

Fundación Universitaria  
**SAN MATEO**



Fundación Universitaria  
**SAN MATEO**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y AFINES**

**Determinar que procesos en la actualidad están siendo utilizados para su  
implementación a nivel industrial.**

**TRABAJO DE GRADO MODALIDAD DE OPCIÓN DE GRADO**

**KEVIN ALONSO MARTINEZ TRIVIÑO**

**DIRECTOR (A)**

**SERGIO IVAN CARRILLO GERRERO**

**BOGOTA D.C.**

**2019**

### **NOTA DE SALVEDAD DE RESPONSABILIDAD INSTITUCIONAL**

*“La Fundación Universitaria San Mateo NO se hace responsable de los conceptos emitidos en el presente documento, el departamento de investigaciones velará por el rigor metodológico de la investigación”.*

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I	14
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	14
Presentación del problema de investigación	14
Justificación	22
Objetivos	24
CAPITULO II	26
MARCO TEÓRICO	26
Antecedentes de la investigación	26
Bases teóricas o fundamentos conceptuales	34
Bases legales de la investigación	39
CAPITULO III	40
DISEÑO METODOLÓGICO	40
Tipo de investigación	40
Población	41
Técnicas e instrumentos de recolección de datos	41

CAPITULO III	43
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	43
RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO NO. 1	43
RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECIFICO NO. 2	48
RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECIFICO NO. 3	56
CAPÍTULO V.	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	64
Citas de referencia o cita contextual.	64
Anexos	70

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 9 .....	26
Muestra un proceso experimental realizado en los tres diferentes microrganismos	
Figura 10 .....	27
Diagrama de desarrollo experimental	
Figura 14 .....	32
Control de impurezas en refinación electrolítica del cobre.	
Figura 18 .....	43
Geólogos explorando subsuelo para determinar qué cantidad de cobre hay en él.	
Figura 19 .....	51
Muestra el cobre liquido siendo fundido sobre moldes.	
Figura 20 .....	55
Muestra el proceso de electrolisis el cual para este caso es electrodeposición.	
Figura 21 .....	56
Diferentes clases de aleación de cobre	
Figura 16 .....	37
Reacción redox	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 .....	14
Perdida exergetica de los principales minerales no energiticos a lo largo del siglo XX	
Tabla 2 .....	15
Pérdida exergética de los 15 minerales no energéticos más importantes (excluidos hierro y aluminio) durante el siglo XX	
Tabla 3 .....	15
Grado de agotamiento en porcentaje de los principales minerales no energéticos	
Tabla 4 .....	17
Evolución del precio del Cobre 1970 – 2004	
Tabla 5 .....	18
Inventarios de cobres en bodegas 2004	
Tabla 6 .....	18
Disponibilidad en años los de recursos naturales de minería y energía en Colombia	
Tabla 7 .....	19
Balance Nacional de Minerales 2012 – 2016 de Producción de cobre en Colombia	
Tabla 8 .....	20
10 principales proyectos de minas de cobre en Colombia	

Tabla 9.....	28
Diagrama de desarrollo experimental	
Tabla 10.....	29
Proceso de biolixiviación	
Tabla 11.....	32
muestra la cantidad de ácido sulfuro consumido frente a la producción de cobre	
Tabla 12.....	35
Influencia de elementos en el cobre	
Tabla 13.....	36
Clasificación del cobre en aleación por calidades	
Tabla 13.....	37
Ejemplo de la masa molar de diferentes elementos incluidos el cobre	
Tabla 14.....	57
Aleaciones de cobre don diferentes materiales de acuerdo para su uso.	

## RESUMEN

El cobre tuvo su primera aparición a finales del neolítico 6000-4000 A.C. Desde ese momento, empezó a tener un valor importante en diferentes culturas, no solo se empleaba este mineral en herramientas, si no para aleaciones distintos materiales, como en la edad del bronce, tiempo después su utilización es para aleación para acuñar monedas en las diferentes sociedades antiguas. El cobre hoy en día es importante para nuestro desarrollo tecnológico, es el tercer metal más utilizado en el mundo, y este metal es ideal para utilizaciones eléctricas, no solo por su bajo costo y lo abundante en la naturaleza, sino porque en condiciones específicas no pone resistencia como otros materiales.

Para esto se han empleado diversas técnicas para su obtención, Codelco Chile S.A es el mayor productor del mundo de cobre, y emplea procesos específicos para su obtención, Codelco Chile S.A se destaca no solo por la gran cantidad de cobre que produce, sino la calidad del material ya que este mineral tiene un 99.99% de pureza, vendiéndola en su presentación más común en cátodos de cobre (placas de cobre).

Las extracciones de cobre se hacen en zonas mineras, donde estas tienen un impacto ambiental grande, en donde esta genera modificaciones al medio ambiente entre otras. Para ello se generan alternativas como el reciclaje de cobre el cual ayuda a mitigar estos impactos ambientales, y el producto final de esta recuperación es igual como si fuera producido desde

una mina, para ello se emplean procesos como lo son fundición, Refinación a fuego, Lixiviación y electro depositación.

**PALABRAS CLAVE:** Fundición, lixiviación de cobre, precipitación de cobre, electro-depositación, depositación por solventes, biolixiviación, aleación en base cobre, reciclaje de cobre, pirometalurgia.

## ABSTRACT

Copper had its first appearance at the end of the Neolithic 6000-4000 BC. From that moment, it began to have an important value in different cultures, not only was this mineral used in tools, if there are no different claims of materials, as in the age of bronze, time after use is for alloy to coin coins in different ancient societies. Copper today is important for our technological development, it is the third most used metal in the world, and this metal is ideal for electrical uses, not only because of its low cost and abundance in nature, but because in specific conditions it does not It puts resistance like other materials.

For this, various techniques have been used to obtain it, Codelco Chile SA is the largest producer in the world of copper, and uses specific processes to obtain it, Codelco Chile SA stands out not only for the large amount of copper it produces, but also the quality of the material since this mineral has a 99.99% purity, it is sold in its most common presentation in copper cathodes (copper plates).

Copper extractions are made in mining areas, where they have a large environmental impact, where it generates modifications to the environment, among others. For this, alternatives such as copper recycling are used, which helps to mitigate these environmental impacts, and the final product of this

recovery is the same as outside a mine, for which processes such as smelting, fire refining, leaching and electro deposition.

**KEY WORDS:** Casting, copper leaching, copper precipitation, electro-deposition, solvent deposition, bioleaching, copper-based alloy, copper recycling, pyrometallurgy.

## INTRODUCCIÓN

La producción de cobre a nivel mundial se destaca por dos procesos en donde la pirometalurgia y la hidrometalurgia, en donde la pirometalurgia produce cerca del 80% y la hidrometalurgia cerca del 20% del cobre producido por el mundo. Pero estas en su gran mayoría son de minería a cielo abierto y minería subterránea, las cuales traen problemas medio-ambientales grandes. Para esto hay otras alternativas como lo es el reciclaje del cobre, el cual, se pueden aplicar las técnicas de producción de cobre de la mina, en producción de cobre reciclaje. Para esto se emplean procesos de fundición en los que en sus diferentes etapas, se eliminan impurezas, como hierro, zinc, arsénico, etc. Para remover impurezas que superan el punto de fusión de cobre se utiliza aire aplicado a la mata fundida para evacuar por medio de vapor los carbonos y otras impurezas restantes, de este modo la mata de cobre tiene cerca de un 97% de pureza lo restante es extraer el oxígeno presente en la mata que se hace por un proceso llamado refinación a fuego en donde se agrega aire y gas natural para que dé con una pureza de 99.95%. Otros procesos son los de lixiviación en donde el cobre se disuelve en un agente lixivante que en general es ácido sulfúrico, para después por medio de una corriente eléctrica el elemento deseado (cobre) se deposita en los cátodos de las celdas, este proceso arroja un 99.99% de pureza del mineral.

# CAPITULO I

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### Presentación del problema de investigación

El desarrollo tecnológico actual ha tenido un respaldo importante en el uso del cobre. Esto lo evidenciamos desde el descubrimiento del cobre a finales de la edad de piedra dando lugar a una nueva edad llamada edad del cobre. Las aplicaciones modernas dan cuenta de lo importante de su uso. Uno de los problemas grandes relacionados con el cobre es su extracción ya que históricamente hemos agotado los yacimientos de la mayoría de minerales

. Para esto es necesario “buscar nuevos sustitutos”, los cuales ayuden a largar la vida de los yacimientos, para esto una de las soluciones principales es la recuperación de los minerales en los elementos ya usados (reciclaje de estos). (...) “En 2009, los estadounidenses reciclaron solo el 25% de sus televisores y ordenadores usados, y únicamente reciclaron el 8% de los teléfonos móviles.”(...) [12] (BBC New Mundo, 2014). No existen muchos datos relevantes del porcentaje de pérdida de agotamiento de recursos en el mundo, pero recientemente se han generado estudios del consumo de minerales hasta finales del siglo XX, estos no siendo evaluados en valor monetario si no en términos de TEP (Toneladas equivalentes a petróleo), este estudio no se generó en valor monetario ya que este es dependiente de economía y por lo tanto es abstracto a la hora de evaluar.

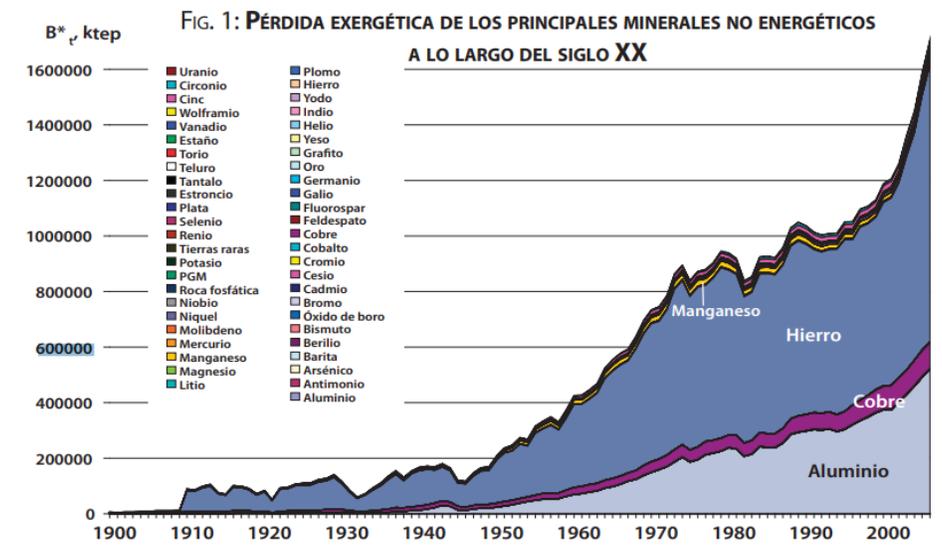


Fig. 1: Perdida exergetica de los principales minerales no energeticos a lo largo del siglo XX [13] (Alicia Valero y Antonio Valero, 2009)

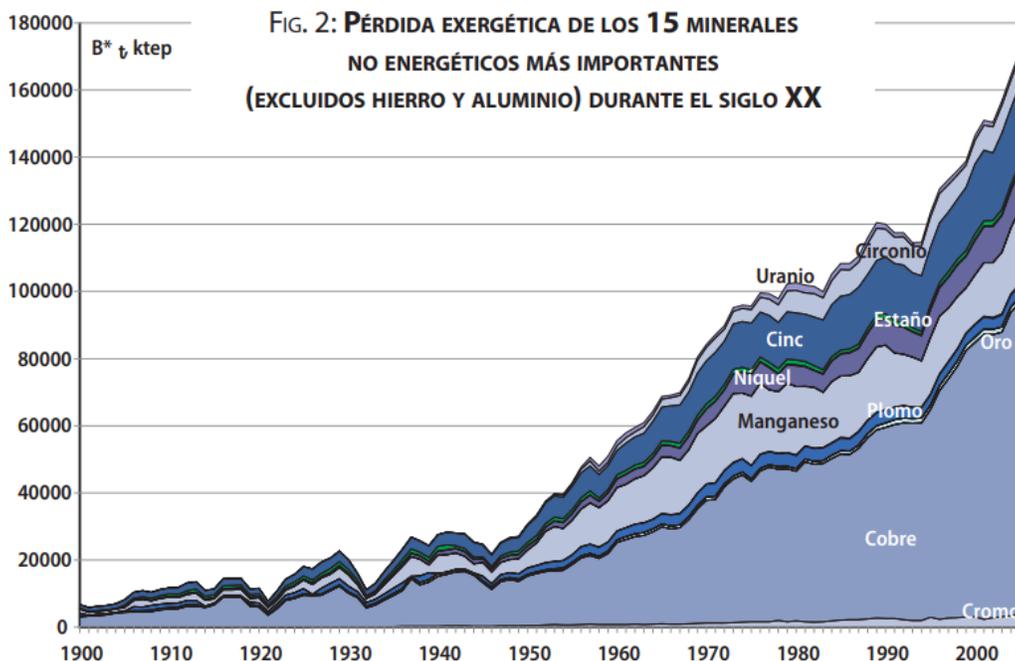


Fig. 2: Pérdida exergética de los 15 minerales no energéticos más importantes (excluidos hierro y aluminio) durante el siglo XX [14] (Alicia Valero y Antonio Valero, 2009)

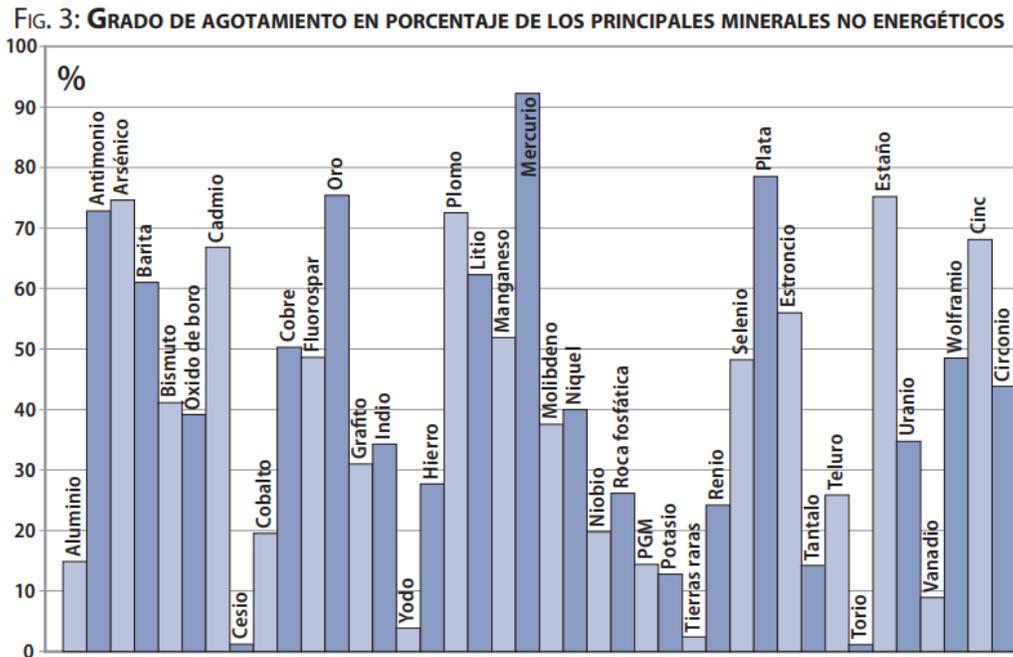


Fig. 3: Grado de agotamiento en porcentaje de los principales minerales no energéticos [15] (Alicia Valero y Antonio Valero, 2009)

Las anteriores imágenes reflejan el, el aumento de consumo de cada uno de los minerales expuestos incluidos el cobre, es este último según el estudio realizados por los analistas Valeros nos quedarían aproximadamente la mitad del cobre en los yacimientos. Esto no el único problema que tenemos en la actualidad, las minerías a cielo abierto de cobre, son otro gran problema que hoy en día tenemos, ya que solo no modifican visualmente el terreno, dañando y eliminado la capa vegetal de la zona, con unas consecuencias graves siendo la flora y fauna una de las principales

poblaciones más afectadas, estas modificaciones del terreno se hacen gracias a perforaciones en el terreno y explosivos detonados controladamente para la fragmentación de rocas que contienen alto contenido mineral, las excavaciones son aproximadas a los 1200 metros de profundidad dejando una afectación grave al terreno, el cual tomara mucho tiempo en su recuperación, la minería a cielo abierto tiene otras consecuencias al vertimiento de ácidos para su lixiviación, estos siendo expuestos al aire libre, y en muchos de los casos la contaminación del subsuelo, ya que el rompimiento de las membranas que separaran el vertimiento de ácido y el suelo.[16] (Revista de Ciencia y Desarrollo, 2006). En las refinerías de las minerías de cielo abierto se evidencia otra problemática, reconociéndola Codelco Chile (La mayor productora de cobre). Que aporta un total de 5.638.697 toneladas de CO<sub>2</sub> al año para hacer una producción de 1.7 millones de cobre al año.[17] (Codelco Chile, 2014). Las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en 2014 en Chile fueron de 81.457.000 toneladas al año [18] (Datosmacro.com, 2017).

En Codelco las emisiones totales fueron de 5.638.697 toneladas de CO<sub>2</sub> al año; quiere decir que Codelco Chile S.A produce cerca 7% de CO<sub>2</sub> respecto a la producción CO<sub>2</sub> anual.

Otro factor importante es el impacto en la economía ya que el cobre es todavía importante para nuestro avance tecnológico y social. Según un

informe presentado por Naciones Unidas el cobre en 1970 al 2004 ha presentado variaciones respecto a sus precios.

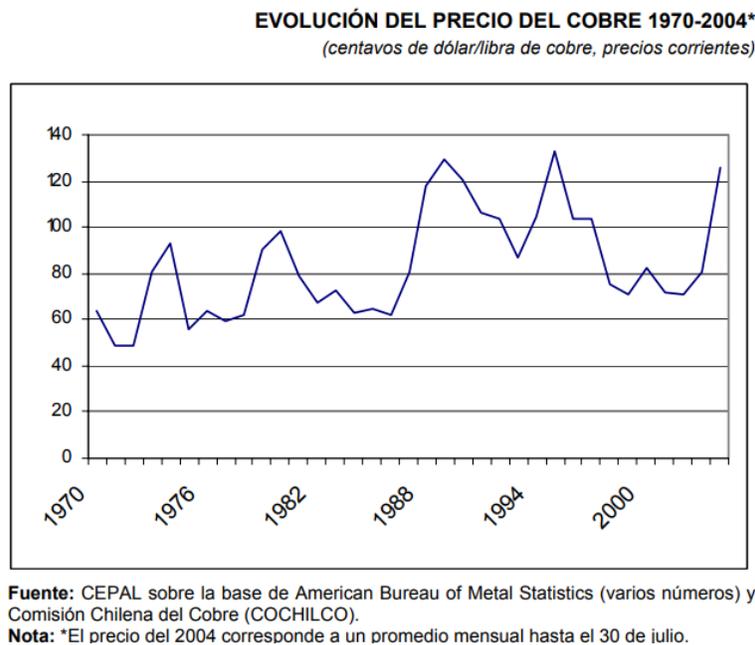


Fig. 4: Evolución del precio del Cobre 1970 – 2004 [19] (CEPAL y COCHILCO, 2004)

Estas variaciones son debidas a la depreciación del dólar frente al euro, así mismo como la demanda de las potencias comerciales de Estados Unidos de Norte América, Japón y China. Así mismo como la disminución de inventarios de cobre a nivel mundial disminuyeron en 2003, la cual tuvo una apreciación del cobre frente al dólar fue de 17% al 2004. [20] (Cepal, 2004)

**INVENTARIOS\* DE COBRE EN BODEGAS**  
(miles de TM y porcentajes)

			Variación II-2004 / I-2004	
	I-2004	II-2004	Absoluta	Porcentajes
Estados Unidos	169	96	-73	-43%
Europa	20	1	-19	-95%
Asia	0	8	8	—
Total Bolsa de Metales de Londres	189	105	-84	-44%
Estados Unidos	193	86	-107	-55%
Total COMEX	193	86	-107	-55%
TOTAL Bodegas en Estados Unidos	362	182	-180	-50%

**Fuente:** COCHILCO.  
**Nota:** \* Inventarios a fines de cada período.

Fig. 5: Inventarios de cobres en bodegas 2004 [21] (Cepal, 2004)

Respecto a Colombia. Colombia no es un país productor de grandes minerales ya que Colombia cuenta con muy pocas reservas descubiertas en lo largo del territorio nacional (Fig. 6), así mismo como poca inversión de empresas extranjeras para la minería en el territorio Nacional. Quiriendo decir esto que la mayoría de minerales especialmente del cobre como mineral es importado, lo cual es un impacto negativo frente a nuestra economía.

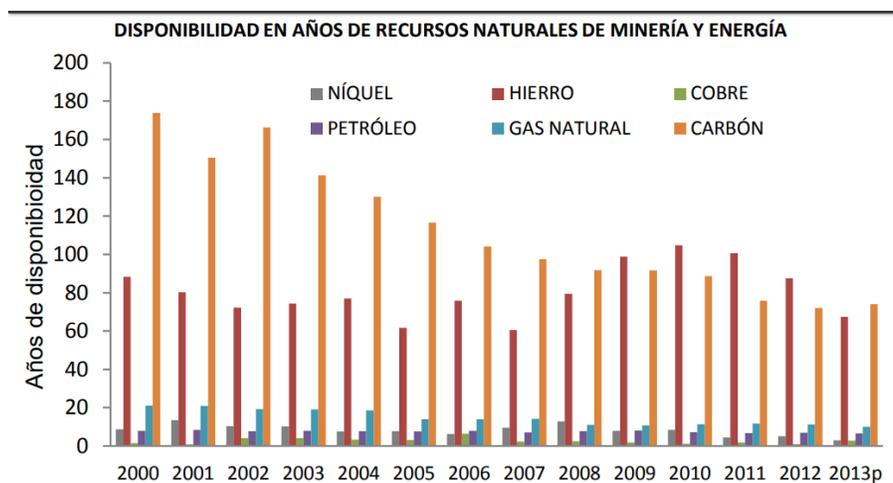


Fig. 6: Disponibilidad en años los de recursos naturales de minería y energía en Colombia (DANE, 2014).

Frente a esta problemática, los gobiernos colombianos han venido trabajando en un plan para aumentar sus reservas de cobre, este plan se encuentra en su primera fase de estudio, está ubicado en el Departamento de Córdoba, en el Municipio de Puerto Libertador a 200 Km al norte de Medellín, llamándose así El Proyecto San Matías. Este proyecto tiene como objetivo aumentar 1.100.000.000 toneladas métricas (aumento de reserva) para el país siendo la mina a cielo abierto más grande de latino américa. Hacia el año 2016 la producción total de minas de cobre en Colombia fue de 8.493 toneladas métricas anuales, dando a lugar una exportación de este mineral de 8.493 toneladas métricas anuales, dando en conclusión que el país no hace utilización del cobre producido. (Fig. 7)

**Balance Nacional de Minerales 2012 – 2016**  
**Capítulo: Cobre**  
**Cifras en Toneladas**

	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Oferta</b>					
Producción	750	640	4.118	5.463	<b>8.493</b>
Importaciones	24	6	0,4	0	0
Total oferta	774	646	4.119	5.463	8.493
<b>Utilización</b>					
Consumo intermedio	24	6	0,4	0	0
Variación de existencias	0	0	0	0	0
Exportaciones	750	640	4.118	5.463	8.493
Total utilización	774	646	4.119	5.463	8.493

*DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística [22].*

Fig. 7 Balance Nacional de Minerales 2012 – 2016 de  
 Producción de cobre en Colombia [22] (DANE, 2018)

Colombia en tiene más de 10 proyectos importantes los, cuales resalta para aumentar la productividad de cobre, siendo en el futuro uno de los

proveedores más importantes en la región ya que el agotamiento en Chile de sus yacimientos, ha disminuido la producción. Y poder así satisfacer la demanda extranjera.

<b>Empresa</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Etapa</b>
Atico Mining Corp	El Roble	Explotación
Cordoba Minerals Corp	San Matías	Exploración avanzada
Anglogold Ashanti	Quebradona	Exploración Avanzada
Rugby Mining Limited	Cobrasco	Exploración
Rugby Mining Limited	Comita	Exploración
Volador S.A.S	Mandé Norte	Exploración
Minera Cobre	Pantanos	Exploración
Minera Cobre	Murindo	Exploración
Minera Cobre	Urrao	Exploración

Fig. 8: 10 principales proyectos de minas de cobre en Colombia [23]

(UPME, 2018)

Para estas problemáticas ambientales y económicos se han planteado soluciones alternativas que ayuden a la contribuir parte de la solución o a la mitigación parcial del problema, se ha propuesto desde hace varios años el reciclaje como fuente de sustitución definitiva y/o parcial.

La demanda de cobre reciclado en Europa es del 41.5%, siendo este porcentaje reutilizado una y otra vez para elaboración de productos, siendo el cobre reutilizado ahorra un 85% de costos energéticos para su fabricación como material [24] (Instituto Europeo del cobre, s.f.). En Colombia el cobre

le juega limpio es un programa lanza en el año 2013, se estiman que 50.000 toneladas al año de cobre para reciclar es exportado a las principales naciones comerciales (China, Corea, Brasil y Grecia)[25] (UniPymes, 2013).

### **Formulación de la pregunta problema**

¿Qué proceso de reciclaje de cobre es más viable para su implementación en la Ciudad de Bogotá en el año 2019?

### **Justificación**

En la historia actual conocida la edad de los metales comenzó al finalizar la etapa del neolítico. Del 6000 – 4000 A:C; la edad de los metales se enmarca con la aparición de utensilios y decoración hechos de cobre, siendo el cobre como el primer metal utilizado por el hombre en su historia conocida, estas evidencias arqueológicas fueron encontradas en lo que hoy es Irak, Irán, Pakistán lo que hoy llamaos Turquía. Para esta época estos lugares eran grandes yacimientos de cobre los cuales eran fundidos sin una técnica específica y posteriormente al a través del tiempo fue mejorando su forjado, incluso hoy lo seguimos haciendo. Según los hallazgos arqueológicos el cobre no era usado como herramientas ya que no era tan resistente como la piedra, pero si fue utilizado en algunas civilizaciones de la época para diferencias la clase baja y alta de la época mostrando signo de poder. De esta manera se enmarca la historia el cobre dando el paso a la edad del bronce la segunda etapa de la edad de los metales.

Las civilizaciones de la época necesitaban evolucionar y se descubren las aleaciones con cobre, está según la historia se da a partir del año 4000-1500 AC. Este paso se dio gracias a que se llevaba un avance de conocimiento metalúrgico de la extracción y fundición de cobre, se da el descubrimiento al estaño como metal, y este al ser fundido los a la vez (cobre y estaño) da lugar al estaño, según datos arqueológicos, para la época se utilizaban nueve partes de cobre y una de estaño, siendo hoy utilizado por su alta resistencia a la corrosión. De esta manera se enmarca la historia ya que a pesar de que estos dos elementos eran blandos en su condición natural, al ser combinados eran más resistentes que el cobre y algunas piedras utilizadas para la época, para esta época el bronce se enmarca como uso común de la civilización incluyendo las armas de la época.[1] (Historiando.org, 2019)

El cobre es el tercer metal más utilizado del mundo, seguido del hierro y aluminio. El cobre es importante para el desarrollo de la humanidad. Ya que este es un buen conductor térmico y eléctrico, a través de la historia el cobre ha sido protagonista de grandes inventos de aleaciones, los cuales hoy son muy utilizados para diversos el más conocido hoy es el latón (5- 40% de zinc y 60- 95% cobre), bronce (3-20% de estaño y 80-97% de cobre), duraluminio (4.4% cobre, 1.5% magnesio, 0.6% manganeso, 93.5% aluminio), entre otros los cuales son importantes para el desarrollo e innovación de la vida diaria. Se conoce que el cobre empezó su gran protagonismo en 1831,

cuando Faraday invento el generador eléctrico, desde entonces es usado en la industria eléctrica ya bien sea el material cobre o aleaciones a base de cobre. El cobre incluso se ha vuelto importante en la microbiología ya que este impide el crecimiento de colonias de bacterias.

El cobre en cuanto su producción se tienen datos oficiales, tras el paso de la segunda guerra mundial, para esa época se facturaron dos millones de toneladas en 1950, para hoy en día su demanda pasa por los 17 millones de toneladas, las cuales Chile siendo el mayor productor del mundo de cobre las cuales contribuye 5.7 millones de toneladas, seguido de china con 1.6 millones de toneladas anuales, y Perú con 1.3 millones de toneladas actuales. Se estima que el mayor demandante de cobre de cobre es la unión europea con más de 4 millones de toneladas anuales, seguido por china con un consumo de 3.6 millones de toneladas, se estima que las mayores de reservas están ubicadas en Chile, las cuales según la producción actual de cobre la reserva total sería de 60 años aproximadamente, teniendo en cuenta que el mayor porcentaje de cobre proviene de cobre reciclado. [2] (Unger, 2014)

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Identificar cuales procesos están disponibles para el reciclaje del cobre en Bogotá D.C para su implementación industrial.

**OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Establecer cuáles procesos o métodos están siendo utilizados en la actualidad para el reciclaje de cobre.

2. Explicar el proceso de los métodos utilizados para el reciclaje de cobre electrolítico en la actualidad.

3. Analizar la viabilidad del método o proceso para su implementación en la industria respecto a la calidad de producto final de cobre electrolítico.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### Antecedentes de la investigación

Este trabajo de investigación está basado en demostrar que se puede recuperar cobre de chatarra con baja concentración de este elemento, a diferencia de otros tipos de recuperación y refinación como lo es la fundición y la lixiviación por disolventes que son muy útiles y aprovechables en cantidad grandes de chatarra para recuperar. Este proceso garantiza que se optima la recuperación.

El proceso para hacer una óptima recuperación de chatarra en baja ley de cobre se le conoce como biolixiviación. EL proceso de biolixiviación consiste que unos microorganismos interactúen con los metales específicamente en este caso el cobre. Para este propósito podríamos emplear tres clases de microorganismos que son: bacterias, bacterias herotróficas y hongos, el éxito del trabajo (cuanto pueden lixiviar) depende de factores muy concretos como lo son: Medio ambiente, toxicidad del material, PH de solución.

Elemento	Compuesto	Descripción
Cr	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Se utilizaron los hongos <i>Aspergillus Niger</i> y <i>Aspergillus Fumigatus</i> y una mezcla de la bacteria <i>Acidithiobacillus Ferrooxidans</i> . La temperatura ideal es 45 °C, además la densidad de pulpa alta reduce el porcentaje de recuperación. La máxima solubilización con la bacteria <i>Acidithiobacillus Ferrooxidans</i> fue 40 % con una densidad de pulpa del 2 %, a 30 °C, 150 rpm y 28 días lixiviando. El <i>Aspergillus Niger</i> presentó un 34 % de recuperación de cromita tostada a una densidad de pulpa del 2 % y 32% por <i>Aspergillus Fumigatus</i> a las mismas condiciones [9].
Cu	Cu <sub>2</sub> S	Se usaron las bacterias <i>Mesophiles and Moderate Thermophiles (MT)</i> para determinar cual de las es la mejor lixiante. A una T <sub>0</sub> = 15 °C las MT murieron mientras que las <i>Mesophiles</i> proliferaron y posteriormente produjeron calor. La población total de MT es alta sin embargo no lo suficiente para producir una cantidad suficiente de iones férricos para lixiviar. Al aumentar T <sub>0</sub> = 35 °C se logró que las MT sobrevivieran y produjeran más calor con lo cual se obtuvieron optimas condiciones para la lixiviación de cobre [10].
Cu	CuFeS <sub>2</sub>	Se lixivió la calcopirita con <i>Sulfolobus Metallicus</i> a 70 °C y un pH de 1.7 utilizando una novedosa técnica electroquímica basada en la disolución de calcopirita del electrodo. Este experimento sirvió para analizar la oxidación y reducción de componentes de azufre y calcular la influencia sobre la cinética de disolución del cobre. Los resultados experimentales muestran que se lleva a cabo una oxidación eficiente de los componentes de azufre residual, contribuyendo a un gran incremento de la disolución de cobre. Los resultados revelan que la presencia de microorganismos hace eficiente el proceso de oxidación y remueve las capas pasivas superficiales [11].
Cu	Cu <sub>2</sub> S	Se utilizo la bacteria <i>Leptospirillum ferriphilum</i> , la temperatura óptima para el crecimiento fue 41.3 °C y el intervalo de pH fue de 1.1 a 1.5. Se utilizó una especie de <i>Archaea</i> la especie " <i>Ferroplasma cupricumulans</i> ", el crecimiento ocurre desde 22 °C a 63 °, con una temperatura óptima de 53.6 °C y el pH óptimo fue de 1-1.2 [12].
Cu	CuS	La experimentación columnar se llevó a cabo para comparar la biolixiviación a temperatura ambiente mesofílica (20-23 °C) usando especies de <i>Acidithiobacillus/Leptospirillum/Sulfobacillus</i> y a temperatura hemofílica (60-65 °C) con archaea <i>Acidianus</i> y <i>Metallosphaera</i> . Después de 346 días la biolixiviación de cobre para la bacteria mesofílica fue del 12 al 20 % y la termofílica del 62 al 65 % [13].

(Fig. 9) Muestra un proceso experimental realizado en los tres diferentes microorganismos [26] ( Biolixiviación del cobre a partir del cobre chatarra , 2010)

En esta investigación se experimento principalmente con el tipo de hongo (...) "Aspergillus Níger pertenece al reino hongo, clase Eurotiomycetes, orden Eurotiales y familia Trichocomaceae. El género es Aspergillus y la especie es Aspergillus Níger." (...) (Biolixiviación del cobre a partir del cobre chatarra, 2010)

En el siguiente esquema se muestra el proceso que se llevara a cabo con el hongo.

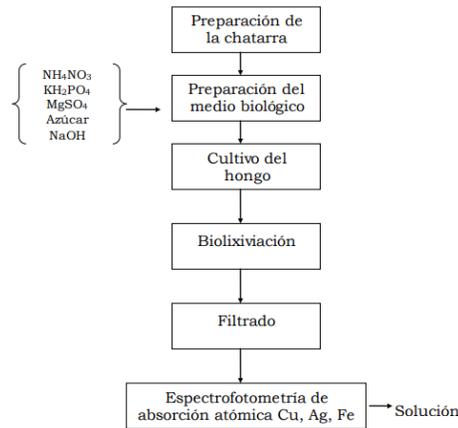


Fig. 10 Diagrama de desarrollo experimental [26] ( (Biolixiviación del cobre apartir del cobre chatarra , 2010)

Como resultado del experimento el hongo pudo recuperar a una temperatura de 35° C 155 mg/L este resultado se logra alrededor de 21 días. [26] ( (Biolixiviación del cobre apartir del cobre chatarra , 2010)

En otra investigación realizada por la universidad mayor de San Carlos Perú, en un periodo de 22 días se obtuvo una recuperación favorable del proceso del 72,64% de cobre. En esta investigación se destaca el crecimiento de óxido férrico que en soluciones acuosas acidas, hace que se precipite el cobre después de cierto tiempo.

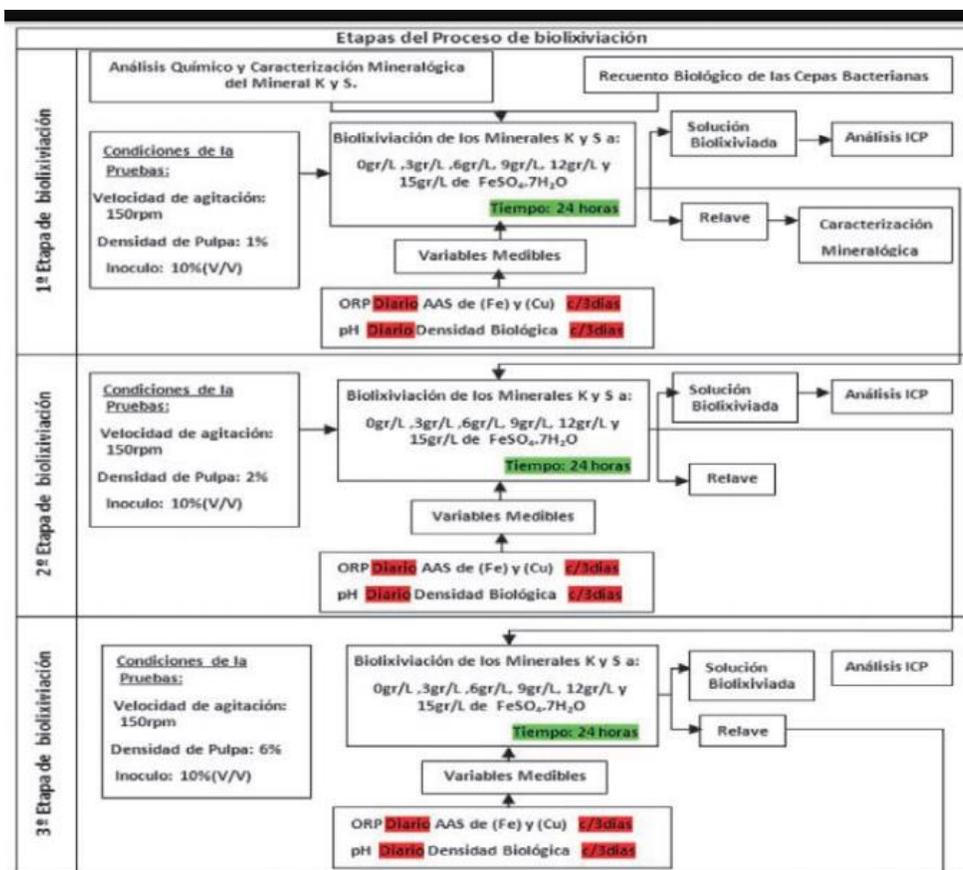


Fig. 11. Proceso de biolixiviación [27] (Vladimir Arias, 2015)

En la figura anterior se muestra el proceso experimental del proceso, en el cual hubo una gran cantidad de aumento de óxido férrico, esto se ve de manera ascendente lo cual es importante. [27] (Vladimir Arias, 2015)

La recuperación por fundición y afino es muy importante ya que ella se pueden recuperar grandes masas de material, El proceso de fundición se hace bajo unas condiciones específicas las cuales garantiza la calidad de la recuperación del producto. El proceso de recuperación de cobre empieza después de la fase de tostación del material, en esta etapa de

fusión el cobre se pasa de un estado sólido a líquido, es cambio es muy importante en él se suelen separara varias impurezas como lo es el hierro y el azufre estos transformados en escoria , quedando en la mata(concentración base cobre) Zinc, níquel, arsénico, antimonio, aluminio entre otros metales no ferrosos, después de este proceso se ataca a esta mata con aire precalentado y gas para que el zinc de la mata salga convertido en gas. A este concentrado se le llama comercialmente cobre blíster con alrededor de una pureza del 96% aproximadamente. [28] (María Payno)

Por otra parte, la universidad pontificia Valparaíso de Chile ha adelantado investigación de cómo controlar las impurezas de ánodos de cobre, en las matas de cobre se ha detectado presencia de Arsénico y Antimonio para esto se ha combatido con fundentes los cuales son  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (carbonato de sodio) añadiéndolo a la mata en fundición cerca de un 70% y  $\text{CaCO}_3$  (Carbonato de calcio) cerca de un 30% sobre la masa de mata de cobre, con esto se logró remover cerca de un 84% de Arsénico. A través de esta investigación se concluye que añadiendo adictivos alcalinos se puede lograr controlar impurezas esto para tener una pureza mayor en el cobre blíster.

Normas Refinería	Rango contenido (ppm).
O <sub>2</sub>	< 2.000
Sb	< 500
As	< 2.500
As/Sb	> 4,5
O/As	1,5 – 0,8

Fig. 12 Contenido de impurezas para el cobre blíster. [29] (Ignacio torres Alucema , 2015)

En la tabla anterior se muestra el máximo contenido de impurezas que puede tener una mata de cobre blíster en la fundición de potrerillos en Chile perteneciente a la empresa Codelco. [29] (Ignacio torres Alucema, 2015).

Existe otro proceso de recuperación de cobre este proceso es muy importante es el más utilizado a nivel mundial Codelco Chile, uso este proceso para su producción de cobre en la mayoría de sus minas. El proceso de lixiviación depende de dos factores muy importantes que cantidad de ácido se necesita para lixiviar y cuál es su porcentaje de disolución en el material. El objetivo de este trabajo es identificar qué factores cinemáticos afectan el proceso de lixiviación para reducir el gasto de ácido sulfúrico y aumentar la producción de disolución de cobre en el ácido. Para la lixiviación del cobre es importante determinar cuáles son los óxidos de cobre y los metales secundarios sulfurados, ya que los óxidos se disuelven más fácil en los ácidos que los sulfurados.

-	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Producción	4.614	5.009	5.027	4.806	4.817	4.983
Consumo	4.804	5.080	5.502	5.967	7.132	6.841
<b>Déficit</b>	<b>190</b>	<b>71</b>	<b>475</b>	<b>1.161</b>	<b>2.315</b>	<b>1.858</b>

Fig. 13 muestra la cantidad de ácido sulfuro consumido frente a la producción de cobre. [30] (Guiachetti Torres, Diego Ariel, 2011)

Para esto se determina que el proceso de lixiviación a mayor rango de ácido aplicado progresivamente aumenta la capacidad de disolución del material en el ácido. [30] (Guiachetti Torres, Diego Ariel, 2011).

El siguiente paso de la lixiviación del cobre nos permite hacer una recuperación del cobre cerca de 99.997% de pureza de cobre, para ello es muy importante que las impurezas (Ag, As, Au, Bi, Co, Fe, Ni, O, Pb, S, Sb, Se, y Te) no contaminen el cátodo. Para ello por medio de soluciones se puede impedir esto se hacen pruebas con sulfato de cobre o sulfato cúprico se disuelve en agua y se arma la celda de electro refinación esto con el fin de demostrar que las impurezas se precipitan y quedan como resultado lodos anódicos. [31] (AREDO VICTOR, VILLANUEVA ALFREDO, 2016)

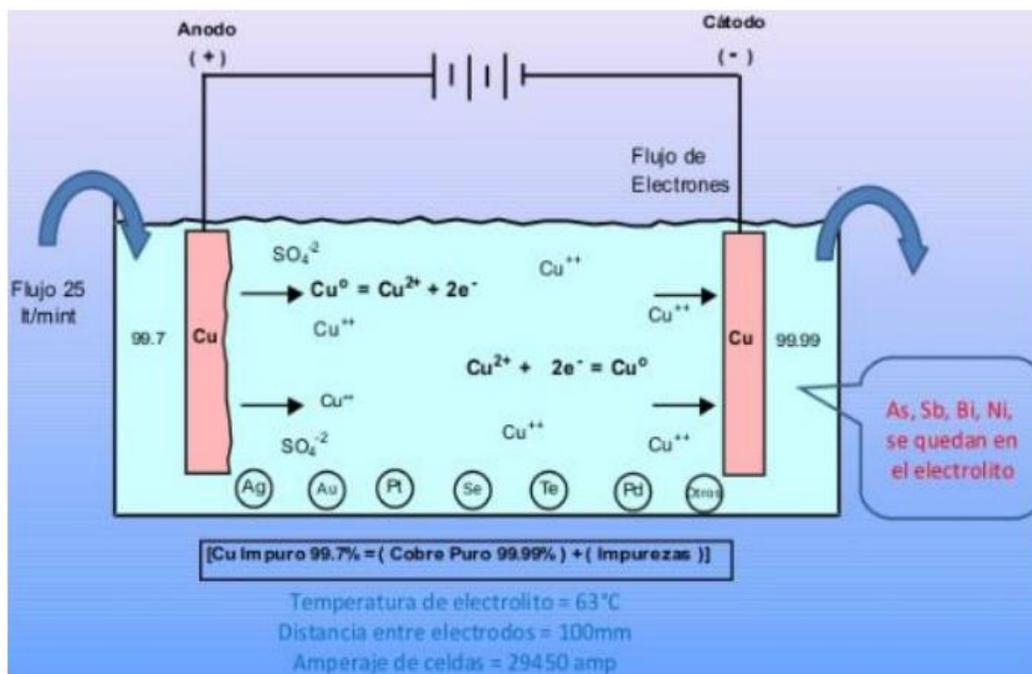


Fig.14 Control de impurezas en refinación electrolítica del cobre. [31]

(AREDO VICTOR, VILLANUEVA ALFREDO, 2016)

Existen diversas formas de recuperación, una de las formas comunes es la de precipitar el cobre en soluciones acidas, es importante el estudio de esta ya que en esta se emplean menos instrumentos, después de tener el cobre lixiviado en una solución acida una de las opciones a recuperar es la de precipitación por medio sólido, en ella por el intercambio de electrones por la oxidación de un agente catalizaste se permite la precipitación del cobre de la solución. En experimentos realizados se concluyó que para poder recuperar cerca del 95% de cobre diluido en solución acida se requieren un poco de más del agente catalizante. El agente catalizante es

el hierro, en prácticas de laboratorio se determina una constante que por 1 Kg de cobre se necesita 2.4 Kg de hierro.[32] (J.M. García Bourg, 1970)

### **Bases teóricas o fundamentos conceptuales**

**Las Propiedades:** EL cobre es un metal noble de color rojizo, con número atómico 29, perteneciente al periodo 11 de la tabla periódica, su símbolo en la tabla periódica es Cu con dos estados de oxidación, el Cu cuando presenta su primer estado de oxidación es incoloro, pero cuando está en su segundo estado de oxidación presenta un color azul. Con un potencial de ionización de 7.77 eV, con un punto de fusión de 1083 °C, su punto de ebullición es de 2595°C, con una resistencia eléctrica de 0.017 Ohmio/mm<sup>2</sup>. El cobre cuenta con una dureza Brinell de 35 HB y el del aluminio es de 15 HB, (Dureza Brinell es un sistema que mide la dureza de material frente a otros en el mide la capacidad de penetración, de rayado entre otras.)

Elemento de Aleación	Efecto
Hierro	- Aumenta la resistencia mecánica
Aluminio	- Aumenta la resistencia mecánica
	- Aumenta la resistencia a la corrosión
	- Aumenta la resistencia al desgaste
	- Aumenta la dureza
	- Disminuye la ductilidad
Manganeso	- Aumenta la resistencia a la tracción
	- Aumenta la dureza
	- Inhibe el crecimiento de grano
	- Aumenta la cantidad de hierro que se puede disolver
	- Disminuye la ductilidad
Cromo	- Aumenta las propiedades mecánicas
Telurio	- Aumenta las propiedades mecánicas
Berilio	- Aumenta la dureza
Fósforo	- Aumenta la resistencia a la tracción
	- Aumenta el límite de fatiga
	- Disminuye la conductividad

Fig. 14 Influencia de elementos en el cobre. [33] (Ingemecanica, 2019)

En la gráfica anterior se muestra el comportamiento que tiene el cobre al formar un compuesto con otros elementos, es importante aclarar que el cobre en la mayoría de los casos se modifica sus propiedades originales, esto con el fin de poder dar usos diferentes a dicho material.

RWMA Clase	Condición	Composición Química	Número de Aleación	Dureza Rockwell	Conductividad Eléctrica %I.A.C. S <sup>(1)</sup>	Resistencia a la Tracción (psi)	Elongación % in 2"	Temperatura de Recocido	
								°C	°F
1	Estirado	Cobre, Zirconio	15000	70 B	90	66.000	10	500	930
2	Fundición	Cobre, Cromo	18200	70 B	80	50.000	20	500	930
	Estirado			83 B	85	75.000	15		
2	Estirado	Cobre, Cromo, Zirconio	18150	83 B	85	75.000	15	500	930
3	Fundición	Cobre, Níquel, Silicio, Cromo	18000	94 B	48	100.000	13	455	850
	Estirado			90 B		85.000	10		
3	Estirado	Cobre, Níquel, Berilio	17510	100 B	48	110.000	10	455	850
4	Fundición	Cobre, Berilio	17200	38 C	20	110.000	2	375	710
	Estirado			38 C	23	170.000	4		
5	Fundición	Cobre, Aluminio	953	92 B	13	85.000	15	620	1150
	Estirado								
---	Fundición	Cobre puro	11000	10 F	95	25.000	50	200	390
	Estirado			40 F	100	40.000			
20	Estirado	Cobre, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	---	75 B	85	54.000	25	800	1475

Fig. 15 Clasificación del cobre en aleación por calidades[33]

(Ingemecanica, 2019)

Este tipo de aleaciones es importante para la industria ya que cada aleación cumple un rol importante en la industria, así mismo es importante la aleación ya que cada clasificación tiene una oxidación diferente a las otras.[33] (Ingemecanica, 2019).

El cobre electrolítico es muy importante ya que sus aplicaciones son importantes para la industria ya que con se pueden hacer perfiles para uso eléctrico, barras de contacto, así para aleación de otros materiales para fabricación de productos.

**Estequiometria:** En la química la estequiometria se encarga de definir cuál es el cálculo entre las relaciones de reactivo y producto, esto en el

transcurso de una reacción química. La estequiometría permite hacer el cálculo de las reacciones químicas respecto a su masa. Como dato importante la estequiometría se basa en las leyes de la conservación, y a su vez el cálculo es determinado por la ecuación ajustada de la ecuación (diferentes tipos de métodos, ejemplo algebraico). Es importante aclarar que para la estequiometría toma dos datos puntuales de la conservación que son: la conservación de la carga total del elemento y la conservación de electrones para cada elemento. Para poder hacer estos cálculos teóricos, la estequiometría se basa en principalmente en los moles. Los moles es una unidad que cualifica que tanta materia hay, específicamente en la química mide la cantidad de sustancia que tiene un grupo de elementales como son: átomos, moléculas, iones, etc. Los moles se expresan en número Avogadro. [34] (Carla Santaella, 2011)

Moles	Átomos	Gramos(Masa atómica)
1 mol de S	$6.022 \times 10^23$ átomos de S	32.06 g de S
1 mol de Cu	$6.022 \times 10^23$ átomos de Cu	63.55 g de Cu
1 mol de N	$6.022 \times 10^23$ átomos de N	14.01 g de N
1 mol de Hg	$6.022 \times 10^23$ átomos de Hg	200.59 g de Hg
2 moles de K	$1.2044 \times 10^24$ átomos de K	78.20 g de K
0.5 moles de P	$3.0110 \times 10^23$ átomos de P	15.485 g de P

Fig. 16 Ejemplo de la masa molar de diferentes elementos incluidos el cobre. [34] (Carla Santaella, 2011)

**Reacciones redox:** Las reacciones redox es la simplificación de las reacciones oxido-reducción, es muy común en este tipo de reacciones en el área de la química ya que estas transfieren electrones entre dos especies (elementos). En el campo de la química hay una reacción redox en el momento que hay un cambio de numero de oxidación entre los reactivos y productos.

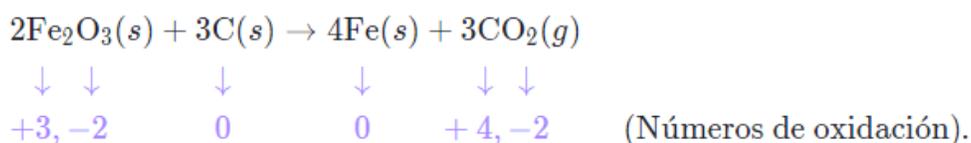
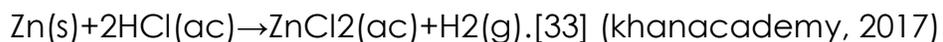


Fig. 16 Reacción redox [33] (khanacademy, 2017)

En la figura anterior se muestra un proceso de reacción redox en donde se ve específicamente un cambio de estados de oxidación lo que lo hace una reacción de óxido reducción, para ello se tiene como reactivos el Óxido de hierro vs carbono, los cuales harán reacción generando como producto Dióxido de carbono vs hierro. En las reacciones redox se conocen tres tipos de reacciones de combustión, de desproporción, de desplazamiento simple. Esta última es importante ya que en estos dos elementos cambian de lugares en un mismo compuesto un ejemplo de ellos es que muchos metales reacciones con ácidos diluidos para formar sales e hidrogeno en forma gaseosa. Un ejemplo es el Zn toma lugar el lugar del hidrogeno.



## Bases legales de la investigación

En Colombia la entidad que regula el registro de las empresas, es la cámara de comercio, esta posteriormente está dividida por “regiones”. Pero las cámaras de comercio hacen la regulación de la actividad económica de cada empresa. Para poder hacer la regulación la cámara de comercio dispone de códigos CIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme), cada código es diferente y lo que representa dicho código es la actividad económica de la empresa. Para nuestro caso de la investigación el código CIU correspondiente es el 2429 Industrias básicas de otros metales no ferrosos, este código tiene la descripción clara de la actividad económica correspondiente (...) “Las operaciones de fundición, de refinación electrolítica o de otra índole para producir metales comunes no ferrosos sin labrar o trabajar. La fundición y la refinación de níquel, cobre, plomo, cromo, manganeso, cinc, aluminio, estaño u otros metales comunes no ferrosos y aleaciones de esos metales.”(...) [8] (Camara de comercio, 2019)

## CAPITULO III

### DISEÑO METODOLÓGICO

#### **Tipo de investigación**

La investigación que se lleva a cabo de básica, ya que, por medio de este tipo de investigación, se recopila información útil para el desarrollo del proyecto “DETERMINAR QUE PROCESOS EN LA ACTUALIDAD ESTAN SIENDO UTILIZADOS PARA SU IMPLEMENTACION A NIVEL INDUSTRIAL”, esto con el fin de hacer una base sólida para la construcción de un proceso de recuperación de cobre, ya que la meta mas adelante es aplicar el proceso, haciendo análisis de calidad, costos de proceso, y rentabilidad del mismo.

Este tipo de investigación ha permitido, mirar cuales son los procesos actuales industrialmente aplicados en grandes industrias, en este documento se describe mucho a Codelco Chile S.A por sus procesos de operación.

La investigación básica nos ayuda a determinar que procesos podemos aplicar haciendo una combinación de ellos a nivel industrial. Cobres de Colombia S.A en su proceso de manufacturero de cobre electrolítico (cobre de alta pureza), solo tiene un solo proceso con el cual logra estándares de calidad, el presente documento de acuerdo al análisis previo a determinado utilizar el mismo proceso de aplicando uno adicional

para eliminar un porcentaje de 0.02 de impurezas así de este modo aumentado la calidad del producto final.

La investigación que se realizó es documental, su gran contenido es de textos y proyectos ya desarrollos, los cuales han hecho aplicaciones a nivel industrial, su alcance es de tipo descriptivo, se base principalmente en describir los procesos utilizados en la recuperación de cobre chatarra. Posteriormente se tiene pensado llevar a un futuro esta investigación aplicarla a nivel escala, con un enfoque industrial.

### **Población**

El presente documento aplica para aquellos procesos, los cuales tenga etapas de fundición y afinación de cobre, así mismo para aquellos procesos en los que se utiliza lixiviación y electrodeposición para la refinación de cobre, ya que describe el proceso de Fundición y afinado, así mismo como la lixiviación y electrodeposición. Se tienen en cuenta criterios de inclusión los cuales son temas de refinación de cobre aplicados por la industria, así mismo el tema de inclusión importe el reciclaje de cobre, las exclusiones de temas son la recolección del cobre chatarra.

### **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas de corrección de datos y de información, se realizó por medios de electrónicos, como son las bases de datos de google Académico la principal fuente en donde se encontraron documentos como tesis de

grado de otras universidades, así mismo como paginas oficiales de empresas, las cuales describen sus procesos, como lo son Codelco Chile S.A.

Se les dan gran importancia a videos obtenidos desde la página de YouTube, para de esta manera hacer aclaración de temas y procesos aplicados.

## CAPITULO III

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO NO. 1

Para producir cobre en la actualidad se emplean procesos industriales los cuales buscan cada vez la fineza del elemento. Importante destacar que estos procesos se han elevado a un nivel industrial, para obtener una mayor producción de cobre y poder satisfacer la demanda requería, para establecer los procesos específicos en la producción de cobre y posteriormente establecer que procesos están siendo empleados, en la recuperación de cobre chatarra, es importante destacar a Codelco Chile la empresa mayor productora de cobre del mundo.

Codelco Chile para satisfacer la demanda requería a nivel mundial, establece procesos industriales eficientes para la producción de cobre sacándolo de las minas de cobre. Es importante resaltar que para la producción de cobre en masa se hacen bajo la minería cielo abierto si el metal presente en el suelo es oxidado, pero si el metal es sulfurado se hace bajo mina bajo tierra.

Codelco se caracteriza por tener dos procesos de producción de cobre en masa que son la pirometalurgia y la hidrometalurgia. Estas se

emplean de acuerdo a la pureza del material, esta pureza es respecto a que tanta cantidad de cobre hay en la misma.

Antes de entrar a explicar estos dos procesos se establece el procedimiento de extracción del cobre en estas minas para aplicarles el proceso pirometalúrgico o de lixiviación.

El proceso de extracción empieza estudiando el campo de donde se va a extraer el material este trabajo se le conoce como exploración geológica, es esta exploración el personal a cargo (geólogos) toma muestras del terreno para saber cuál es la composición del terreno y que cantidad de cobre hay en el para posteriormente ser explorado.

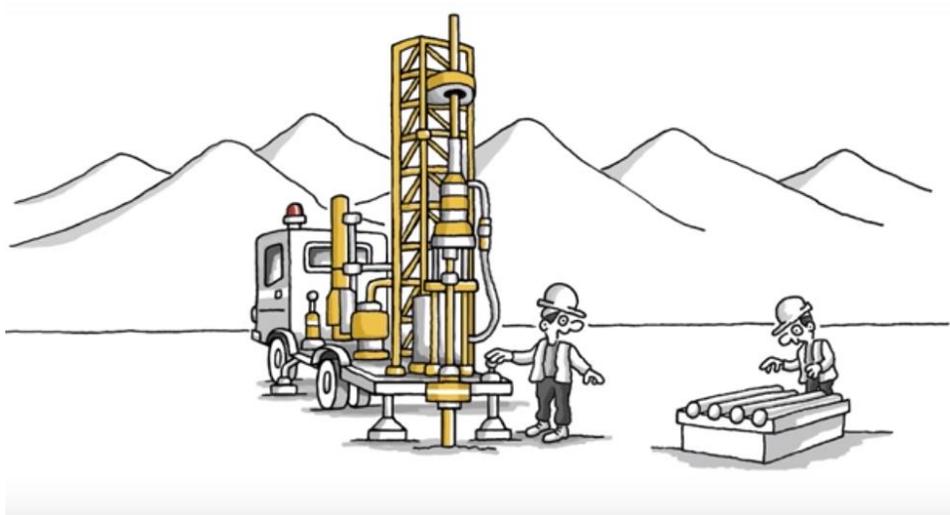


Fig. 18 Geólogos explorando subsuelo para determinar qué cantidad de cobre hay en él. [35] (Chile, 2017)

Codelco Chile tiene dos tipos de minería que son a cielo abierto y bajo tierra, el tipo de minería a utilizar se determina de acuerdo al estudio y

análisis geológico del terreno. Cuando en el estudio los resultados son: de que el metal (cobre) presente tiene óxido extrae sobre minería a cielo abierto ya que el metal está más cerca de la superficie de la tierra, pero si el metal por el contrario es sulfurado este hace bajo el procedimiento de minería bajo tierra ya que el metal se encuentra muy distante de la capa superficial de la tierra.

Después de establecer cuál va la minería a aplicar más apropiada para el terreno se pasa a tres fases siguientes las cuales aplican para cual tipo de las dos minerías ya antes mencionadas. El paso siguiente para iniciar la explotación del mineral se hace bajo un proceso llamado "tronadura", el cual consiste en fragmentar el terreno de la mina con explosivos para después estos fragmentos de terreno los cuales son rocas son transportados a las plantas de molienda con el fin de disminuir el diámetro de las rocas en fragmentos más pequeños para después para a los siguientes procesos:

Cuando el mineral obtenido tiene óxidos este se somete a un proceso pirometalúrgico este proceso es conocido también como fundición en el que el mineral se eleva a grandes temperaturas con el fin de poder alcanzar su punto de fusión y de esta manera poder hacer ánodos de cobre.

Si el mineral obtenido es sulfurado este es sometido a un proceso llamado lixiviación en el cual se le aplica baños de ácido sulfuro con el fin de disolverlo y después someterlo a un proceso llamado electro obtención en el cual este mineral disuelto, se pasa por unas celdas en el cual con paso de

corriente y cambio de electrones el metal (cobre) se deposita en los ánodos de cobre.

Mientras que por otro lado los cátodos anteriormente obtenidos del proceso de pirometalurgia se pasan por unas celdas de electrolíticas.

Estos cátodos anteriormente obtenidos tienen una alta pureza de cobre el cual es de 99.99%, cada ánodo obtenido anteriormente tiene un peso aproximado de 70-80 kg cada uno. [35] (Chile, 2017)

Los procesos anteriormente descritos son aplicables para el proceso de recuperación de chatarra de cobre exceptuando los procesos de extracción.

Cobres de Colombia Ltda fabrica productos de cobre con un 99.95% de pureza (cobre electrolítico), estos productos son empelados en la función eléctrica algunos de sus productos son platinas de cobre, barras de cobre entre otras. Cobres de Colombia Ltda, para producir este tipo de cobre lo hace a partir de la chatarra de cobre, por medio de la fundición o pirometalurgia aplicable. Este proceso lo hacen para generar óxidos, estos óxidos están presentes, Zinc, Fosforo, Hierro, Azufre, entre otras. [36] (Cobres de Colombia, 2005)

Por otra parte, el electro refinación, refinación permite que los ánodos de cobre se transformen en cátodos de cobre con una pureza cerca de 99.99%. Este proceso se hace sumergiendo los ánodos en soluciones acidas

que atreves de un paso de corriente que permite el cambio de electrones y está haciendo que los átomos de cobre se depositen en los cátodos, de esta manera los cobres quedan con más de un 99.95% de pureza. [37] (iacc, 2016)

Codelco chile en el proceso de lixiviación ya estando el cobre disuelto pasa a un proceso llamado electro obtención se aplica a la piscina de sulfato de cobre una corriente eléctrica el cobre por el intercambio de electrones se deposita en los cátodos este cobre su contenido es de 99.99% de pureza. [38] (Vega, 2016)

Bio- lixiviación: Este proceso, es 100% natural el cual utilizan las grandes industrias mineras para el cobre de recuperación de baja ley, este proceso consiste en ingresar" bacterias como piedras", para que separen el los azufres y los hierros de del cobre, dejando de residuo el cobre. La bacteria "bacteria Thiobacillus ferrooxidans" metaboliza el azufre y el hierro dejando como resultado de su metabolización ácido sulfúrico. El cual actúa inmediatamente en el cobre, para lixiviarlo. [7] (Codelco Chile, 2019).

Los procesos anteriores son manejados por la empresa "Codelco Chile" es la mayor productora de cobre refinado a nivel mundial, estando en el puesto número uno, con 5330 toneladas de cobre anuales del ranking de productoras de cobre, mientras que Colombia solo estando en el puesto 42 de producción de cobre a nivel mundial con un poco más de toneladas exportadas. [9] (Agencia Nacional de minería, 2019)

## RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECIFICO NO. 2

Actualmente se emplean diferentes procesos o métodos para la producción del cobre en sus diferentes presentaciones, algunas empresas del sector industrial dedicadas a la producción masiva de cobre de cobre como materia prima, usan estos procesos para la elaboración de sus productos:

1. Fundición: Requiere un proceso de calor a altas temperaturas aproximadamente para el cobre es de unos 1200 °C. Este proceso se logra mediante hornos los cuales pasan el material de solido a liquido mediante fusión. Mediante la fusión se logra que el material a fundir, separar impurezas como lo son los excesos de azufre y de hierro que afectan la pureza y estabilidad del metal. En este estado se logra separar los metales pesados de los livianos quedando los livianos la parte superior del crisol y los pesados en el fondo del crisol. [3] (Codelco Educa, 2019)

2. Lixiacion del Cobre: "Este proceso es la extracción de una materia, por medio de líquidos, esto quiere decir que; el cobre estando de manera sólida (ejemplo roca, o masa de cobre), se le agrega un líquido que es capaz de atacarlo con el fin de desintegrarlo, y de esta manera este material solido se convierte de líquido. Este proceso se hace mediante acido en su gran mayoría sulfúrico y clorhídrico. [4] (Codelco Chile, 2019).

3. Precipitación de cobre soluble: Este tipo de racionan se conoce como reacción redox (oxido-reducción). Este tipo de proceso se logra por medio

del intercambio de iones, logrando la precipitación del cobre líquido en un cobre sólido con un estado de pureza cerca al 97%. Esta acción en muchos de los casos se logra con la presencia de hierro en el agente lixivante. (en muchos casos se logra con aluminio, otro tipo de elementos dependiendo del agente lixivante). El agente lixivante suele ser en su mayoría ácido sulfuro, en muchos de los casos se hace por medio del ácido nítrico. [5] (Ciencia, 2016)

4. Electro deposición del cobre: Es el proceso más común de recuperación y refinación por su contenido alto de pureza, la idea del proceso es hacer una recuperación del metal casi en un 100%, este proceso es el grado máximo alcanzado por el momento para la refinación, se le agrega corriente y cátodos a la solución lixiviada, haciendo que los iones negativos se aganten y sean atraídos al cátodo que tiene una intensidad de corriente negativa. [6] (Codelco, 2019)

Los procesos anteriores son manejados por la empresa "Codelco Chile" es la mayor productora de cobre refinado a nivel mundial, estando en el puesto número uno, con 5330 toneladas de cobre anuales del ranking de productoras de cobre, mientras que Colombia solo estando en el puesto 42 de producción de cobre a nivel mundial con un poco más de toneladas exportadas. [9] (Agencia Nacional de minería, 2019)

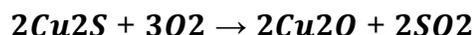
Para poder hacer el reciclaje de cobre se puede hacer en diferentes técnicas, las cuales cada una de ellas se obtiene el cobre en diferentes

presentaciones un ejemplo de ellas es con la lixiviación se puede obtener un sulfato de cobre o sulfato cúprico, que es utilizado en el campo de la medicina y fungicidas para eliminar hongos, entre otras.

En la Fundición del cobre, también se le llama proceso pirometalúrgico [11] (MediaMet, 2016), el cual consiste en hacer la recuperación de un metal deseado, el proceso tiene como características principales; controlar la temperatura con el fin de obtener el logro deseado, otra de sus características es los metales preciosos y semi preciosos en este proceso son invisibles a la escoria, ya que esta escoria la mayoría de veces es hierro. El este proceso lo componen 3 fases las cuales en cada una de sus fases se obtiene un resultado:

1. Secado: Eliminación de humedad del material, ya que el material ha sido usado bien con gran cantidad de humedad, el aplicarle la temperatura de superior a los 100 °C, elimina el agua contenido en la parte externa del material.
2. Tostación: Este proceso se hace para poder eliminar las impurezas, este proceso se hace cerca de los 600°C para eliminar grasas industriales, pinturas industriales y "cauchos", ay que destacar que uno de los metales presentes como aleación es el arsénico este metal, este por su punto de ebullición es de 613°C el cual pasa a un estado gaseoso etc. [11] (MediaMet, 2016)

3. Fusión: Esta fase es la más relevante de la técnica ya que se eleva la temperatura superior a 1150 °C haciendo que los metales que están en estado sólido, pases a líquido. Así de esta manera haciendo que se rompan los enlaces. En este proceso es muy común agregarle Fundentes como Cal, Sílice, o fundentes aleados, estos con el fin de hacer más fácil la separación del cobre del hierro, azufre, y otros minerales. Este proceso es importante ya que el cobre es invisible en la escoria, quiere decir este que el cobre no se une a esta. Posteriormente eliminar la oxidación del material fundido y hace más fácil la limpieza de la escoria del cobre. [10] (Fundel, 2019). En una formula general podemos reducir este proceso simple en:



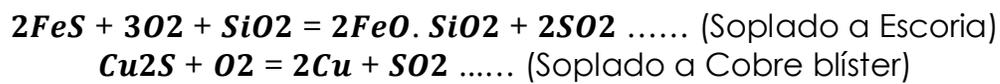
Se evidencia que el cobre queda aparte del azufre

En este proceso se le puede agregar arena a la mata de cobre para así de esta manera se convierta en carga un tipo de fundente el cual saldrá trasformada en silicato. En la escoria de cobre cerca de un 0.8% es cobre, 45% hierro, y 30% sílice, el resto respecta a los otros metales presentes en aleación anterior al cobre. [31] (AREDO VICTOR, VILLANUEVA ALFREDO, 2016)

4. En el proceso de conversión, en este proceso de conversión el oxígeno interactúa con el hierro haciendo que este rompa los enlaces con el cobre, se evidencia que la escoria (óxidos de azufre y hierro). Queda en la parte superior de la mezcla del crisol, de esta manera pudiéndola ser retirada del

crisol, estando el cobre en estado líquido y en la mayoría de azufre se volatiliza ya que su punto de ebullición empieza a partir de 445°C. [11] (MediaMet, 2016)

En este proceso el objetivo es convertir la mata de cobre en cobre blíster para tiene una pureza cerca de 99% con el soplado de aire se tendrá la siguiente ecuación:



En donde el soplado formara óxidos esto es aplicable a la mayoría de elementos presentes en la mata de cobre



Fig.19 Muestra el cobre liquido siendo fundido sobre moldes. [39]

(atacamanoicias, 2016)

5. La **refinación a fuego** es un proceso innovador el consiste en añadirle a la mata de cobre (metal liquido dentro del crisol) aire para eliminar las

impurezas que el cobre contenta este proceso tiene dos fases las cuales son muy importantes:

1. Oxidación: en este proceso están el metal su punto de fusión se sopla aire para remover impurezas como Zinc, Hierro, Aluminio, Silicio, Fosforo, Magnesio, Estaño. Estas se transforman en escoria las cuales quedan en la parte superior de crisol. Otros metales se evaporan en estado gaseoso los cuales son Azufre, Plomo, Zinc, Cadmio. En este punto de esta fase el óxido cuproso (es la mata) está libre de estos elementos, en este punto falta eliminar el restante del arsénico el cual se logra añadiendo cargas a la mata de Carbonato sódico ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

2. Reducción: Es esta última fase hay que eliminar el oxígeno presente en la mata de cobre este proceso se hace mediante el soplado de gas natural  $\text{CH}_4$  y aire. Esto con el fin de poder eliminar el oxígeno de la mata. En este proceso el gas natural a la reacción con el oxígeno se produce monóxido de carbono y vapor de agua.[11] (MediaMet, 2016)

En una formula química se podría expresar mediante la fórmula general dada:

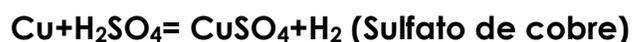


**Colada:** En este último proceso hace la colada(mata) del material, haciendo que cambie de estado, de solido a líquido, En lo general se suele hacer en moldes.

**Electro-refinación:** Este proceso se hace para poder conseguir una pureza del material de 99.95% de pureza, en este proceso los Ánodos de cobre ya obtenidos anteriormente, se sumergen en celdas que contienen un electrolito de ácido sulfúrico, estos ánodos por se disuelven en el electrolito formado sulfato de cobre o sulfato cúprico. Por medio de una corriente eléctrica, añadida el elemento cobre que tiene electrones negativos se deposita posteriormente en cátodo de carga positiva este atrayendo los electrones negativos y así formado placas de cátodos de cobre con una pureza cercana a 99.99% llamada cobre electrolítico[31] (AREDO VICTOR, VILLANUEVA ALFREDO, 2016).

Otro proceso conocido es la Hidrometalurgia, en él se extraen por solvente, donde el solvente disuelve al mineral formado una solución acuosa la cual por medio de corrientes eléctricas se podrá obtener un cobre con una pureza cercana al 99.99% llamado cobre electrolítico.

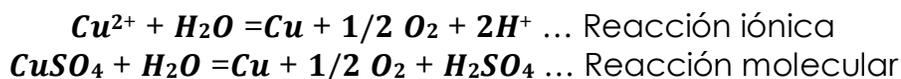
**Lixiacion:** la lixiviación es uno de los más importantes de la hidrometalurgia ya que en se extraen los metales deseados por medio de soluciones, en el cobre las soluciones suelen de ser tipo ácido. La lixiviación tiene como objeto disolver un metal de forma total o parcial para formar así una solución homogénea. La relación se expresa mediante la fórmula general dada así:



Este proceso se destaca por tres procesos o resultados los cuales son: Concentrar, Purificar y por ultimo separar los elementos unos de otros de

manera individual. Esta solución de color azul porque el cobre presenta su segundo estado de oxidación, industrialmente se le llama PLS (Pregnant Leaching Solution). El ácido sulfúrico no solo es capaz de disolver elementos como el cobre, zinc, aluminio, plata, paladio, cadmio, estaño, magnesio, entre otros. [39] (MediaMet, 2016) Después de ser disuelto el cobre en él se pasa por proceso llamado electro obtención en este proceso, siendo el ánodo la fuente negativa la cual es el proceso el sulfuro de cobre líquido y el cátodo positivo, en donde se hará fluir una corriente con un bajo voltaje constante para de esta manera el cátodo atraiga los electrones negativos, haciendo que el cobre se deposite el cátodo, formado cobre electrolítico en el que cuenta con un 99.99% de pureza.

Hay tener presente que para realizar este proceso de el anodo para sumergir tiene que ser un metal insoluble el cual hara fluir la corriente electrica en el electrolito haciendo que se depositen en el catodo. En este proceso se desprende hidrogeno de la solucion formando asi una reaccion conocida como redox (oxido-reduccion), en la formula general se describe el proceso. [31] (AREDO VICTOR, VILLANUEVA ALFREDO, 2016)



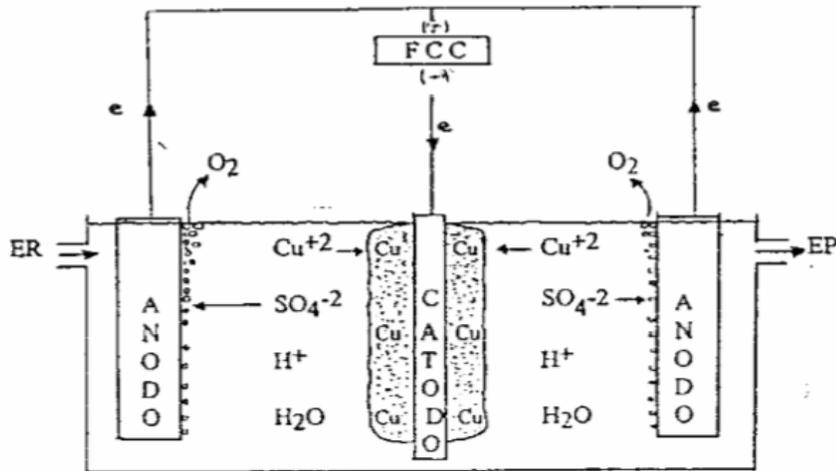


Fig. 20 Muestra el proceso de electrolisis el cual para este caso es electrodeposición. [31] (AREDO VICTOR, VILLANUEVA ALFREDO, 2016)

### RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECIFICO NO. 3

La viabilidad para la refinación del cobre chatarra para obtener un cobre electrolítico se va analizar mediante la calidad final del proceso comparando su pureza.

Para ello se tiene el cobre chatarra bajo presentación de cobre aleado es decir Latón Bronce, etc.

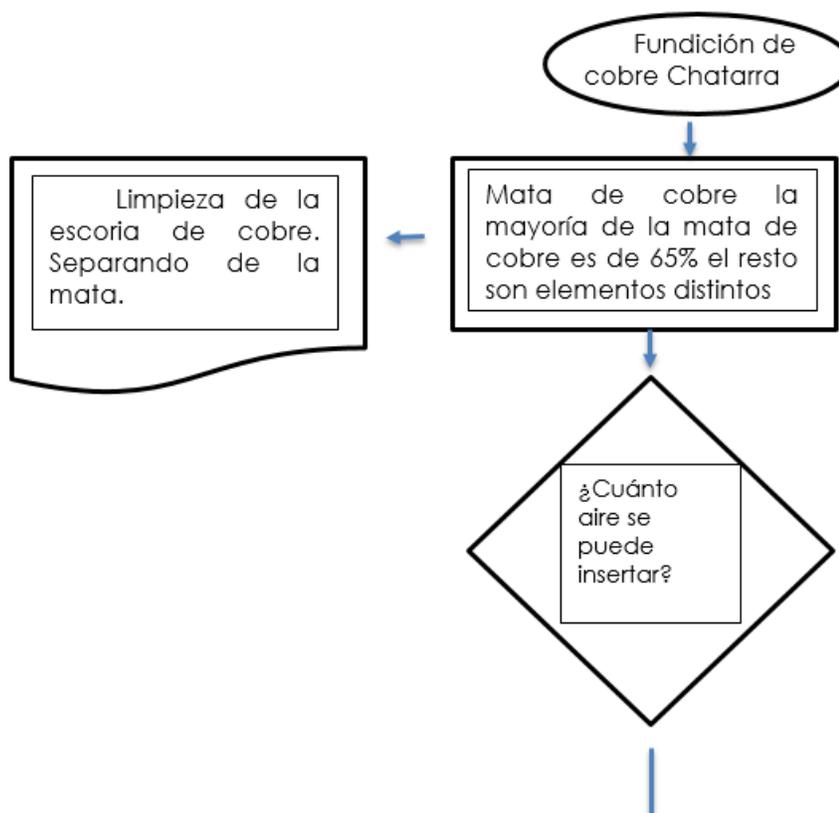


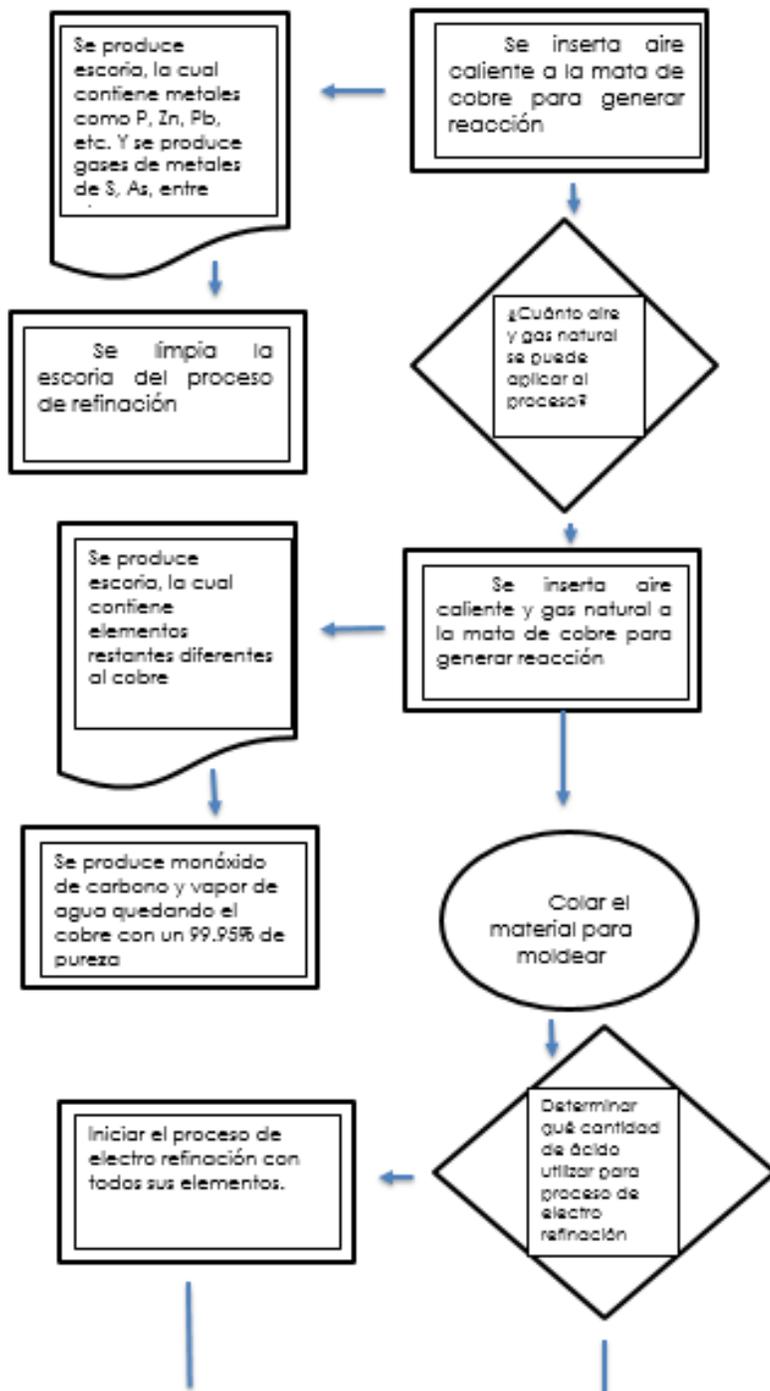
Fig. 21 Diferentes clases de aleación de cobre [40] (Albiz, 2019)

FORMA	ESPECIFICACIONES	ALEACION	DUREZA
Alambres	Al. 240 ASTM B-134	Cobre 80% Zinc 20%	Semiduro y para Resorte
Barras	Al. 240 ASTM B-16	Cobre 61.5% Zinc 35.4% Plomo 3.1%	Maquinable Red. Cuad. Hexag.
Lainas	Al. 240 ASTM B-36	Cobre 70% Zinc 30%	Temple Semi Duro
Laminas	Al. 240 ASTM B-36	Cobre 70% Zinc 30%	Temple Semi Duro
Soleras	Al. 240 ASTM B-135	Cobre 61.5% Zinc 35.4% Plomo 3.1%	Maquinable

Fig. 21 Aleaciones de cobre don diferentes materiales de acuerdo para su uso. [41] (acerospec, 2019)

A continuación, se describirá el proceso para dar viabilidad a la producción de cobre.



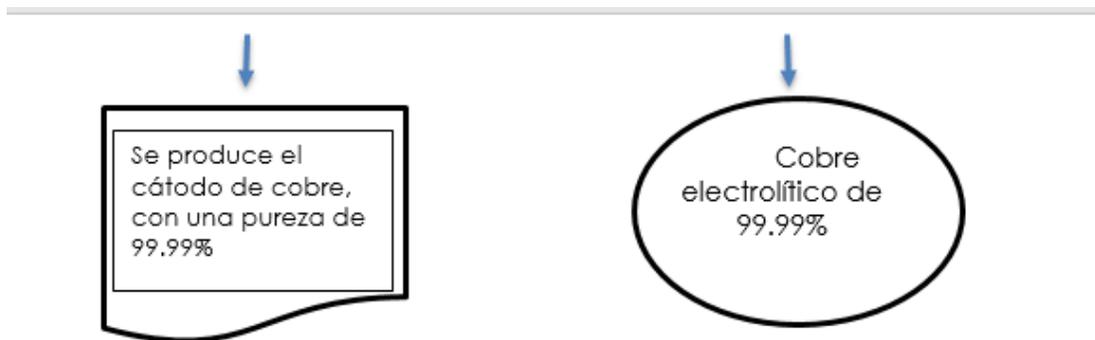


Mediante la combinación de los procesos de Fundición, refinación a fuego y el electro refinación, se puede obtener el cobre con un contenido de alta pureza, es importante destacar que este proceso es para producción masiva.

## CAPÍTULO V.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. A nivel general, independientemente de los dos grandes procesos para la recuperación de cobre, Pirometalurgia o Hidrometalurgia, de ambos se puede generar cobre de un 99% de pureza.



2. La diferencia de la hidrometalurgia y la pirometalurgia radica no solo en la aplicación de su técnica, sino en calidad de cobre al final de cada proceso. Ya que la pirometalurgia saca como producto final de cobre 99.95% de pureza, mientras que la hidrometalurgia se supera el 99.97% de pureza.

3. La mayoría de impurezas contenidas en el cobre electrolítico es la cantidad de oxígeno presente en el cátodo, ya que, si la utilización de este cátodo es fines eléctricos, las moléculas de oxígeno que impiden el libre flujo de electrones, causan resistencia al paso de los mismo liberando energía al medio ambiente.

4. Las moléculas de plomo en soluciones lixiviantes son una preocupación enorme de quien implementa el proceso, pero si en soluciones lixiviantes se utiliza ácido sulfúrico este no ataca el plomo diluyéndolo. Las moléculas de este se precipitan en la celda formando un “barro” el cual podrá ser retirado por medio de decantación.

5. Codelco Chile S.A en sus procesos de refinación de cobre pasa el cobre final del proceso pirometalúrgico, a un proceso lixiviante de electrodeposición para que alcance su máxima pureza de 99.99%, de esta manera garantizando la calidad máxima de su producto.

6. Esta investigación se hizo bajo un criterio de investigación básica con un tipo de investigación descriptiva, en la que se describen los procesos empleados por las grandes productoras de cobre. Con el fin concluir qué procesos son viables para implementar de acuerdo a calidad de producto final. En el futuro se plantea abrir una investigación de criterio aplicado.

## **Recomendaciones**

Para hacer los procesos aplicados se deben tener en cuenta el control de temperatura, ya que esta es un factor importante para la eliminación de impurezas del cobre.

Para aplicar aire en la mata fundida, es importante que este aire esté caliente. Si se le aplica aire frío a la mata de cobre fundida se podría

ocasionar un accidente laboral. Debido a que el cobre a altas temperaturas explota si hay un choque térmico muy fuerte.

Para trabajar con el ácido sulfúrico en Colombia es importante sacar el permiso tanto de compra como el permiso de uso. Este es autorizado por el Ministerio de Justicia por medio del Departamento Nacional de Estupefacientes.



## BIBLIOGRAFÍA

### Citas de referencia o cita contextual.

[1] (Historiando.org, 2019)

[1] <https://www.historiando.org/edad-de-bronce/>

[2] (Unger, 2014)

[2] <https://www.lampadia.com/opiniones/tomas-unger/la-importancia-mundial-del-cobre/>

[3] [https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109005205/fundicion\\_media\\_t\\_cnico\\_060119.pdf](https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109005205/fundicion_media_t_cnico_060119.pdf)

[4] (Codelco Chile, 2019)

[4] [https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109005316/lixiviacion\\_media\\_t\\_cnico\\_080119.pdf](https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109005316/lixiviacion_media_t_cnico_080119.pdf)

[5] (Ciencia, 2016)

[5] <https://www.youtube.com/watch?v=Fi1sXowQRlw>

[6] (Codelco Chile, 2019)

[6] [https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109005004/electroobtencion\\_media\\_t\\_cnico\\_060119.pdf](https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109005004/electroobtencion_media_t_cnico_060119.pdf)

[7] (Codelco Chile, 2019)

[7] [https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109004857/biolixiviacion\\_media\\_t\\_cnico\\_060119.pdf](https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109004857/biolixiviacion_media_t_cnico_060119.pdf)

[8] (Camara de comercio, 2019)

[8] <https://linea.ccb.org.co/descripcionciiu/>

[9] (Agencia Nacional de minería, 2019)

[9] <http://mineriaencolombia.anm.gov.co/index.php/es/produccion-cobre>

[10] (Agencia Nacional de minería, 2019)

[10] <http://fundel.com.mx/productos.html>

[11] (MediaMet, 2016)

<https://www.youtube.com/watch?v=X7CBrzsWZ-4&t=609s>

[12] (BBC New Mundo, 2014)

[12] [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140325\\_ciencia\\_re-cursos\\_minerales\\_escasos\\_np](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140325_ciencia_re-cursos_minerales_escasos_np)

[16] (Revista de Ciencia y Desarrollo, 2006)

[16] <http://2006-2012.conacyt.gob.mx/comunicacion/Revista/261/articulos/biosfera-sierra-la-laguna.html>

[17] (Codelco Chile, 2014)

[17] [codelco.com/reporte2014/areas-de-enfoque/desempeno-ambiental/2015-05-11/171316.html](http://codelco.com/reporte2014/areas-de-enfoque/desempeno-ambiental/2015-05-11/171316.html)

[18] (Datosmacro.com, 2017)

[18] <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/chile>

[20] (Cepal, 2004)

[20]

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6455/1/S0412981\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6455/1/S0412981_es.pdf)

[24] (Instituto Europeo del cobre, s.f.)

[24] <https://copperalliance.es/beneficios-cobre/reciclaje/>

[25] (UniPymes, 2013)

[25] <https://www.unipymes.com/la-industria-del-reciclaje-de-cobre-le-juega-limpio-a-colombia/>

[26] ( (Biolixiviación del cobre a partir del cobre chatarra , 2010)

[26] <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/25024/Biolixiviación%20de%20Cu%20a%20partir%20de%20chatarra%20electr%C3%B3nica%20Brenely.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[27] (Vladimir Arias, 2015)

[27] <https://pdfs.semanticscholar.org/8a47/06d96a3283f16fbc9a319fce066c13fb4441.pdf>

[28] (María Payno)

[28] <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1060/course/section/1242/Bloque%203.3%20cobre.pdf>

[29] (Ignacio torres Alucema , 2015)

[29] [http://opac.pucv.cl/pucv\\_txt/txt-9500/UCE9941\\_01.pdf](http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-9500/UCE9941_01.pdf)

[30] (Guiachetti Torres, Diego Ariel;, 2011)

[30] <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104139>

[31] (AREDO VICTOR, VILLANUEVA ALFREDO, 2016)

<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9301/AREDO%20CHINGA%2C%20V%2C%ADctor%20Alexander%2C%20VILLANUEVA%20MURGA%2C%20Alfredo%20Antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[32] (J.M. García Bourg, 1970)

[32] [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/02/005/2005624.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/02/005/2005624.pdf)

[33] (khanacademy, 2017)

[33] <https://es.khanacademy.org/science/chemistry/oxidation-reduction/redox-oxidation-reduction/a/oxidation-reduction-redox-reactions>

[34] (Carla Santaella, 2011)

[34] <https://www.monografias.com/trabajos87/la-estequiometria/la-estequiometria.shtml>

[35] (Chile, 2017)

[35] <https://www.youtube.com/watch?v=wplf2Ak-EtA>

[36] (cobres de Colombia, 2005)

[36] <https://www.youtube.com/watch?v=KHZfAjMYtU&t=500s>

[37] (iacc, 2016)

[37] <https://www.youtube.com/watch?v=tFSu7AhcHCl>

[38] (Vega, 2016)

[38] <https://www.youtube.com/watch?v=hLAweKU1xj8>

[39] (MediaMet, 2016)

[39] <https://www.youtube.com/watch?v=Ylq1q1zZabw>

### **Figuras/ Imágenes:**

( Fig. 1,2 y 3) [13], [14] y [15] (Alicia Valero y Antonio Valero, 2009)

( Fig. 1,2 y 3) [13], [14] y [15]

[https://www.researchgate.net/profile/Alicia\\_Valero/publication/271828532](https://www.researchgate.net/profile/Alicia_Valero/publication/271828532)

[La valoracion exergetica una forma de medir la disponibilidad de recursos minerales El agotamiento de la 'gran mina Tierra'/links/54d25ce80cf28e069723f5c3.pdf](#)

(Fig. 4) [19] (CEPAL y COCHILCO, 2004)

(Fig. 4) [19]

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6455/1/S0412981\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6455/1/S0412981_es.pdf)

(Fig. 5) [21] (Cepal, 2004)

(Fig. 5) [21]

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6455/1/S0412981\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6455/1/S0412981_es.pdf)

(Fig. 6) [22] (DANE, 2014)

(Fig. 6) [22]

[https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Bol\\_Act\\_fis\\_2013p.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Bol_Act_fis_2013p.pdf)

(Fig. 7) [22] (DANE, 2018)

(Fig. 7) [22] [http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-nal/MNAL\\_cobre.pdf](http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-nal/MNAL_cobre.pdf)

(Fig. 8) [23] (UPME, 2018)

(Fig. 8) [23]

[http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-nal/MNAL\\_cobre.pdf](http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-nal/MNAL_cobre.pdf)

(Fig 9) (Fig 10) [24] ( Biolixiviacion del cobre apartir del cobre chatarra , 2010)

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/25024/Biolixiviaci%C3%B3n%20de%20Cu%20a%20partir%20de%20chatarra%20electr%C3%B3nica%20Brenely.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

(Fig. 11) [27] (Vladimir Arias, 2015)

[27]<https://pdfs.semanticscholar.org/8a47/06d96a3283f16fbc9a319fce066c13fb4441.pdf>

(Fig.12)[29] (Ignacio torres Alucema , 2015)

[29] [http://opac.pucv.cl/pucv\\_txt/txt-9500/UCE9941\\_01.pdf](http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-9500/UCE9941_01.pdf)

(Fig.12) [30] (Guiachetti Torres, Diego Ariel;, 2011)

<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104139>

(Fig.13, 19, 20) [31] (AREDO VICTOR, VILLANUEVA ALFREDO, 2016)

<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9301/AREDO%20CHINGA%2C%20V%C3%ADctor%20Alexander%2C%20VILLANUEVA%20MURGA%2C%20Alfredo%20Antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

(Fig. 16) [33] (khanacademy, 2017)

(Fig. 16) [33] <https://es.khanacademy.org/science/chemistry/oxidation-reduction/redox-oxidation-reduction/a/oxidation-reduction-redox-reactions>

(Fig. 17) [34] (Carla Santaella, 2011)

[34] <https://www.monografias.com/trabajos87/la-estequiometria/la-estequiometria.shtml>

(Fig.18) [35] (Codelco Chile, 2019)

[35] <https://www.youtube.com/watch?v=wplt2Ak-EtA>

(Fig. 21) [39] (Albiz, 2019)

[39] <https://cl.all.biz/chatarra-de-bronce-chileno-g64665>

(Fig.22) [40] (acero sepc, 2019)

[40] <http://www.acero sepc.com/laton/>

## ANEXOS

Se anexan los siguientes videos de YouTube los cuales tiene autor propio, para poder entender un poco más la dinámica del funcionamiento de los temas expuestos.

Canal de YouTube	Título de video	Fecha de publicación	URL de video
Dolcey Casas	REFINACION DEL COBRE Cobres de Colombia LTDA FINAL	25 de julio de 2015	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=KHZfAjMYItU">https://www.youtube.com/watch?v=KHZfAjMYItU</a>
Codec o Chile	Como se obtiene el cobre	28 de septiembre de 2017	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=wplf2Ak-EtA">https://www.youtube.com/watch?v=wplf2Ak-EtA</a>