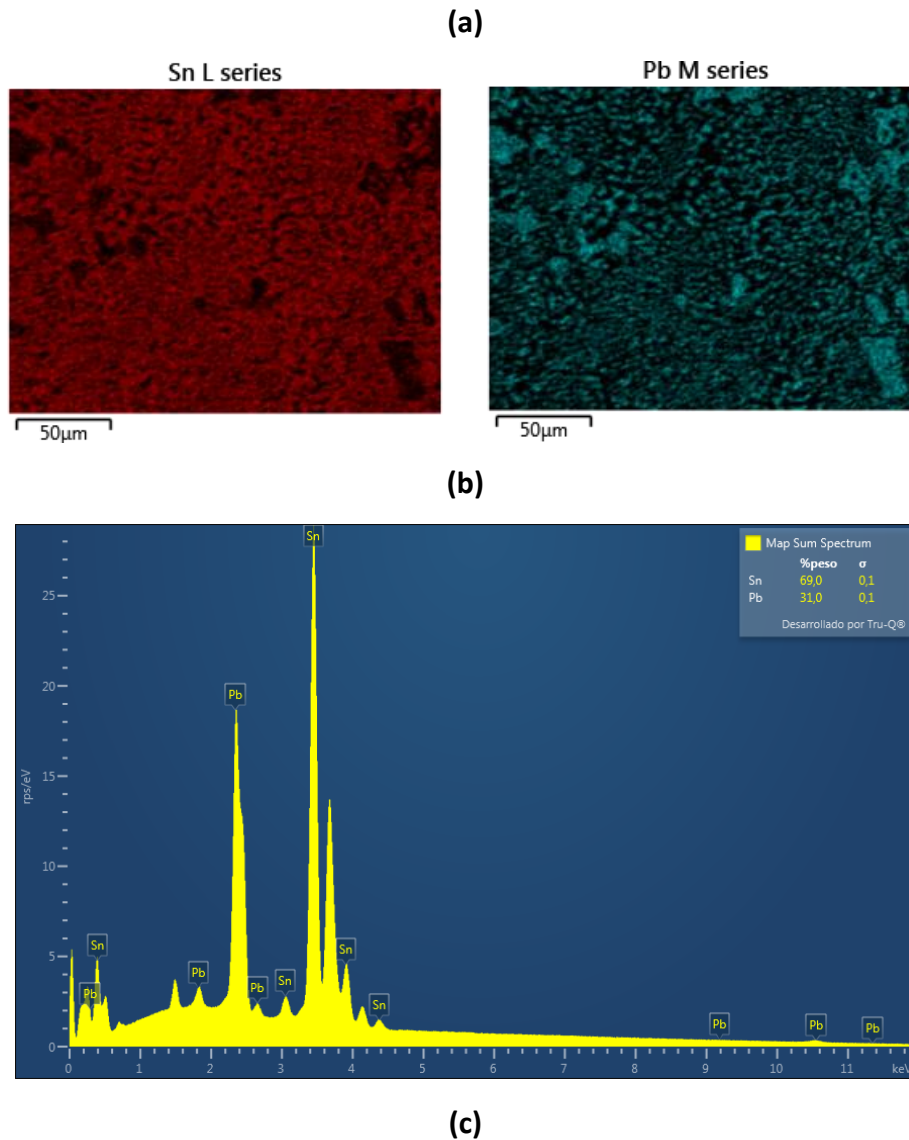
La microestructura presente se detalla en la figura 22. Está formada por el constituyente eutéctico de Sn( $\beta$ ) y Pb( $\alpha$ ), con morfología laminar y distribuidos homogéneamente.



**Figura 22. Detalle de la muestra 1. (a) Magnificación: 100 X. (b) Magnificación: 500 X.**

La figura 23 muestra un análisis metalográfico por microscopía electrónica de barrido con espectroscopía dispersiva de rayos X (SEM-EDS) en la aleación Sn67Pb37, la cual se encuentra en estado de suministro (aleación de origen), empleada como insumo para el proceso de soldadura por ola de las placas de PCB. La figura 23a muestra la zona de análisis y una reconstrucción por colores del mapa de distribución química elemental sobre dicha sección de análisis. La figura 23b muestra la distribución química de cada elemento químico encontrado en la sección analizada. Por último, la figura 23c detalla el espectro de rayos X obtenido en la sección analizada. Se observa una microestructura formada por el constituyente eutéctico de Sn( $\beta$ ) y Pb( $\alpha$ ), con morfología laminar y distribuida homogéneamente.





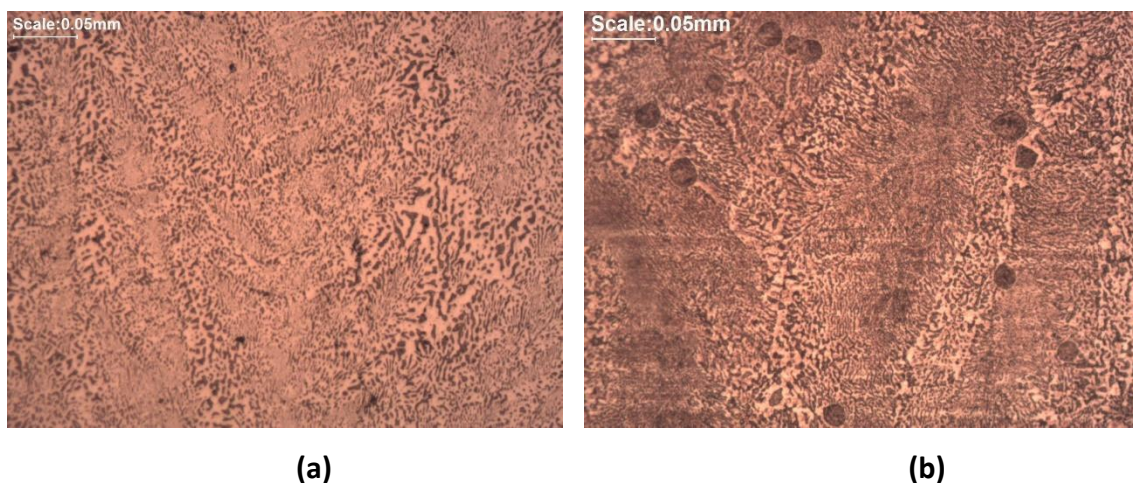
**Figura 23.** Imágenes SEM-EDS de la aleación original Sn67Pb37. (a) Sección de análisis y reconstrucción por colores de los elementos presentes. (b) Mapas de distribución de cada elemento químico presente. (c) Espectro de rayos X de la sección de análisis.

**6.g.3. Análisis micrográfico de los lingotes obtenidos por recuperación**

Como se comentó en el punto de inspección visual se realizó un relevamiento de la condición microestructural de un lingote OK y otro NOOK. En ambos casos se observaron microestructuras semejantes, como así también la ausencia de escoria

## Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

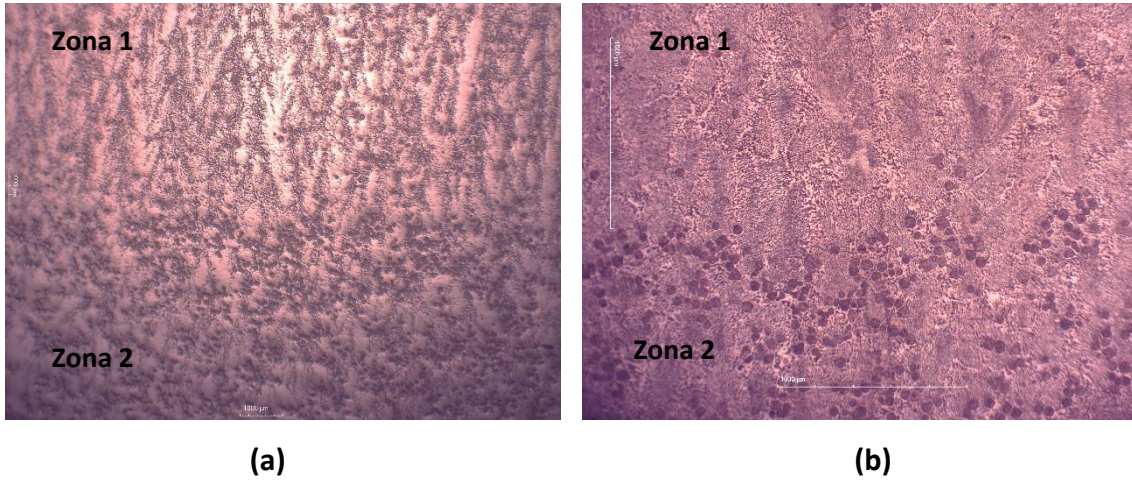
ocluida dentro del mismo. Esto se puede observar en la figura 24. Se observó una microestructura formada por el constituyente eutéctico de Sn( $\beta$ ) y Pb( $\alpha$ ) más fina en el lingote OK que en el NOOK debido a que fue el primero lingote colado ese día, por ende, se obtuvieron mayores velocidades de enfriamiento. El lingote NOOK que se muestra posee una microestructura más basta con respecto a la OK debido a que fue el tercer lingote colado ese día, causando que la lingotera en ese momento ya este el régimen y disipe de forma más lenta el calor, provocando velocidades de enfriamiento relativamente más lentas. Además, en el NOOK se aprecia la formación de segregaciones, también causadas por el enfriamiento relativamente más lento. Estas segregaciones serán caracterizadas químicamente más adelante. Sin embargo, no generan ningún detrimento en el material. Ambas microestructuras son características de la aleación y de la velocidad de enfriamiento que sufrió cada caso.



**Figura 24. (a) Lingote OK. Magnificación: 200 X. (b) Lingote NOOK.**

Como se comentó en la sección 6.f, se diferencian 2 zonas en la estructura macrográfica de los lingotes. En la figura 25 se muestra la microestructura encontrada por encima (zona 1) y por debajo de la línea (zona 2), que divide ambas estructuras metalográficas.

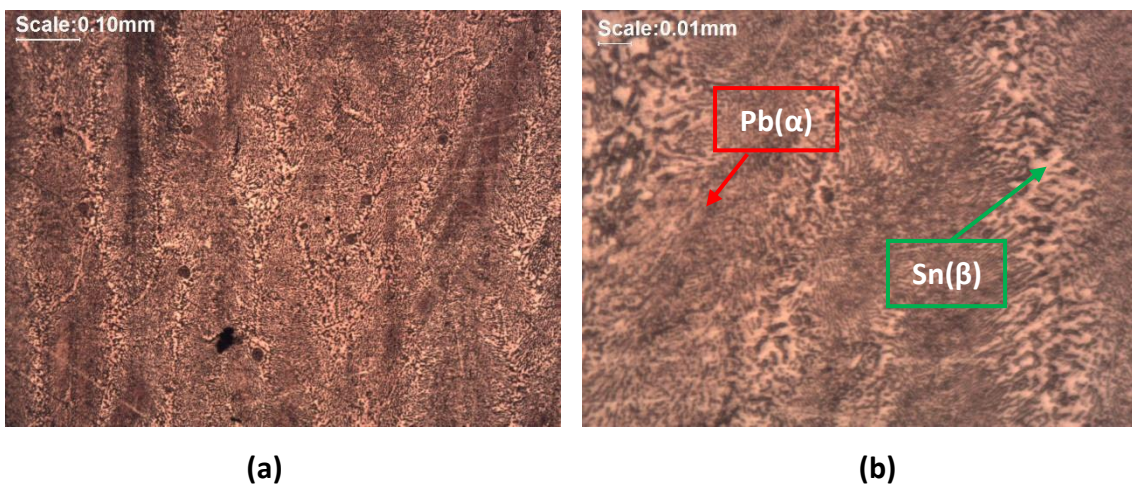




**Figura 25. Detalle de la zona con dos frentes de solidificación.**

**(a) Magnificación: 20 X. (b) Magnificación: 100 X.**

La microestructura presente en la zona 1 se detalla en la figura 26. Está formada por el constituyente eutéctico de Sn( $\beta$ ) y Pb( $\alpha$ ), (indicación verde y roja respectivamente) con morfología laminar y distribuidos homogéneamente. Esto se puede observar en las figuras 26 y 27 obtenidas de dos lingotes OK.



**Figura 26. Detalle de la muestra 1. (a) Magnificación: 100 X. (b) Magnificación: 500 X.**

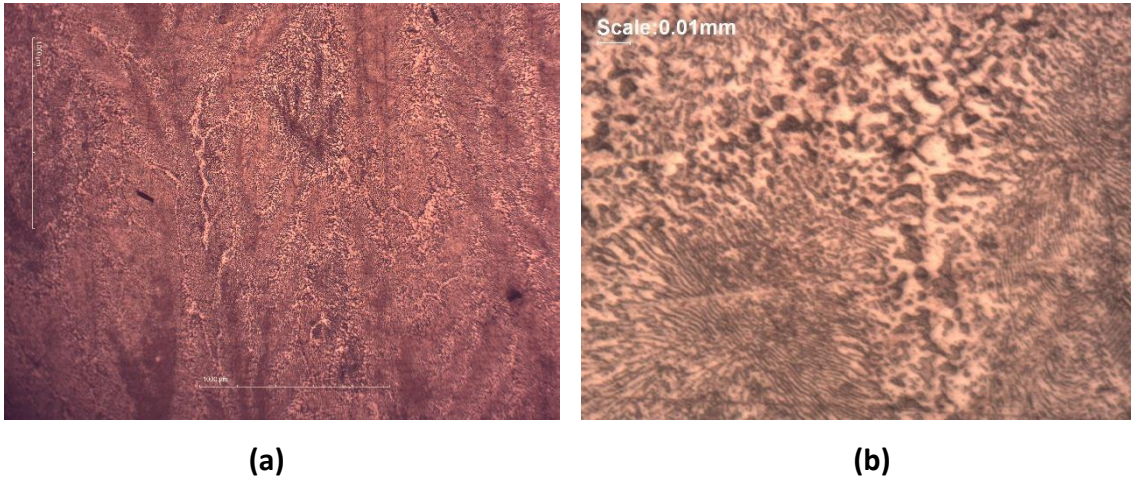


Figura 27. Detalle de la muestra 2. (a) Magnificación: 100 X. (b) Magnificación: 500 X.

La microestructura hallada en el análisis micrográfico muestra una disposición de los elementos de aleación de acuerdo con el siguiente diagrama de equilibrio binario en la figura 28.

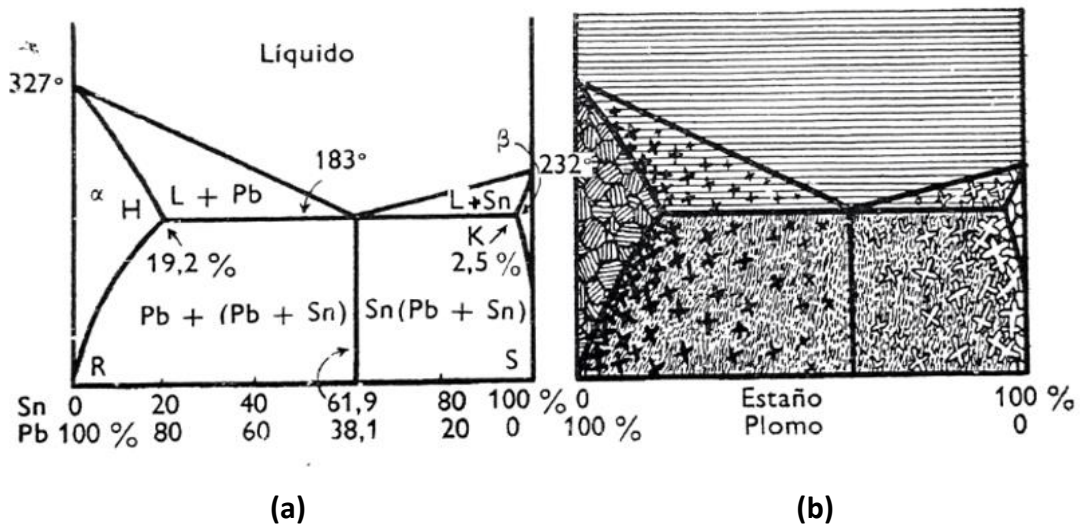


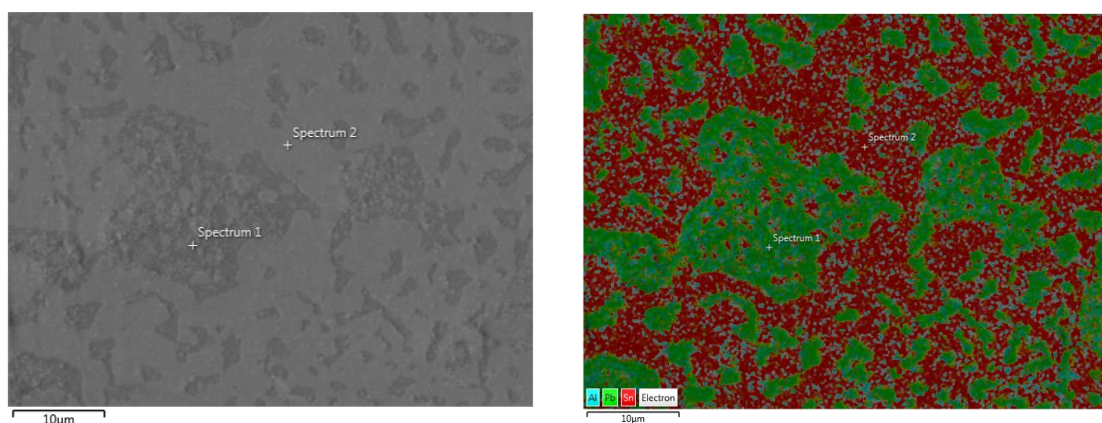
Figura 28. Imágenes de diagrama de equilibrio Sn-Pb. (a) diagrama indicando temperaturas y composiciones de equilibrio. (b) diagrama indicando microestructuras factibles de acuerdo con composición y temperatura. [25]



## Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

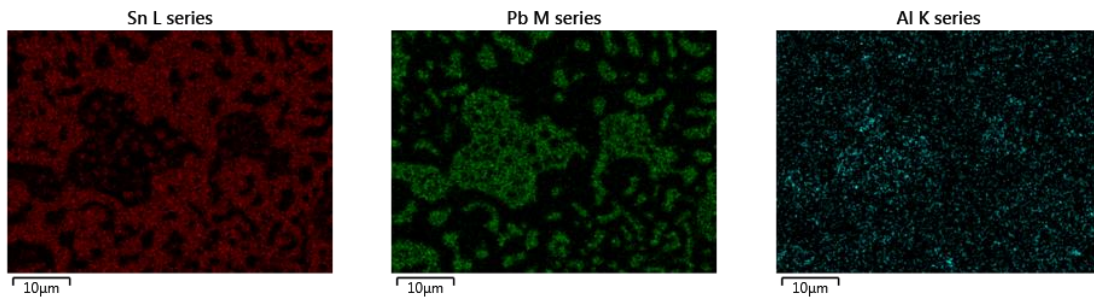
En el mismo se puede observar que el punto eutéctico teórico de la aleación se encuentra en Sn61.9Pb39.1 debido a que en forma teórica el enfriamiento se produce de manera extremadamente lenta. Si bien la aleación utilizada es Sn63Pb37 y se encuentra en la zona izquierda del diagrama teórico, las velocidades de enfriamiento elevadas que brinda el molde de fundición generan un corrimiento del punto eutéctico hacia la izquierda y abajo, con lo cual se generan vastos nódulos oscuros que corresponden a precipitados de plomo con forma de estrella o pétalo como puede observarse tanto en el diagrama como en las micrografías anteriormente presentadas. [25]

Por otra parte, la figura 29 muestra un análisis metalográfico por microscopía electrónica de barrido con espectroscopía dispersiva de rayos X (SEM-EDS) en la zona 1. La figura 29a muestra la zona de análisis y una reconstrucción por colores del mapa de distribución química elemental sobre dicha sección de análisis. La figura 29b muestra la distribución química de cada elemento químico encontrado en la sección analizada. Por último, las figuras 29c y 29d detallan diferentes espectros de rayos X obtenidos en las fases evidenciadas en la zona 1. El espectro 1 indica una composición química del constituyente eutéctico, mientras que el espectro 2 muestra la composición química de la fase Sn( $\beta$ ).

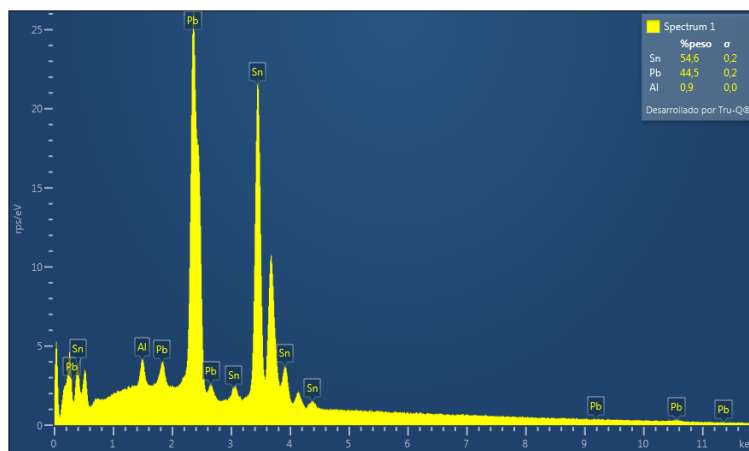


(a)

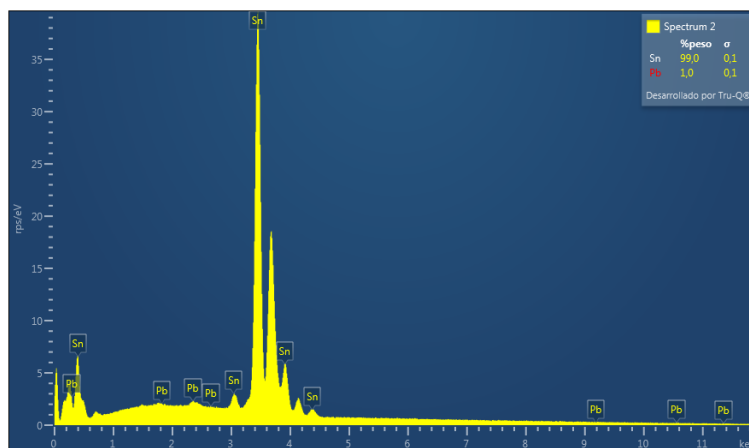
Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica



(b)



(c)



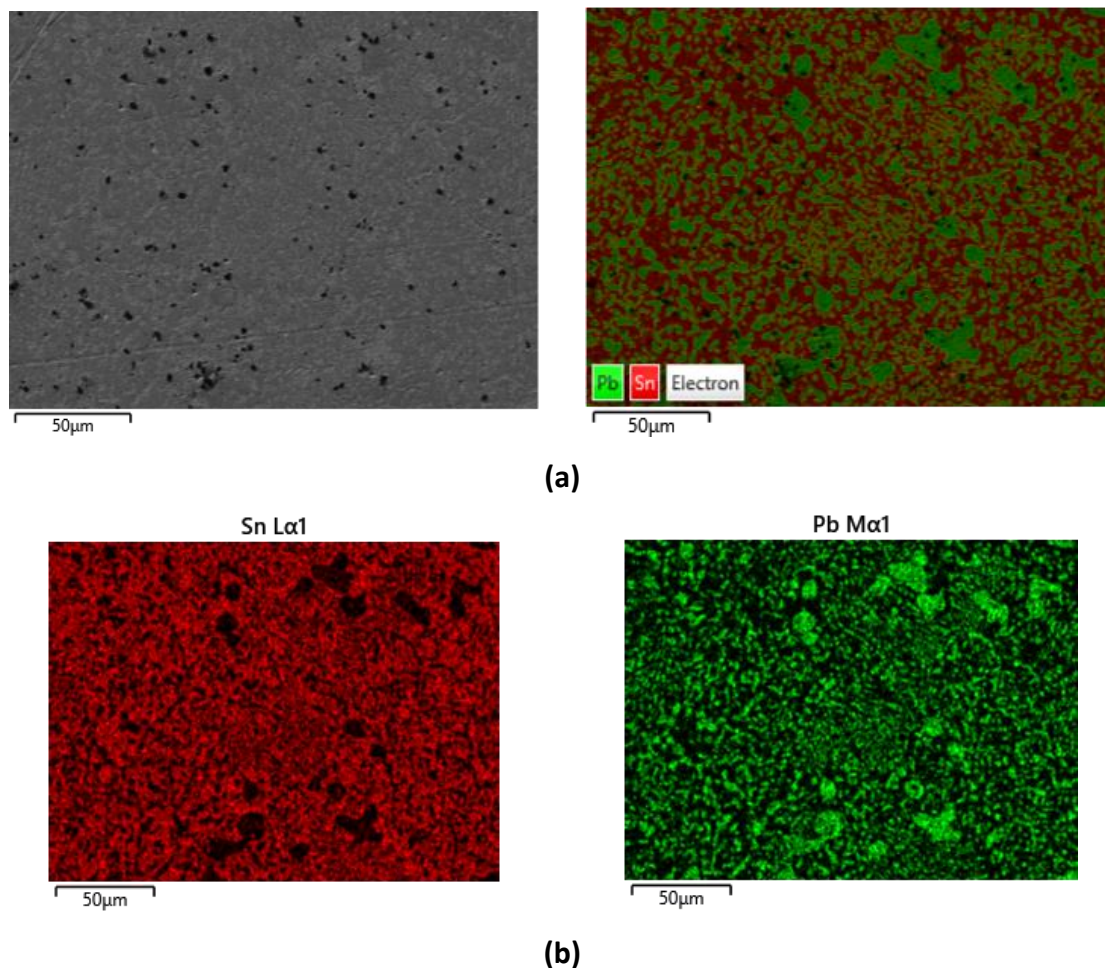
(d)

Figura 29. Imágenes SEM-EDS de la zona 1 del lingote reciclado. (a) Sección de análisis y reconstrucción por colores de los elementos presentes. (b) Mapas de distribución de cada elemento químico presente. (c) Espectro 1 de rayos X sobre el constituyente eutéctico. (d) Espectro 2 de rayos X sobre el la fase Sn( $\beta$ ).



## Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

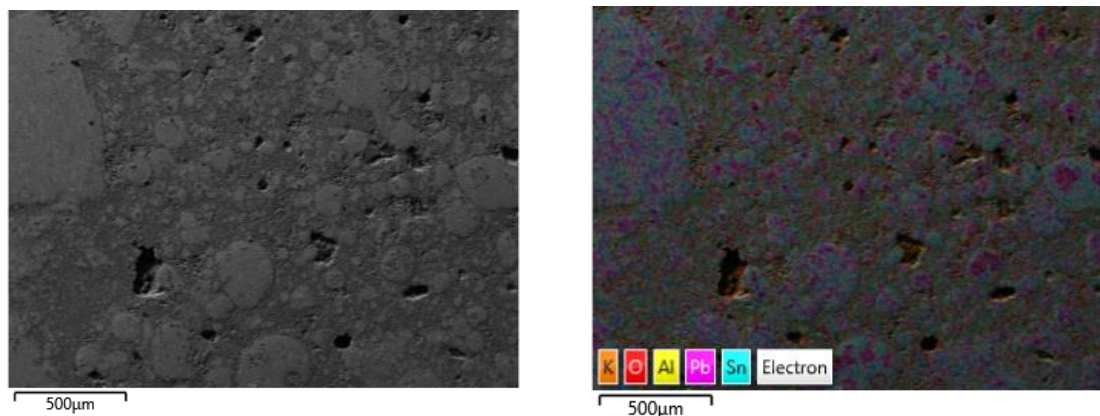
La figura 30 muestra un análisis metalográfico por microscopía electrónica de barrido con espectroscopía dispersiva de rayos X (SEM-EDS) en la zona 2. La figura 30a muestra la zona de análisis y una reconstrucción por colores del mapa de distribución química elemental sobre dicha sección de análisis. La figura 30b muestra la distribución química de cada elemento químico encontrado en la sección analizada. Se observa que las fases detectadas en la zona 2, continúan siendo parte de las fases esperables, sin embargo, las mismas se forman por diferencias en la velocidad de enfriamiento, según lo indicado por el diagrama de fases de la figura 28. [25]



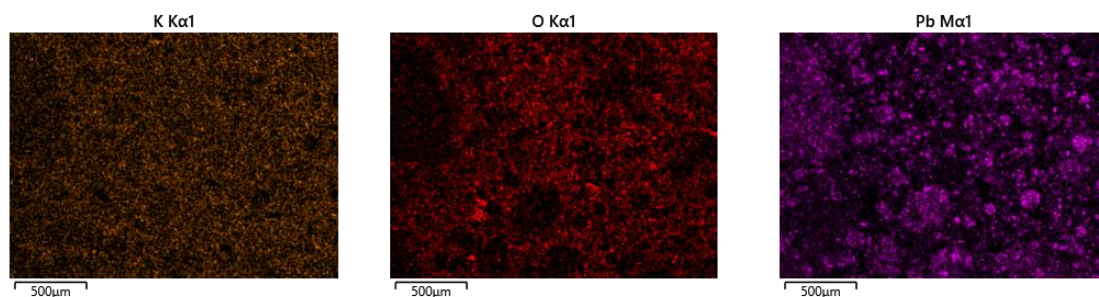
**Figura 30. Imágenes SEM-EDS de un lingote reciclado. (a) Sección de análisis y reconstrucción por colores de los elementos presentes. (b) Mapas de distribución de cada elemento químico presente.**

#### 6.g.4. Análisis micrográfico de escorias finales

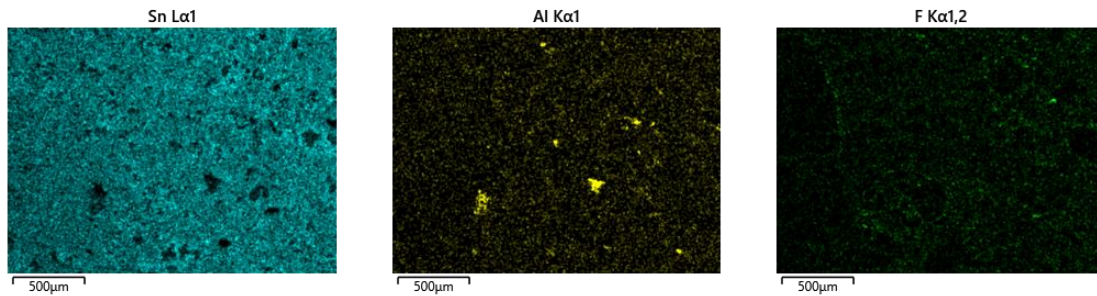
La figura 31 muestra un análisis metalográfico por microscopía electrónica de barrido con espectroscopía dispersiva de rayos X (SEM-EDS) en las escorias finales que quedan remanentes posterior al proceso de recuperación. La figura 31a muestra la zona de análisis y una reconstrucción por colores del mapa de distribución química elemental sobre dicha sección de análisis. La figura 31b muestra la distribución química de cada elemento químico encontrado en la sección analizada. Por último, la figura 31c detalla el espectro de rayos X obtenido en la sección analizada. Se observan diferentes elementos y en concentraciones variables. En mayor grado, se aprecian Sn, Pb y O. Además, se observan elementos extraños, como ser Al y F. El Al se sospecha que es un contaminante proveniente del proceso de preparación de la muestra ya que se utiliza como medio de pulido alúmina. Por otro lado, el F es posible que provenga de los fluxes utilizados en el proceso de soldadura.



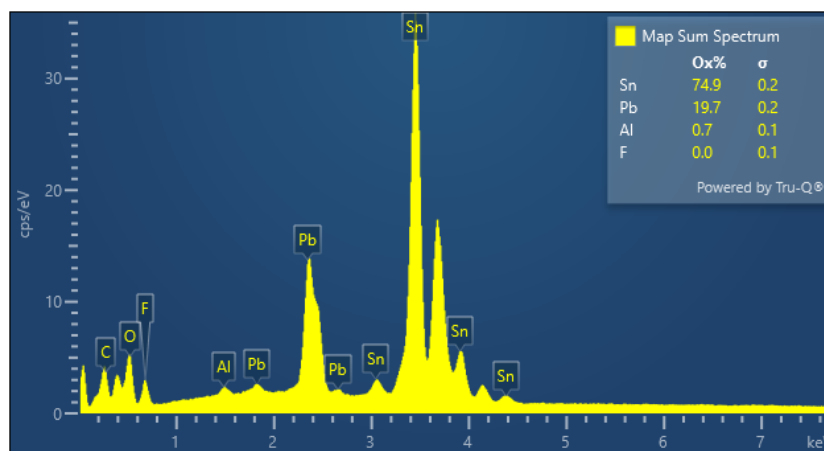
(a)



Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica



(b)



(c)

**Figura 31. Imágenes SEM-EDS de las escorias finales del proceso de recuperación. (a) Sección de análisis y reconstrucción por colores de los elementos presentes. (b) Mapas de distribución de cada elemento químico presente. (c) Espectro de rayos X de la sección de análisis.**

La figura 32, muestra la morfología de las escorias finales resultantes. Presentan un tamaño más homogéneo, en relación a la materia prima. Así mismo el contenido de aleación recuperable es significativamente menor que en la materia prima. Sin embargo, aún se mantiene ocluidos restos de aleación reciclable.



**Figura 32. Morfología característica de las escorias finales.**

## 6.h. Análisis químico

### 6.h.1. Análisis químico de las escorias iniciales

La tabla 4 indica la composición química del resultado de análisis químico de materia prima (escorias provenientes del proceso de soldadura).

**Tabla 4. Resultados del análisis de composición química de materia prima.**

Muestras	Sn [%]	Pb [%]	O [%]	F [%]	Si [%]	Al [%]
Materia prima	62,5	19,0	10,7	6,6	0,7	0,6

### 6.h.3. Análisis químico del lingote obtenido

La figura 34 muestra imágenes de los lotes de lingotes reciclados, en condiciones de suministro para el cliente. La tabla 5 indica la composición química de referencia para la aleación Sn67Pb37 y los resultados de análisis químicos en diferentes lotes de lingotes reciclados que fueron seleccionados para su estudio.





**Figura 34.** Lotes de lingotes entregados al cliente para su reutilización en el proceso de soldadura por ola de placas electrónicas.

**Tabla 5. Resultados del análisis de composición química en aleaciones recicladas de Sn67Pb37.**

Muestras	Sn [%]	Pb [%]	Sb [%]	Cu [%]	Zn [%]	Fe [%]	As [%]	Ni [%]	Bi [%]	Cd [%]	Ag [%]	Al [%]	In [%]	Au [%]
Sn63Pb37	62,5	Balance	0,20	0,08	0,00	0,02	0,03	0,01	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,05
	63,7		Máx	Máx	3	Máx	Máx	Máx	Máx	2	Máx	5	Máx	Máx
	63,5		.	.	Máx.	.	.	.	.	Máx.	.	Máx.	.	.
Lote 1029000	63,1	resto	0,10	0,01	0,001	0,01	-	-	-	0,001	-	0,001	-	-
Lote 1029001	63,0	resto	0,12	-	0,003	-	-	-	-	0,001	-	0,001	-	-
Lote 1029002	62,7	resto	0,09	-	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lote 1029003	62,5	resto	0,08	0,01	0,002	0,01	-	-	-	0,001	-	-	-	-
Lote 1029004	63,0	resto	0,10	-	0,001	-	-	-	-	-	-	0,001	-	-

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

Lote 1029005	63, 4	resto	0,11	-	0,00 3	0,01	-	-	-	-	0,00 4	-	-
Lote 1029006	63, 2	resto	0,10	-	0,00 3	-	-	-	-	0,00 1	0,00 3	-	-
Lote 1029007	62, 5	resto	0,11	-	0,00 2	0,01	-	-	0,03	-	0,00 5	-	-
Lote 1029008	62, 8	resto	0,17	-	0,00 2	0,02	-	-	0,05	0,00 1	0,00 3	-	-
Lote 1029009	63, 3	resto	0,08	-	0,00 2	0,01	-	-	-	-	0,00 3	-	-
Lote 1029011	63, 0	resto	0,16	-	0,00 3	-	-	-	-	0,00 1	0,00 3	-	-
Lote 1029012	62, 5	resto	0,11	-	0,00 2	-	-	-	0,02	0,00 2	0,00 3	-	-
Lote 1029013	62, 6	resto	0,17	-	0,00 1	0,02	-	-	0,02	0,00 1	0,00 3	-	-
Lote 1029014	63, 4	resto	0,14	-	0,00 3	0,01	-	-	-	-	0,00 4	-	-
Lote 1029015	63, 2	resto	0,15	-	0,00 3	-	-	-	-	0,00 1	0,00 3	-	-
Lote 1029016	62, 5	resto	0,17	-	0,00 2	0,01	-	-	0,03	-	0,00 5	-	-
Lote 1029017	62, 7	resto	0,18	-	0,00 3	0,01	-	-	0,05	0,00 2	0,00 2	-	-
Lote 1029018	63, 5	resto	0,11	-	0,00 3	0,01	-	-	-	-	0,00 4	-	-
Lote 1029019	63, 2	resto	0,10	-	0,00 3	-	-	-	-	0,00 1	0,00 3	-	-
Lote 1029020	63, 2	resto	0,13	-	0,00 2	0,01	-	-	0,04	-	0,00 5	-	-
Lote 1029021	62, 6	resto	0,12	-	0,00 2	0,02	-	-	0,01	0,00 1	0,00 3	-	-
Lote 1029022	63, 4	resto	0,11	-	0,00 3	-	-	-	-	-	0,00 4	-	-
Lote 1029023	63, 5	resto	0,09	-	0,00 3	-	-	-	-	-	0,00 3	-	-
Lote 1029024	62, 5	resto	0,17	-	0,00 2	0,01	-	-	0,01	-	0,00 5	-	-
Lote 1029025	62, 8	resto	0,16	-	0,00 2	0,02	-	-	0,05	0,00 1	0,00 3	-	-
Lote 1029026	63, 0	resto	0,11	-	0,00 3	0,01	-	-	-	-	0,00 2	-	-

## Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

Lote	63,				0,00					0,00	0,00		
1029027	2	resto	0,10	-	3	-	-	-	-	1	2	-	-
Lote	62,				0,00					0,00	0,00		
1029028	3	resto	0,10	-	2	0,01	-	-	0,03	1	2	-	-

Los resultados se encuentran expresados en porcentaje en peso (% P/P) de la zona de la muestra analizada y se encuentran normalizados al 100 %.

### 6.h.2. Análisis químico de las escorias finales

La tabla 6 indica la composición química del resultado de análisis químico de las escorias finales remanentes del proceso de recuperación.

**Tabla 6. Resultados del análisis de composición química de escoria final.**

Muestras	Sn [%]	Pb [%]	O [%]	F [%]	Al [%]
Escoria final	59,0	18,3	17,6	4,7	0,36

Los resultados se encuentran expresados en porcentaje en peso (% P/P) de la zona de la muestra analizada y se encuentran normalizados al 100 %.

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

## 7. Conclusiones

### 7.a. Generales

Se logró establecer un proceso pirometalúrgico para tratar los residuos generados en el proceso de soldadura por ola para placas de circuitos impresos. Asegurando, bajo las condiciones establecidas, un producto satisfactorio, tanto técnico como económico.

### 7.b. Específicas

- Se caracterizaron química y metalográficamente las escorias que conforman la materia prima, lo que permitió establecer las condiciones de partida para el proceso de reciclado.
- El parámetro que tiene mayor influencia es la temperatura de trabajo, siendo una variable secundaria el tiempo.
- Para permitir una correcta recuperación, se estableció un proceso de agitación mecánica del baño líquido, durante el proceso de fusión.
- Se logró determinar el rendimiento promedio del proceso de reciclado con un 51 % de recuperación de la aleación.
- La microestructura y composición química de la aleación recuperada cumplen con los requisitos del producto.
- La composición química de las nuevas escorias producidas por el proceso de reciclado, mostraron la existencia de elementos que aún podrían ser recuperados, mejorando así los rendimientos del proceso.
- Se consiguió estandarizar y optimizar el proceso mediante la formulación de un instructivo.




Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

**8. Recomendaciones para trabajos futuros**

- A. Estudio del uso de sales para mejorar el porcentaje de recuperación.
- B. Separación de los óxidos residuales que conforman la escoria final, resultante del proceso de reciclado por fusión en este trabajo.
- C. Cálculo de un proyecto de inversión.
- D. Realizar un análisis sobre la influencia de agitación gaseosa en el porcentaje de recuperación.
- E. Estudiar las causas de la producción excesiva de escorias, durante el proceso de soldadura por ola.

9. Anexos

Anexo 1. Cartilla técnica de la aleación utilizada.



TECHNICAL BULLETIN

## ALPHA® Sn63Pb37 VACULOY® SOLDER ALLOY

**DESCRIPTION**

ALPHA Sn63Pb37 Vaculoy is manufactured using high purity raw materials and the alloy is conditioned using Alpha's Vaculoy viscosity and dross lowering treatment. This results in a pure low dross high fluidity solder alloy, which is free of cast in impurities and included oxides.

READ ENTIRE TECHNICAL DATA SHEET BEFORE USING THIS PRODUCT

**FEATURES & BENEFITS**

ALPHA Sn63Pb37 Vaculoy treated prior to casting: this removes finely divided suspended oxides that are found in all virgin raw materials. This increases the fluidity and hence soldering defects.

- The remove of the finely divided oxide reduces drossing rate, the wave stays cleaner, longer.
- Has a proven track record; no need to take chances.

**APPLICATION GUIDELINES**

ALPHA Sn63Pb37 Vaculoy is the ideal companion product for all wave soldering systems. ALPHA Sn63Pb37 Vaculoy is ideal for the following types of applications:


- High volume wave soldering processes
- Applications requiring dual wave and chip wave systems
- Boards that are densely populated

A solder pot temperature of 240 to 250 °C is recommended. For suitable wave solder fluxes, please see our selector guide. Reclaim services, including dedicated lead-free containers, are also available. Please consult your local sales office.

---

**ALPHA SN63PB37 VACULOY SOLDER ALLOY**  
 Technical Bulletin  
 Issue: 06 December 2019

Page 1 of 3





TECHNICAL BULLETIN

**TECHNICAL SPECIFICATIONS**

The following indicates the alloy and impurity limits for ALPHA Sn63Pb37 Vaculoy in relation to J-STD-006C. All figures in % by weight. \*For 60Sn/40Pb, Sn is 59.5 to 60.5%.

Element	Vaculoy	J-STD-006C
Sn	*62.5 to 63.5	62.5 to 63.5
Pb	Balance	Balance
Sb	0.20 max	0.20 max
Cu	0.08 max	0.08 max
Zn	0.003 max	0.003 max
Fe	0.02 max	0.02 max
As	0.03 max	0.03 max
Ni	0.01 max	0.01 max
Bi	0.10 max	0.10 max
Cd	0.002 max	0.002 max
Ag	0.10 max	0.10 max
Al	0.005 max	0.005 max
In	0.10 max	0.10 max
Au	0.05 max	0.05 max

**AVAILABILITY**

ALPHA Sn63Pb37 Vaculoy is available in 3.5 kg feeder bars, 1 kg bars, solid wire, and solder chunks for first fill of solder baths. Vaculoy is also available in other SnPb solder alloys such as 60Sn40Pb.



TECHNICAL BULLETIN

**SAFETY & WARNING**

It is recommended that the company/operator read and review the Safety Data Sheets for the appropriate health and safety warnings before use. **Safety Data Sheets are available at AlphaAssembly.com**

**CONTACT INFORMATION**

To confirm this document is the most recent version, please contact **Assembly@MacDermidAlpha.com**

[www.macdermidalpha.com](http://www.macdermidalpha.com)


<p><b>North America</b> 300 Atrium Drive Somerset, NJ 08873, USA 800.367.5460</p>	<p><b>Europe</b> Unit 2, Genesis Business Park Albert Drive Woking, Surrey, GU21 5RW, UK 01483.758400</p>	<p><b>Asia</b> 8/F., Paul Y. Centre 51 Hung To Road Kwun Tong, Kowloon, Hong Kong 852.3190.3100</p>
---	---	---

Also read carefully warning and safety information on the Safety Data Sheet. This data sheet contains technical information required for safe and economical operation of this product. **READ IT THOROUGHLY PRIOR TO PRODUCT USE.** Emergency safety directory assistance: US 1 202 464 2554, Europe + 44 1 235 239 670, Asia + 65 3159 1074, Brazil 0800 707 7022 and 0800 172 030, Mexico 01800 002 5400 and (55) 5599 1588

**DISCLAIMER:** All statements, technical information and recommendations contained herein are based on tests we believe to be reliable, but the accuracy or completeness thereof is not guaranteed. No statement or recommendation shall constitute a representation unless set forth in an agreement signed by officers of seller and manufacturer. **NO WARRANTY OF MERCHANTABILITY, WARRANTY OF FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR ANY IMPLIED WARRANTY IS MADE.** The following warranty is made in lieu of such warranties and all other warranties, express, implied, or statutory. Products are warranted to be free from defects in material and workmanship at the time sold. The sole obligation of seller and manufacturer under this warranty shall be to replace any non-compliant product of the time sold. Under no circumstances shall manufacturer or seller be liable for any loss, damage or expense, direct, indirect, incidental or consequential, arising out of the inability to use the product. Notwithstanding the foregoing, if products are applied in response to a customer request that specifies operating parameters beyond those stated above, or if products are used under conditions exceeding said parameters, the customer by acceptance or use thereof assumes all risk of product failure and of all direct, indirect, incidental and consequential damages that may result from use of the products under such conditions, and agrees to exonerate, indemnify, defend and hold harmless MacDermid, Inc. and its affiliates therefrom. No suggestion or product use or anything contained herein shall be construed as a recommendation to use any product in a manner that infringes any patent or other intellectual property rights, and seller and manufacturer assume no responsibility or liability for any such infringement.

© 2019 MacDermid, Inc. and its group of companies. All rights reserved. "TD" and "TM" are registered trademarks or trademarks of MacDermid, Inc. and its group of companies in the United States and/or other countries.

Anexo 2. Instructivo de proceso.

 <p>UTN Facultad Regional Córdoba</p>	<p><b>INSTRUCTIVO</b> <b>Reciclado de aleaciones</b> <b>Sn-Pb de escorias de soldadura</b></p>	<p>Ing. Metalúrgica Revisión: 00 31/10/2022</p>
--	--	---

---

**1. Objetivo**  
Definir un procedimiento para la estandarización y optimización del proceso de reciclado de las aleaciones Sn-Pb, en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Metalúrgica.

**2. Alcance**  
Tratamiento pirometalúrgico a residuos proveniente del material de aporte de procesos de soldadura por ola, que sea realizado con aleación Sn-Pb.

**3. Documentos y normas de consulta**

- Alpha Technical Bulletin. ALPHA® Sn63Pb37 VACULOY® SOLDER ALLOY. MacDermid Alpha. Issue: December 6, 2019.
- RECICLADO DE ALEACIONES Sn-Pb A PARTIR DE ESCORIAS PROVENIENTES DEL PROCESO DE SOLDADURA DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESOS – G. Mayorga – F. Gorod.

**4. Definiciones**  
Reciclado: es el proceso de recolección y transformación de materiales para convertirlos en nuevos productos, y que de otro modo serían desechados como basura.

**5. Desarrollo**

**5.1. Puesta en marcha del horno**  
En primera instancia se debe encender el horno a una temperatura de set point de 600 °C. Esto se debe realizar de inicial debido a que el calentamiento del horno uno de los pasos mas lentos del proceso. Para esto se debe controlar el cable de la alimentación a la ficha de 380 V presente en la sala de fundiciones del Laboratorio. La puesta en marcha se del equipo se encuentra explicada en el manual pegado en su parte superior. Sin embargo, se procede a dejar acetado el procedimiento de arranque. Se enciende el controlador, Figura 1, desde un pulsador rojo en la parte trasera del mismo. Posteriormente se presiona la tecla (\* / CP). Entonces se procede a presionar la tecla 1, y a continuación la (\* / CP) nuevamente. Con este set point el horno solo debe iniciar una curva de calentamiento hasta 600 °C y un mantenimiento de 6 horas.

*\*Nota: todos los medios eléctricos deben ser manipulados con precaución debido al riesgo eléctrico que entrañan.*

Revisó: G. Mayorga	Aprobó: F. Gorod
--------------------	------------------

Página 1 de 4



Figura 1. Detalle del controlador.

#### 5.2. Carga del horno

Una vez el horno se esta calentando o ya esta caliente (para cargas diferentes a la primera del día), se procede a la carga del crisol con el residuo que se trata en este procedimiento. Con este fin se debe encender la balanza, asegurando la planitud de la misma con la burbuja de control del equipo. Una vez encendida, se coloca el crisol sobre el plato de la balanza, cuidando que no este excesivamente caliente ya que se podría dañar el equipo (esto aplica para pesajes diferentes al primero del día). Se debe tarar o setear el cero con el crisol arriba. Una vez el display marca cero con el crisol arriba se procede al llenado del mismo con los residuos. Se recomienda cargar entre 7 y 9 Kg. Una vez llenado el crisol, se debe registrar en hoja el peso inicial de la carga del horno. Una vez registrado el valor se procede a llevar el crisol con los elementos de sujeción necesarios hasta el interior del horno.



Figura 2. Detalle de balanza.

*\*Nota: Los operadores, durante el proceso de carga, descarga, colada y aquellas etapas que se tenga contacto con la escoria, DEBEN utilizarse los elementos de protección personal adecuado y mantener condiciones de higiene que impidan la absorción de estos residuos en el organismo. Así mismo se deben utilizar elementos como guantes para evitar quemaduras durante el manipuleo de materiales a elevada temperatura.*

Revisó: G. Mayorga

Aprobó: F. Gorod

Página 2 de 4





**INSTRUCTIVO  
Reciclado de aleaciones  
Sn-Pb de escorias de soldadura**

Ing. Metalúrgica  
Revisión: 00  
31/10/2022

**5.3. Mantención en horno**

La carga se debe mantener en el horno por un total de 50 minutos  $\pm$  5 minutos. Además, se deben realizar dos agitaciones, una a los 20 minutos y otra a 40 minutos de mantención de la carga a temperatura de trabajo. Posterior a esto se debe dejar reposar la carga dentro del horno por al menos 5 minutos antes de extraerla para colar. La tabla 1 detalla lo mencionado anteriormente.

**Tabla 1. Tiempos de agitación y de colada.**

Etapas de agitación (M = manual)						Colada
1*		2*		3*		-
Tiempo [min]	modo	Tiempo [min]	modo	Tiempo [min]	modo	Tiempo total [min]
20	M	40	M	-	-	45 - 55

\*Nota: para cargas mayores a 9 Kg se recomienda dejar el crisol por 55 minutos.

**5.4. Colada**

Una vez se realizaron las etapas de agitación descritas en el punto anterior y se llegó al tiempo total, se procede a colar el metal líquido. Previo a extraer el crisol se debe tener todo listo para colar, como ser ladrillos de apoyo, lingotera bien posicionada, elementos de protección personal colocados, entre otras consideraciones pertinentes. Se extrae el crisol del horno con el herramental adecuado. Se debe tener cuidado al retirar el crisol de no golpear la fumistería del horno. Se apoya el crisol en el ladrillo de apoyo, se le realiza una penetración con una barra para facilitar el flujo de metal a través de la escoria superior y se lo bascula con una varilla con el extremo doblado. Este paso debe realizarse de manera lenta para evitar salpicaduras de metal y caída de escoria en la lingotera. La caída de escoria en lingotera genera una No conformidad en el producto y este debe ser refundido.

Una vez terminada la colada se procede a dejar reposar el lingote por al menos cinco minutos en la lingotera previo a su desmolde. Este tiempo puede demorar más si en la lingotera ya se han realizado 2 o más coladas previas. Bajo ningún concepto se arrojará agua para enfriar con mayor rapidez el lingote. Una vez desmoldado el lingote, se procede a pesarlo y registrar su valor en la hoja donde se pesó inicialmente el crisol. Los datos de peso inicial, peso final, tiempos de agitación, tiempo total (tiempo de colada), temperatura de colada (la cual marca el display del controlador) y si corresponde control de calidad deben ser anotadas en papel y transferidas a la hoja de cálculo de seguimiento de proceso.

**5.5. Tamizado**

Debido a que se observó que dentro de las escorias remanentes del primer proceso de re-fusión quedaba una significativa cantidad de aleación útil ocluida, se procede a realizar tamizados de manera regular. Esta etapa se realiza cuando se ha completado el almacenamiento de escorias de primera re-fusión. Para esto debe hacer pasar las escorias de primera re-fusión por un tamiz de tamaño 1,68 mm. Haciendo pasar la escoria pulverulenta a través del tamiz y dejando atrapada las gotas de metal. Una vez separado el material metálico de las escorias, se procede de la misma forma que si fuera la materia prima, comenzando desde el punto 5.1. Se debe dejar asentado que la colada realizada es de material tamizado para diferenciarla del proceso de primera re-fusión.

Revisó: G. Mayorga	Aprobó: F. Gorod
--------------------	------------------



**INSTRUCTIVO**  
**Reciclado de aleaciones**  
**Sn-Pb de escorias de soldadura**

Ing. Metalúrgica  
 Revisión: 00  
 31/10/2022

**6. Criterios de aceptación:**

Los controles metalográficos y de composición química deben ser realizados cada 5 coladas. El producto es conforme si:

- ✓ Cumple con las características superficiales necesarias. (Realizado al total de lingotes producidos).
- ✓ Cumple con el análisis metalográfico. (Si es la colada definida para control).
- ✓ Cumple con la composición química requerida. (Si es la colada definida para control).

**7. Registros asociados**

- Hoja de cálculo de seguimiento de proceso

**8. Anexos**

No contiene.

**9. Control de cambios**

Preparó/controló	Fecha	Aprobó	Fecha	Revisión	Modificaciones
Guillermo Mayorga	18/10/2022	Federico Gorod	31/10/2022	00	N/A

Revisó: G. Mayorga	Aprobó: F. Gorod
--------------------	------------------



## 10. Referencias bibliográficas

1. [1] En Ma (2019). Chapter 11: Recovery of Waste Printed Circuit Boards Through Pyrometallurgy. *Electronic Waste Management and Treatment Technology*, pp 247-267, Elsevier, Edited by: Majeti Narasimha Vara Prasad and Meththika Vithanage.
2. [2] Tecnología de montaje superficial. Soldadura SMT por ola. Recuperado el 21 de junio de 2021. <https://tecnologiademontajesuperficial.es.tl/SOLDADURA-SMT-POR-OLA.htm>.
3. [3] Ning-Cheng Lee and Mike Bixenman (2002). Lead-Free: How Flux Technology Will Differ For Lead-Free Alloys & Its Impact On Cleaning.. Conference: *Electronics Manufacturing Technology Symposium, 2002. IEMT 2002, 27th Annual IEEE/SEMI International*, DOI:10.1109/IEMT.2002.1032772.
4. [4] Eutectic solder. FCT Solder. Recuperado el 21 de junio de 2022. <https://fctsolder.com/eutectic-solder/>.
5. [5] Karl J. Puttlitz and Kathleen A. Stalter. *Handbook of Lead-free Solder Technology for Microelectronic Assemblies*, New York, Marcel Dekker, Inc., 2009.
6. [6] Carl J. Tautscher (1991). *Contamination Effects on Electronic Products*. MARCEL DEKKER INC. NEW YORK, EEUU.
7. [7] Alpha Technical Bulletin. ALPHA® Sn63Pb37 VACULOY® SOLDER ALLOY. MacDermid Alpha. Issue: December 6, 2019.
8. [8] CEFIC et al. 2002. European Chemical Industry Council (CEFIC), European Electronic Component Manufacturers Association (EECA), European Information, Communications and Consumer Electronics Industry Technology Association (EICTA), and European Association of Metals (EUROMETAUX). "Guidance Document on the Appliance of Substances under Special Attention in Electric and Electronic-Products, Version 2.2." November 25, 2002.
9. [9] Cámara de Industrias Informáticas, Electrónicas y de Comunicaciones del Centro de Argentina – CIIECA. Recuperado el 26-05-2022, <http://odoo.ciecca.org.ar>.

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

10. [10] Ley Nacional N° 24051. Residuos peligrosos - Generación, manipulación, transporte y tratamiento - Normas. Sanción: 17 de diciembre de 1991. Promulgación: 8 de enero de 1992. Publicación: B.O. 17/01/92. Argentina.
11. [11] Decreto N° 831/93. Residuos Peligrosos. Reglamentación de la Ley N° 24051. 23/04/1993, Buenos Aires, Argentina.
12. [12] Ley de Residuos Peligrosos N° 8.973/03. Provincia de Córdoba, Argentina.
13. [13] Decreto N° 2.149. Reglamentación de la Ley N° 8973 de adhesión a la Ley Nacional 24.051 de "Residuos Peligrosos", Agencia Córdoba Ambiente, Gobierno de Córdoba, Argentina.
14. [14] Vamsi Vikram Gande, Shilpa Vats, Nirav Bhatt, S. Pushpavanam (2021). Sequential recovery of metals from waste printed circuit boards using a zero-discharge hydrometallurgical process. Cleaner Engineering and Technology 4 (2021) 100143.
15. [15] Manis Kumar Jha, Pankaj Choubey, Archana Kumari, Rakesh Kumar, Vinay Kumar, Jae-chun Lee (2011). Leaching of lead from solder material used in Electrical and electronic equipment. Recycling of Electronic Waste II, Proceeding the Second Symposium, TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), Edited by Lifeng Zhang and Gregory K. Krumdick, 2011.
16. [16] M. Ranitović, Ž. Kamberović, M. Korać, N. Jovanović, A. Mihjalović (2016). Hydrometallurgical recovery of tin and lead from waste printed circuit boards (wpcbs): Limitations and opportunities. ISSN 0543-5846. METABK 55(2) 153-156 (2016). UDC – UDK 669.2/8.:669.48:669.6.4=111.
17. [17] Biserka Lucheva et al. (2011). Recycling of lead solder dross, generated from PCB manufacturing. The Journal of the Minerals, Metals & Material Society. DOI:10.1007/s11837-011-0130-2.
18. [18] Bar Solder Drossing Characteristics and Wave Contamination. AIM Global Solder Solution. Recuperado el 21 de junio de 2022. <https://aimsolder.com/technical-articles/bar-solder-drossing-characteristics-and-wave-contaminat>.

Proyecto final – Ingeniería Metalúrgica

19. [19] Air Products and Chemicals, Inc. website cost of ownership study: Recuperado el 21 de junio de 2022. <http://www.airproducts.com/electronics/microelectronics/matrox.htm>.
20. [20] Organización Mundial de la salud <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health#:~:text=Si%20el%20grado%20de%20exposici%C3%B3n,intelectual%20o%20trastornos%20del%20comportamiento>.
21. [21] Juan José Hernández Rodríguez. Sustitución de la aleación Sn/Pb por una aleación libre de plomo en fabricación de circuito impreso.
22. [22] DIRECTIVA 2011/65/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. “Sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos”. Año 2011.
23. [23] ASM International. Metal Hand Book, Volumen 3, “Alloy Phase Diagrams”.
24. [24] ASM International. Metal Hand Book, Volumen 6, “Welding, Brazing and Soldering”.
25. [25] José Apraiz Barreiro. Tratamiento térmico de los aceros. Edición 1974.
26. [26] <https://www.hcdn.gob.ar/proyectos/proyecto.jsp?exp=4360-D-2014>
27. [27] [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual\\_raee.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_raee.pdf)
28. [28] <http://todoferreteria.com.mx/aleaciones-del-material-de-relleno-para-soldaduras/>
29. [29] [http://www.innovator.com.pl/es/aleacion\\_metalica/aleaciones\\_para\\_soldar/#:~:text=La%20aleaci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20corriente%20es,%20atimonio%20esta%C3%B1o%20cinc](http://www.innovator.com.pl/es/aleacion_metalica/aleaciones_para_soldar/#:~:text=La%20aleaci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20corriente%20es,%20atimonio%20esta%C3%B1o%20cinc).



Anexo

Fecha:06/09/2022

**SOLICITUD DE TEMA DE TRABAJO FINAL DE GRADO**

Sr. Director de Departamento:

Me dirijo a Ud. a fin de solicitar la aprobación del tema de TRABAJO FINAL que propongo a continuación:

**TEMA:**

Nombre: "RECICLADO DE ALEACIONES Sn-Pb A PARTIR DE ESCORIAS PROVENIENTES DEL PROCESO DE SOLDADURA DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESOS"

Descripción: (agregar Apéndice con descripción técnica detallada, diagrama de bloques y otros datos que permitan una interpretación completa del tema a desarrollar)

**Tutor de Trabajo Final:**(si el trabajo cuenta con dos o más tutores, repetir este formulario de datos).

Nombre: Cantero Santiago Marcelo

Cargo: Ayudante primera

Dirección Personal o Laboral: Corriente 68

Tel: 3541651478 e-mail: santiagomcantero@hotmail.com

Firma del Tutor:

**Datos del Alumno:**(si el trabajo es realizado por dos alumnos, repetir este formulario de datos).

Nombre y Apellido: Mayorga, Guillermo

Carrera: Ingeniería Metalúrgica

Matrícula:

Materias que faltan aprobar: -

Dirección: -

Localidad: Córdoba Provincia: Córdoba

Tel: 3513850970 e-mail:

Firma del Alumno: .....

**Datos del Alumno:**(si el trabajo es realizado por dos alumnos, repetir este formulario de datos).

Nombre y Apellido: Gorod, Federico

Carrera: Ingeniería Metalúrgica

Matrícula:

Materias que faltan aprobar: -

Dirección: Virrey del Campo 4314

Localidad: Córdoba Provincia: Córdoba

Tel: 35152804015 e-mail:

Firma del Alumno: .....



**Anexo II**

**Fecha: 21/09/2022**

**TRIBUNAL DE ACEPTACIÓN DE TEMA PARA EL DESARROLLO DE TRABAJO FINAL DE GRADO**

**Tema:** “Simulación de durezas en cilindros teniendo en cuenta sus curvas de enfriamientos y análisis químico”

**Integrantes:**

- 1 Presidente: Suarez Diego
- 2 Integrante: Sanchez Leandro
- 3 Integrante: Peveri Ismael

*Sr. Profesor*

De mi mayor consideración:

Me dirijo a Ud. con la finalidad de solicitarle analice la descripción del tema de trabajo final de grado propuesto por el alumno: Jimenez Esteban Samuel y Vaccarello Fernando Ezequiel

De acuerdo al sistema vigente, como integrante del tribunal, deberá **analizar** el tema propuesto para su **aceptación, rechazo y/o realización de observaciones**, de acuerdo al Anexo III.

La aprobación del tema propuesto es requisito imprescindible, para que los alumnos puedan dar inicio a su trabajo final, de manera que agradeceré devolver su opinión dentro de los próximos **7 (siete) días**.

Asimismo de acuerdo a lo establecido en el reglamento vigente:

5.a) - El tema del trabajo final de grado será de elección del alumno y podrá pertenecer a cualquiera de las áreas de la profesión a la cual se postula.

5.b) – En cuanto a su originalidad y antecedentes, el tema podrá ser:

- Parte integrante de un desarrollo más complejo, para ser continuado o completado en el futuro, o como continuador de otra u otras Trabajos Finales desarrollados anteriormente.
- Original y desarrollado integralmente, sin dejar previsto futuras ampliaciones

5.c) - Se define como “original” al realizado por el alumno (no es un plagio). Esto es, cuando no existe otro de las mismas características entre los trabajos finales ya realizados. Por lo tanto, podrán proponerse también, trabajos finales con temas ya realizados, siempre y cuando se propongan nuevos enfoques, o técnicas o aplicaciones respecto a los anteriores (aplicación de nuevas tecnologías, nuevos métodos, profundización de algún tema desarrollado anteriormente, etc.).

Sin otro particular, saludo a Ud. muy atentamente.

Director de Departamento: .....



**Anexo III**

**Fecha: 11/10/2022**

**INFORME DE ACEPTACIÓN DE TEMA PARA TRABAJO FINAL DE GRADO**

**Título del trabajo:** "RECICLADO DE ALEACIONES Sn-Pb A PARTIR DE ESCORIAS PROVENIENTES DEL PROCESO DE SOLDADURA DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESOS"

- El tema puede aceptarse en su forma actual sin modificaciones.
- El tema puede aceptarse, pero el/los alumno/s debería/n considerar las correcciones sugeridas.
- Rechazar.

**Observaciones: Tema aceptado sin modificaciones**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Firma del Titular





**Anexo IV**

**Fecha:11/01/2022**

**PRESENTACIÓN DEL INFORME DEL TRABAJO FINAL DE GRADO**

Sr. Director Departamento

De mi consideración:

Habiendo finalizado la confección del informe de mi trabajo final de grado, me dirijo a Ud. a fin de solicitar la evaluación del mismo, de acuerdo al artículo. 10.b) del "REGLAMENTO GENERAL DE TRABAJO FINAL DE GRADO".

Firma del Alumno: .....

Firma del Alumno: .....

Visto Bueno:

Firma del Tutor: .....



Anexo V

Fecha: 16/01/2022

**SOLICITUD DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE GRADO**

**Tema:** “RECICLADO DE ALEACIONES Sn-Pb A PARTIR DE ESCORIAS PROVENIENTES DEL PROCESO DE SOLDADURA DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESOS”

**Alumno/s:** Mayorga, Guillermo - Gorod, Federico

**Integrantes del Tribunal:**

- 1- Presidente de la Mesa: Sanchez Leandro
- 2- Integrante de la Mesa: Suarez, Diego
- 3- Integrante de la Mesa: Cesar, Roure

Sr. Profesor

De mi mayor consideración:

Me dirijo a usted con el fin de acercarle la copia del presente trabajo final de grado. De acuerdo a la reglamentación, como integrante de la Mesa, deberá corregir el trabajo realizando las observaciones pertinentes y confeccionando un informe de acuerdo al formulario adjunto. El tiempo establecido para la corrección es de **quince (15) días**, transcurrido el mismo se deberá devolver el informe con la correspondiente evaluación (Anexo VI).

Asimismo, solicito me indique su disponibilidad de horarios para combinar la realización del examen final.

Sin otro particular, saludo a Ud. muy atentamente.

Director de Departamento .....





**Anexo VI**

**Fecha:30/01/2022**

**INFORME DE ACEPTACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE GRADO**

**Título del Trabajo:** “Simulación de durezas en cilindros teniendo en cuenta sus curvas de enfriamientos y análisis químico”

- El trabajo debe aceptarse en su forma actual sin modificaciones.
- El trabajo debe aceptarse pero el/los autor/es deberá/n considerar las correcciones opcionales sugeridas.
- Rechazar.

**Observaciones: S/N**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

\_\_\_\_\_  
Presidente Mesa  
Firma

\_\_\_\_\_  
2º Integrante Mesa  
Firma

\_\_\_\_\_  
3º Integrante Mesa  
Firma

Horarios disponibles para el examen: 03/02/2023 17:50 hs .....

.....

.....