



FACULTAD DE  
CIENCIAS EXACTAS  
UNICEN

# La Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Certifica que **Carina Morando DNI: 21831333** se ha desempeñado como tallerista en el proyecto de extensión **“Prácticas Profesionalizantes y Vocacionales para escuelas de educación secundaria 2023”** aprobado por RCA nº 366/23

Tandil, 18 de diciembre de 2023

Ing. José Marone  
Secretario de Extensión  
Facultad de Ciencias Exactas

# Análisis cualitativo de componentes electrónicos de Placas de Circuito Impreso (PCB)

Flores Medrano A<sup>1</sup>, Laborde S<sup>1</sup>, Morando C<sup>1 2 3</sup>, Fornaro O<sup>1 2 3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Física de Materiales Tandil (IFIMAT)

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN)

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) están compuestos por diversas partes y componentes diferentes, como piezas mecánicas, carcásas, plaquetas de circuitos, cables, cartuchos de impresión, diversos fluidos como los cristales líquidos de las pantallas LCD, etc. En esta categoría están comprendidos los electrodomésticos hogareños como celulares, computadoras de escritorio o portátiles, entre muchos más. Cuando un AEE cumple su ciclo de vida, se daña o se desecha por la aparición de nuevas tecnologías, el usuario lo descarta y se convierte en un Residuo de Aparato Eléctrico y Electrónico (RAEE). El incremento poblacional ha impactado en la generación de residuos, y los RAEE son los que más cambios han sufrido en los últimos años debido a la masificación de su consumo y la adopción de un modo de consumo no sustentable, llegando a alcanzar 50 millones de toneladas métricas a nivel mundial en el 2018 [1].

La basura electrónica es difícil de separar, clasificar y revalorizar. Si bien cada categoría de aparato electrónico tiene una amplia gama de materiales que los componen, se puede considerar la predominancia de materiales como metales, plásticos y vidrios activados. Los plásticos suelen ser recuperados y reciclados mediante procesos físicos y químicos. Algunos metales que son imprescindibles para cumplir funciones específicas en los equipos, se encuentran en una mínima cantidad porcentual si lo consideramos en peso relativo a la cantidad total de residuos y por el momento no cuentan con ningún tratamiento de recuperación. Otro grupo de aparatos cuentan con elementos tóxicos y peligrosos, como las heladeras, televisores y celulares. Estos, se desmantelan para aprovechar la fracción reciclabl, y el restante simplemente es almacenado para evitar que estos elementos reaccionen con el agua, la materia orgánica y otros elementos. Un ejemplo de la fracción que no se recicla son las plaquetas de circuito impresas (PCB), que representan un 3 % del total de la basura electrónica [2]. Sobre estas placas son montados los componentes electrónicos como resistencias, capacitores, circuitos integrados e inductores, y por lo tanto contienen la mayoría de la fracción metálica de los RAEE en distintas formas, como cobre (Cu), semiconductores como el silicio (Si), germanio (Ge), galio (Ga) hasta los metales del grupo platino como la plata (Ag), oro (Au) y paladio (Pd), entre otros.

Con respecto a los RAEE en general, no hay una normativa específica ni articulación estatal de los actores involucrados en su gestión integral y solo unos pocos municipios cuentan con ordenanzas específicas de recolección y tratamiento diferenciado. Por lo tanto, es de esperarse que las plaquetas de circuito impresas no cuenten con estudios sobre su tasa de descarte ni antecedentes que evalúen la profundidad de las problemáticas que las rodean.

El objetivo de este trabajo es obtener una estimación de la cantidad cuali y cuantitativa de los elementos contenidos en los desechos de las plaquetas electrónicas para llegar a establecer mecanismos de recuperación, manipulación y separación apropiada.

1. Maurice, A. A., Dinh, K. N., Charpentier, N. M., Brambilla, A., Gabriel, J. C. P., (2021) Dismantling of Printed Circuit Boards enabling electronic components sorting and their subsequent treatment open improved sustainability opportunities.
2. Bernardes, A., Bohlinger, I., Rodriguez, D., Mirbrandt, H., Wuth, W., (1997) Recycling of Printed Circuit Boards by Melting with Oxidising/Reducing Top Blowing Process. TMS Annual Meeting. Orlando.

# Caracterización del producto de molienda de plaquetas electrónicas (PCB) para su revalorización y aprovechamiento sostenible

Laborde S<sup>1</sup>, Morando C<sup>1 3 4</sup>, D'angelo C<sup>2 3 5</sup>, Fornaro O<sup>1 3 4</sup>

<sup>1</sup> *Instituto de Física de Materiales Tandil (IFIMAT)*

<sup>2</sup> *Instituto de Física Arroyo Seco (IFAS)*

<sup>3</sup> *Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN)*

<sup>4</sup> *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)*

<sup>5</sup> *Comisión de Investigaciones Científicas (CIC)*

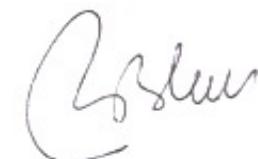
El manejo de los residuos sólidos a nivel mundial plantea desafíos significativos desde el punto de vista ambiental, social y económico. El crecimiento constante de la población, y por lo tanto del consumo y producción, han llevado a un considerable incremento en la generación de residuos. Dentro de los residuos sólidos que poseen un aumento más significativo en la generación a nivel mundial se encuentran los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) [1]. La inadecuada gestión de los RAEE puede tener impactos ambientales negativos, incluyendo riesgos para la salud pública. Por otro lado, recuperar algunos metales presentes en los residuos podría ayudar a reducir la cantidad de materiales efectivamente extraídos de la tierra, disminuyendo el impacto negativo de la explotación minera, como el alto consumo de recursos no renovables, tanto minerales como de agua necesaria para esa industria. [2]. Para abordar estos desafíos, se requiere un enfoque integral y sostenible que incluya políticas efectivas, inversiones en infraestructura, promoción de prácticas de reducción, reutilización y reciclaje, así como la participación activa de la sociedad. Particularmente, las placas de circuito impreso (PCB) presentes en los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) son una preocupación significativa debido a su composición y potencial impacto en la salud humana y el medio ambiente, ya que por un lado contienen una variedad de materiales tóxicos, como metales pesados y sustancias químicas peligrosas, mientras que además contienen materiales reciclables y potencialmente reutilizables [3]. En este contexto, es crucial implementar técnicas analíticas y de laboratorio que permitan conocer efectivamente la composición de los distintos materiales presentes, para proceder a la separación eficiente de los diferentes componentes poliméricos y metálicos de las placas electrónicas para su reincisión en el mercado o su adecuado tratamiento y deposición final. El objetivo principal de este trabajo es determinar la composición de la molienda de las PCB procedentes del descarte de AEE, luego de haber sido removidos sus componentes electrónicos, para generar procedimientos de recuperación y encontrar aplicaciones prácticas para estos materiales.

1. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación (2020). Manual: Gestión Integral de RAEE. Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, una fuente de trabajo decente para avanzar hacia la economía circular (1a ed).
2. Fernández Protomastro, G. (2013). Minería urbana y la gestión de los residuos electrónicos. Buenos Aires: Ediciones Isalud.
3. Carina Morando, Osvaldo Fornaro. "Las 5R de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEEs)", 106a Reunión Nacional de Física RAFA, Córdoba, Argentina.

*Por cuanto **Fornaro, Osvaldo** participó en calidad de **ponente** de las **II Jornadas Internacionales de Investigación y Acción sobre Residuos**, realizadas entre el 24 y el 27 de abril del 2024 en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, en la ciudad de Tandil, emitimos el presente certificado*



Dra. Mariana Saidón  
Coordinadora de RIAR



Dra. Mónica Blanco  
Decana de la Facultad de Ciencias Humanas



## Caracterización y evaluación de materiales descartados en la industria eléctrica y electrónica

Agostina Flores Medrano, Salomé Laborde, Carina Morando, Osvaldo Fornaro

### Resumen:

- Caracterización del producto de molienda de plaquetas electrónicas (PCB) descartadas como residuos (RAEEs)
- Determinación de la composición de componentes electrónicos de las placas de circuito impreso.

# RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)



Aparatos de alumbrado



Grandes  
electrodomésticos



Pequeños  
electrodomésticos



Equipos informáticos y de  
telecomunicaciones



Aparatos de bajo  
consumo



Aparatos de vigilancia y  
control



Aparatos médicos



Herramientas eléctricas  
y electrónicas



Juguetes y equipos de  
tiempo libre



Máquinas expendedoras

Datos:



# Trabajo en Territorio: RECOLECCIÓN DE DATOS



Cooperativa para la Revalorización de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (COOPRAEE)



## Objetivos

- Estimar una tasa de acumulación.
- Definir porcentajes de tipo, procedencia y componentes electrónicos.
- Aproximar las dimensiones acumuladas: peso y volumen.

## Metodología

- Contabilización de bolsones:
- Muestreo sistemático.
- Pesaje y medición de volumen.

## Análisis fisicoquímico de PLAQUETAS DE CIRCUITO IMPRESO (PCB)



### Polímeros termoestables:

- Baquelita
- Pertinax
- Resinas de vidrio reforzadas

### Componentes electrónicos:

- Capacitores
- Resistencias
- Semiconductores
- Inductores



Se detectan metales pesados: **Plomo, Arsénico, Cadmio, etc.**





## RESULTADOS

18.733 plaquetas - 2,25 toneladas

De los cuales:

- 3% Telecomunicaciones
- 35% Informática
- 10% Línea Blanca
- 52% Audio y video

Se proyectan  
2,53 toneladas  
para el 2030

Componentes electrónicos:

- 9,5% Inductores
- 35,7% Capacitores
- 30,5% Resistencias
- 24,3% Semiconductores

# Recuperación del Cobre de Plaquetas de Circuito Impreso

Flores Medrano Agostina<sup>1</sup>, Laborde Salomé<sup>1</sup>, Morando Carina<sup>2,3</sup>, Fornaro Osvaldo<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Cs. Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN), Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup> Instituto de Física de Materiales Tandil, Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

e-mail: afloresmedrano@alumnos.exa.unicen.edu.ar



## Resumen

Las Plaquetas de Circuito Impreso (PCB: Printed Circuit Board) son plataformas utilizadas en la fabricación de los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE), etc. En Argentina, las PCB descartadas se almacenan para evitar que sus componentes peligrosos (Hg, Cd, Pb) reaccionen con el medio ambiente y no cuentan con un sistema de disposición y tratamiento correcto.

## Objetivo

Recuperar el Cu de las PCB acopiadas en la Cooperativa para la Revalorización de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (COOPRAEE) de la ciudad de Tandil, Provincia de Buenos Aires.

## Metodología

Toma de muestras → Se realizó un muestreo de 98 plaquetas de la estación Centro del Punto Limpio separadas en dos grupos de acuerdo al proceso de montaje de componentes; el grupo SMT (Tecnología de Montaje Superficial) y el grupo THT (Tecnología de Agujeros Pasantes)

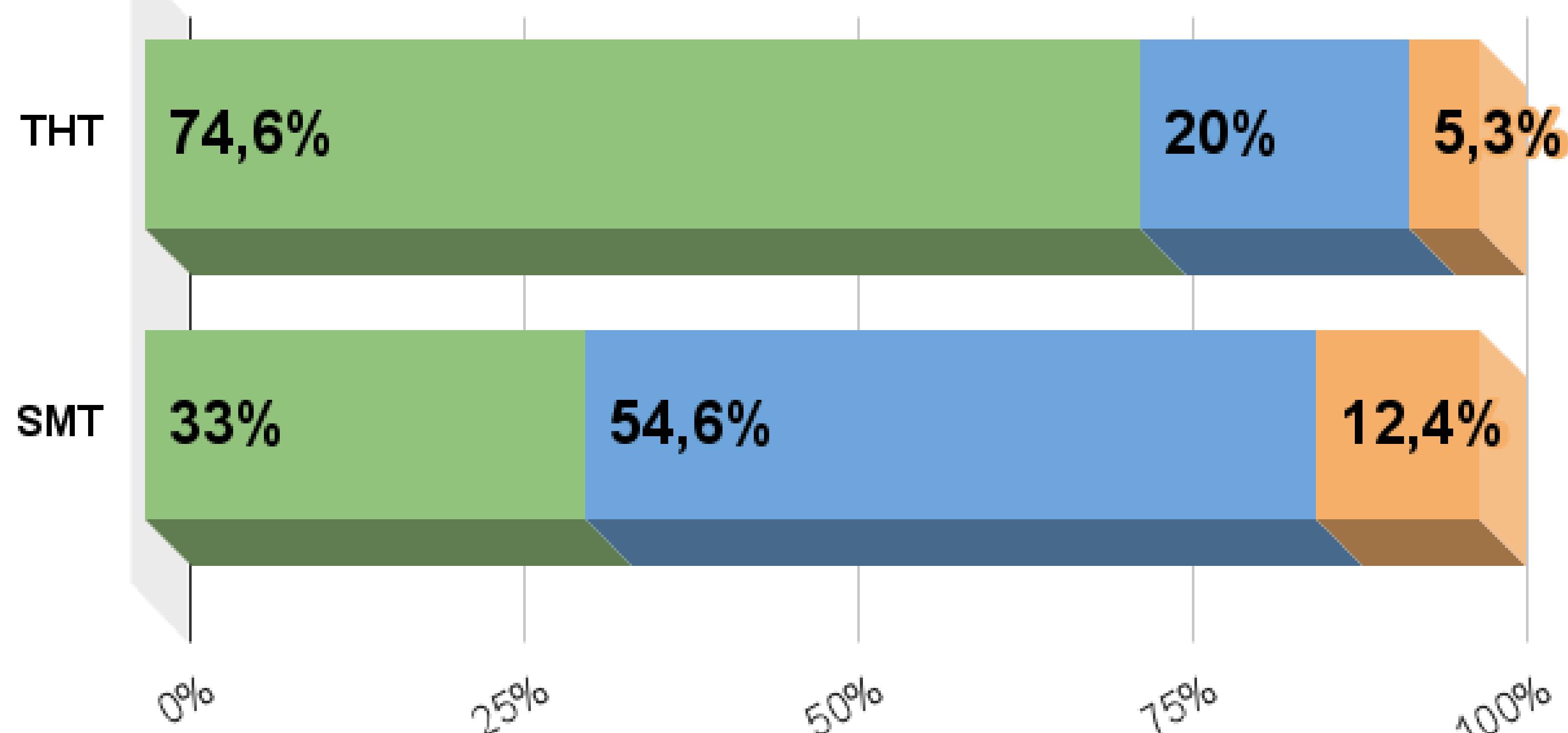
Tipo de tecnología	Tamaño de la muestra	Peso total del grupo (kg)
THT	74	8,88
SMT	24	8,74



Extracción de Cu → Se retiraron manualmente y con una prensa de identación por cillazadura los inductores de las PCB para luego extraer el Cu

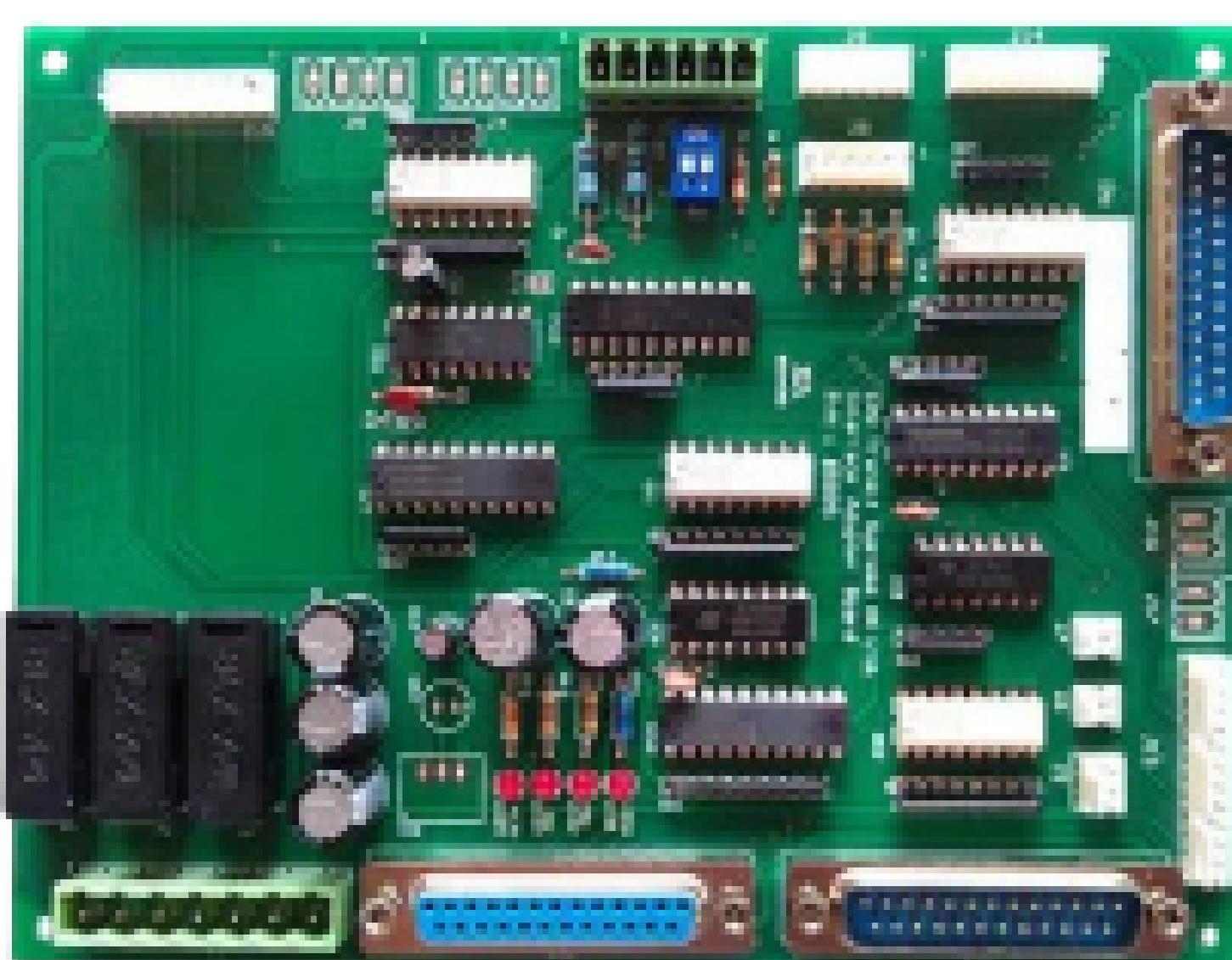


■ Otros ■ Inductores ■ Chatarra de Cu



\*Los porcentajes representan peso en kilogramos

## Plaquetas de Circuito Impreso (PCB)



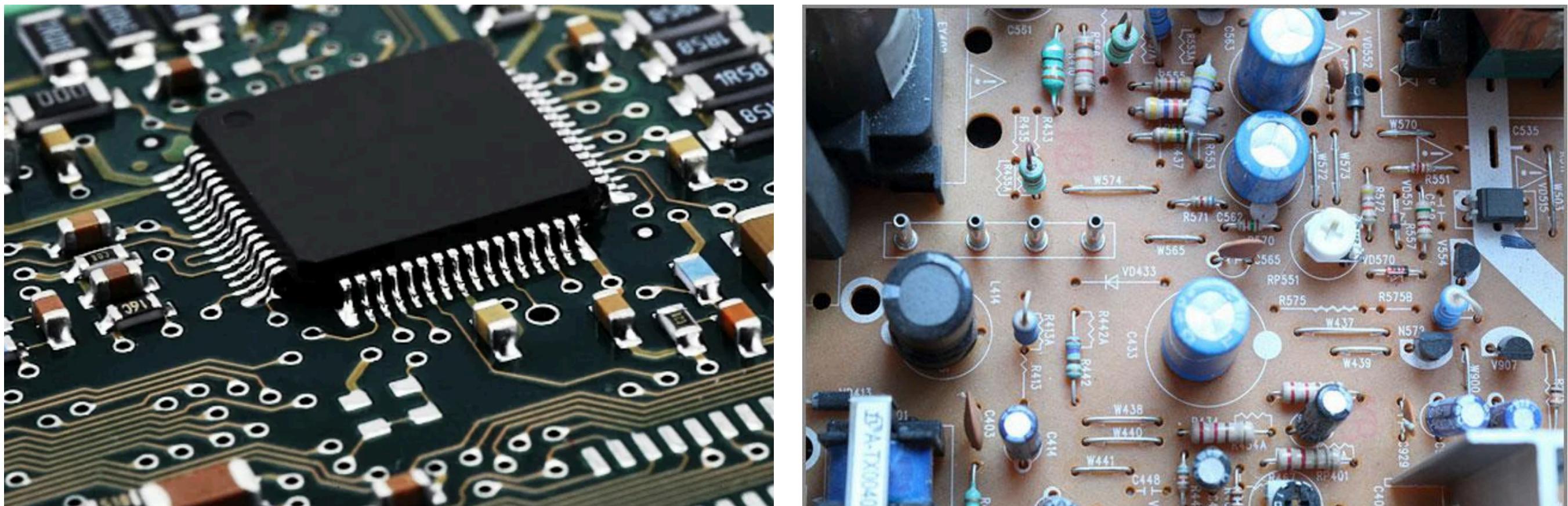
Son plataformas donde se montan los componentes electrónicos: capacitors, resistencias, inductores, etc.



### Se subdividen en dos grupos:

Tecnología **SMT**

Tecnología **THT**



### Inductores

Consiste en un hilo de Cu arrollado sobre un núcleo no magnético: plástico, cerámico o materiales ferromagnéticos. Se suele usar Cu debido a su alta conductividad eléctrica.

## Resultados

→ La tecnología SMT contiene componentes más pesados, ocupan más de la mitad (54,6%) del peso total del grupo. Esto es sólo un 20% para THT.

→ Del total de plaquetas descartadas, un 12,4% de su peso corresponde a Cu recuperable para la tecnología SMT y un 5,3%, para la THT

→ Hasta Noviembre del 2022, se acumularon en la cooperativa 2,25 toneladas de PCB (Flores Medrano, 2023). Con estos datos se estima que hay un total de **156kg de Cu chatarra recuperable**.

## Agradecimientos

- Cooperativa para la Revalorización de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (COOPRAEE): Ing. Sebastián Barbieri
- Técn. Emanuel Portalez - Instituto de Física de Materiales Tandil (IFIMAT)

# Análisis de elementos presentes en las resistencias de Plaquetas de Circuito Impreso (PCB) mediante Espectroscopía de Plasma Inducido por Láser (LIBS)

Flor Medrano Agostina<sup>1</sup>, Morando Carina<sup>1 2 3</sup>, D'angelo Cristian<sup>4 2 5</sup>, Fornaro Osvaldo<sup>1 2 3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Física de Materiales Tandil (IFIMAT)

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN)

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

<sup>4</sup> Instituto de Física Arroyo Seco (IFAS)

<sup>5</sup> Comisión de Investigaciones Científicas (CIC)

Los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) están presentes en la mayoría de nuestras actividades diarias y están compuestos por diversos componentes (cables, carcasa, plaquetas electrónicas, etc.). Cuando un AEE cumple su ciclo de vida, se daña o se desecha por la aparición de nuevas tecnologías, se descarta y se convierte en un Residuo de Aparato Eléctrico y Electrónico (RAEE). La generación de RAEEs ha aumentado en los últimos años debido a la masificación del consumo de tecnología y un modo de consumo no sustentable, alcanzando 50 millones de toneladas métricas a nivel mundial en el 2018 [1].

En los RAEEs están presentes una variedad de materiales como metales, plásticos y vidrios activados. Los plásticos son recuperados y reciclados mediante procesos físicos y químicos. En cambio los metales (Pb, Cu, etc) no cuentan con tratamientos de recuperación específicos. La mayoría de los RAEEs son descartados inadecuadamente y sólo una parte es procesada o revalorizada. Una disposición inapropiada de estos residuos puede causar contaminación en suelos y aguas poniendo en riesgo la salud humana y el medio ambiente. Las plaquetas de circuito impreso (PCB) forman parte de los RAEEs que no son reciclados ni reutilizados. En las PCB se pueden encontrar metales pesados tóxicos (como Cr, Pb, y otros) así como metales valiosos (Au, Ag, Pt, etc.) o también sustancias orgánicas tóxicas (como los componentes bromados, HAPs) [2,3]. El contenido de metales en las PCB y su recuperación ha sido objeto de estudio en numerosos países demostrando beneficios económicos, sociales y ambientales [4-7]. En Argentina, por el momento, este tipo de residuo no cuenta con un proceso de revalorización ni de recuperación.

Sobre las PCBs se montan los componentes electrónicos pasivos, como resistencias, capacitores e inductores o activos como transistores y circuitos integrados, que forman parte de los circuitos electrónicos. Las resistencias (o resistores) son elementos comunes que se fabrican a partir de materiales conductores, como alambres o grafito. El objetivo de este trabajo es caracterizar la composición de la molienda de resistencias provenientes de plaquetas electrónicas mediante la técnica de Espectroscopía de Plasma Inducido por Láser (LIBS: Laser Induced Breakdown Spectroscopy) para llegar a establecer mecanismos de recuperación, manipulación y separación apropiada. Mediante esta técnica se han identificado los elementos: Fe, Sn, Si, Al, Cr, V, Ti, Cu y Ca presentes en las PCBs.

[1] Maurice, A. A., Dinh, K. N., Charpentier, N. M., Brambilla, A., Gabriel, J. C. P., (2021) Dismantling of Printed Circuit Boards enabling electronic components sorting and their subsequent treatment open improved sustainability opportunities.

- [2] Bizzo, W.A., Figueiredo, R.A., de Andrade, V.F., (2014) Characterization of Printed Circuit Boards for Metal and Energy Recovery after Milling and Mechanical Separation. *Materials* (Basel).
- [3] Peng, Z., Wang, J., Zhang, X., Yan, J., Shang, W., Yu, J., Zhu, G., Rao, M., Li, G., Jiang, T. (2022) Enrichment of Heavy Metals from Spent Printed Circuit Boards by Microwave Pyrolysis. *Waste Management*.
- [4] Wang, J.; Xu, Z. (2015) Disposing and Recycling Waste Printed Circuit Boards: Disconnecting, Resource Recovery, and Pollution Control. *Environmental Science and Technology*.
- [5] Szałatkiewicz, J. (2014). Metals Content in Printed Circuit Board Waste. *Polish Journal of Environmental Studies*.
- [6] Ruhela, R., Iyer, N., Limje, C., Yadav, A., Yadav, M., Vartak, M., Bhattacharyya, D., Singh, D. (2024) Sustainable Recycling of Copper from Printed Circuit Boards with Iminodiacetamide Resin-Transformation from Electronic Scrap to Copper Oxide Nanoparticles
- [7] Blumbergs, E. , Shishkin, A., Markus, K. , Serga, V. , Goljandin, D., Klauson, A. , Abramovskis, V. , Baronins, J., Zarkov, A., Pankratov, V., (2024) Economical Aspects of the Mechanical Pre-treatment Role in the Precious Metals Recovery from Electronic Waste. *Metals. Sustainable Gold Production and Recycling*.

*"2024 - 30 años de la consagración constitucional de la autonomía y 75 aniversario de la gratuidad universitaria en Argentina"*

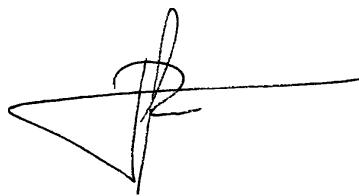
# UNRN

Universidad Nacional  
de **Río Negro**



CERTIFICA que el Trabajo: "Recuperación del Cobre de Plaquetas de Circuito Impreso", de autoría de: Agostina Flores Medrano, Salomé Laborde, Carina Morando y Osvaldo Fornaro, presentado en formato de póster ha ganado el **1º (primer)** puesto en su exposición el día jueves 7 de noviembre del 2024, en las **"IV Jornadas Internacionales y VI Nacionales de Ambiente. Las Ciencias Ambientales en un mundo en transición, diálogos transdisciplinarios por el bien común"**.

Jornadas realizadas del 6 al 8 de noviembre de 2024 en el Campus de la Sede Atlántica y en el Centro Municipal de Cultura de la ciudad de Viedma, Capital de la Provincia de Río Negro. Organizadas por la carrera Licenciatura en Ciencias del Ambiente de la UNRN. Aprobadas por Disposición ATL Nº 298/2024.



**Dr. Daniel Barrio**  
Vicerrector Sede Atlántica  
Universidad Nacional de Río Negro



**Dr. Diego Birochío**  
Director Licenciatura en Ciencias del Ambiente  
Universidad Nacional de Río Negro

**Caracterización de plaquetas de circuito impresas en Cooperativa para la Revalorización de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, Tandil (2017-2022)**

**Characterization of printed circuit boards in the Cooperative for the Revaluation of Electrical and Electronic Devices, Tandil (2017-2022)**

**Agostina Flores Medrano<sup>1</sup>**

**Salomé Laborde<sup>1</sup>**

**Carina Morando<sup>1, 2, 3</sup>**

**Osvaldo Fornaro<sup>1, 2, 3</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Física de Materiales Tandil (IFIMAT), Facultad de Cs. Exactas, UNCPBA

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN,-UNCPBA-CICPBA-CONICET), Pinto 399, B7000GHG Tandil,

Argentina

<sup>3</sup> CONICET.

E mail [afloresmedrano@alumnos.exa.unicen.edu.ar](mailto:afloresmedrano@alumnos.exa.unicen.edu.ar)

Medrano, A.F.; Laborde, S.; Morando, C.; Fornaro, O. (2024). Caracterización de plaquetas de circuito impresas en Cooperativa para la Revalorización de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, Tandil (2017-2022). *Revista Estudios Ambientales*, 12 (2), 189-200.

**Recibido: 31/07/2024 - Aceptado: 01/11/2024 – Publicado: 28/12/2024**

## **RESUMEN**

El aumento demográfico y la creciente tendencia al uso de tecnología electrónica incrementan los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Adicionalmente, se debe considerar otras formas insostenibles de consumo de tecnología. La Cooperativa de Revalorización de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (COOPRAEE) ubicada en la Estación Centro del Punto Limpio de la ciudad de Tandil, Provincia de Buenos Aires, recupera y repara equipos eléctricos y electrónicos, separando partes como repuestos y materiales para reciclar (plásticos, cables). El remanente, las Placas de Circuito Impreso (PCB), se almacenan protegidas de la intemperie, para evitar que sus componentes peligrosos reaccionen con el medio ambiente. Entre 2017 a 2022, se ha acumulado PCB sin gestionar, generando un problema de ocupación del espacio ocioso en la cooperativa. El objetivo de este trabajo fue obtener datos cualitativos y cuantitativos sobre los PCB acumulados y diseñar estrategias de recuperación y aprovechamiento de acuerdo a la información obtenida.

La metodología empleada incluye técnicas de muestreo estadístico sistemático, tomando como parámetros la tecnología de fabricación de las placas de circuito impreso (Tecnología Through Hole y Tecnología Surface Mount), y su geometría (peso, área superficial) y procedencia, para obtener una cuantificación de los componentes electrónicos presentes. Los datos indican que durante el periodo de estudio se acumularon aproximadamente 2,25 toneladas de PCBs, predominando la tecnología THT (90%), que es más antigua y requiere menor estabilidad electrónica (dispositivos de audio y video, línea blanca) sobre la tecnología SMT (10%) utilizada en informática, telefonía, comunicaciones. Teniendo en cuenta las tecnologías involucradas, los elementos pasivos como capacitores y resistencias fueron los componentes más abundantes con una proporción de 35% y 30% respectivamente, incluso superior al número de componentes activos.

**PALABRAS CLAVE:** RAEE, medio ambiente, gestión de residuos, economía circular.

#### **ABSTRACT**

*The demographic increase and growing use of electronic technology contribute to the rising volume of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), exacerbated by unsustainable consumption patterns. The Cooperative for the Revalorization of Electrical and Electronic Devices (COOPRAEE for its name in Spanish) in Tandil, Buenos Aires province, Argentina, recovers and repairs electrical and electronic equipment, separating reusable parts and materials for recycling, such as plastics and wires. Printed Circuit Boards (PCBs) are stored at the cooperative to prevent environmental contamination from their hazardous components. From 2017 to 2022, unmanaged PCB accumulation has led to space constraints at the cooperative. This study aimed to collect both qualitative and quantitative data on the accumulated PCBs to design recovery and utilization strategies. A systematic statistical sampling approach was used, considering PCB manufacturing technology (Through Hole Technology, THT, and Surface Mount Technology, SMT), geometry (weight and surface area), and origin to quantify the electronic components present. The results revealed that approximately 2.25 tons of PCBs were accumulated during the study period, with THT technology (90%) predominating. THT is typically older technology, used in audio/video equipment and white goods, while SMT (10%) is found in computing and communications devices. The most common components were passive elements, with capacitors (35%) and resistors (30%) outnumbering active components.*

**KEY WORDS:** WEEE, environment, waste management, circular economy.

## INTRODUCCION

El aumento en la generación de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) se ha dado tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo y se caracteriza principalmente por la falta de una responsabilidad extendida por parte del productor (REP). Esta responsabilidad involucra la gestión del aparato una vez que su vida útil ha finalizado y su ausencia genera como resultado un inadecuado tratamiento y disposición final del RAEE. Existe, también, una programación previa de la durabilidad del aparato para que su vida útil se acorte (obsolescencia programada) y una influencia ejercida del entorno para actualizar constantemente funciones y tecnologías novedosas (obsolescencia percibida).

La basura electrónica es difícil de separar, clasificar y revalorizar. Cuando se descarta un celular o un electrodoméstico junto a residuos urbanos, éste es recolectado sin ser diferenciado del resto y son enterrados en un relleno sanitario o basurero municipal. Si bien cada categoría de aparato electrónico tiene una amplia gama de materiales que los componen, los metales son imprescindibles para cumplir funciones específicas en los equipos: poseen una alta conductividad y son resistentes a la corrosión. Es decir, se entierran e incineran metales como cobre, estaño, oro, plata y diversos plásticos. Durante su vida útil no presentan peligro, éste se presenta cuando reaccionan con el agua, la materia orgánica y otros elementos. Por ejemplo, el plomo ha sido estudiado en medios acuáticos a lo largo de los años por su toxicidad en animales y plantas incluso a bajas concentraciones. Por lo que la disposición final y el tratamiento correcto de RAEE es de suma importancia para evitar estas problemáticas.

En Tandil, en el 2023, para asegurar una correcta disposición de este tipo de residuos entró en vigencia la Ordenanza N° 17899/2023 (Asunto N° 794/2022, Expte. N° 2022/08797/00) la cual establece que los Puntos Limpios designados por el Municipio serán los lugares autorizados para depositar estos residuos, prohibiendo su eliminación junto con los residuos sólidos urbanos. Es el caso de la Cooperativa para la Revalorización de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (COOPRAEE) que funciona desde el 2017 y trabaja conjuntamente con la Facultad de Ciencias Exactas y la Municipalidad de Tandil. El objetivo principal de esta cooperativa es recibir, recuperar y comercializar los RAEE. Cuando los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) descartados son ingresados, los trabajadores realizan una primera etapa de evaluación del estado y las condiciones del aparato. Generalmente, las computadoras y pequeños aparatos electrodomésticos son reparados y comercializados mientras que los que no se pueden reparar son desmantelados para aprovechar en primera instancia sus repuestos, mientras que sus partes no utilizables se almacenan en bolsones de rafia para su futuro tratamiento. Este es el caso de las Plaquetas de Circuito Impreso (PCB) (Figura 1).

*Las Plaquetas de Circuito Impreso (PCB)*  
Las PCB son plataformas donde se montan componentes electrónicos como *chips*, semiconductores y capacitores. Se componen de una base polimérica (generalmente epoxy o baquelita) donde se disponen las interconexiones eléctricas entre componentes, y las podemos encontrar en casi todos los AEE, como celulares, televisores y electrodomésticos.



**Figura 1.** PCB acopiadas en bolsones en la COOPRAEE (Noviembre, 2024).  
Fuente: elaboración propia.

Según la forma en que los componentes electrónicos se conectan a la PCB, se pueden distinguir dos tipos principales de tecnologías de montaje:

- Tecnología de agujeros pasantes (Through Hole Technology - THT): estas plaquetas cuentan con orificios a través de los cuales son colocados y soldados los componentes. Son plaquetas más frágiles y los componentes son reconocidos fácilmente por personal no técnico.
- Tecnología de Montaje Superficial (Surface Mount Technology - SMT): se diferencian de la tecnología de agujeros pasantes por contener componentes más pequeños y livianos que están soldados a la superficie de la

plaqueta. El reconocimiento de los componentes no es sencillo, al ser estos mucho más pequeños y frecuentemente con codificación propia de la empresa que los manufactura. Esta tecnología es más moderna e implica mayor densidad de integración de componentes.

En definitiva, las PCB están constituidas por numerosos metales, cerámicos y polímeros. El componente polimérico de la base es difícil de separar debido a que generalmente está mezclado con compuestos metálicos o cerámicos. Por otro lado, los metales aparecen formando parte de las secciones conductoras de las placas y de los componentes utilizados en su armado. Debido a lo mencionado anteriormente, para generar procedimientos de recuperación de las

PCB es primordial realizar un análisis previo sobre los elementos presentes en ella. La presencia de metales pesados, como el plomo, podría entorpecer los procesos de reciclaje, ya que se trata de un elemento potencialmente tóxico y peligroso.

La base de las PCB suele ser de polímeros termoestables como la baquelita, Pertinax o resinas de fibra de vidrio reforzadas, lo cual dificulta el reciclaje mediante calor. Para este tipo de polímeros el reciclaje mecánico es el más adecuado en donde se reduce el tamaño de los materiales mediante molinos trituradores.

La fracción metálica de las plaquetas proviene principalmente de los componentes electrónicos. Se destacan los metales refractarios (tantalio, niobio, wolframio), galio, los lantánidos, y los metales preciosos (plata, oro) que incluye a los del grupo del platino (paladio, radio, y más) (Maurice, 2021). En los últimos años se han desarrollado procesos de recuperación, como la lixiviación química, la pirometalurgia, entre otros.

La molienda obtenida a partir de las PCB, con una previa separación de componentes metálicos, podría utilizarse entre otras cosas en la producción de nuevos materiales de construcción y plásticos (Kumar, 2022). La fracción metálica de los componentes electrónicos podría recuperarse mediante procesos físico-químicos, una actividad conocida actualmente como minería urbana y que merece ser analizada separadamente debido a las posibles implicancias ambientales y laborales.

El objetivo de este trabajo es obtener una estimación cuali y cuantitativa de las PCB desechadas en la COOPRAEE de la ciudad de Tandil, a fin de establecer datos estadísticos que servirán de base para diseñar mecanismos de recuperación, manipulación y separación apropiada de manera tal de solucionar el problema de acumulación que se da actualmente. Para esto se buscó estimar una tasa de acumulación en la cooperativa, clasificar las PCB según la procedencia y el tipo de

tecnología utilizada y determinar la cantidad y tipo de componentes electrónicos que las conforman.

## METODOLOGÍA DE ESTUDIO

La población de estudio está constituida por las PCB de la COOPRAEE que se encontraban almacenadas desde enero del 2017 hasta noviembre del 2022, en bolsones apilados unos sobre otros. Los trabajadores de la cooperativa realizaron un acopio diferencial en base a la tecnología de fabricación (THT y SMT). Una de las dificultades al momento de seleccionar la metodología de estudio fue que durante su acopio no se registró el peso ni se tuvo en cuenta la variable tiempo en las instancias de ingreso de RAEE a la cooperativa. Es decir, no es posible calcular una tasa de acumulación real, aunque sí es posible estimar una tasa de acopio en base a la estructura de trabajo de los recuperadores. La metodología más adecuada para estos casos es la del muestreo probabilístico sistemático debido a varios factores:

- La población es muy grande y no se conoce su tamaño exacto: los trabajadores no llevaban un recuento de cantidad de PCB acopiadas.
- Para asegurar una distribución uniforme de la muestra ya que no existe un patrón de comportamiento de acumulación: las plaquetas se encontraban apiladas por los trabajadores de manera aleatoria; se retiraban de los RAEE a medida que éstos ingresaban a la estación.
- Se buscó simplicidad en la selección: debido al tamaño considerable de la población total no resultaba práctico en cuanto al tiempo que involucra realizar una caracterización completa.
- Al establecer un intervalo fijo predeterminado se reduce la

posibilidad de introducir sesgos por decisiones subjetivas.

*Tipo de tecnología*

Los bolsones contaban con 3 tamaños establecidos de fábrica y se clasificaron en chico, mediano y grande. La población total de la tecnología THT era de 1 bolsón chico, 8 bolsones medianos y 6 bolsones grandes. La población de la tecnología SMT sólo contaba con dos bolsones de tamaño mediano. Para ambas tecnologías

se tomó un bolsón de cada tamaño para realizar el muestreo y se denominaron con las letras A, B, C y D como se muestra en la Tabla 1. La selección de la muestra se realizó en intervalos de 8 unidades para el bolsón chico, 11 para el mediano y 14 para el grande. El tamaño de muestra para cada uno de ellos se estableció en 16, 24 y 30 respectivamente.

**Tabla 1:** Bolsones seleccionados para su estudio, indicando grupo, tipo y dimensiones de los bolsones y cantidad de plaquetas muestreadas

Bolsón	Tipo de tecnología	Tamaño de bolsón	Volumen de bolsón (m <sup>3</sup> )	Tamaño de muestra (n)
A	THT	chico	0,8	16
B		mediano	1,1	24
C		grande	1,6	30
D	SMT	mediano	1,1	24

Fuente: elaboración propia.

*Procedencia de las PCB*

Se clasificaron las PCB según su procedencia de acuerdo al tipo de electrodomésticos de los cuales se recuperaron en cuatro categorías: línea blanca, informática, audio/vídeo y telecomunicaciones. La línea blanca corresponde a electrodomésticos relacionados con la cocina, la limpieza, la ventilación y la refrigeración, como los hornos, heladeras, lavarropas, aires acondicionados, etc. La categoría de informática incluye notebooks, computadoras de escritorio y dispositivos como teclados, mouse, etc.; la categoría Audio/Video hace referencia a las provenientes de televisores, reproductores de CD/DVD, cámaras, entre otros; y finalmente, por telecomunicaciones, nos referimos a

aparatos como módem Wi-Fi, routers y decodificadores satelitales.

*Peso y superficie*

Se utilizaron cintas métricas y una balanza (Balanza Comercial Digital Systel Bumer) para medir las dimensiones de cada una de las plaquetas en gramos y centímetros cúbicos.

*Cantidad y proporción de componentes*

Se cuantificaron los siguientes componentes electrónicos: resistencias, capacitores, semiconductores e inductores. Además de establecer la cantidad de cada uno, también es de interés establecer su proporción. Esto se realizó solamente para el grupo THT debido a que se podía contar

manualmente y reconocer los distintos componentes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

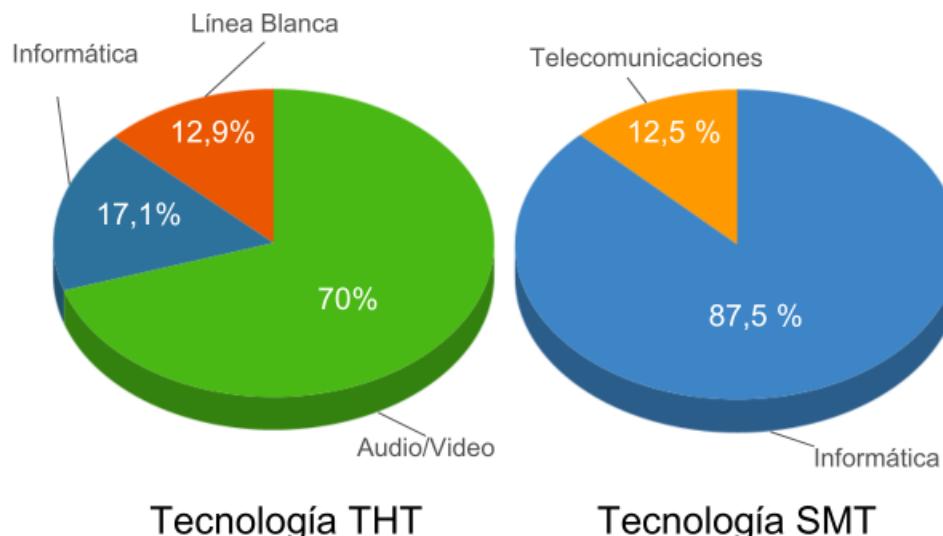
### Tipología de plaquetas

En la Tabla 2 se presentan las diferentes procedencias de las PCB según el tipo de electrodomésticos de los cuales se recuperaron:

**Tabla 2:** Cantidad y porcentaje de plaquetas por procedencia

Tipo de plaqueta	Cantidad	
	THT	SMT
Audio/Video	49	0
Línea Blanca	9	0
Informática	12	21
Telecomunicación	0	3

Fuente: elaboración propia.



**Figura 2.** Distribución porcentual de los distintos tipos de plaquetas.  
Fuente: elaboración propia.

El gráfico de torta de la Figura 2 muestra la distribución porcentual de cada categoría basada en los valores proporcionados por la Tabla 2. Para la tecnología THT, se observa una mayor cantidad (70%) de PCB provenientes de aparatos electrónicos descartados de

Audio/Video, seguido de los aparatos de Informática (17,1%) y de Línea Blanca (12,9%). En el caso de la tecnología SMT, la categoría de Informática ocupa la mayor parte (87,5%), seguido de Telecomunicaciones (12,5%).

Un aspecto fundamental a tener en cuenta del proceso de recuperación y reparación de RAEE que se da en la Estación Centro es el año de fabricación de los aparatos que se descartan. Es decir, es más probable que aparatos con tecnologías obsoletas no sean reparados por los trabajadores. Por ejemplo, electrodomésticos como heladeras antiguas, teléfonos fijos, reproductores de DVD, entre otros, pueden ser reparados y comercializados pero esto no se realiza debido a que la aparición de nuevas tecnologías ha provocado que este tipo de aparatos caigan en desuso. Esto es más notable en Informática y

Telecomunicaciones, donde se comienza a ver en las PCB descartadas el cambio gradual de las tecnologías de fabricación, tendiendo a la mayor densidad de componentes y el paso de montaje de THT a SMT.

#### *Peso y superficie*

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para el peso y la superficie de las PCB en ambos grupos THT y SMT. Se entiende el peso como la sumatoria de la pesada directa de cada PCB. La superficie es la medida simple del área ocupada, (es decir, no se considera la altura de las PCB):

**Tabla 3:** Peso y superficie total de las plaqetas de los grupos THT y SMT

Tipo de tecnología	Peso total (kg)	Superficie total (cm <sup>2</sup> )
THT	8.733	12.388
SMT	6.097	7.441

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 3, la acumulación en estos bolsones de tecnología THT cuenta con un 30% más de peso y un 40% más de superficie que la tecnología SMT. Nuevamente, debemos considerar que el tipo de tecnología acumulada, su antigüedad y la proveniencia de las mismas, afectan a estos valores. Es de esperar que en próximos años, aparezcan cada vez con mayor frecuencia dispositivos descartados, que hayan sido manufacturados con tecnología SMT.

#### *Componentes electrónicos*

Se analizó a continuación la población de componentes en el grupo THT. En cada placa, se separó, marcó y contabilizó cada tipo de componente. De este modo, se puede inferir qué cantidad de elementos pasivos y/o activos están presentes, sin considerar ni analizar el circuito electrónico en particular. Observar que de

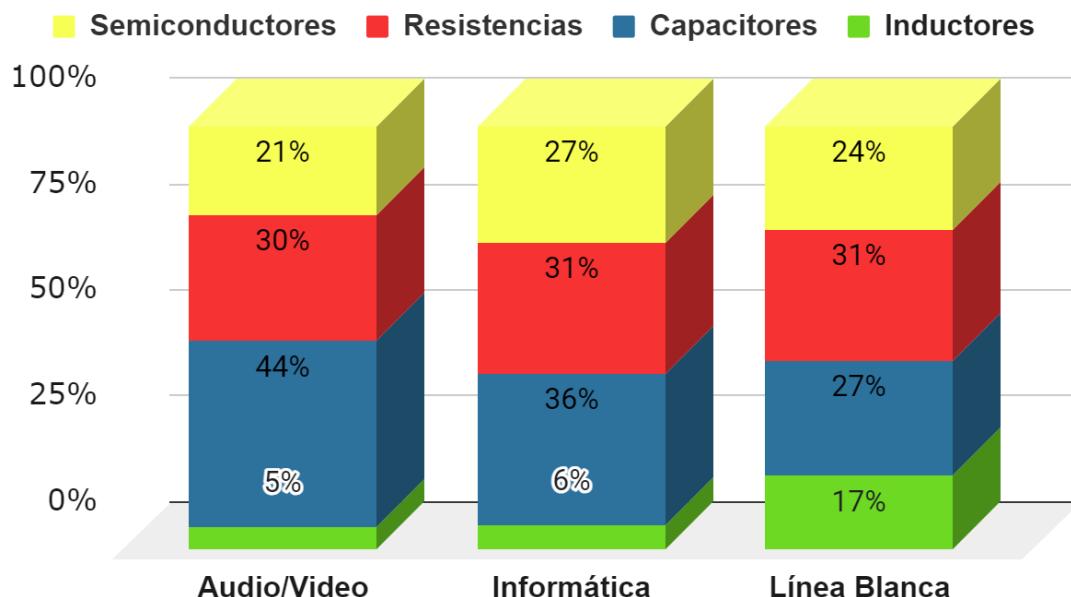
acuerdo a la Tabla 2, los dispositivos que componen este grupo corresponden a Audio/Video, Informática (compartido con la tecnología SMT) y Línea Blanca. Es decir, que se encuentra el despiece de televisores de tecnología mayormente de TRC (tubo de rayos catódicos), raramente plasmas o LCD, reproductores de audio mecánicos (casete y DVD), *motherboards* de Informática de primera generación y baja densidad de componentes, similarmente centrales de alarma y telefonía, y equipamiento pesado como controles electrónicos de heladeras/aire acondicionado/lavarropas.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se obtuvieron los datos que se presentan en la Tabla 4:

**Tabla 4:** Cantidad y proporción de componentes electrónicos de la tecnología THT

		Tipo de placa THT			<b>TOTAL</b>
		<b>Audio/Video</b>	<b>Informática</b>	<b>Línea Blanca</b>	
<b>CANTIDAD</b>	Inductores	210	75	43	328
	Capacitores	1810	467	67	2344
	Resistencias	1220	404	76	1700
	Semiconductores	864	358	60	1282
<b>PROPORCIÓN</b>	Inductores	5,12%	5,75%	17,48%	9,45%
	Capacitores	44,10%	35,81%	27,24%	35,72%
	Resistencias	29,73%	30,98%	30,89%	30,53%
	Semiconductores	21,05%	27,45%	24,39%	24,30%

Fuente: elaboración propia.



**Figura 3.** Proporción de componentes electrónicos en cada tipo de dispositivo.  
Fuente: elaboración propia.

En el gráfico de columnas de la Figura 3, realizado en base a los datos de la Tabla 4, se observó que los componentes más abundantes son los capacitores (35%), seguidos de las resistencias (30%) y los semiconductores (24%). Los inductores fueron los menos abundantes (9%). La

En el gráfico de columnas de la Figura 3, realizado en base a los datos de la Tabla

composición relativa de componentes es similar en todas las categorías, con sesgos debidos al tipo de diseño electrónico. Por ejemplo, en la línea blanca son habituales los inductores de filtro y grandes capacitores, debido a la mayor potencia eléctrica necesaria. La relación entre resistencias y semiconductores, es debido a los circuitos de polarización de los mismos, ya que mayormente son transistores, tiristores y diodos. Debido a la antigüedad de los RAEE, no hay una gran cantidad de circuitos integrados, sí presentes en Informática. El tipo y cantidades de los

componentes, junto con un posible análisis relativo a su composición química, será útil para establecer una gestión precisa de reutilización o disposición sin riesgos de los desechos.

#### Tasas de acopio

Teniendo en cuenta que al momento de realizar el muestreo utilizado en este trabajo, había en”, 1 bolsón tipo A, 8 bolsones B, 6 bolsones C y 2 del D, es posible estimar pesos y cantidades de PCB acumulados al momento de la recolección de los datos:

**Tabla 5:** Cantidad de plaquetas contabilizadas por bolsón y en total

Plaquetas	Bolsones				<b>TOTAL (kg)</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	
Cantidad estimada por bolsón	499 ± 1	953 ± 2	1.468 ± 9	901 ± 2	
Peso estimado por bolsón (kg)	105 ± 2	90 ± 1	160 ± 1	228 ± 2	
Cantidad estimada total	499 ± 1	7.624	8.808	1.802	18.733
Peso estimado total (kg)	105 ± 2	726,24	962,46	457,88	2.251,7

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 5 se resumen los resultados totales estimados. De acuerdo a ellos, en la COOPRAEE había, en noviembre de 2022, aproximadamente 2,25 toneladas de plaquetas electrónicas acopiadas de distintas tecnologías. Asumiendo que esta acumulación se dio de manera constante desde el 2017, se puede decir que se acumularon 0,45 toneladas por año, solamente en este lugar.

Teniendo en cuenta que en el último censo poblacional de la ciudad de Tandil, en el 2022 hubo un incremento de 17,5% respecto al censo de 2010, y tomando este aumento como un comportamiento lineal, podemos estimar que se dará un incremento de plaquetas de 6,5 kg/año. Es decir, para el 2030 contaremos con 2,53 toneladas de PCB en la COOPRAEE de Tandil. Este cálculo no tiene en cuenta la aceleración en el consumo de nuevas tecnologías, los procesos de recuperación

en marcha que podrían reducir dicho impacto, ni las posibles acciones tendientes a que la población deposite más efectivamente sus desechos electrónicos en la cooperativa.

#### *Tipo de tecnología*

La Tabla 6 contiene datos de la cantidad y porcentaje de PCB para cada tecnología. Para este cálculo se contabilizaron 15 bolsones de la tecnología THT y 2 de la tecnología SMT.

**Tabla 6:** Cantidad y porcentaje de plaquetas electrónicas según el tipo de tecnología

Tipo de tecnología	Cantidad	Porcentaje (%)
THT	16931	90,38%
SMT	1802	9,62%

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a estos valores, la tecnología THT es actualmente la más abundante (90%), sobre la SMT (10%) en los bolsones acopiados en la COOPRAEE. Estos valores irán cambiando con el avance de la tecnología de manufactura, y con el origen y tipo de los dispositivos que se comercialicen, ya que esto afecta también a la posible reutilización de los mismos, y por lo tanto a la cantidad de PCB descartadas.

## CONCLUSIONES

Este trabajo consistió en el muestreo de Plaquetas de Circuito Impreso (PCB) desechadas en la Cooperativa para la Revalorización de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (COOPRAEE) ubicada en la Estación Centro del Punto Limpio de Tandil, provenientes de Residuos de Aparato Eléctrico y Electrónico (RAEE) para la obtención de datos estadísticos que sean de utilidad para el desarrollo de un sistema de gestión integral.

En la COOPRAEE se acumularon aproximadamente 2,25 toneladas de plaquetas desde el año 2017 a 2022. De estas, la tecnología THT (Through Hole Technology) es la más frecuente y la mayoría proviene de aparatos electrónicos de Audio/Video. Si bien estas ocupan mayor parte del peso total de la muestra debido a su abundancia, son

caracterizadas por ser más pequeñas y livianas. En ellas, los capacitores y resistencias son los componentes electrónicos más abundantes. Conociendo el tipo y las cantidades de cada componente, junto con un análisis de su composición química, será útil para definir la reutilización y/o disposición sin riesgos de los desechos.

Este estudio resulta de suma importancia para determinar qué tipo de placa priorizar al momento de diagramar un sistema de gestión y recuperación de elementos presentes en ellas, así como también en la evaluación de costos y rentabilidad de un proyecto de tratamiento. Se buscó obtener una comprensión general de una problemática poco estudiada con el fin de orientar investigaciones futuras lideradas por los agentes adecuados.

Consolidar un sistema de información sobre problemáticas ambientales permite orientarnos en la toma de decisiones para desarrollar políticas integrales de gestión y tratamiento. Por lo tanto, obtener datos fehacientes es fundamental para desencadenar otros objetivos específicos como, por ejemplo, conocer la composición de metales del residuo y la fracción polimérica no reutilizable. Esto permitirá a futuro evaluar la posibilidad de generar un sistema de minería urbana a

partir de cooperativas o cualquier otro actor involucrado en la gestión. El objetivo siempre será asegurar una correcta disposición y gestión integral de este tipo de residuos. Es importante destacar que la información obtenida debe ser considerada al momento de la estimación, ya que las cantidades de RAEE cambia dinámicamente, así como la tecnología de los dispositivos eliminados.

El trabajo no considera factores como el patrón de acumulación ni el modelo de acopio que se utilizó por parte de la COOPRAEE. En cuanto a una propuesta de mejora, sería interesante, incorporar un sistema de control de acceso de los materiales que van integrándose a este depósito, es decir lo que es finalmente descartado, para completar la estadística.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bernardes, A., Bohlinger, I., Rodriguez, D., Mirbrandt, H., Wuth, W., (1997) Recycling of Printed Circuit Boards by Melting with Oxidising/Reducing Top Blowing Process. Proceedings of Sessions and Symposia Sponsored by the Extraction and Processing Division. TMS Annual Meeting, Orlando, Florida. pp. 363–375.
- Fernández Shepherd, L. (2022). Uso de residuos plásticos para el desarrollo de hormigones sostenibles. Proyecto final de grado. Universidad Nacional de Mar del Plata. <https://rinfo.fimdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/681/LFern%C3%A1ndezShepherd-TFG-IM-2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kumar, A., Choudhary, V., Khanna, R., Mukherjee, P. S., Cayumil, R., Ikram-ul-Haq, M., Jayasankar, K., Mishra, B. K., Sahajwalla, V., (2022). Polymer Composites Utilizing Electronic Waste as Reinforcing Fillers: Mechanical and Rheological Properties. Current Applied Polymer Science. <https://www.eurekaselect.com/article/79688>
- Maffei, L., Burucúa, A. (2020). Manual Gestión Integral de RAEE. Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, una fuente de trabajo decente para avanzar hacia la economía circular. (1a ed). Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual\\_raee.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_raee.pdf)
- Maurice, A. A., Dinh, K. N., Charpentier, N. M., Brambilla, A., Gabriel, J. C. P., (2021) Dismantling of Printed Circuit Boards enabling electronic components sorting and their subsequent treatment open improved sustainability opportunities. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/18/10357>



FACULTAD DE  
**CIENCIAS EXACTAS**  
UNICEN

# La Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Certifica que **Fornaro, Osvaldo** DNI: **17221071** se ha desempeñado como oferente en el proyecto de extensión **“Prácticas Profesionalizantes y Vocacionales para Escuelas de Educación Secundaria 2024”** aprobado por RCA nº 160/24

Tandil, 10 de diciembre de 2024

Ing. José Marone  
Secretario de Extensión  
Facultad de Ciencias Exactas



FACULTAD DE  
**CIENCIAS EXACTAS**  
UNICEN

# La Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Certifica que **Morando, Carina DNI: 21831333** se ha desempeñado como oferente en el proyecto de extensión **“Prácticas Profesionalizantes y Vocacionales para Escuelas de Educación Secundaria 2024”** aprobado por RCA nº 160/24

Tandil, 10 de diciembre de 2024

Ing. José Marone  
Secretario de Extensión  
Facultad de Ciencias Exactas

# Minería urbana: ¿mito o realidad?

Autores: Flores Medrano, Morando, D'Angelo, Fornaro

Unidad académica/dependencia: Fac. de Cs. Exactas

Contacto: afloresmedrano@alumnos.exa.unicen.edu.ar

2024

28/10  
al 1/11

Semana Extensión

Azul - Olavarría - Quequén - Tandil

## ¿Qué es?

Es un proceso de recuperación de metales valiosos y minerales de los residuos electrónicos y otros desechos sólidos urbanos.

## Oportunidad



## Beneficios

- Reducción de la extracción de recursos naturales
- Minimización de residuos electrónicos
- Generación de empleo local
- Ahorro de energía
- Impacto en desarrollo económico local

## En Tandil, ¿es posible?

¿Qué sucede en Tandil?



### Actores



### Desafíos

- Infraestructura adecuada
- Conciencia y regulación
- Mercado informal
- Complejidad técnica del proceso
- Mano de obra calificada

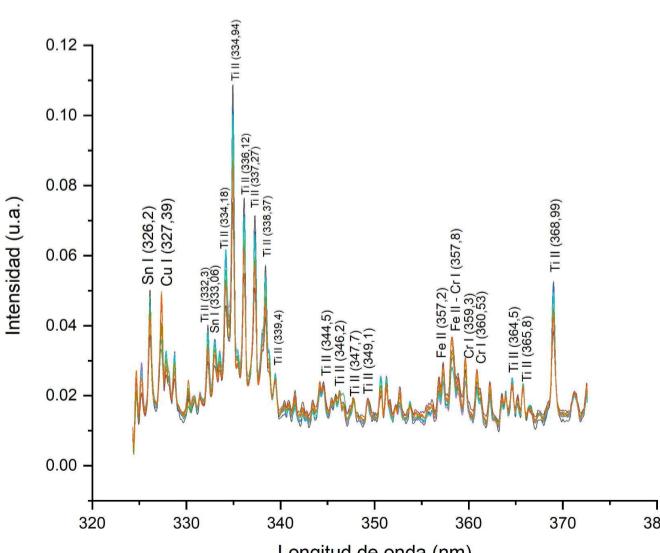
## ¿Cómo?

**PRIMEROS PASOS →** Análisis de elementos presentes en los componentes electrónicos de las PCB

### Resistores

### Molienda

### Preparación de pastillas



Técnica:  
Espectroscopía de Plasma Inducido por Láser (LIBS)

### Agradecimientos

- Cooperativa para la Revalorización de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (COOPRAEE): Ing. Sebastián Barbieri
- Técn. Emanuel Portalez - Instituto de Física de Materiales Tandil (IFIMAT)



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO  
DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

# Separación del cobre de plaquetas electrónicas: una solución sostenible, sustentable y legal de la gestión de RAEEs

Autores: Yvette Hochreuter, Sebastián Liciaga

Docentes responsables: Dra. Carina Morando, Dr. Osvaldo Fornaro

Facultad: Facultad de Ciencias Exactas

Contacto: [cmorando@ifimat.exa.unicen.edu.ar](mailto:cmorando@ifimat.exa.unicen.edu.ar)

## Introducción

El avance tecnológico ha generado una creciente cantidad de desechos electrónicos, lo que plantea un desafío ambiental significativo. Este proyecto busca una solución accesible y sostenible en el tiempo para la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEEs).

## ¿Cómo lo hicimos?

- Visita de Estación Centro Punto Limpio de Tandil.
- Toma de muestra de plaquetas electrónicas.
- Registro del peso total, de los inductores y del cobre extraído para obtener los porcentajes del peso.

## Resultados

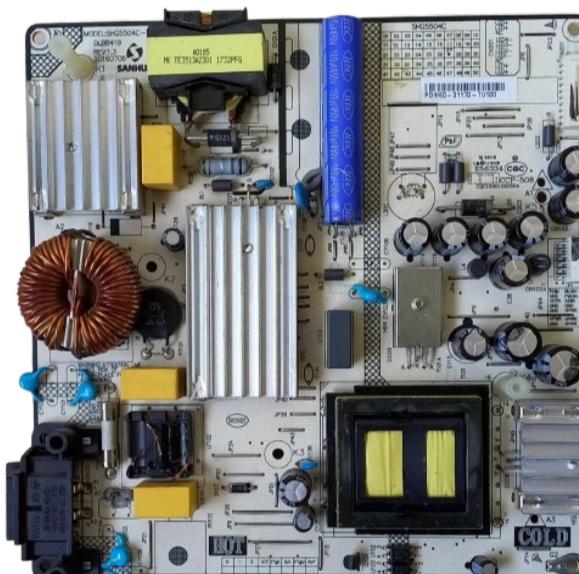
- Peso total de la muestra de plaquetas 8,8 kg
- Peso de los inductores 1,8 kg.  
Porcentajes de inductores 21,31%
- Peso del Cobre 0,8 kg.  
Porcentaje de Cu extraído 10,03%

### Agradecimientos.

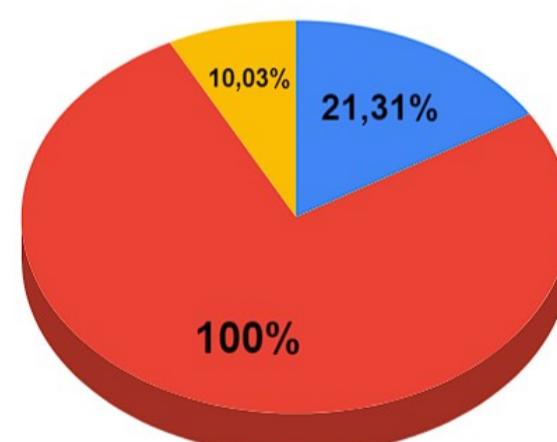
- Cooperativa para la revaloración de aparatos eléctricos y electrónicos (CooPRAEE): Ing. Sebastián Barbieri.
- Técnico del IFIMAT: Emanuel Portalez.

## Objetivo

El objetivo del proyecto es desarrollar métodos manuales de extracción del cobre de residuos electrónicos con el fin de reducir el impacto ambiental y generar fuentes de trabajo.



PROPORCIÓN MUESTRA - INDUCTORES - COBRE



- Porcentaje de inductores de la muestra
- Muestra de Plaquetas
- Porcentaje de Cu extraído