

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Master Titulado:

**“ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS
QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS DE LA EMPRESA
SIGMAPLAST”**

Realizado por:

Myriam de los Ángeles Pallo Guachamín

Director del proyecto:

MSc. Katty Coral Carrillo

Como requisito para la obtención del título de:

MÁSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Enero, 2022

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, MYRIAM DE LOS ÁNGELES PALLO GUACHAMÍN, con cédula de identidad 171691146-4, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA Y CÉDULA

MYRIAM DE LOS ÁNGELES PALLO GUACHAMÍN

1716911464

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE
GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS DE LA EMPRESA
SIGMAPLAST”

Realizado por:

MYRIAM DE LOS ÁNGELES PALLO GUACHAMÍN

Como Requisito para la Obtención del Título de:

MÁSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Ha sido dirigido por el profesor

MSc. KATTY CORAL CARRILLO

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Katty Coral Carrillo

CI 1709054058

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

Dr. MIGUEL MARTINEZ FRESNEDA MESTRE

Dr. ALBERTO ALEJANDRO AGUIRRE BRAVO

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Miguel', on a light yellow background.

Dr. MIGUEL MARTINEZ FRESNEDA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alberto', on a white background.

Dr. ALBERTO AGUIRRE BRAVO

Quito, Enero de 2021

El presente Trabajo de Fin de Carrera ha sido realizado dentro del Programa de Investigación de la Universidad Internacional SEK denominado:

**BIODIVERSIDAD Y RECURSOS NATURALES APLICADOS A LA GESTIÓN
AMBIENTAL Y LA BIOTECNOLOGÍA**

Perteneciente a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi hijo Mateo Sebastián que es mi inspiración a esforzarme y conseguir mis metas, que, con su amor, dulzura despertó mi sensibilidad, llegó a iluminar mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios que ha sido mi pilar espiritual, todo lo puedo en él y me fortalece. Rindo agradecimiento a mis padres por el inmenso amor, esfuerzo y apoyo que me han brindado desde mi primer día de vida hasta el día de hoy, gracias a los valores y confianza que me han transmitido me he formado como una persona íntegra y profesional. A mis hermanos David y Christian que en todo momento han estado presentes motivándome a continuar a pesar de las vicisitudes que la vida nos ha presentado, que en familia lo hemos sabido superar.

Querida Familia los llevo en mi mente y vivirán siempre en mi corazón.

Un agradecimiento muy especial a mi tutor MSc. Katty Coral que admiro por su trayectoria profesional, experiencia, carisma y demasiada paciencia. Con su guía logré desarrollar con éxito mi proyecto, despertó en mí el entusiasmo hacia el campo de la investigación.

Para someter a:

To be submitted:

**“ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS
QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS DE LA EMPRESA
SIGMAPLAST”**

Myriam de los Ángeles Pallo Guachamín, Katty Coral Carrillo

Universidad Internacional SEK. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Quito, Ecuador

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: MSc Katty Coral.

Universidad Internacional SEK,

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS, Quito, Ecuador.

Teléfono: 0983084617; email: katty.coral@uisek.edu.ec

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

RESUMEN

Los procesos de recuperación de metales mediante tratamientos químicos permiten la disminución de uso de materia prima, ahorro de costos y un menor impacto al ambiente. En este trabajo se analiza, mide y evalúa el proceso de recuperación de cobre de una muestra de lodo residual proveniente del proceso de preparación de cilindros de la empresa Sigmaplast. El estudio experimental se inició con el análisis de datos de la caracterización de estos residuos que registra una concentración 62% Cu y menos de 1% de otros metales (Cr, Pb, Ni, Zn). Se aplicó un tratamiento químico de digestión ácida utilizando ácido nítrico (HNO_3) para la producción de cristales de nitrato de cobre hexahidratado ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) el cual puede reutilizarse en el proceso de cobreado aplicando los principios de economía circular. Del proceso se obtuvo un rendimiento del 58,17% en la recuperación de cobre disminuyendo sustancialmente el volumen de residuos para la empresa, lo que conlleva beneficios económicos y ambientales importantes.

Palabras claves: Economía circular (EC), recuperación de metales, residuos, digestión ácida.

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

ABSTRACT

Metal recovery processes through chemical treatments reduce the use of raw materials, cost savings, and a lower impact on the environment. In this work, the process of recovering copper from a sample of residual sludge from preparing cylinders of the Sigmaplast Company is analyzed, measured, and evaluated. The experimental study began with data from the characterization of these residues, which recorded a concentration of 62% Cu and less than 1% of other metals (Cr, Pb, Ni, Zn). An acid digestion chemical treatment was applied using nitric acid (HNO_3) for the production of hexahydrated copper nitrate crystals ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), which can reuse in the copper plating process applying the principles of a circular economy. A yield of 58.17% in copper recovery was obtained from the process, substantially reducing the volume of waste for the company, which entails significant economic and environmental benefits.

Keywords: Circular economy (CE), metal recovery, waste, acid digestion.

INTRODUCCIÓN

El proceso de preparación de cilindros genera dos tipos de residuos de cobre, la viruta que es un material sólido reciclable y los lodos que debe tratarse como un residuo peligroso por su alto contenido de metales, con un tratamiento químico estos residuos pueden ser incorporados al proceso de cobreado de cilindros. El Cobreado es el recubrimiento de una superficie metálica o plástica por una capa de cobre mediante una reacción de electrólisis. En una celda electroquímica, en el cátodo se agrega la superficie que se desea recubrir con cobre mediante una reacción de reducción y en el ánodo una placa de cobre se oxida para ser suministro de iones Cu^{2+} (Pernet-coudrier, et al., 2008). Se han establecido diversos métodos para la recuperación de cobre, desde plantas de cobreado como la precipitación como sulfuro (Kuchar et al., 2006) y producción para materiales de construcción (Vilarinho et al., 2012) entre otros. El objetivo de esta investigación fue demostrar de forma experimental la factibilidad de recuperación del metal cobre de los residuos (lodos y viruta) resultantes de la preparación de cilindros y reutilizarlo en el proceso de cobreado de la misma empresa, aplicando los principios de economía circular: reducir, reciclar y reutilizar. El inadecuado manejo de residuos peligrosos en las actividades industriales y en zonas urbanas contribuye significativamente al incremento de la contaminación por vertimientos directos al suelo y descargas líquidas depositadas en cuerpos de agua, estos impactos reflejan un deterioro inminente del paisaje natural y en consecuencia afecta la salud humana (Suárez, 2000).

Los residuos peligrosos son aquellos materiales en estado sólido, líquido, pastoso o gaseoso resultantes de un proceso productivo que cumple con una de las siguientes características: corrosivas, reactivas, tóxicas, inflamables, biológicas infecciosas o radioactivas, que constituyen un riesgo para la salud de las personas y el medio ambiente (A.M. 097A, 2015, p.9).

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

Para determinar si un desecho debe ser o no considerado como peligroso, la caracterización del mismo deberá realizarse conforme las normas técnicas establecidas por la Autoridad Ambiental Nacional y/o la Autoridad Nacional de Normalización o en su defecto por normas técnicas aceptadas a nivel internacional, acogidas de forma expresa por la Autoridad Ambiental Nacional, Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (RCOA, 2019).

Es responsabilidad de las empresas generadoras de residuos peligrosos llevar una gestión general en sus instalaciones, al mismo tiempo tienen la obligación de evaluar la aplicación de tecnologías viables que permitan el tratamiento, aprovechamiento, valorización o su eliminación en condiciones adecuadas, desde su generación hasta su eliminación o disposición final, Código Orgánico del Ambiente (COA, 2017, p.63).

La evolución de las innovaciones tecnológicas en las últimas décadas, ha permitido implementar sistemas de tratamiento, de valorización de residuos reciclables y peligrosos, depende de las características físico-químico para elegir su método de recuperación y lograr mejores resultados (Castells, 2012). Este desarrollo productivo que agrupa ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente, conduce cada vez más a adoptar una transición hacia un modelo económico cerrado conocido con el término de economía circular (Bearzotti, 2017).

Las políticas públicas ambientales son el complemento para alcanzar un modelo económico sostenible, en Ecuador van tomando protagonismo en el modelo de desarrollo del Estado, la normativa suprema en sus Arts. 14, 15 establece el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de bajo impacto que garantice vivir en un ambiente sano, Constitución de la República (Const, 2018).

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

El consumo mundial de cobre refinado en 2021 se ubicó en 24,2 millones de TM, con un alza de 3,4% respecto del año 2020 a pesar de las consecuencias de la pandemia del covid-19 que dejó vulnerable a este sector, este incremento responde a varios factores relacionados con la demanda de los mercados de equipos electrónicos que aumentó desenfrenadamente con el confinamiento por pandemia que obligó a la población a adquirir equipos para cumplir sus labores cotidianas, otro mercado que influyó es el de fabricación de vehículos eléctricos que requieren una mayor cantidad de cobre que los vehículos convencionales, de igual forma tenemos que considerar las innovaciones en productos con aleaciones que contienen cobre como agentes antimicrobianos para evitar infecciones (Comisión Chilena del Cobre, 2021).

Los países a nivel mundial con mayor participación en el consumo de cobre refinado son China (48%), Estados Unidos (8%) y Alemania (6%), el resto de países constituyen el 8% del consumo mundial de cobre (Comisión Chilena del Cobre, 2017).

El cobre (Cu) es un elemento químico metálico maleable y dúctil, con número atómico 29, su masa atómica es 63.546 g/mol, es un metal de transición, brillante y de coloración rojiza, caracterizado por ser uno de los mejores conductores de calor y electricidad (después de la plata), resistente a la corrosión y a la oxidación, es un elemento abundante en la naturaleza, cumple un rol vital en la fotosíntesis de las plantas, es esencial en el metabolismo humano (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2017).

El cobre sólido puro, tiene una densidad de $8,96 \text{ g/cm}^3$ a 20°C , mientras que el del tipo comercial varía con el método de manufactura, oscilando entre $8,90$ y $8,94 \text{ g/cm}^3$, el punto de fusión es de 1083°C , insoluble en presencia de agua, totalmente soluble en ácido nítrico, en ácido sulfúrico caliente, poco soluble en ácido clorhídrico (Rizzotto, 2007). Los compuestos de cobre (II) son

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

paramagnéticos y usualmente tienen colores intensos. La sal más importante es el compuesto de color azul claro $\text{CuSO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})_5$ (Rochow, 1981).

Con información estadística que aporta la Copper Alliance (2022) se supone que el cobre debido a sus propiedades de conductibilidad eléctrica casi el 70 % que se produce se utiliza en las industrias de las telecomunicaciones, electrónica, eléctrica, construcción. Toma gran relevancia por sus propiedades bactericidas en el cuidado a la salud, agricultura, acuicultura (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2017).

El cobre es un metal que se puede reciclar indefinidas veces manteniendo todas sus propiedades físicas y químicas. Por esta razón, tiene el historial de reciclaje más extenso de entre los materiales conocidos por la civilización y se estima que en los últimos cien años, dos tercios de los 690 millones de toneladas de cobre producido todavía están en uso productivo (Copper Alliance, 2022). El reciclaje es de beneficio tanto para el ambiente como para la industria, contribuye a reducir significativamente la huella de carbono, el uso de recursos naturales y consumo energías no renovables, permite recuperar materia prima de forma eficiente con bajo impacto ambiental, en comparación a la extracción que realiza la minería tradicional (Copper Alliance, 2022).

En referencia al estudio del Instituto Tecnológico Metropolitano (2021) en Colombia, se conoce el dato del cálculo de las cantidades de metales base y preciosos que se pueden obtener de los residuos electrónicos. Se encontró que se aprovecha el 15,5 % de los residuos electrónicos en el mundo, los principales componentes reciclables son el hierro (Fe), el cobre (Cu), el aluminio (Al), el plomo (Pb), el níquel (Ni), la plata (Ag), el oro (Au) y el paladio (Pd), los datos estadísticos determinan también que la recuperación y el aprovechamiento de los residuos electrónicos como fuente de metales podría reducir el consumo de energía entre el 60 % y 95 % de la que se utiliza para la extracción de estos metales.

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

Para entender el protagonismo de los metales y la importancia de la recuperación es preciso observar, por ejemplo, la composición media de las actuales placas de circuito impreso es: el 70% no metales (fibra de vidrio, resina termo estable), 16% de cobre, 4% de soldaduras, 3% de hierro, 2% de níquel, 0.05% de plata, 0,003% de oro, 0.0001% de paladio y otros materiales. En concreto, las tarjetas de circuito impreso contienen una gran variedad de metales preciosos de distintas concentraciones (Bermeo et al, 2018).

En la actualidad la industria minera primaria se encarga de extraer las materias primas que requiere la población para su consumo. Con la demanda creciente de estos recursos se ha ido desarrollando en paralelo la industria minera secundaria denominada "minería urbana" que promueve el aprovechamiento en función del mayor porcentaje de reciclaje, con estas prácticas vamos a tener una menor necesidad de utilizar extracción primaria, el reciclaje requiere significativamente menos energía que la minería extractiva, fundir o recuperar un metal resulta más fácil que tener que extraer el metal de un mineral, es más económico y sostenible (Clerc et al., 2021). Considerando la dificultad que puede presentarse en reciclar algunos materiales unidos o mixtos, el requerimiento total de energía siempre va a ser menor, para reciclar una tonelada de hierro es un 20% menor que para extraerlo y procesarlo, en el cobre el ahorro de energía es aproximadamente del 60% y para el aluminio hasta del 90% (Clerc et al., 2021).

Existe una amplia y muy variada cantidad de metales y metaloides presentes en productos de consumo, los elementos con mayor porcentaje de recuperación son: hierro, acero de baja aleación, acero inoxidable, aluminio, cobre, cromo y zinc. En teoría estos materiales se pueden reciclar en un 100% sin perder sus propiedades físico-químico (Clerc et al., 2021).

Al momento de elegir el método para el tratamiento de recuperación de metales, se debe considerar varios factores como la caracterización del residuo, estado físico, concentración y uso que se le va

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

asignar, en el caso de los metales existe una amplia literatura científica basada en la química analítica que aporta selecta información sobre el tema.

Los lineamientos que plantea el Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador en referencia al sector empresarial es básicamente evolucionar hacia el cambio del modelo económico adoptando estrategias y mecanismos direccionados a implementar los principios de eco diseño, producción y consumo responsable de recursos, disminución de la producción de residuos y su gestión integral, la creación de empleo, el desarrollo sostenible, reemplazar el uso de recursos no renovables por alternativas de menor impacto que promuevan escalar hacia el bienestar económico (Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca MPCEIP, 2021), en este estudio de caso, al determinar que es factible la recuperación del cobre de los residuos se cumple con los principios mencionados, que en resumen son disminución de la generación de los residuos de cobre, reciclado de este material y reúso como materia prima, la empresa recibe beneficios económicos al bajar el consumo de una materia prima, reduce el coste de la disposición final de los residuos peligrosos y en consecuencia mitiga el impacto ambiental que genera. (Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva, 2021).

La familia de las normas INEN-ISO 14040, nos muestra claramente ser una guía para la aplicación de Economía Circular, nos dicen que es preciso analizar, medir y evaluar el Ciclo de Vida (ECV) de un producto o servicio, tener clara la cadena de valor, utilizar esta metodología de (ECV) como herramienta nos permite conocer cuál es el impacto ambiental generado por un producto, por el proceso e incluso por la actividad que se lleva a cabo durante todo el ciclo de vida del producto, conociendo estas cuantificaciones el enfoque resulta hacia las medidas correctivas, preventivas para evitar el impacto o subsanar (INEN-ISO/TR 14049:2014).

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

Empresa Sigmplast

La empresa Sigmplast se encuentra ubicada en el barrio Chaupimolino, de la parroquia de Pifo del cantón Quito provincia de Pichincha. Es una multinacional líder en Latinoamérica en la elaboración de empaques plásticos para alimentos, dentro de su larga trayectoria y sus rigurosas políticas de mejora continua, mantienen a la empresa a la vanguardia de los avances tecnológicos. Para sus procesos productivos está equipada con maquinaria moderna, las materias primas que utiliza son polietileno (PE) y polipropileno (PP) como componentes principales de sus productos y tintas de colores, adhesivos líquidos, solventes, ácidos, cobre.

La empresa tiene dos líneas de producción:

Línea 01. Elaboración de láminas plásticas: Es el proceso en el cual se transforma los pellets de polietileno y polipropileno en películas o láminas, mediante la extrusión que consiste en fundir y moldear el plástico a flujo constante de presión y fuerza, posterior pasa a al proceso de corte primario que se ajusta a las dimensiones requeridas por el cliente para dar paso al metalizado donde se adhiere a la película una capa de aluminio, y finalmente pasa a corte secundario que significa retirar de los refiles de las películas plásticas, los residuos que se generan durante todo el proceso son reintegrados al inicio del proceso de extrusión.

Línea 02. Elaboración de empaques plásticos: Se inicia con el diseño del empaque, se prepara las películas plásticas para llevarlas al área de impresión, aquí se selecciona el cilindro con la inscripción o sello del empaque para ser impreso, pasa al área de laminado para colocarle una película de refuerzo y enviar a corte y bobinado, el producto terminado se pesa, se registra, sale a comercialización. Los residuos de las películas plásticas son entregados para ser reprocesados en la Línea 01.

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

Diagrama de Procesos

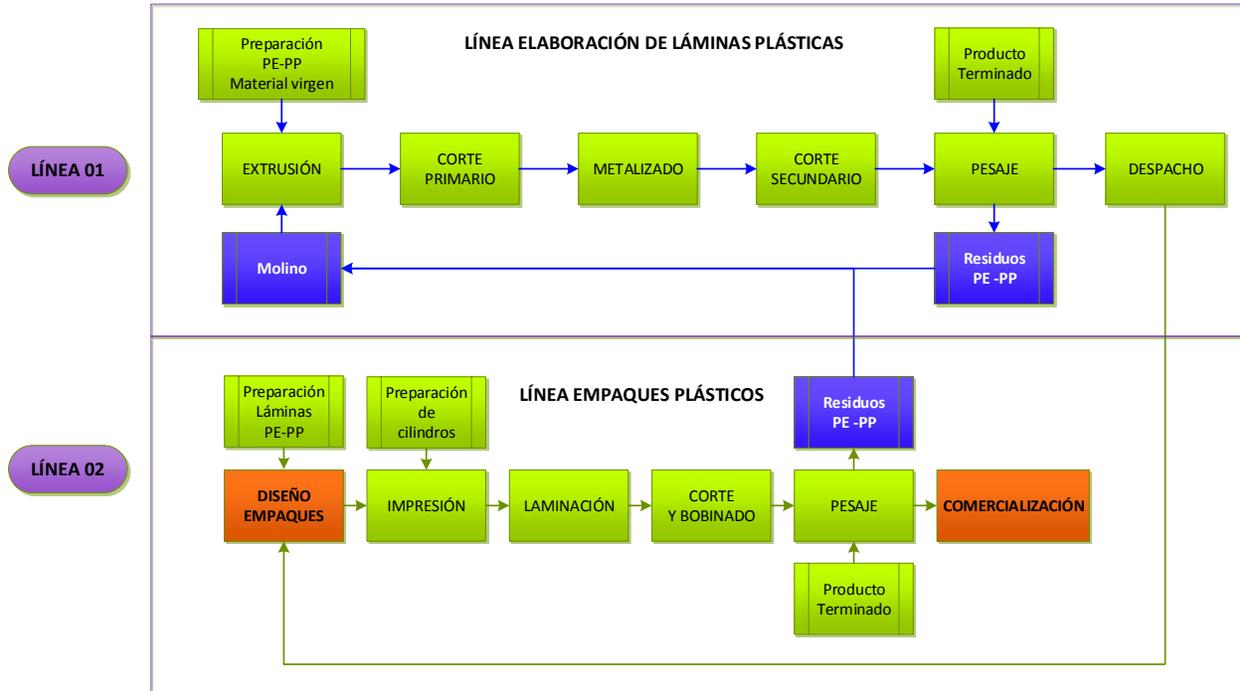


Figura 1. Diagrama General de Procesos. (Elaborado por: Myriam Pallo G.)

Residuos

La cadena productiva de la empresa (Línea 01 – Línea 02) genera residuos de carácter reciclable en un 75%, incluye refiles de polietileno y polipropileno que son reciclados en la Línea 01 de elaboración de láminas plasticas, esta actividad permite alargar la vida útil de las materias primas, se cierra el ciclo económico y productivo, disminuye la generación de residuos, respeta las normas ambientales y cuidado a la naturaleza. Los residuos peligrosos representan el 24% corresponde a lodos contaminados con metales pesados, aguas residuales contaminadas con mezclas ácidas, luminarias, baterías. El 1% son residuos especiales producto del mantenimiento de equipos eléctricos y electrónicos, este grupo de peligrosos y especiales no ha sido valorizados o recuperados, son entregados a gestores ambientales calificados para su disposición final.

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

Potencial de recuperación de residuos

Analizadas las materias primas del proceso de preparación de cilindros, se observa que el elemento que predomina es el cobre, en consecuencia, sus residuos son idóneos para someter a un proceso de recuperación de cobre por tratamiento químico.

Los lodos residuales deben necesariamente ser tratados como residuos peligrosos, se encuentra en el listado de sustancias químicas y desechos peligrosos por sus características tóxicas (A.M.142, 2012), comparados los resultados preliminares (Anexo J, K) de una muestra de este residuo con la Tabla 1. Límites de contaminantes y tasas de carga para biosólidos aplicados al suelo (Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule, 1994), no cumple con esta normativa excede los límites máximos permitidos, se utiliza esta norma como referencia en consecuencia que la normativa nacional (A.M. 097, 2015) no tiene alcance para determinar los límites máximos permisibles para desechos y/o residuos peligrosos.

Proceso Preparación de Cilindros

Grabado

El grabado consta esencialmente de un cilindro de hierro, con una capa superficial de cobre sobre la que se grabará a laser el motivo o imagen a ser impreso y una capa de cromo que permite una mayor resistencia o dureza durante el proceso de impresión.

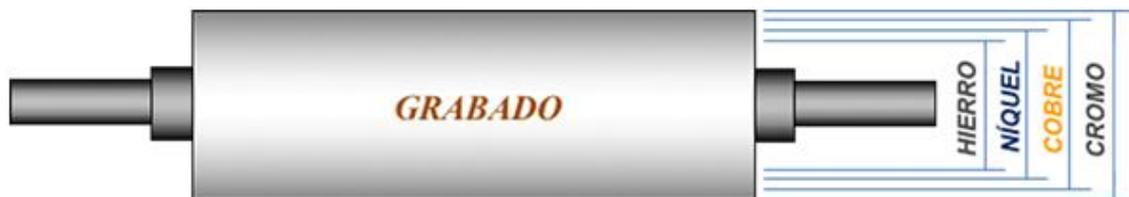


Figura 2. Partes de un cilindro - Tomado de (Scribd, 2020, pag. 1)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST



Figura 3. Grabado a laser (Fotografía: Myriam Pallo G.)

Desgrabado

Cuando ha cumplido la vida útil el cilindro de flexografía se procede a retirar la capa superficial de cromo utilizando un baño preparado con de ácido clorhídrico y agua destilada, luego se envía el cilindro al proceso de cobreado a compensar el cobre que pierde en este proceso.

Cobreado

Es el recubrimiento de una superficie metálica por una capa de cobre mediante una reacción de electrólisis. En una celda electroquímica, en el cátodo se agrega la superficie que se desea recubrir con cobre mediante una reacción de reducción y en el ánodo una placa de cobre se oxida para ser suministro de iones Cu^{2+} (Pernet-coudrier et al., 2008).



Figura 4. Cobreado en celda Electrolítica (Fotografía: Myriam Pallo G.)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

Rectificado

Con movimientos rotatorios mecanizados por abrasión se retira los excesos y rugosidades de cobre dejando una superficie lisa y uniforme.



Figura 5. Rectificado de cilindros (Fotografía: Myriam Pallo G.)

Pulido

Este proceso realiza un lijado con piedra volcánica y agua, sirve para afinar la superficie del cilindro elimina marcas, roces y ralladuras, en este estado el cilindro se encuentra listo para el grabado a laser.



Figura 6. Pulido de cilindros (Fotografía: Myriam Pallo G.)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

Residuos del proceso

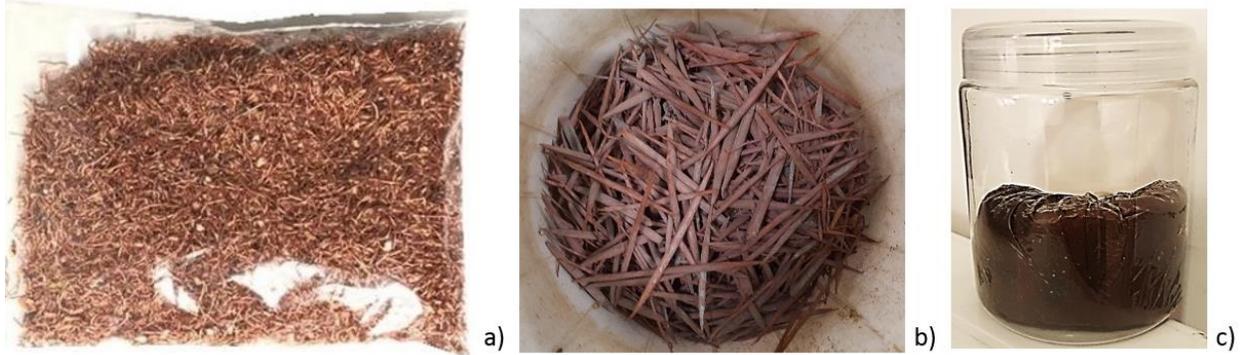


Figura 7. a) Viruta; b) Laminillas; c) Lodo (Fotografía: Myriam Pallo G.)

Diagrama de Flujo Preparación de cilindros

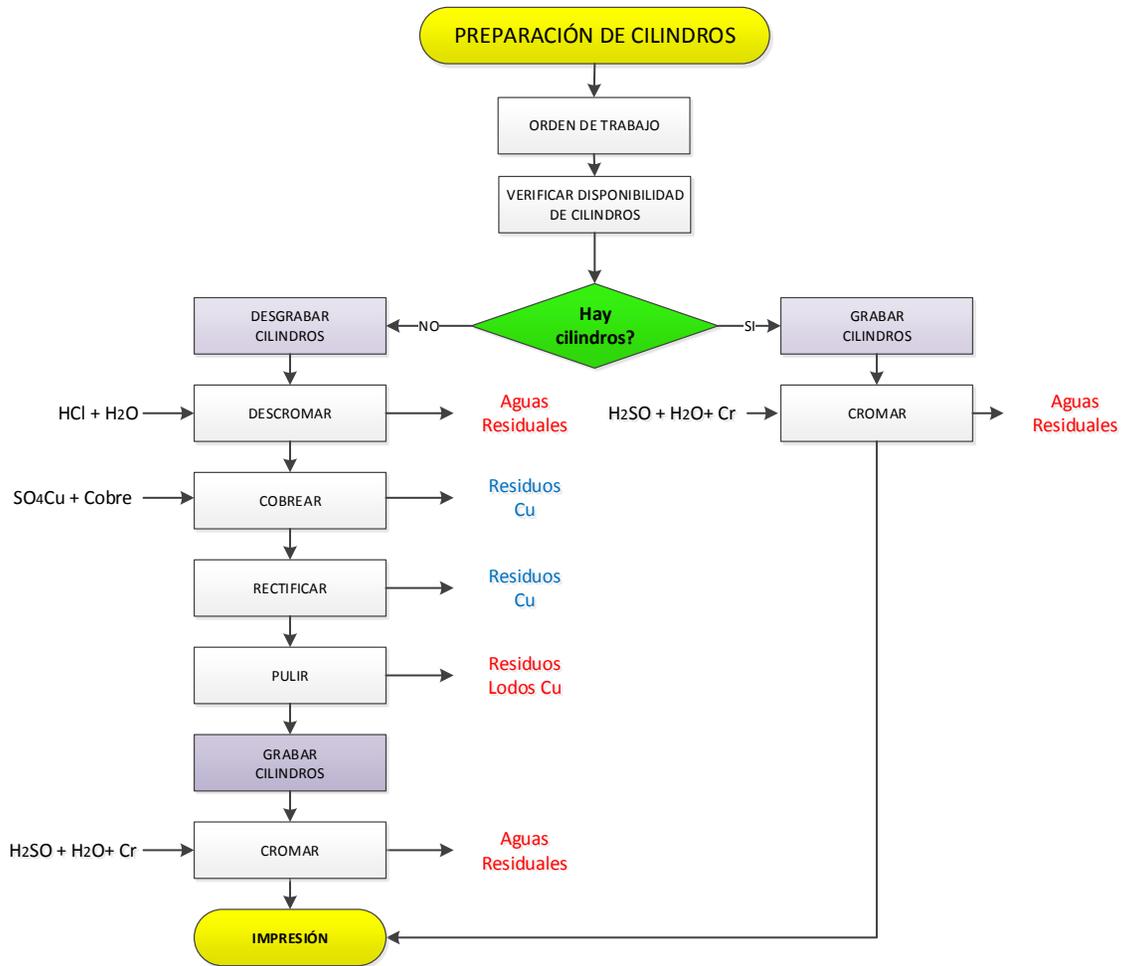


Figura 8. Diagrama de Flujo Preparación de Cilindros (Elaborado por: Myriam Pallo G.)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

METODOLOGÍA Y MATERIALES

Materiales

Balón aforado de 100mL	Embudo
Vaso de precipitación de 250mL	Balanza analítica
Vaso de precipitación de 150mL	Capsulas de porcelana
Varilla de agitación	Espátula
Plancha de calentamiento	Probeta de 100 mL
Cabina de extracción	Papel indicador de pH
Papel filtro cuantitativo	Refrigerador

Reactivos

Reactivos:

Ácido nítrico 69% Loba Chemie ®

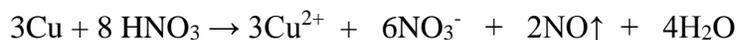
Agua destilada tipo 1

Análisis Experimental

Se describirá la experiencia realizada a nivel piloto, por ser la parte que más interesa.

Todos los ensayos se realizaron en el laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Química de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador el día 27 de enero de 2022.

Se realizó la disolución de 2g de muestra de lodo (aplicable también a la recuperación de viruta de cobre) en 100mL de HNO₃ 8M para la producción de nitrato de cobre mediante la siguiente reacción (Svelha, 1979).



Debido a que existe la producción de óxido de nitrógeno fue necesario la realización del proceso en una cabina de extracción como se observa en a Figura 9.

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

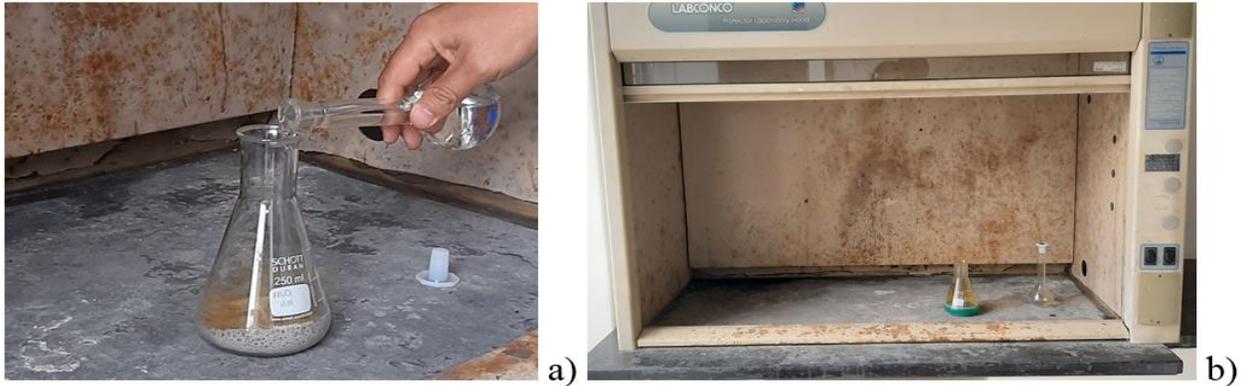


Figura 9. Disolución de muestra en campana de extracción (Fotografía: Myriam Pallo G.)

Las sales de Cu (II) son sólidos azules y disueltos en agua forman soluciones azules por la formación del complejo tetracuocuprato (II) $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$. Se realiza el filtrado de la solución en un papel filtro cuantitativo con el fin de eliminar las impurezas de la muestra y se hace el respectivo secado para cuantificar la cantidad de residuo remanente el cual no se solubilizó mediante la digestión ácida obteniéndose un residuo de color plomo como se observa en la Figura 10. El papel filtro se seca en una plancha de calentamiento a 350°C durante 10 minutos para medir la cantidad de residuo obtenido.

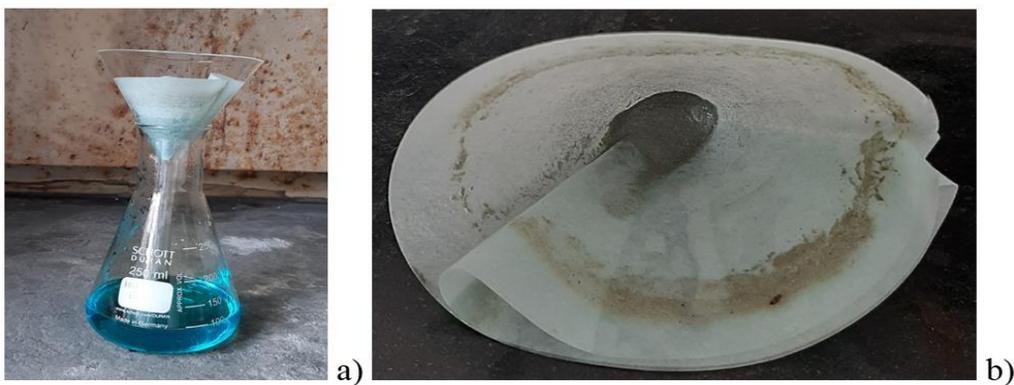


Figura 10. Filtración de muestra digerada, b) Residuo no digerado obtenido (Fotografía: Myriam Pallo)

Una vez filtrada la muestra se procede a evaporarla (plancha de calentamiento 350°C) con el fin de obtener cristales de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ por 50 minutos. Finalmente, cuando quedo 10mL de

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

concentrado se obtuvo el punto de cristalización de la muestra y se llevó la solución al refrigerador para acelerar el proceso de cristalización (5 minutos). Se obtuvieron cristales azulados como se observa en la Figura 11. Se pesó la cantidad obtenida para determinar el rendimiento de recuperación del material.

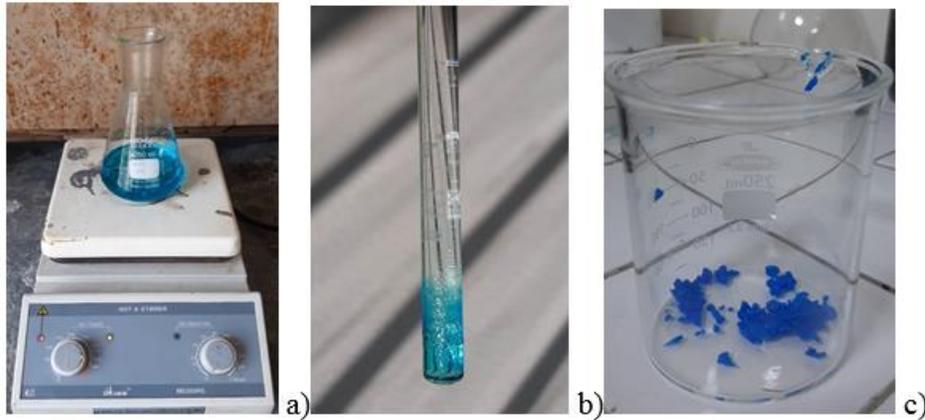


Figura 11. a) Evaporación de solvente; b) Constatación de punto de cristalización; c) Cristales obtenidos (Fotografía: Myriam Pallo G.)

Se realizó la determinación del pH del residuo obtenido previo a la cristalización, pesado alrededor de 1g de residuo y colocando en 50mL de agua destilada, se agitó con una varilla de agitación por 15 minutos y se determinó el pH del sobrenadante (Figura 12) (Radojevic and Bashkin, 2006).

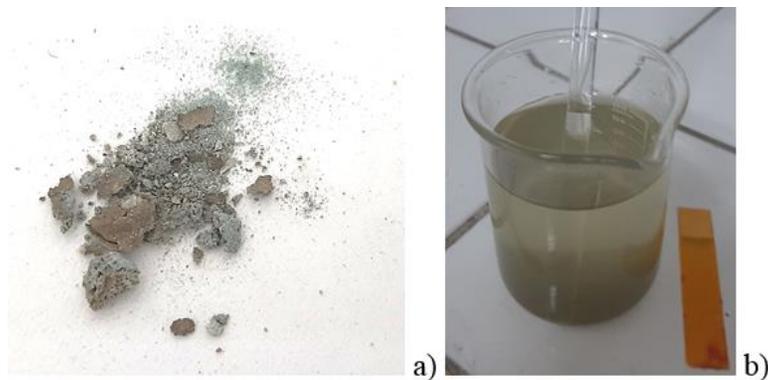


Figura 12. a) Residuo sólido obtenido; b) prueba de determinación de pH (Fotografía: Myriam Pallo)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

RESULTADOS Y CÁLCULOS

Preparación de solución HNO₃ 8M (100mL)

$$M \text{ HNO}_3(c) = 15.8M$$

$$V \text{ HNO}_3 \text{ 8M} = 100\text{mL}$$

$$V_{\text{concentrado}} = \frac{C_{\text{diluida}} * V_{\text{diluida}}}{C_{\text{concentrada}}} = \frac{8M * 100\text{mL}}{15,8M} = 50,6\text{mL}$$

Se tuvo que diluir 50,6mL de HNO₃ al 70% y aforar a 100mL con agua destilada para obtener 100mL de solución de HNO₃ 8M.

Residuo sólido no digerado

Tabla 1. Cuantificación de residuo sólido obtenido

M papel vacío (g)	M papel con residuo (g)	M residuo (g)
0,8820	1,7792 	0,8972
	TOTAL	0,8972

(Elaborado por: Myriam Pallo G.)

Porcentaje de residuo en la muestra

$$\%Cu = \frac{m \text{ residuo}}{m \text{ muestra}} * 100 = \frac{0,8972\text{g}}{1,99\text{g}} * 100 = 45,08\%$$

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

Tabla 2. Resultados de prueba pH de residuo no digerado (disuelto en agua)

pH agua destilada	pH lixiviado de residuo	Límite máximo permisible
7	4	6-9

Fuente: A.M.097A, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público. (Elaborado por: Myriam Pallo G.)

Tabla 3. Análisis de metales en residuo no digerado (disuelto en agua)

Parámetro	mg/L	LMP Tabla 8.	LMP Tabla 3.
Cobre	0,110	1,0	0,2
Zinc	0,278	10,0	2,0
Níquel	0,031	2,0	0,2
Cromo	0,020	0,5	0,1
Plomo	0,042	0,5	5,0
Ph	4	6-9	6-9

Fuente: A.M.097A, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público (Anexo L). Tabla 3. Criterios de calidad de aguas para riego agrícola (Anexo M) Lab. ALS Ecuador (Elaborado por: Myriam Pallo G.)

Rendimiento de la reacción

Tabla 4: Datos de proceso de recuperación de cobre

M inicial muestra (g)	M de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (g)
1,9900	5,2398 (M inicial vaso=98,0600g) (M final vaso=103,2998g)



(Elaborado por: Myriam Pallo G.)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

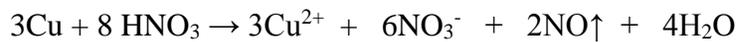
Cálculo de cantidad de cobre generado por la muestra

$$5,2398\text{g Cu(NO}_3)_2 \cdot 2.6\text{H}_2\text{O} * \frac{\frac{65,3\text{g}}{\text{mol}} \text{Cu}}{\frac{295,64\text{g}}{\text{mol}} \text{Cu(NO}_3)_2 \cdot 2.6\text{H}_2\text{O}} = 1,1575\text{gCu}$$

Porcentaje de cobre recuperado en la muestra

$$\% \text{Cu} = \frac{m_{\text{Cu}}}{m_{\text{muestra}}} * 100 = \frac{1,157\text{g}}{1,99\text{g}} * 100 = 58,17\%$$

Cantidad de óxido nítrico (NO) emitido



$$1,1575\text{g Cu} = \frac{1\text{molCu}}{65,3\text{Cu}} * \frac{1\text{molNO}}{3\text{molCu}} * \frac{30\text{gNO}}{1\text{molNO}} = 1,8373\text{gNO}$$

Análisis Económico/Ambiental

Se identificó los recursos necesarios para llevar a cabo la recuperación de cobre, únicamente se consideró las materias primas esenciales, seleccionadas con base a las decisiones que se quiere analizar en esta investigación, no se consideró mano de obra, recursos energéticos, equipos o maquinarias. Se determinó el costo del estudio en términos monetarios y de beneficio ambiental.

Costos y gastos

En la Tabla 5 se considera el costo anual que la empresa invierte en la compra de la materia prima cobre, principal elemento en la preparación de cilindros de flexografía.

Tabla 5. Costo materia prima Cobre

Materia prima	Cantidad anual	Unidad	Costo USD	Costo Total USD
Cobre alambre 8mm	1000	kg	16,80	16800,00
Total				16800,00

Fuente: Empresa Sigmplast. (Elaborado por: Myriam Pallo G.)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

La Tabla 6 presenta los egresos anuales de la empresa por la disposición final de lodos residuales entregados a gestores calificados, en la actualidad estos residuos no reciben un tratamiento de aprovechamiento, son sometidos a un proceso de incineración.

Tabla 6. Gasto por desalojo de lodos residuales

Detalle	Cantidad anual	Unidad	Costo USD	Costo Total USD
Lodo residual	791.5	kg	1,34	1385,12
Transporte	2	viajes	89,60	179.20
Total				1564,32

Fuente: Empresa Sigmaplast. (Elaborado por: Myriam Pallo G.)

Valor del tratamiento

1,99g de muestra genera 1,1575g Cu, el costo de este tratamiento es 0,042 USD (Tabla 7).

Tabla 7. Costos de materiales - Tratamiento recuperación Cu

Materiales	Cantidad	Unidad	Costo USD
Ácido nítrico	50,6	mL	0,025
Agua destilada tipo 1	49,4	mL	0,017
Total			0,042

(Elaborado por: Myriam Pallo G.)

Para conocer el costo de 1 kg Cu realizamos el siguiente cálculo:

$$1\text{kg Cu} = \frac{0,042 \text{ USD}}{0,0011575\text{kg Cu}} = 36,29 \text{ USD}$$

Recuperar 1kg Cu genera un costo de 36.29 USD.

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

Valor agregado $Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$

1,99g de muestra produce 5,2398g $Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ que contiene 1,1575g Cu.

El valor agregado de 1kg de Cu se obtiene del siguiente cálculo:

$$1\text{kg Cu} = \frac{0,0052389\text{kg } Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O}{0,0011575\text{kg Cu}} = 4,52\text{kg } Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$$

1kg Cu tiene un valor agregado de 4,52kg $Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$.

Para conocer el costo de 1 kg $Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ realizamos el siguiente cálculo:

$$1\text{kg } Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O = \frac{36,29 \text{ USD}}{4,52\text{kg } Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O} = 8,03 \text{ USD}$$

Recuperar 1 kg $Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ genera un costo de 8,03 USD.

Reciclar

El tratamiento del lodo residual obtuvo un rendimiento de 58,17%, con base a la generación anual de 791,5 kg (Tabla 5), se obtiene un aprovechamiento de 460.62 kg Cu (Figura 13), ahorra 7734,98 USD que la empresa deja de gastar por esa cantidad de materia prima (Tabla 4).

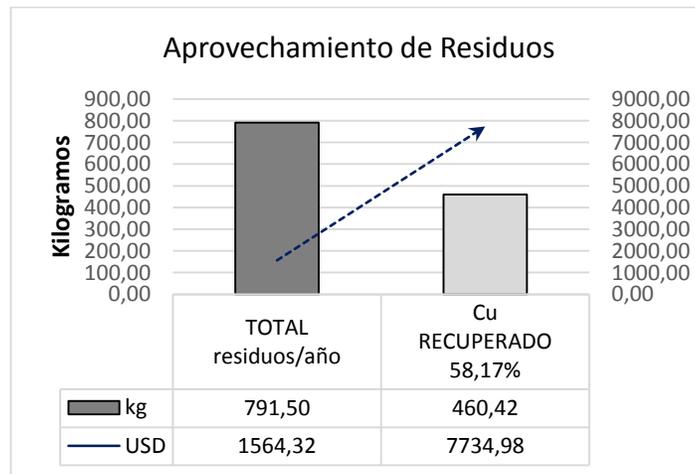


Figura 13. Aprovechamiento de Residuos (Elaborado por: Myriam Pallo G.)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

Reducir

Los residuos disminuyen al 41,83% igual a 331,08 kg/año, la empresa reduce costos de gestión de residuos peligrosos de 1564,32 a 654,36 USD tiene un ahorro de 909,96 USD anual (Figura 14).

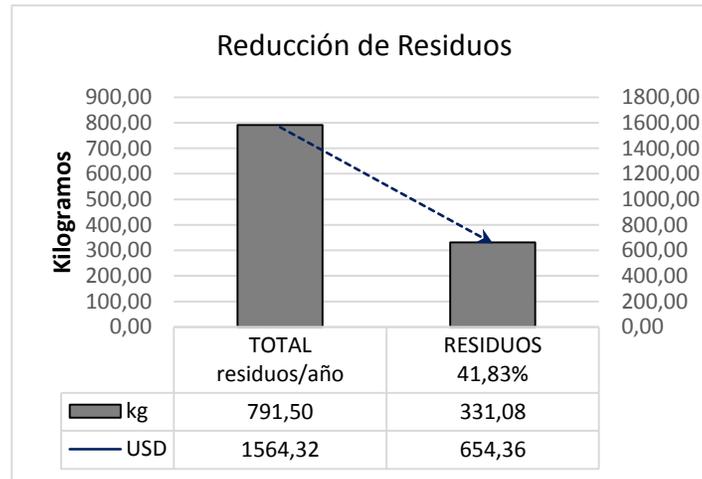


Figura 14. Reducción de Residuos (Elaborado por: Myriam Pallo G.)

Reutilizar

La recuperación de cobre en cristales de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ se convierte en materia prima que interesa a la empresa para reincorporar en el proceso de Cobreado de cilindros, este producto se ha valorizado como materia prima para sustituir al cobre sólido que actualmente se utiliza en la celda electrolítica. El valor agregado se refleja en el costo de producción, según datos de la empresa preparar 1kg de líquido electrolítico tiene un costo de 25 dólares aproximadamente, se requiere de 350 kg/mes igual a 8750 USD/mes. Producir 350kg $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a 8,03 USD/kg tiene un costo de 2810,5 USD, el ahorro es de 5939,5 USD.

Si tenemos una media estimada de generación de lodos residuales de 791,50 kg/año (Figura 15) estos es igual 2081.08kg $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ de recuperado, este producto se puede emplear para cubrir la cuota de 5,95 meses para el Cobreado de cilindros, por consiguiente baja los costos de producción y el consumo de cobre virgen.

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

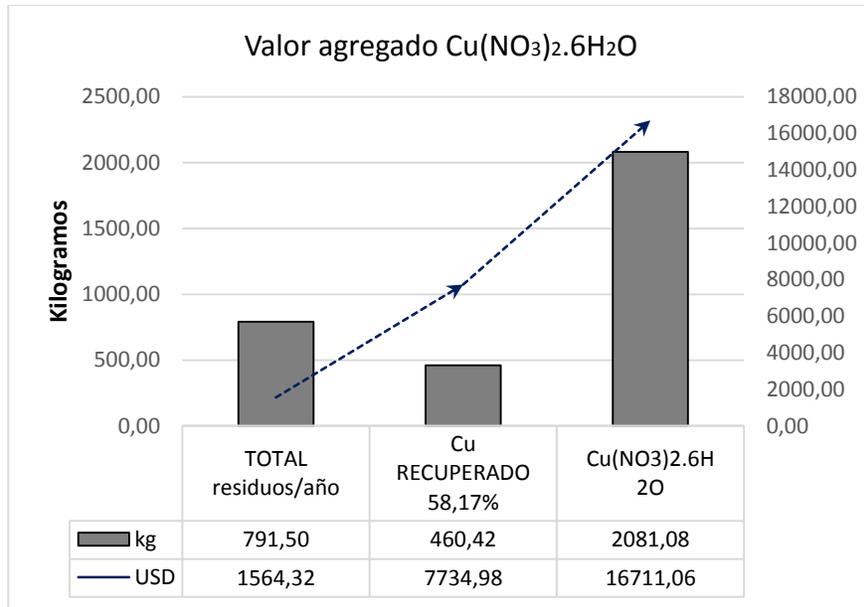


Figura 15. Valor Agregado Cu(NO3)2.6H2O (Elaborado por: Myriam Pallo G.)

DISCUSIÓN

El proceso de recuperación de cobre a partir de la muestra del proceso de preparación de cilindros genera resultados alentadores para la minimización de residuos en la empresa Sigmaplast. La muestra de lodo en estado pastoso que fue analizada por un laboratorio externo acreditado (Anexo K), dio como resultado 622473 mg/kg de cobre (62,24%). El proceso aplicado para la recuperación de Cu(NO3)2.6H2O genera un rendimiento del 58,17% con una diferencia del 4,07% respecto al valor de referencia, lo cual está plenamente dentro de los rangos normales asociados a los errores aleatorios que usualmente se cometen en el laboratorio (NTE INEN-ISO/IEC 17025).

Durante el proceso de recuperación se obtuvo aproximadamente 45,08% de residuos sólidos (cerca de 1,0341g de residuo por cada 1,99g de muestra), adicionalmente se generaron gases tóxicos y con potencial de efecto invernadero como el NO (1,8373g NO por cada 1,99g de muestra). El residuo sólido no digerido (Tabla 3) tiene características de residuo peligroso porque la determinación de su pH arroja valores fuera del límite permisible para descargas de aguas al

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

alcantarillado (A.M.097A, 2015). Sin embargo como objeto de otro estudio de investigación se puede buscar el tratamiento adecuado para conseguir neutralizar el pH de este residuo y poder utilizar como agua para riego con caracter agrícola (Tabla 3) considerando que la empresa dispone de espacios verdes con amplios jardines de plantas ornamentales donde se alcance a aprovechar este recurso y se evite la descarga al sistema de alcantarillado.

El cobre del lodo residual conservó alta solubilidad en la solución de HNO_3 permite con facilidad su recuperación en las cantidades necesarias para hacerlo técnica y económicamente factible. El estado de conservación de la muestra (sin residuos de otros procesos) permitió favorablemente realizar el ensayo en menor tiempo, la digestión ácida se realizó en menos de 5 minutos; 50 minutos para la cristalización; finalmente de 5 minutos para enfriar y obtener los cristales de cobre.

Inicialmente se analizó la posibilidad de realizar la recuperación del elemento mediante electrolisis para obtener un cobre metálico, sin embargo, resultaba más complejo en ese estado reintegrar al proceso productivo de donde se origina estos residuos. Al revisar el ciclo de vida de este elemento en el diagrama de flujo de este proceso (Figura 8), se determinó que en la actividad de Cobreado de cilindros es posible integrar al cobre en forma de sal, sirve como sustituto del cobre sólido que actualmente se utiliza en la celda electrolítica. Este tratamiento químico es aplicable también para la viruta de cobre o cualquier residuo sólido de cobre que genere este proceso.

En esta investigación se tomó como referencia la literatura descriptiva de los trabajos de tesis de los autores (Surco, 2012), (Toapanta, 2011), (Valdés, 2018) que utilizan técnicas analíticas conocidas en la química inorgánica, la digestión ácida en menas de yacimientos mineros para determinar la concentración de minerales de beneficio.

La tasa de recuperación de cobre es alta si utilizamos este tratamiento químico y comparamos con la tasa de extracción de la minería tradicional, cuando se habla de una ley de cobre del 1% significa

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

que en cada 100 kilogramos de roca mineralizada hay 1 kilogramo de cobre puro, considerando que en los últimos 20 años ha pasado a 0,68% tomando como referencia a Chile el mayor productor de cobre a nivel mundial (Zhang, 2015).

Aplicar esta alternativa de recuperación, aprovechamiento y valorización simple eficiente y de bajo costo permite calcular un ahorro anual para la empresa en el costo de adquisición de materias primas (cobre) de 7735 USD/año; disposición final de residuos de 909,96 USD/año; y finalmente de 35637 USD/año por 2081,08kg $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ que se incorpore al proceso productivo, en este último ahorro no se encuentra considerado los costos de mano de obra, recursos energéticos, equipos o maquinarias.

CONCLUSIONES

- Se logró recuperar satisfactoriamente cobre a partir de una muestra de lodo (proceso también aplicable a la viruta) con un rendimiento del 58,17% generando un producto con valor agregado como el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, el cual puede ser reintegrado en el proceso de Cobreado de la empresa.
- El proceso de recuperación no requiere equipos sofisticados, demanda implementar sistemas sencillos de laboratorio, dentro de lo cual es necesario un sistema de filtro de gases que evite la emisión de NO hacia la atmósfera, igualmente analizar un proceso de encapsulación del residuo sólido generado al final del proceso para que no sea tratado como un residuo peligroso.
- Es factible la recuperación de metales a partir de residuos industriales, es una oportunidad para las empresas mediante la planificación, implementación de tecnologías limpias y control de materias primas, son alternativas de menor impacto para aprovechar su potencial valor agregado.

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

- La dependencia de los metales, conduce al aumento de la conciencia extractiva de estos recursos, la recuperación y valorización son la solución para mitigar los impactos que genera la extracción.
- El abastecimiento de metales reciclados es más sostenible que los metales obtenidos de la minería primaria. Recuperar un metal existente es mucho más fácil que tener que extraer de un mineral. Desde la perspectiva de cambio climático, requiere significativamente menos energía que la minería extractiva.
- Es necesario destacar que los análisis efectuados son de carácter informativo para resultados de este trabajo, no deben de tomarse como determinantes debido a que fueron valores únicos y obligaría a realizar un análisis estadístico de repetitividad de ensayos para las determinaciones de concentraciones, rendimiento y pureza de los cristales de cobre obtenidos.

RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar un proceso exhaustivo de recristalización del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ con el fin de determinar su pureza y ajustar los valores de rendimiento obtenido mediante la realización de varias repeticiones con distintos tipos de muestras provistos por la empresa.
- Realizar pruebas con el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ con el fin de reintegrarlo en la cadena productiva de la empresa del caso de estudio.
- Es necesario encapsular el residuo sólido generado de la recuperación con el fin de que pueda ser tratado como residuo no peligroso para su disposición final.

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

BIBLIOGRAFÍA

Asamblea Constituyente. (2018, 20 de octubre). *Constitución de la República del Ecuador*.

Quito: Asamblea Constituyente. Recuperado el 06 de Enero de 2022, de

https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion_de_bolsillo.pdf

Asamblea Nacional. (2021, 02 de julio). *Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva*. Quito:

Asamblea Nacional. Obtenido de <http://www.edicioneslegales-informacionadicional.com/webmaster/directorio/4S488.pdf>

Bearzotti, L. (2017). Industria 4.0 y la Gestión de la Cadena de Suministro: el desafío de la nueva revolución industrial. *Gaceta Sansana*, 3(8), 6. Recuperado el 6 de Enero de 2022, de

<http://publicaciones.usm.edu.ec/index.php/GS/article/view/103/110#>

Bermeo, J., Rea, V., López, R., & Pico, M. (Junio de 2018). RECICLAJE LA INDUSTRIA DEL FUTURO EN ECUADOR. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 22(87), 29-36. Recuperado el 29

de Enero de 2022, de

<https://www.uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/183/240>

Bernal Sanchez, J. (2019, enero). *Recuperación y valorización de metales mediante resinas de intercambio iónico a partir de residuos sólidos urbanos de incineración*. Barcelona: Universidad

Politécnica de Catalunya Barcelonatech. Recuperado el 26 de Enero de 2022, de

https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=valorizaci%C3%B3n+de+metales&btnG=#d=gs_cit&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3A7R0n3m7GB2gJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D1%26hl%3Des

Castells, X. (2012). *Reciclaje y tratamiento de residuos diversos: Reciclaje de residuos*

industriales. Madrid: Díaz de Santos. Recuperado el 22 de Enero de 2022, de

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OQtqHwbxk4EC&oi=fnd&pg=PA1035&dq=tratamiento+de+residuos+peligrosos&ots=Deo9UWJ_WR&sig=bSsgWohGb-qS-](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OQtqHwbxk4EC&oi=fnd&pg=PA1035&dq=tratamiento+de+residuos+peligrosos&ots=Deo9UWJ_WR&sig=bSsgWohGb-qS-ADLY8lyXBvLLds#v=onepage&q=tratamiento%20de%20residuos%20peligrosos&f=false)

[ADLY8lyXBvLLds#v=onepage&q=tratamiento%20de%20residuos%20peligrosos&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OQtqHwbxk4EC&oi=fnd&pg=PA1035&dq=tratamiento+de+residuos+peligrosos&ots=Deo9UWJ_WR&sig=bSsgWohGb-qS-ADLY8lyXBvLLds#v=onepage&q=tratamiento%20de%20residuos%20peligrosos&f=false)

Clerc, J., Pereira, A., Alfaro, C., & Yunis, C. (2021). *Economía circular y valorización de metales*. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Recuperado el 17 de Enero de 2022, de

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47429/S2100496_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Comisión Chilena del Cobre. (2017). *Tendencias de usos y demanda de productos de cobre*.

Santiago, Chile: Ministerio de Minería. Recuperado el 29 de enero de 2022, de

<https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Tendencias%20de%20usos%20y%20demanda%20de%20productos%20de%20cobre.pdf>

Comisión Chilena del Cobre. (2021, mayo). *Informe de tendencias del mercado del cobre*.

Santiago: Ministerio de Minería. Recuperado el 29 de Enero de 2022, de

<https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Inf.%20Tendencias%20Mercado%20del%20Cobre%20Proy%202021-2022%20Q1%202021.pdf>

Copper Alliance Org. (10 de febrero de 2022). *Copper Alliance*. Recuperado el 13 de febrero de

2022, de Copper Alliance: <https://copperalliance.org/wp-content/uploads/2022/02/ICA-RecyclingBrief-202201-A4-R2.pdf>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2017). *Metales: Propiedades químicas y toxicidad productos químicos* (Vol. II). Argentina: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene

en el Trabajo. Recuperado el 25 de Enero de 2022, de

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/enciclopedia_de_salud_y_seguridad_en_el_trabajo_oit_tomo_2_capitulo_63.pdf

Instituto Tecnológico Metropolitano. (2021). Revalorización de residuos de equipos eléctricos y electrónicos en Colombia: una alternativa para la obtención de metales preciosos y metales para la industria. *Tecnológicas*, 24(51 (2021)), 20. doi:<https://doi.org/10.22430/22565337.1740>

Kuchar, D., Fukuta, T., Onyango, M., & Matsuda, H. (2 de noviembre de 2006). Sulfidation treatment of copper-containing plating sludge towards copper resource recovery. *Journal of Hazardous Materials*, 138, 89-94. doi:10.1016/J.JHAZMAT.2006.05.037

Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca [MPCEIP]. (2021). *Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador*. Quito: Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. Recuperado el 6 de Enero de 2022, de https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Libro-Blanco-final-web_mayo102021.pdf

Norma Técnica Ecuatoriana [INEN-ISO/TR 14049:2014]. (2014). *Evaluación del Ciclo de Vida*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado el 2 de Marzo de 2022

Norma Técnica Ecuatoriana [NTE INEN 2266:2013]. (2013). *Transporte, Almacenamiento y Manejo de Materiales Peligrosos*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado el 14 de Enero de 2022, de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2266-2.pdf

Norma Técnica Ecuatoriana [NTE INEN-ISO/IEC 17025]. (2018). *Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayos y Calibración*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización. Recuperado el 2 de Marzo de 2022

Pernet-coudrier, B., Ludiwinw, C., Gilles, V., Tousseau-Vuillemin, M.-H., Verger, A., & Mouchel, J.-M. (2008). *Dissolved Organic Matter from Treated Effluent of a Major Wastewater*

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

Treatment Plant: Characterization and Influence on Copper Toxicity. (Vol. 73(4)).

Chemosphere.

Presidencia de la República. (2012). *Acuerdo Ministerial 142 Listados Nacionales de Sustancias Químicas Peligrosas, Desechos Peligrosos y Especiales.* Quito: Presidencia de la República.

Recuperado el 26 de Enero de 2022, de https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Listado-desechos-sustancias-peligrosas-142.pdf

Presidencia de la República. (2015, 4 de noviembre). *Acuerdo Ministerial 097A.* Quito: Registro Oficial. Obtenido de https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf

Presidencia de la República. (2017, 12 de abril). *Código Orgánico del Ambiente.* Quito:

Presidencia de la República. Recuperado el 6 de Enero de 2022, de

https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

Presidencia de la República. (2019, 12 de junio). *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente.*

Quito: Presidencia de la República. Recuperado el 14 de Enero de 2022, de

https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-09/Documento_RCOA%20RO%20507.pdf

Radojevic, M., & Bashkin. (2006). Cambridge: RSC Publishing.

Rizzotto, M. (2007). *Diccionario de química general e inorgánica.* Rosario, Argentina: Corpus

Editorial. Recuperado el 13 de febrero de 2022, de

<https://elibro.net/es/ereader/uisekecuador/67133?page=73>

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

Rochow, E. (1981). *Química inorgánica descriptiva*. Barcelona, España: Reverté. Recuperado el 13 de febrero de 2022, de Rochow, E. G. (1981). <i>Química inorgánica descriptiva.</i>.

Editorial Reverté. <https://elibro.net/es/ereader/uisekecuador/183504?page=237>

Scribd. (9 de Febrero de 2020). *Scribd*. Obtenido de Scribd:

<https://es.scribd.com/document/446306074/problemas-huecogrado>

Suárez, Gómez, C. I. (2000). Problemática y gestión de residuos sólidos peligrosos en Colombia. *INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales [en línea]*, 41-52. Recuperado el 22 de Enero de 2022, de <https://www.redalyc.org/pdf/818/81801504.pdf>

Surco, M. (2012). *Optimización del proceso de aglomeración y lixiviación en una planta de lixiviación de cobre*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado el 14 de Febrero de 2022, de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53027033/cobre-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1644889864&Signature=S1bbM7feZysyFD2uQ0~JMCEuJmA4U3JHkozY0V1XlaNTHtQEWQWfHLmezdku9Re4YzArYA1eUxbDN8lJqex1urPypOxeZ-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53027033/cobre-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1644889864&Signature=S1bbM7feZysyFD2uQ0~JMCEuJmA4U3JHkozY0V1XlaNTHtQEWQWfHLmezdku9Re4YzArYA1eUxbDN8lJqex1urPypOxeZ-V8rUUfQfglFBZy64eUs71dNfcDIOJ2liGQZp~8ubVyURua8ai2r3iyv)

[V8rUUfQfglFBZy64eUs71dNfcDIOJ2liGQZp~8ubVyURua8ai2r3iyv](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53027033/cobre-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1644889864&Signature=S1bbM7feZysyFD2uQ0~JMCEuJmA4U3JHkozY0V1XlaNTHtQEWQWfHLmezdku9Re4YzArYA1eUxbDN8lJqex1urPypOxeZ-V8rUUfQfglFBZy64eUs71dNfcDIOJ2liGQZp~8ubVyURua8ai2r3iyv)

Svelha, G. (1979). *Vogel's Textbook of Macro and Semimicro Qualitative Inorganic Analysis*. New York: Longman.

Toapanta, G. (2011). *Análisis de oro y plata de concentrados gravimétricos auríferos mediante ensayo al fuego utilizando cobre como colector*. Quito: Universidad San Francisco de Quito. Recuperado el 14 de Febrero de 2022, de

<https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1189/1/101175.pdf>

U.S. Environmental Protection Agency. (1994). *Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule*.

Washington: U.S. Environmental Protection Agency. Recuperado el 2 de Marzo de 2022, de <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/owm0031.pdf>

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE
GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

Valdés, M. (2018). *Evaluación experimental de la lixiabilidad de roca mineralizada mediante técnicas de lixiviación in situ*. Santiago: Universidad de Chile. Recuperado el 14 de Febrero de 2022, de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168033/Evaluaci%C3%B3n-experimental-de-la-lixiabilidad-de-roca-mineralizada-mediante-t%C3%A9cnicas-de-lixiviaci%C3%B3n-in-situ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vilarinho, C., Castro, F., Carneiro, F., & Ribeiro, A. (2012). Development of a Process for Copper Recovering from Galvanic Sludges. *Scientific.Net*, 575-580.
doi:<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.730-732.575>

Zhang, Y. (2015). *Análisis ambiental de la producción de cobre*. Marcelona: Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado el 14 de Febrero de 2022

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

ANEXO A

Recuperación de metales de residuos electrónicos

Tabla 1. Crecimiento global de los WEEE. Fuente: [3].

País	Cantidad de dispositivos en el Mercado para el 2012 (Mt)	WEEE estimado para el 2013 (Mt)	WEEE por persona (kg/persona)	WEEE estimado para el 2020 (Mt)	Incremento (2013-2020)
EU-28	9800	10 205	19,6	11 430	12 %
USA	9350	9359	29,3	10 050	7 %
China	12 405	6033	4,4	12 066	98 %
Japón	3300	3022	23,8	3200	5 %
India	3026	2751	2,2	6755	145 %
Alemania	1752	1696	21,9	1974	16 %
Rusia	1599	1556	10,9	2000	28 %
Brasil	1850	1530	7,1	1850	20 %
Francia	1520	1224	21,6	1625	32 %
Italia	1124	1154	19,3	1343	16 %
Corea	959	961	19,2	1050	9 %
Turquía	726	661	8,8	800	21 %
Holanda	432	394	23,3	421	6 %
Rumania	217	157	7,9	227	44 %
Noruega	175	127	25,8	136	7 %
Bulgaria	86	62	8,6	89	43 %

(Fuente: Instituto Tecnológico Metropolitano, 2021)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

ANEXO B

Tipos de desechos y contenido de metales

Tabla 2. Varios tipos de WEEE y sus contenidos de metales. Fuente: modificado de [12].

E-Waste	Fe (wt %)	Cu (wt %)	Al (wt %)	Pb (wt %)	Ni (wt %)	Ag (ppm)	Au (ppm)	Pd (ppm)
Tableros de TV	28	10	10	1,0	0,3	280	20	10
Tableros PC	7	20	5	1,5	1	1000	250	110
Desechos de teléfonos móviles	5	13	1	0,3	0,1	1380	350	210
Dispositivos de audio	23	21	1	0,14	0,03	150	10	4
Reproductores de DVD	62	5	2	0,3	0,05	115	15	4
Desechos de calculadora	4	3	5	0,1	0,5	260	50	5
Tableros principales de PC	4,5	14,3	2,8	2,2	1,1	639	566	124
Desechos de circuitos impresos de tableros	12	10	7	1,2	0,85	280	110	-
Desechos de TV	-	3,4	1,2	0,2	0,038	20	<10	<10
Desechos electrónicos	8,3	8,5	0,71	3,15	2,0	29	12	-
Desechos de PC	20	7	14	6	0,85	189	16	3
Desecho electrónico típico	8	20	2	2	2	2000	1000	50
Desechos electrónicos: Muestra 1	37,4	18,2	19	1,6	-	6	12	-
Desechos electrónicos: Muestra 2	27,3	16,4	11,0	1,4	-	210	150	20
Circuitos impresos de tableros	5,3	26,8	1,9	-	0,47	3300	80	-
Desechos electrónicos (1972)	26,2	18,6	-	-	-	1800	220	30
Mezcla WEEE	36	4,1	4,9	0,29	1,0	-	-	-

Nota: "-", No se encuentra reportado.

(Fuente: Instituto Tecnológico Metropolitano, 2021)

ANEXO C

Principales propiedades de las aleaciones de cobre

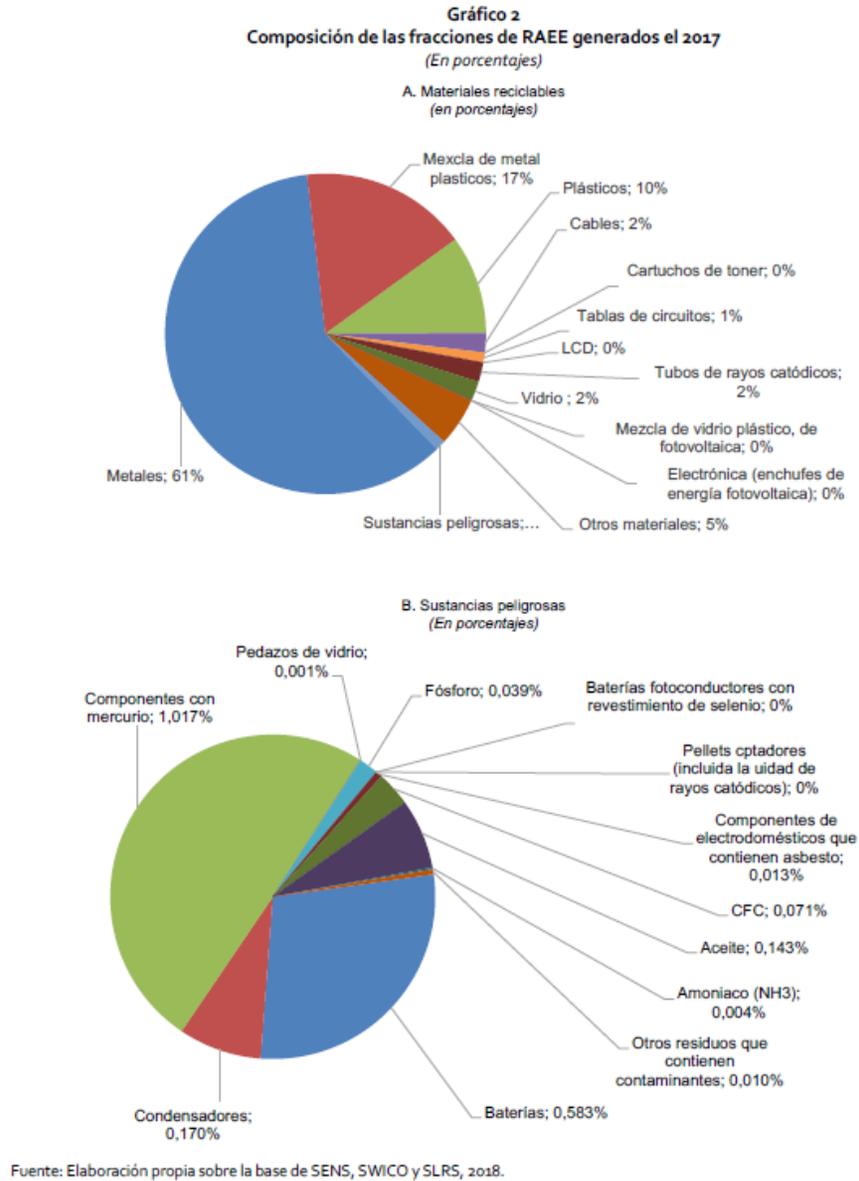
Aleación	Principales propiedades
Latones (cobre con zinc)	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a la tracción - Maquinabilidad - Ductilidad - Resistencia al desgaste - Dureza - Color - Antimicrobiana - Buena conductividad eléctrica y térmica - Resistencia a la corrosión
Bronce (Cobre con estaño)	<ul style="list-style-type: none"> - Dureza - Rigidez - Alto límite elástico - Resistencia a la corrosión
Gunmetal (cobre con estaño y zinc)	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil de fundir - Resistencia a la tracción - Resistencia a la corrosión
Cobre - Níquel	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a la tracción - Ductilidad - Resistencia a la corrosión - Resistencia al biofouling
Cobre - Plata	<ul style="list-style-type: none"> - Alta dureza - Soporta altas temperaturas (hasta 226°C) - Buena conductividad eléctrica
Cobre - Berilio	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor dureza que otras aleaciones - Mayor resistencia a la tracción que otras aleaciones - Buenas conductividades eléctricas y térmicas
Cobre - Aluminio	<ul style="list-style-type: none"> - Incrementa propiedades mecánicas - Resistencia a la corrosión
Cobre - Cromo	<ul style="list-style-type: none"> - Buena conductividad eléctrica y térmica
Cobre - Cadmio	<ul style="list-style-type: none"> - Alta resistencia a la tracción - Buena conductividad eléctrica - Mayor resistencia al ablandamiento a temperaturas elevadas

(Comisión Chilena del Cobre, 2017)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

ANEXO D

Composición de las fracciones de Residuos Aparatos Eléctricos Electrónicos (2017)



(Clerc et al., 2021)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

ANEXO E

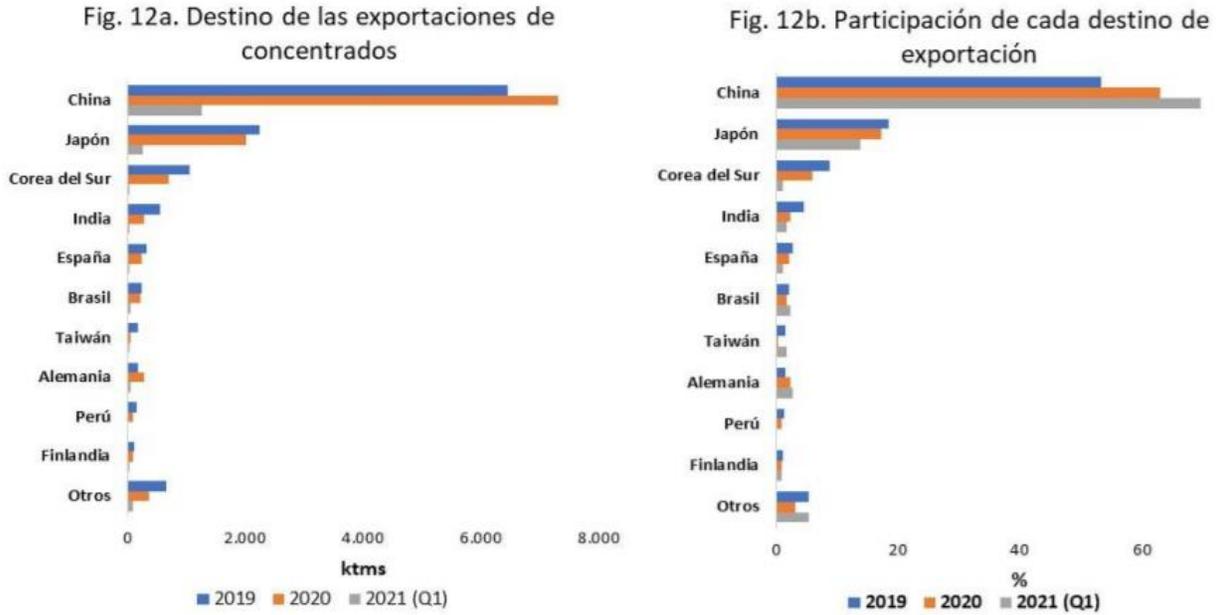
Proyección de demanda de cobre refinado 2021 - 2022 (miles de TM)

	2020		2021 e			2022 e		
	Ktmf	Var. %	Ktmf	Var.%	Dif.	Ktmf	Var.%	Dif.
China	12.734	4,1%	13.014	2,2%	280	13.275	2,0%	260
Europa	3.495	-5,0%	3.607	3,2%	112	3.769	4,5%	162
EE.UU	1.649	-5,2%	1.694	2,7%	45	1.763	4,1%	69
Japón	858	-11,5%	916	6,8%	58	962	5,0%	46
India	446	-18,2%	526	18,0%	80	599	14,0%	74
Sur Corea	635	-2,4%	654	2,9%	18	680	4,0%	26
Turquía	428	-5,0%	438	2,3%	10	456	4,2%	18
México	387	-9,3%	404	4,5%	17	426	5,3%	21
Taiwán	417	2,1%	426	2,3%	10	437	2,6%	11
Tailandia	319	-12,5%	343	7,5%	24	374	9,0%	31
Otros Países	2.047	-12,0%	2.190	7,0%	143	2.398	9,5%	208
Mundo	23.415	-0,4%	24.212	3,4%	798	25.140	3,8%	927

(Comisión Chilena del Cobre, 2021, mayo)

ANEXO F

Principales destinos de las exportaciones chilenas de concentrados de cobre

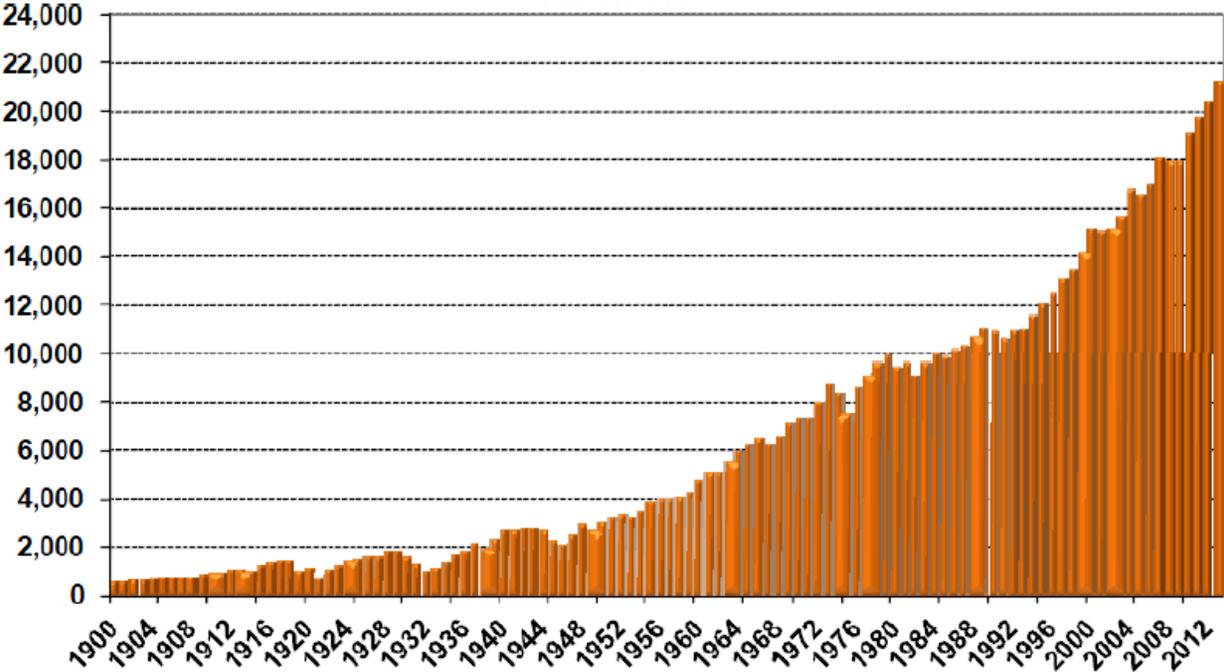


(Comisión Chilena del Cobre, 2021, mayo)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

ANEXO G

Cantidad de uso mundial del cobre, 1900-2013 (Unidad: Mil Toneladas)



(Zhang, 2015)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

ANEXO H

Resultados Software SimaPro simulador de producción de cobre, analiza Ciclo de vida

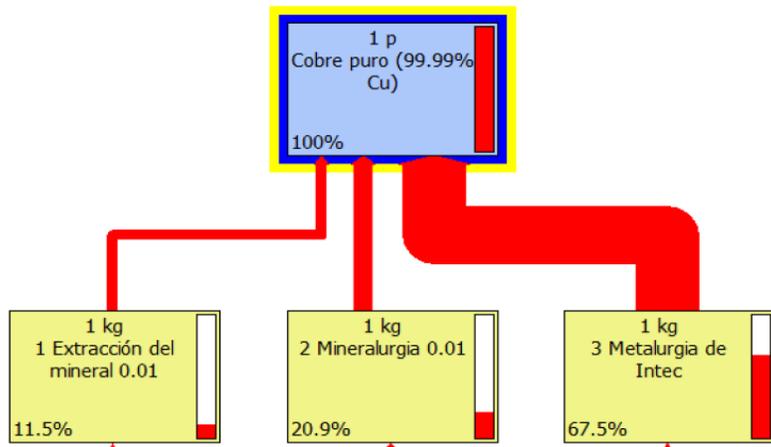
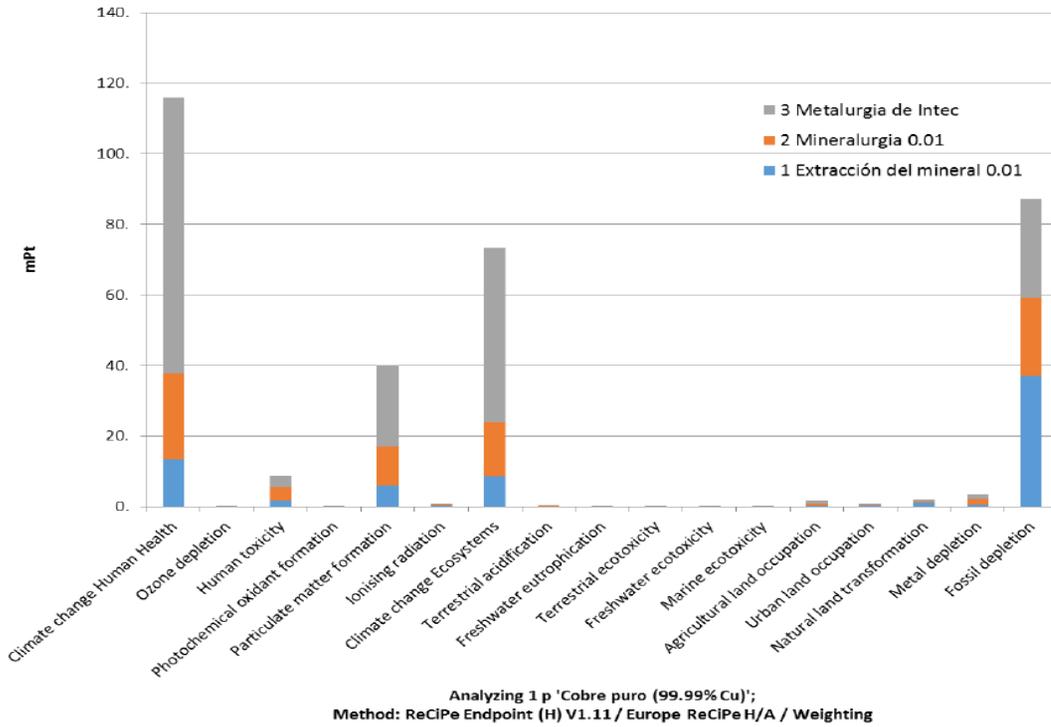


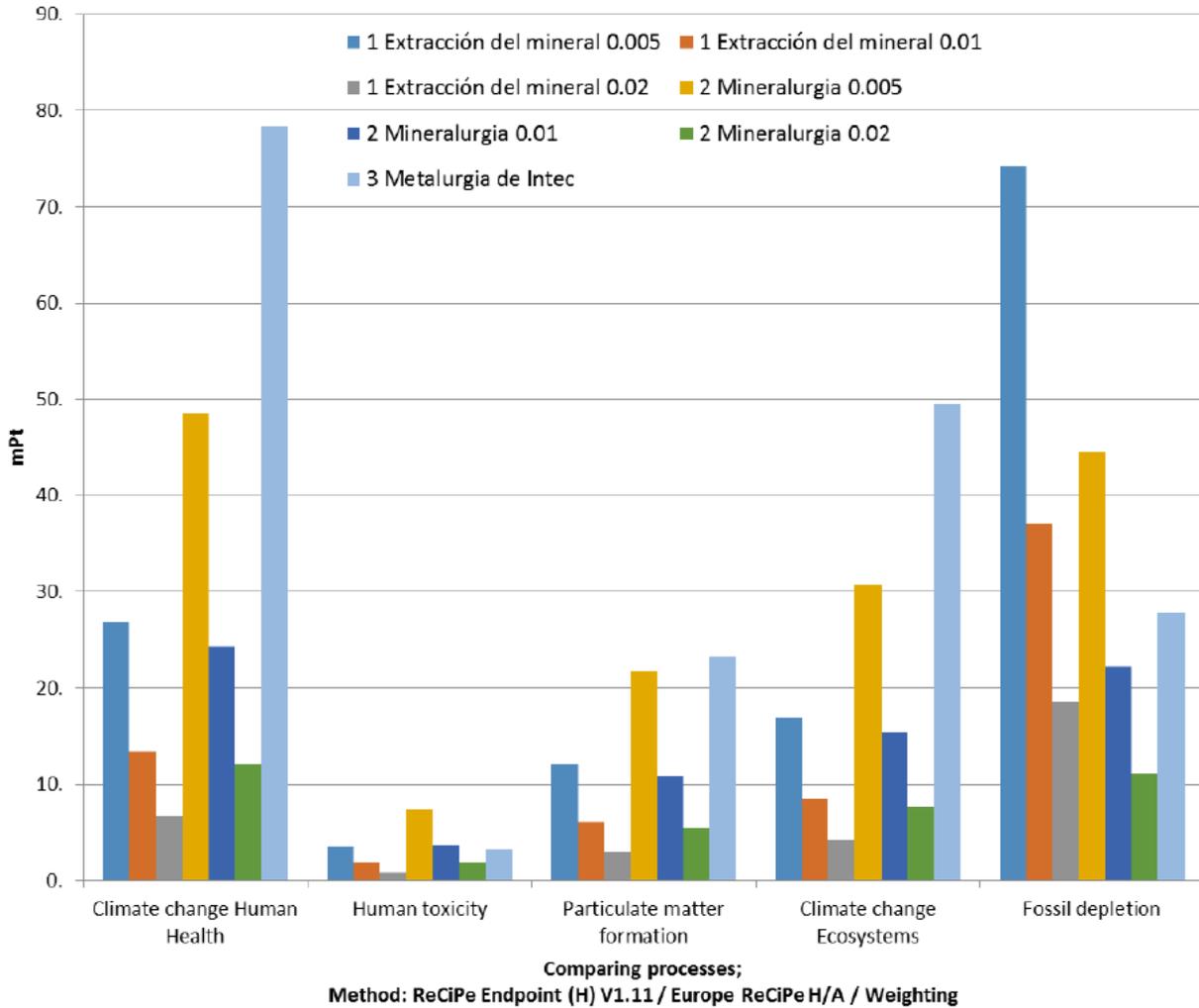
Figura 4.2 Flujo de la contribución de cada etapa (el cambio climático y la salud humana)

(Zhang, 2015)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

ANEXO I

Comparación de varias leyes de cobre para el ciclo de vida del cobre (ReCiPe)



(Zhang, 2015)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

ANEXO J

Límites de contaminantes y tasas de carga para biosólidos aplicados al suelo

Table 1. Pollutant limits and loading rates for land-applied biosolids^a.

Pollutant	Ceiling Concentration Limits (CCL) EPA Section 503.13 Table 1 -- mg/kg ^b --	Pollutant Concentration (PCL) EPA Section 503.13 Table 3 -- mg/kg ^b --	Cumulative Pollutant Loading Rate Limits for Biosolids (CPLR) EPA Section 503.13 Table 2 -- kg/ha ^b --	Annual Pollutant Loading Rate Limits for Biosolids (APLR) EPA Section 503.13 Table 4 -- kg/ha/365-d period --
Arsenic (As)	75	41	41	2.0
Cadmium (Cd)	85	39	39	1.9
Copper (Cu)	4,300	1,500	1,500	75
Lead (Pb)	840	300	300	15
Mercury (Hg)	57	17	17	0.85
Molybdenum (Mo)	75	---	---	---
Nickel (Ni)	420	420	420	21
Selenium (Se)	100	100	100	5.0
Zinc (Zn)	7,500	2,800	2,800	140
Applies to:	All biosolids that are land applied	All biosolids that are land applied	Bulk biosolids	
Regulatory status:	Biosolids that are land applied cannot exceed	Biosolids below these do not need a permit if other regulatory requirements are met	Cumulative metal concentrations cannot exceed	Biosolids above PCL cannot exceed

^aSource: EPA Guide to Part 503 Rule Chapter 2.

^bDry-weight basis: mg/kg - milligrams per kilogram; kg/ha - kilograms per hectare.

^cThe February 25, 1994 Part 503 Rule Amendment deleted the molybdenum limits but retained the molybdenum CCL.

(Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule, 1994)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

ANEXO K

Análisis preliminar de muestra (lodo residual)

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	28045-2	INCERTIDUMBRE (K=2)	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽³⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				L2			
ARSÉNICO	EPA 3005 A, Rev. 01, 1992 EPA 6010 B, December 1996 Standard Methods Ed. 23, 2017, 3120 B	PA - 118.00	mg/kg	2,22	± 0,12 mg/kg	75	CUMPLE
CADMIO			mg/kg	0,359	± 0,00062 mg/kg	85	CUMPLE
CROMO TOTAL			mg/kg	17,5	± 0,011 mg/kg	NO APLICA	NO APLICA
COBRE			mg/kg	622473 ^(a)	± 0,155 mg/kg	4300	NO CUMPLE
PLOMO			mg/kg	13,1	± 0,124 mg/kg	840	CUMPLE
MERCURIO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 3112 B	PA - 57.00	mg/kg	<0,10	± 0,02 mg/kg	57	CUMPLE
NÍQUEL	EPA 3005 A, Rev. 01, 1992 EPA 6010 B, December 1996 Standard Methods Ed. 23, 2017, 3120 B	PA - 118.00	mg/kg	22,6	± 0,36 mg/kg	420	CUMPLE
ZINC			mg/kg	4968,8	± 16,35 mg/kg	7500	CUMPLE
COLIFORMES FECALES(*)	PETRIFILM	PA - 97.00	NMP/g	0	-	⁽²⁾ <1000	CUMPLE
SALMONELLA(*)	PETRIFILM	PA - 106.00	NMP/g	0	-	⁽²⁾ <1	CUMPLE
HUEVOS DE HELMINTOS(*)	Norma Mexicana NMX-AA-113-SCFI-2012, Rev. 02, 2012	PA - 98.00	huevos/g	<1	-	⁽²⁾ <3	CUMPLE

(Fuente: Laboratorio ALS Ecuador)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

ANEXO L

Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN [□]	mg/l	1,0
Cí nc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Mangane so total	Mn	mg/l	10,0
Me rcuri o (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kje dahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Total e s	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

(Fuente: A.M. 097, 2015)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

ANEXO M

Criterio de calidad de aguas para riego agrícola

TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA			
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	PelículaVisible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/ l	0, 2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

(Fuente: A.M. 097, 2015)

ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE DE LOS LODOS QUE GENERA EL PROCESO DE DESGRABADO DE CILINDROS EMPRESA SIGMAPLAST

ANEXO N

Resultado análisis metales en residuo no digerido (disuelto en agua)

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	5386	INCERTIDUMBRE (K=2)
				Agua Residual	
COBRE	EPA 3005 A, Rev. 01, 1992 EPA 6010 B, December 1996 Standard Methods Ed. 23, 2017, 3120 B	PA - 117.00	mg/l	0,11 ^(a)	± 0,016 mg/l
ZINC		PA - 117.00	mg/l	0,278	± 0,00011 mg/l
NÍQUEL		PA - 117.00	mg/l	0,031	± 0,000053 mg/l
CROMO TOTAL		PA - 117.00	mg/l	<0,020	± 0,000082 mg/l
PLOMO		PA - 117.00	mg/l	0,042	± 0,0001 mg/l
POTENCIAL HIDRÓGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-H+ A y 4500-H+ B	PA - 05.00	U pH	<4,00	± 0,11 U pH

(Fuente: Laboratorio ALS Ecuador)