

## Capítulo 8. Anexos

### A. Antecedentes

#### 1. Figuras: Contexto económico, mercado y legislación de RAEE en Chile

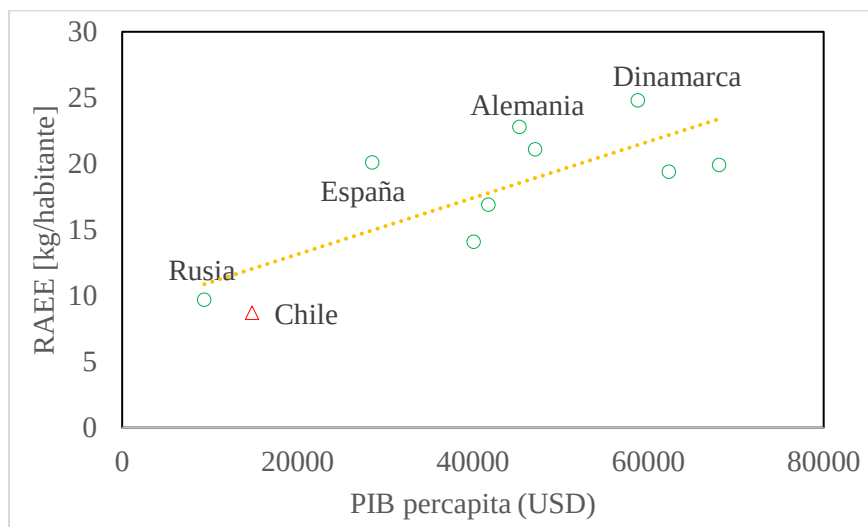


FIGURA A.1 RAEE GENERADA POR HABITANTE VS PIB PERCAPITA 2016 (FCH FUNDACIÓN CHILE, 2019)

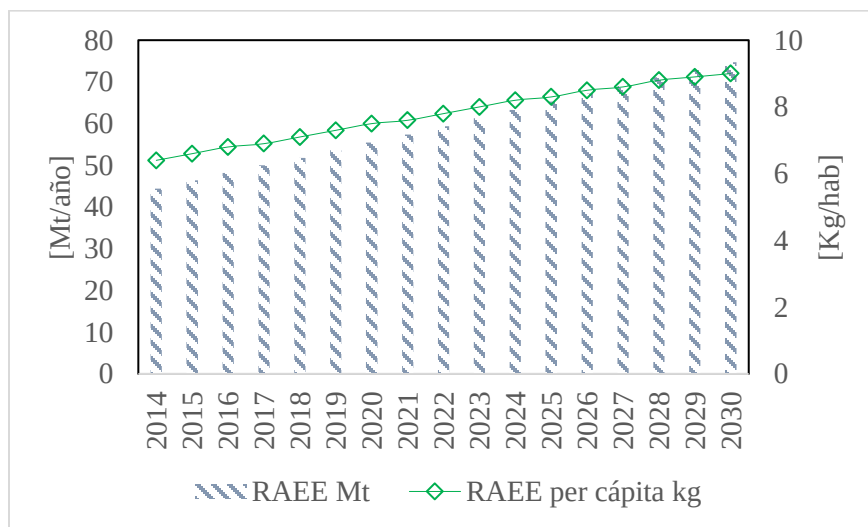


FIGURA A.2 PROYECCIÓN DE RAEE MUNDIAL Y PER CÁPITA 2014-2030 (FORTI, BALDÉ, KUEHR, & BEL, 2020)

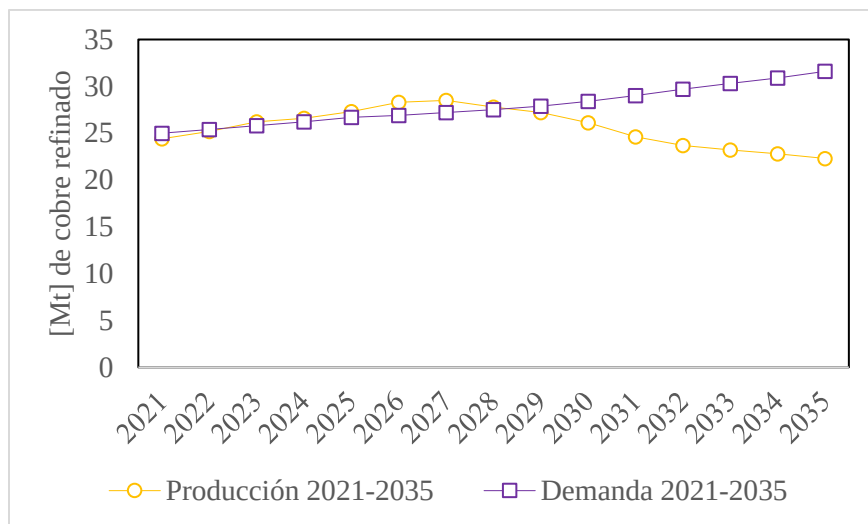


FIGURA A.3 DÉFICIT DE OFERTA Y DEMANDA DE COBRE 2021-2035 (CRU CONSULTING, 2018A)

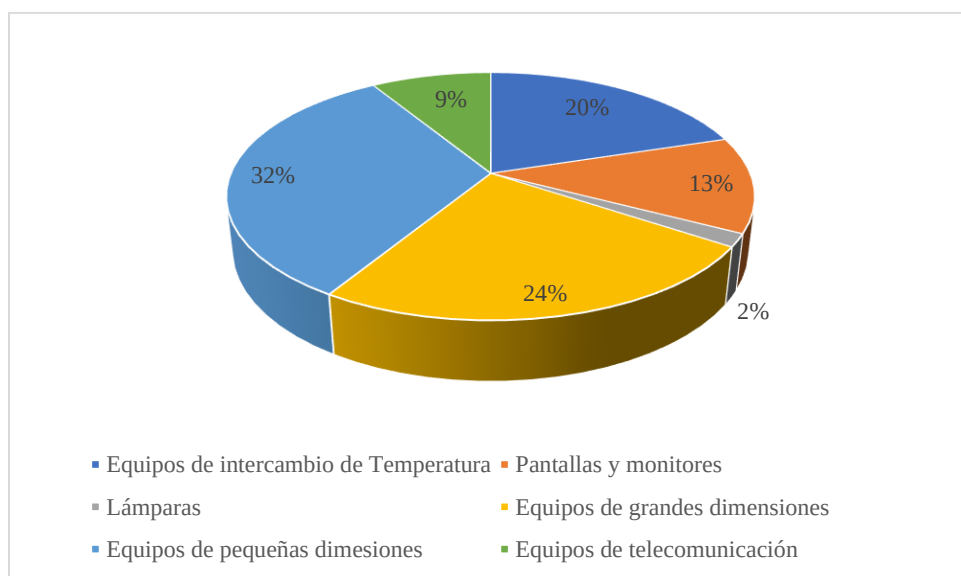


FIGURA A.4 APOORTE EN LA GENERACIÓN DE RAEE SEGÚN CATEGORÍA (E2BIZ CONSULTORES, 2019B)

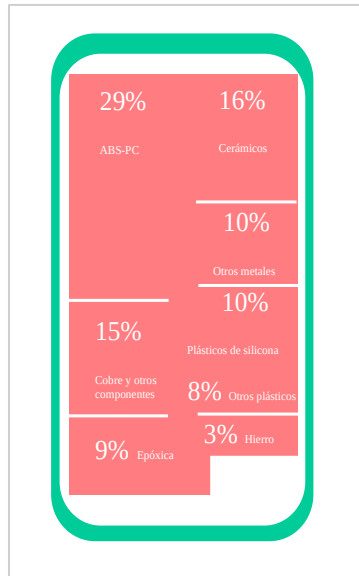


FIGURA A.5 COMPOSICIÓN TÍPICA DE UN CELULAR (PACE PLATFORM FOR ACCELERATING THE CIRCULAR ECONOMY, 2019)

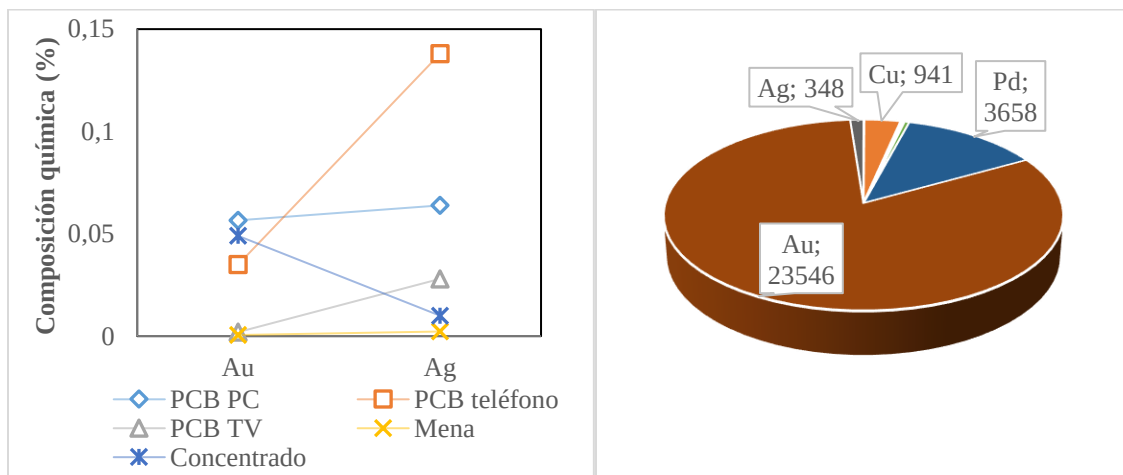


FIGURA A.6 COMPARACIÓN DE COMPOSICIÓN ENTRE MATERIALES QUE CONTIENEN ORO Y PLATA (LI, EKSTEEN, & ORABY, 2018)

FIGURA A.7 VALOR EN USD DE METALES VALIOSOS CONTENIDOS EN 1 t DE TCI

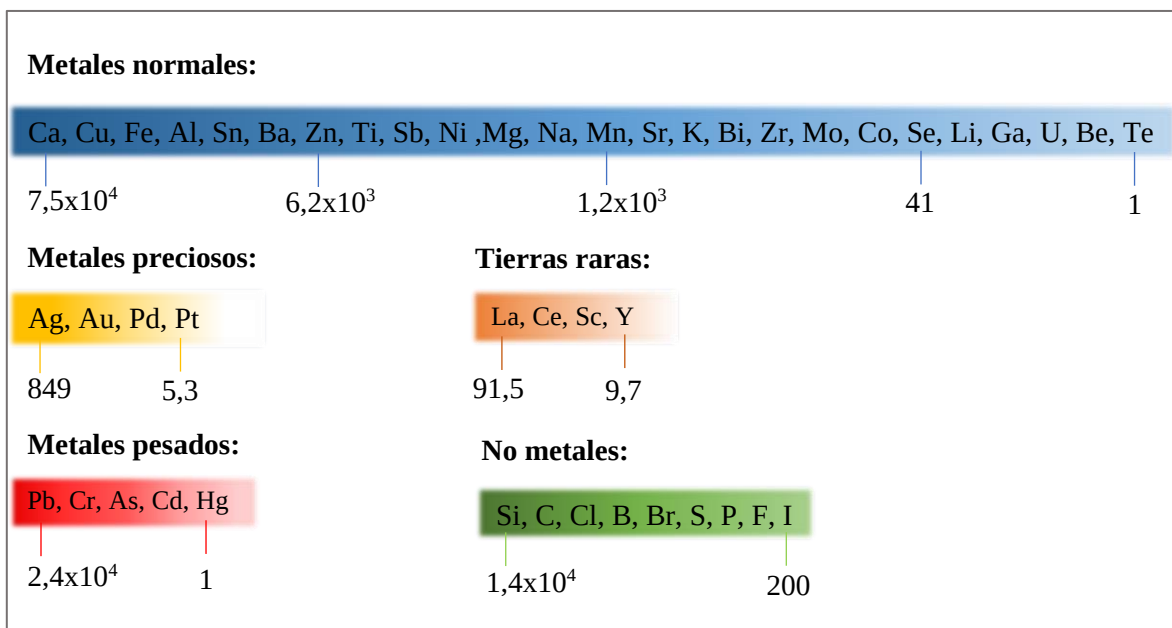


FIGURA A.8 COMPOSICIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS PRESENTES EN UNA TCI, ADAPTADO DE (METALES CONTENIDOS DECRECEN HACIA LA LUZ) (LI, EKSTEEN, & ORABY, 2018).

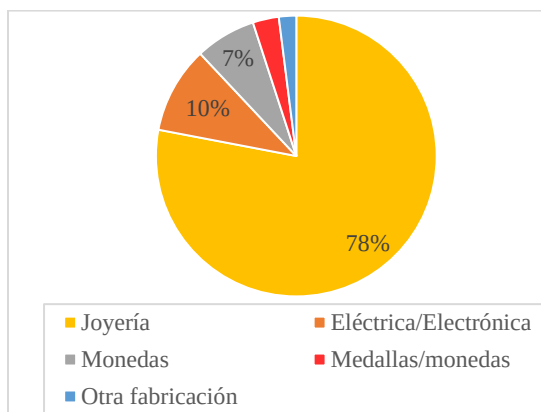


FIGURA A.9 PORCENTAJE DE LOS MERCADOS QUE DEMANDAN ORO 2017 (CRU CONSULTING, 2018B)

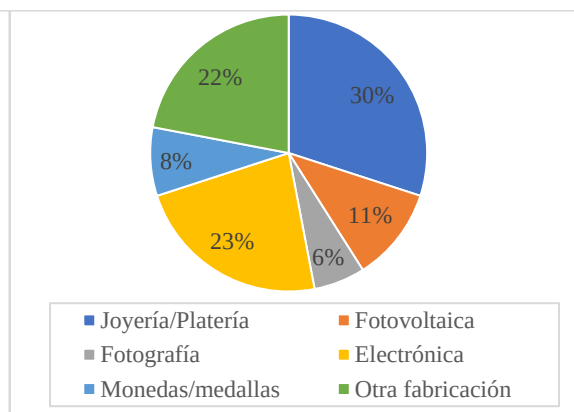


FIGURA A.10 PORCENTAJE DE LOS MERCADOS QUE DEMANDAN PLATA 2017 (CRU CONSULTING, 2018C)

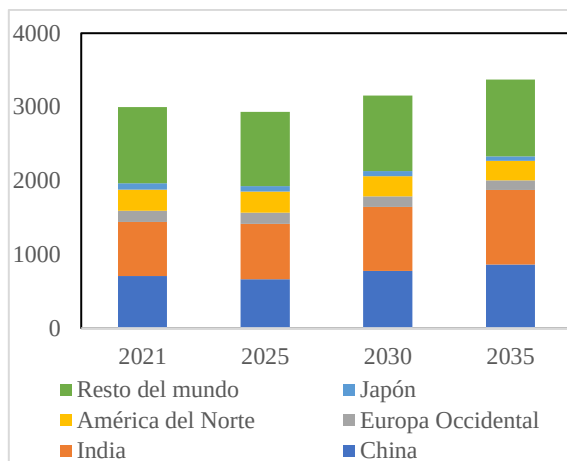


FIGURA A.11 PROYECCIÓN DEMANDA DE ORO 2021-2035  
(CRU CONSULTING, 2018B)

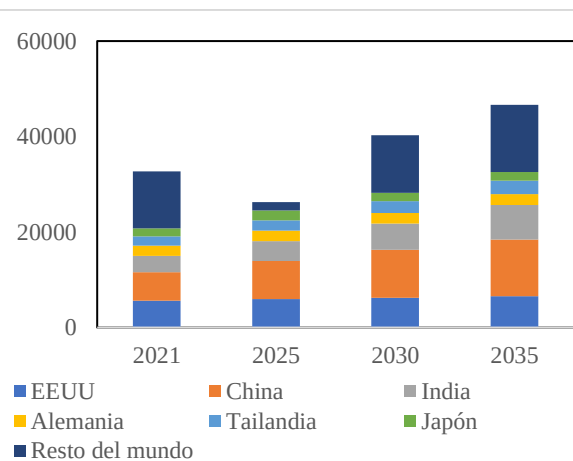


FIGURA A.12. PROYECCIÓN DEMANDA DE PLATA 2021-2035  
(CRU CONSULTING, 2018C)

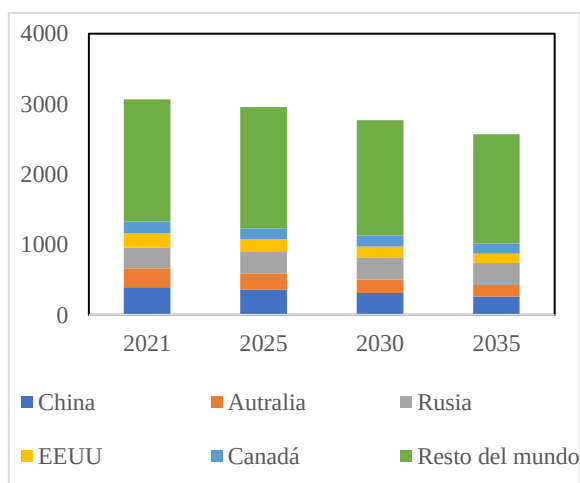


FIGURA A.13 PROYECCIÓN OFERTA DE ORO EN TONELADAS  
2021-2035 (CRU CONSULTING, 2018B)

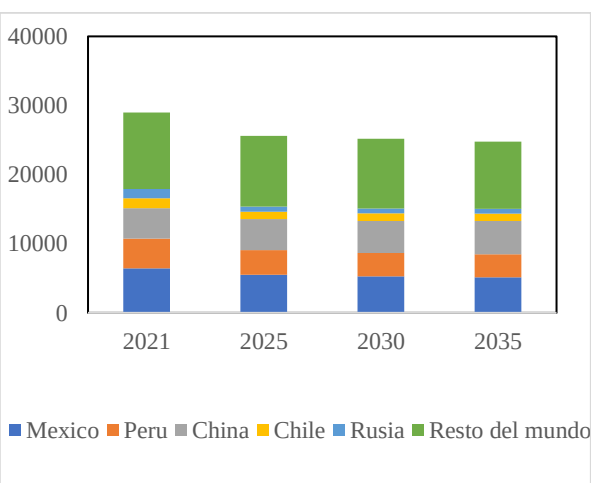


FIGURA A.14 PROYECCIÓN OFERTA DE PLATA EN  
TONELADAS  
2021-2035 (CRU CONSULTING, 2018C)

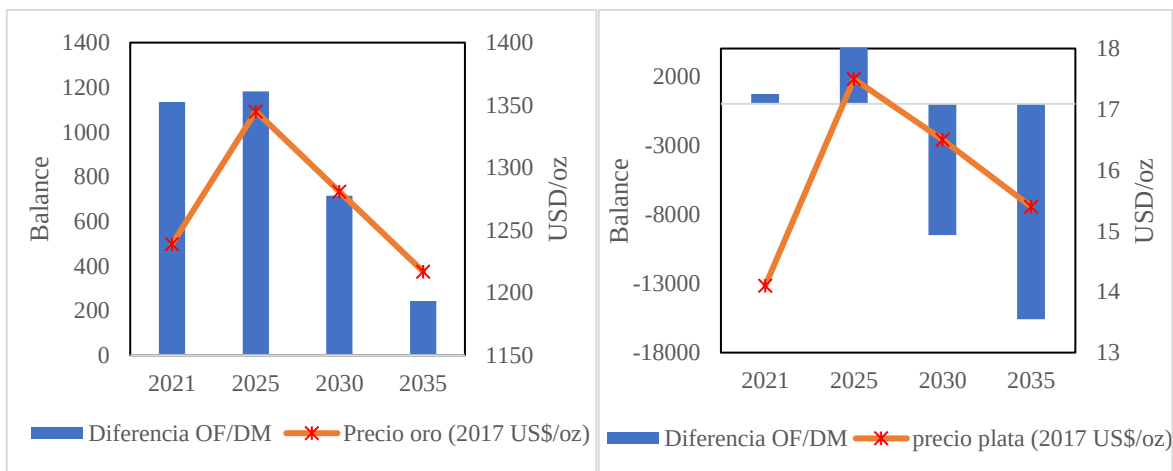


FIGURA A.15 BALANCE OFERTA DEMANDA Y PRECIO DEL ORO 2021-2035 (CRU CONSULTING, 2018B)

FIGURA A.16 BALANCE OFERTA DEMANDA Y PRECIO DE LA PLATA 2021-2035 (CRU CONSULTING, 2018C)

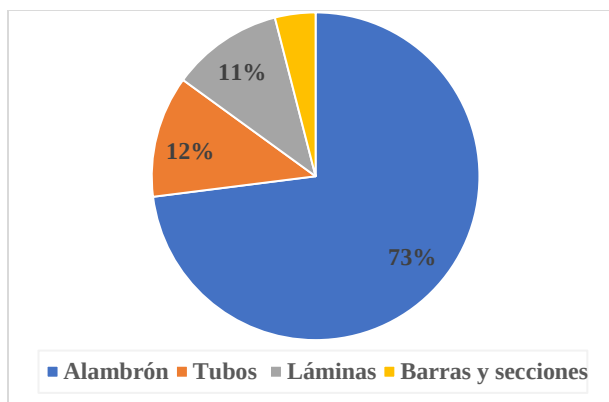


FIGURA A.17PORCENTAJE DE LOS MERCADOS QUE DEMANDAN COBRE 2017 (CRU CONSULTING, 2018A)

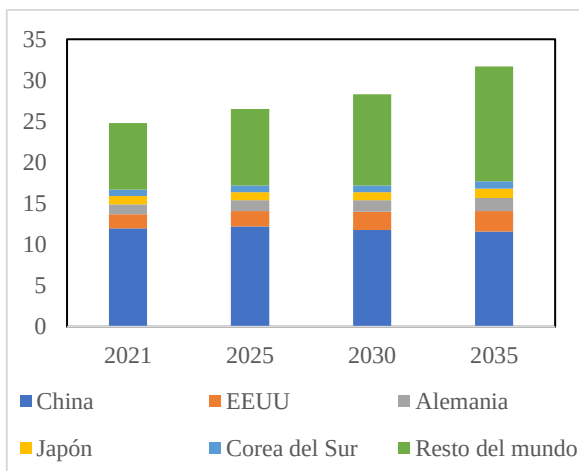


FIGURA A.18 PROYECCIÓN DEMANDA DE COBRE 2021-2035  
(CRU CONSULTING, 2018A)

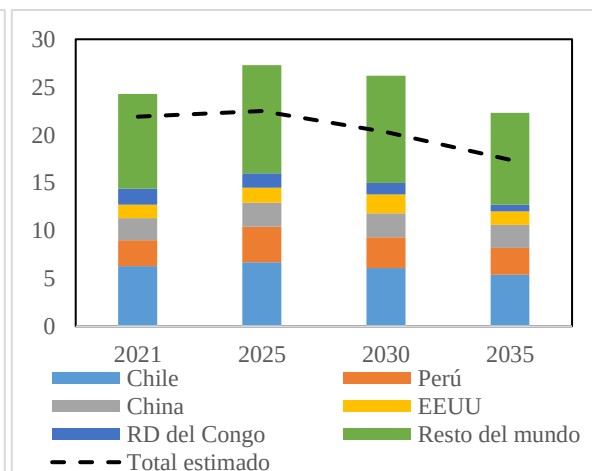


FIGURA A.19 PROYECCIÓN OFERTA DE COBRE 2021-2035  
(CRU CONSULTING, 2018A)

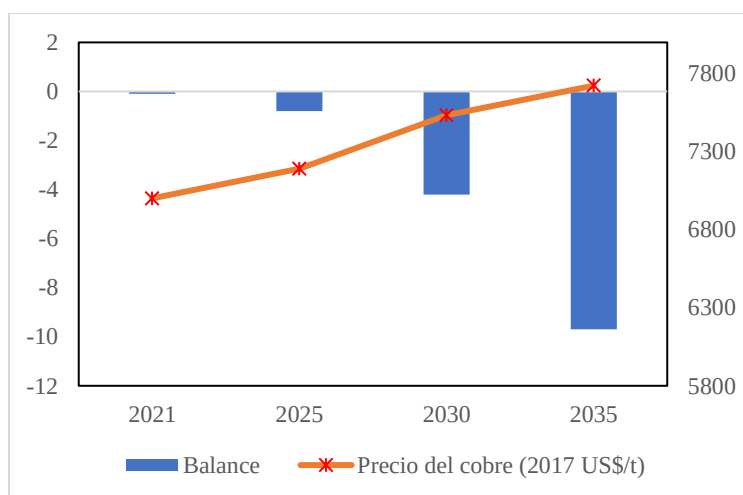


FIGURA A.20 PROYECCIÓN PRECIO DEL COBRE 2021-2035 (CRU CONSULTING, 2018A)



FIGURA A.21 PRODUCTOS PRIORITARIOS DEFINIDOS EN CHILE (FCH FUNDACIÓN CHILE, 2019)

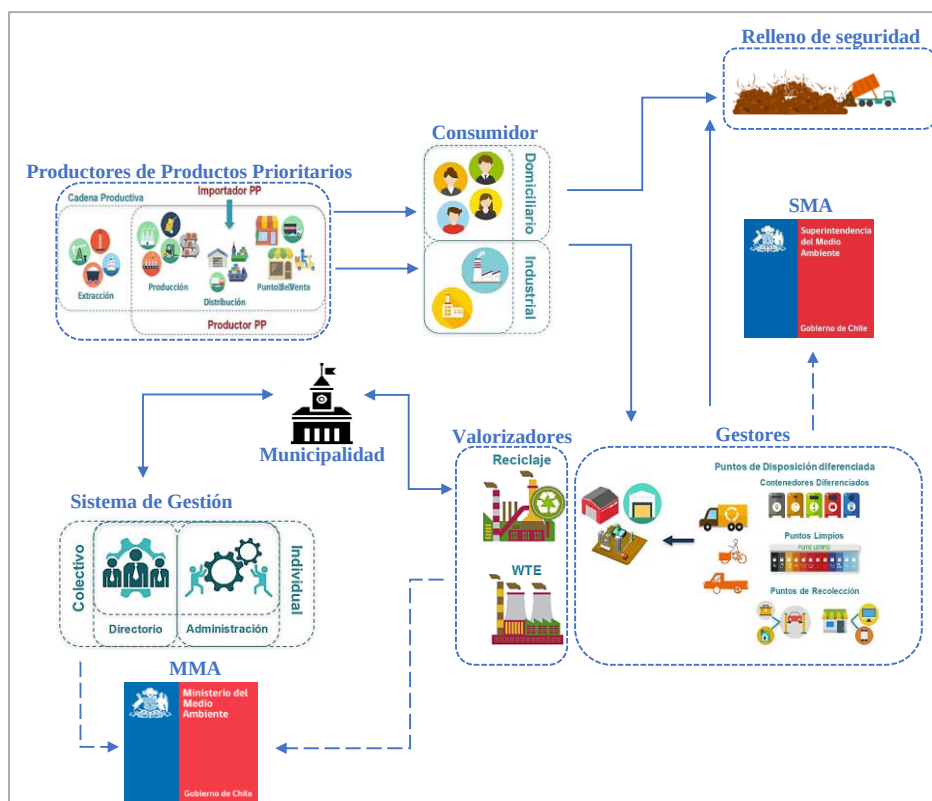


FIGURA A.22 INTERACCIÓN DE LOS ACTORES PRINCIPALES EN LA RESPONSABILIDAD EXTENDIDA DEL PRODUCTOR (REGENERATIVA, 2019)

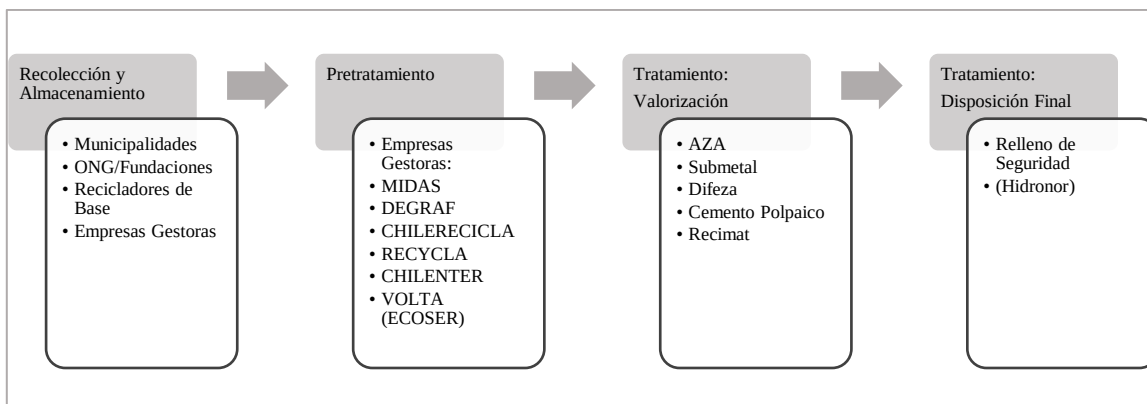


FIGURA A.23 ETAPAS DE MANEJO DE RAEE (E2BIZ CONSULTORES, 2019B)

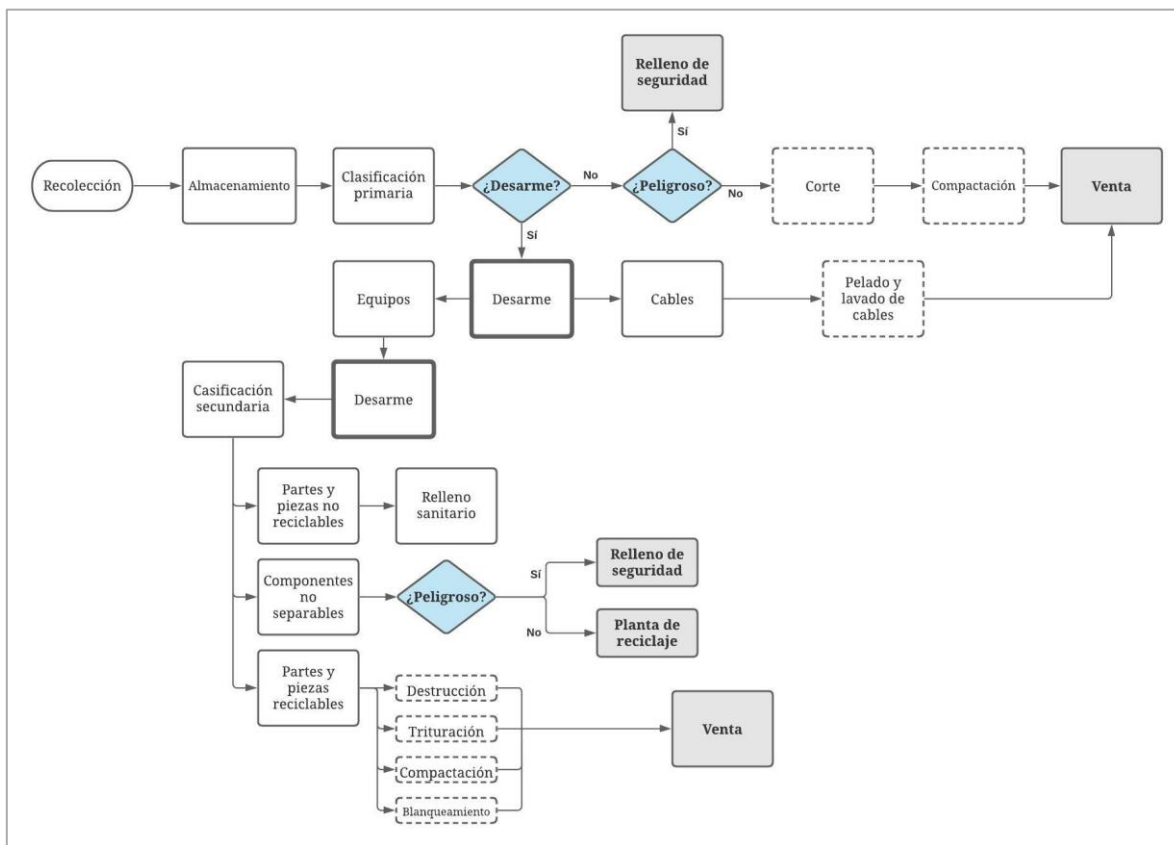


FIGURA A.24 DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE PRETRATAMIENTO (E2BIZ CONSULTORES, 2019B)

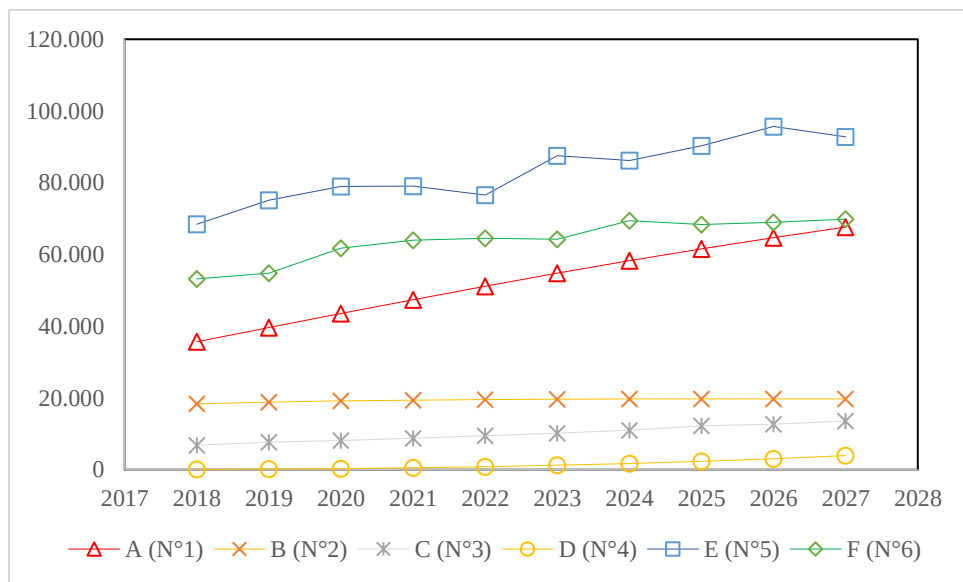


FIGURA A.25 PROYECCIÓN DE RAEE GENERADO EN CHILE POR CATEGORÍA 2018-2027 (FCH FUNDACIÓN CHILE, 2019)

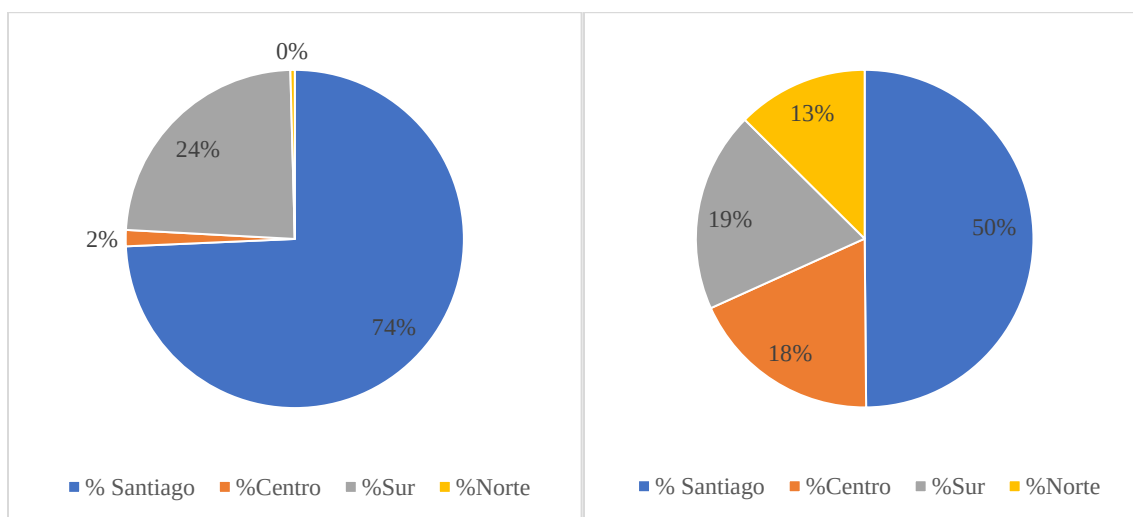


FIGURA A.27 PORCENTAJE DE RECOLECCIÓN REALIZADO POR SECTOR EN CHILE (2017) PRETRATADO (E2BIZ CONSULTORES, 2019B)

FIGURA A.26 PORCENTAJE DE RAEE GENERADO POR SECTOR EN CHILE (2017) PRETRATADO (E2BIZ CONSULTORES, 2019B)

## 2. Tablas: Industria del oro, categorías y gestores de RAEE en Chile

TABLA A.1 DETALLE DE LOS OTROS PRODUCTORES MUNDIALES DE ORO Y PARTICIPACIÓN EN LA OFERTA (SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, 2020)

| Resto del mundo    | 2019   | 2020  | Participación |
|--------------------|--------|-------|---------------|
| Ghana              | 142    | 140   | 4%            |
| Indonesia          | 139    | 130   | 4%            |
| Perú               | 128    | 120   | 4%            |
| México             | 111    | 100   | 3%            |
| Kazajistán         | 107    | 100   | 3%            |
| Sudáfrica          | 105    | 90    | 3%            |
| Uzbekistán         | 93     | 90    | 3%            |
| Sudán              | 90     | 90    | 3%            |
| Brasil             | 90     | 80    | 3%            |
| Papúa Nueva Guinea | 74     | 70    | 2%            |
| Mali               | 61     | 61    | 2%            |
| Argentina          | 60     | 60    | 2%            |
| Chile              | 38     | 33,9  | 1%            |
| Otros países       | 677,5  | 716,1 | 21%           |
| Total              | 3300,5 | 3241  | ----          |

TABLA A.2 FAENAS MINERAS DE LA GRAN MINERÍA (SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, 2020)

| Faenas representantes de la gran minería de oro en Chile |                          |                    |                      |
|----------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|
| Mina                                                     | Operador                 | Propietario        | Estado               |
| El Peñon                                                 | Cia Minera Meridian      | Yamana Gold        | Activa               |
| Maricunga                                                | Cia Minera Maricunga     | Kinross            | Activa               |
| La Coipa                                                 | Cia Minera Mantos de Oro | Kinross            | En evaluación        |
| Andacollo Oro                                            | Cia Minera Dayton        | Lachlan Star       | Parcialmente cerrada |
| Pedro Valencia                                           | Minera Florida           | Yamana Gold        | Activa               |
| Cerro Bayo                                               | Cia Minera Cerro Bayo    | Mandalay Resources | Activa               |
| El Toqui                                                 | Cia Minera El Toque      | Laguna Gold        | Activa               |

TABLA A.3 FAENAS MINERAS DE LA MEDIANA MINERÍA (SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, 2020)

| Faenas representantes de la mediana minería de oro en Chile |                           |                     |                       |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|
| Mina                                                        | Operador                  | Propietario         | Estado                |
| Guanaco                                                     | Minera Guanaco            | Austra Gold         | Activa                |
| Tambo de Oro                                                | Minera HMC Gold           | HMC S.A             | Activa                |
| Pimentón                                                    | Cia. Minera Pimenton      | Cerro Grande Mining | Activa                |
| El bronce                                                   | Cia. Minera Can Can       | Alxar Minería       | Cerrada temporalmente |
| Chépica                                                     | Minera Polar Mining Chile | -                   | Cerrada               |
| Pullalli                                                    | Cia. Minera Pullalli      | Cemin               | Activa                |

TABLA A.4 CATEGORÍAS DE AEE (E2BIZ CONSULTORES, 2019B)

|                                                                                     |                                                                                             |                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|   |          |    |
| N°1 Aparatos de intercambio de temperatura.                                         | N°2 Monitores, pantallas y aparatos con pantallas de superficie mayor a 100 cm <sup>2</sup> | N°3 Paneles solares fotovoltaicos grandes con una dimensión exterior superior a 50 cm. |
|  |          |   |
| N°4 Lámparas.                                                                       | N°5 Grandes aparatos con una dimension exterior superior a los 50 cm.                       | N°6 Pequeños aparatos sin ninguna dimensión superior a los 50 cm.                      |

TABLA A.5 SUBCATEGORÍAS DE AEE (E2BIZ CONSULTORES, 2019B)

|                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A1-A2</b> AE de aire acondicionado                                              |
| <b>A3-</b> AE aire acondicionado                                                   |
| <b>A4-</b> AE con aceite u otro líquido en circuitos                               |
| <b>B1-</b> Monitores y pantallas planas                                            |
| <b>B2-</b> Otros monitores y pantallas                                             |
| <b>B3-</b> Otros monitores y pantallas con pilas o baterías que no puede extraerse |
| <b>C1-</b> Lámparas de descarga (lámparas con gases en su interior)                |
| <b>C2-</b> Lámparas LED                                                            |
| Otras lámparas                                                                     |
| <b>D1-</b> Paneles fotovoltaicos con Si                                            |
| <b>D2-</b> Paneles fotovoltaicos con Te de Cd                                      |
| <b>E1-</b> Equipos de informática y telecomunicaciones grandes                     |
| <b>E2-</b> Otros grandes aparatos                                                  |
| <b>F1-</b> Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños                    |
| <b>F2-</b> Otros AE pequeños                                                       |

TABLA A.6 CAPACIDAD INSTALADA DE GESTORAS EN CHILE Y SUBCATEGORÍAS QUE TRABAJAN (E2BIZ CONSULTORES, 2019B)

| Gestora          | Capacidad instalada       | Capacidad utilizada     | subcategorías gestionadas                                | Insumos                                                                                                                                                                                           | Mano de obra                                                               | Ubicación                            |
|------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Chilenter</b> | 1.214 t año <sup>-1</sup> | 264 t año <sup>-1</sup> | A: NO<br>B: B1-B2-B3<br>C: NO<br>D: NO<br>E: E1<br>F: F1 | -Grúa horquilla<br>-Compactadora<br>-Cinta<br>-Transportadora<br>-Balanza de piso<br>-Transpaletas<br>-Herramientas neumáticas<br>-Compresor de tipo tornillo<br>-Estanque de acumulación de aire | En líneas:<br>19<br><br>Transportistas:<br>1<br><br>Administrativos:<br>11 | Quinta Normal (Región Metropolitana) |
| <b>Recycla</b>   | 4000                      | 317 t año <sup>-1</sup> | A:A1 (solo si                                            | -Esmeriles                                                                                                                                                                                        | En líneas:                                                                 | Pudahuel                             |

|                     |                                        |                              |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                    |                                                                                                                                               |
|---------------------|----------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     |                                        |                              | se extrajo<br>compresor y<br>material con<br>gas)<br>B: B1-B2-B3<br>C:NO<br>D:NO<br>E: E1-E2-F:<br>F2-F2-F3 | -Taladros<br>-Compactadoras<br>-Pistolas de calor<br>-Desatornilladores<br>eléctricos                                                                                                                                                                                                                                                                           | 7<br><br>Transportistas:<br>5<br><br>Administrativos:<br>9         | (Región<br>Metropolitana)                                                                                                                     |
| <b>Degraf</b>       | 200 t mes <sup>-1</sup>                | 1.296 t<br>año <sup>-1</sup> | A:A1-A2-A3-<br>A4<br>B:B1-B2-B3<br>C:C1-C2<br>D:D1-D2<br>E:E1-E2<br>F:F1-F2-F3                              | -Compactadores<br>-Briquetadora<br>-Trituradora<br>-Destructor de<br>pequeños AEE                                                                                                                                                                                                                                                                               | En líneas:<br>30<br>Transportistas:<br>8<br>Administrativos:<br>14 | Quilicura<br>(Región<br>Metropolitana)                                                                                                        |
| <b>Midas</b>        | 6000-<br>18.000 t<br>año <sup>-1</sup> | 2390 t año <sup>-1</sup>     | A:A1-A2-A3-<br>A4<br>B:B1-B2-B3<br>C:C1<br>D:NO<br>E:E1-E2<br>F:F1-F2-F3                                    | -Hornos de fusión<br>-Filtro de mangas<br>-Campanas<br>captadoras de<br>gases<br>-Grúa horquilla<br>-Balanzas<br>electrónicas<br>-Equipo<br>recuperador de<br>cables<br>-Tecle horizontal<br>-Generador<br>eléctrico<br>-Bomba de agua<br>trapiche<br>-Compresor<br>-Peladora de cables<br>-Molino industrial<br>-Mesa de desarme<br>con pistolas<br>neumáticas | Operarios:<br>21<br><br>Administrativos:<br>6                      | Lampa (Región<br>Metropolitana)<br>Copiapó<br>(Región de<br>Atacama)<br>Coronel (Región<br>del Biobío)<br>Sucursales en<br>Perú y<br>Colombia |
| <b>ChileRecicla</b> | 1000 t año <sup>-1</sup>               | 1260 t año <sup>-1</sup>     | A:A1-A2-A3-<br>A4                                                                                           | -Balanzas<br>-Compactadores                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | S/l                                                                | Chillán (Región<br>del Biobío)                                                                                                                |

|                           |    |                         |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                             |     |                                                                                         |
|---------------------------|----|-------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------|
|                           |    |                         | B:B1-B2-B3<br>C:NO<br>D:NO<br>E:E1-E2<br>F:F1-F2-F3 | -Estaciones de<br>desmontaje manual<br>-Trituradoras<br>-Prensas de<br>residuos de<br>metales ferrosos,<br>plásticos y otros<br>materiales<br>-Máquinas Steinert<br>para separar<br>metales ferrosos y<br>no ferrosos<br>-Molinos Stokemill |     |                                                                                         |
| <b>Volta<br/>(Ecoser)</b> | 10 | 2,8 t año <sup>-1</sup> | A:NO<br>B:NO<br>C:C1<br>D:NO<br>E:NO<br>F:NO        | -Máquina<br>tritadora<br>(cilindro de<br>colección de<br>residuos<br>descontaminados)<br>-Unidad de filtro<br>(captación de<br>mercurio)<br>-Depósito de<br>residuos triturados                                                             | S/I | Quilicura<br>(Región<br>Metropolitana)<br>Cobertura de<br>Antofagasta a<br>Puerto Montt |

TABLA A.7 TIPO DE TRATAMIENTO DE ACUERDO CON LOS COMPONENTES PRESENTES EN UN RAEE PRETRATADO (E2BIZ  
 CONSULTORES, 2019B)

| Categoría | Subcategoría | Componentes                                   | Reciclaje | Reutilización | Valorización<br>Energética | Relleno de<br>seguridad | Exportación |
|-----------|--------------|-----------------------------------------------|-----------|---------------|----------------------------|-------------------------|-------------|
| <b>A</b>  | A1-A2-A4     | Acero                                         | X         |               |                            |                         |             |
|           |              | Compresor<br>(bombona con gas y/o<br>Líquido) |           |               |                            | X                       |             |
|           |              | Plásticos                                     |           |               |                            | X                       |             |

|          |    |                                          |   |  |   |   |   |
|----------|----|------------------------------------------|---|--|---|---|---|
|          |    | Vidrio                                   | X |  |   |   |   |
|          |    | Cable                                    | X |  |   |   | X |
|          |    | Fracción de carcasa<br>No ferrosa        | X |  |   |   |   |
|          |    | Compresor (bombona<br>Con gas)           |   |  |   | X |   |
|          | A3 | Cobre                                    | X |  |   |   |   |
|          |    | Aluminio                                 | X |  |   |   |   |
|          |    | Plástico                                 | X |  |   |   |   |
|          |    | Electrónico                              | X |  |   |   | X |
|          |    | Acero                                    | X |  |   |   |   |
| <b>B</b> | B1 | Aluminio                                 | X |  |   |   |   |
|          |    | Electrónico                              | X |  |   |   | X |
|          | B2 | Plástico                                 |   |  | X |   |   |
|          |    | Plástico                                 | X |  |   |   |   |
|          | B3 | Acero                                    | X |  |   |   |   |
|          |    | TCI-CRT                                  |   |  |   | X |   |
|          |    | Cableado                                 | X |  |   |   | X |
| <b>C</b> | C1 | Lámparas con<br>Gases en su interior     |   |  |   | X |   |
|          | C2 | LED                                      |   |  |   | X |   |
| <b>D</b> | D1 | Vidrio y materiales<br>Afines al silicio |   |  |   | X |   |
|          |    | Aluminio (marcos<br>Metálicos)           | X |  |   | X |   |
|          |    | Cobre                                    | X |  |   |   | X |
|          |    | Plata                                    | X |  |   |   | X |
|          |    | Plásticos                                | X |  |   |   | X |
|          |    | Polímero (goma aislante)                 |   |  |   | X |   |
|          |    | Vidrio y materiales afines<br>Al silicio |   |  |   | X |   |
|          | D2 | Aluminio (marcos<br>Metálicos)           | X |  |   |   |   |

|          |    |                                  |   |   |   |   |   |
|----------|----|----------------------------------|---|---|---|---|---|
|          |    | Cobre                            | X |   |   |   | X |
|          |    | Plata                            | X |   |   |   | X |
|          |    | Plásticos                        | X |   |   |   | X |
|          |    | Polímero (goma Aislante)         |   |   |   | X |   |
| <b>E</b> | E1 | Plástico                         | X |   |   |   |   |
|          |    | Hierro                           | X | X |   |   |   |
|          |    | Electrónico                      | X | X |   |   | X |
|          |    | Acero                            | X |   |   |   |   |
|          |    | Aluminio                         | X |   |   |   |   |
|          | E2 | Electrónico                      | X | X |   |   | X |
|          |    | Plástico                         |   |   | X |   |   |
|          |    | Vidrio                           | X |   |   |   |   |
|          |    | Batería o pila                   |   |   |   | X |   |
| <b>F</b> | F1 | Plástico (separable Manualmente) |   |   | X |   |   |
|          |    | Electrónico (cuerpo de equipo)   | X | X |   |   | X |
|          |    | Batería o pila                   |   |   |   | X |   |
|          | F2 | Plástico (separable Manualmente) |   |   | X |   |   |
|          |    | Electrónico (cuerpo de Equipo)   | X | X |   |   | X |

TABLA A.8 EMPRESAS VALORIZADORAS EN CHILE PRETRATADO (E2BIZ CONSULTORES, 2019B)

| Gestor              | Actividad principal                 | Capacidad instalada         | Capacidad utilizada         | Insumos necesarios operación                          | Materiales que reciben |
|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Valorización</b> |                                     |                             |                             |                                                       |                        |
| <b>Aza</b>          | -Industria básica de hierro y acero | 520.000 t año <sup>-1</sup> | 500.000 t año <sup>-1</sup> | -Horno de fundición de arco eléctrico<br>-Laminadores | -Acero                 |

|                                                                           |                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                 |                            |                                                                                                                                 |                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Sudamericana<br/>De metales<br/>Comercial<br/>Ltda.<br/>(Sudmetal)</b> | -Venta al por mayor no especializada<br>-Otras actividades de Servicios de apoyo a las empresas N.C.P. | S/l                                                                                                                                                                                                                             | 2000 t año <sup>-1</sup>   | S/l                                                                                                                             | -Metales no ferrosos                                                |
| <b>Difeza</b>                                                             | -Venta al por mayor no especializada                                                                   | 27.000 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                           | 36.000 t año <sup>-1</sup> | -Cizalla<br>-Báscula para camiones<br>-Excavadora con grapo y electroimán<br>-Camiones (ampliroll, grúa, remolque)              | Chatarra de fierro pesada, liviana, viruta.<br>-Metales no ferrosos |
| <b>Cemento<br/>Polpaico S.A.</b>                                          | -Fabricación de Cemento, Cal y Yeso<br>-Recogida de Desechos no peligrosos                             | Capacidad instalada de producción:<br>2.3 M t cemento<br><br>Capacidad de horno que trabajan con combustible alternativo:<br>Horno 1: 70 t h <sup>-1</sup><br>Horno 3: 10 t h <sup>-1</sup><br>Límite utilización materia prima | S/l                        | -Balanza<br>-Correa transportadora<br>-Sistemas elevadores<br>-Torre precalentadora<br>Con compuerta con sistema doble pendular | Plástico                                                            |

|                                                   |                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                    |                            |                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                   |                                                                                                                                                                                                                | alternativa:1<br>5%                                                                                                                                                                                                |                            |                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                          |
| <b>Recicladora Ambiental Ltda. (RAM)- Recimat</b> | -Fabricación de otros productos elaborados de metal N.C.P<br>-Recuperación y reciclaje de desperdicios y desechos metálicos<br>-Venta al por mayor de desechos metálicos (Chatarra)                            | Horno rotatorio:<br>2.000 t mes <sup>-1</sup><br>Almacén:<br>Baterías de plomo ácido, componentes y pulpas de vertías, plásticos chipiados:<br>3.077 t;<br>borras anódicas:<br>100 t;<br>chatarras de plomo: 400 t | 21.600 t año <sup>-1</sup> | -Horno rotatorio<br>-Ollas de recepción y refinamiento de plomo<br>-Molinos triturador<br>-Tornillo transportador<br>-Tanque separador                                                                   | -Residuos de plomo<br>-Chatarra de fierro<br>-Metales no ferrosos                                                                                                        |
| <b>Disposición final</b>                          |                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                    |                            |                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                          |
| <b>Hidronor Chile S.A.</b>                        | -Tratamiento y eliminación de desechos no peligrosos<br>-Tratamiento y eliminación de desechos no peligrosos<br>-Venta al por mayor no especializada<br>-Fondo y sociedad de inversión y entidades financieras | 142.000 t año <sup>-1</sup>                                                                                                                                                                                        | 7000 t año <sup>-1</sup>   | Maquinaria utilizada en el depósito de seguridad:<br>-Excavadora<br>-Compactadora<br>-Cargador frontal<br>-Buldozer<br>-Excavadora<br>-Grúa horquilla<br>-Retroexcavadora<br>-Semirremolque<br>-Camiones | -Gases Refrigerantes<br>-Aceites<br>-Plomo<br>-Mercurio<br>-Compuestos orgánicos de fósforo (de lámparas)<br>-Cadmio, Compuesto de cadmio<br>-Vidrio, plástico y metales |

|  |                                                                                                                        |  |  |  |             |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|-------------|
|  | similares<br>-Alquiler de<br>bienes inmuebles<br>de bienes<br>inmuebles<br>amoblados o con<br>equipos y<br>maquinarias |  |  |  | contaminado |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|-------------|

## B. Revisión Bibliográfica

### 1. Figuras: Composición TCI y procesos metalúrgicos usados en el procesamiento de TCI

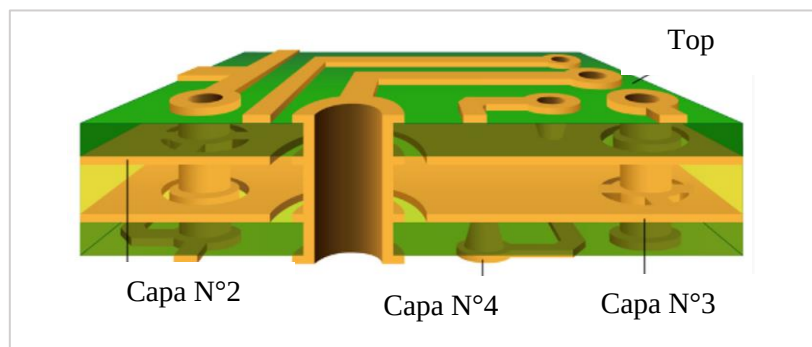


FIGURA B.1 ESQUEMA PLACA DE CIRCUITO IMPRESO (ELECTRÓNICA, 2020)

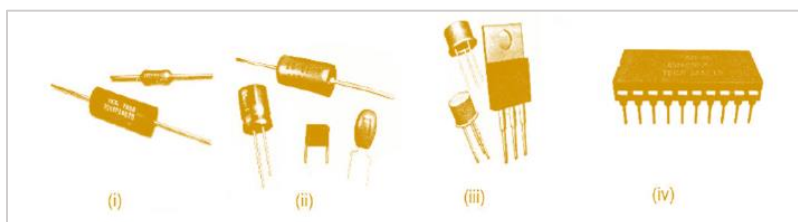


FIGURA B.2 ELEMENTOS PRINCIPALES SOLDADOS A LA TARJETA DE CIRCUITO IMPRESO (QUEROL, 2020)

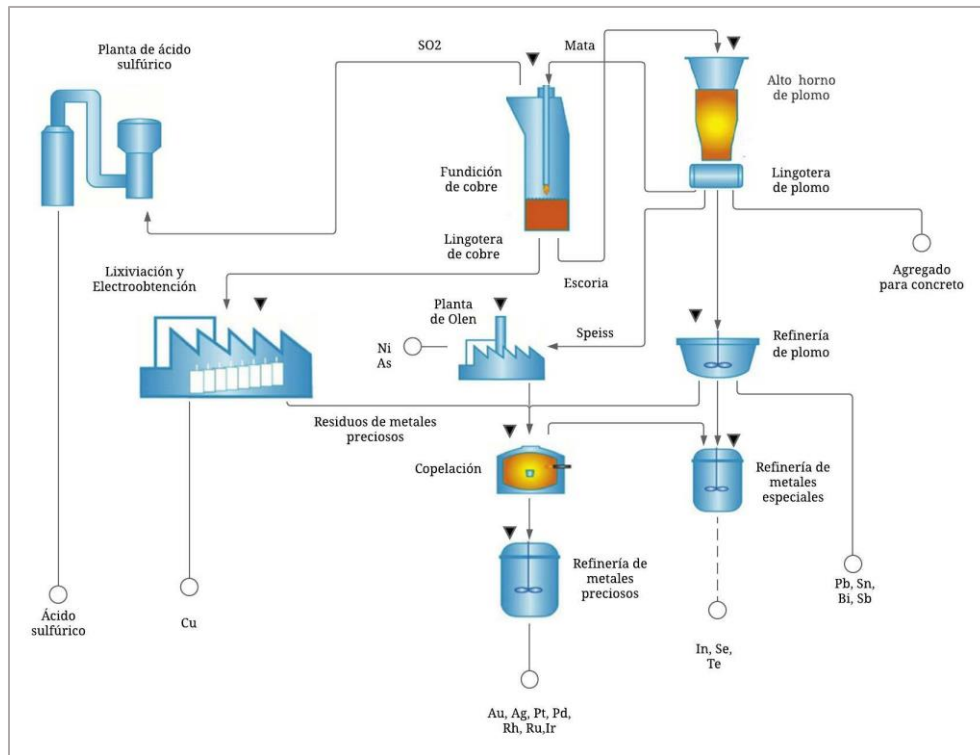


FIGURA B.3 DIAGRAMA DE PROCESOS DE HOBOKEN, UMICORE (UMICORE, 2021)

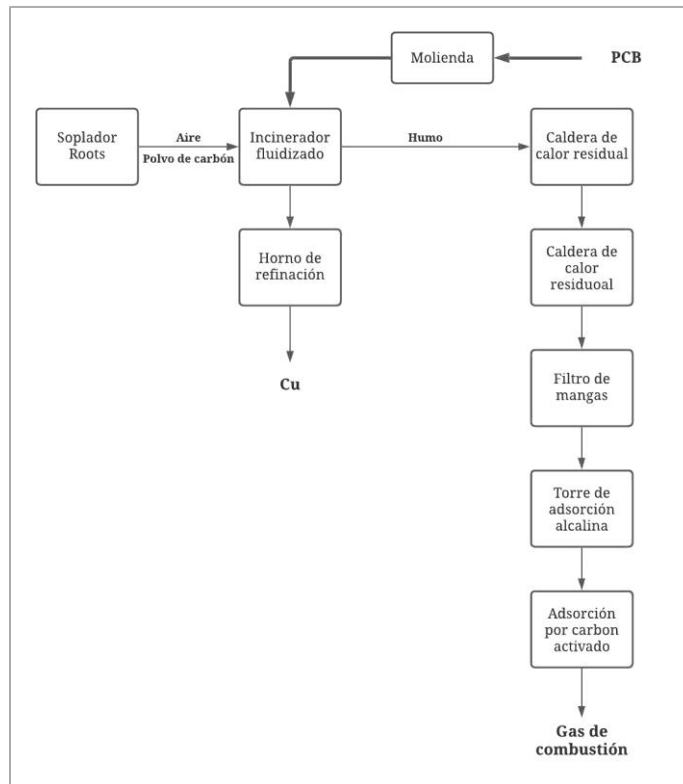


FIGURA B.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DE PROCESO DE PRETRATAMIENTO TÉRMICO PARA TCI (WANG, Y OTROS, 2017)

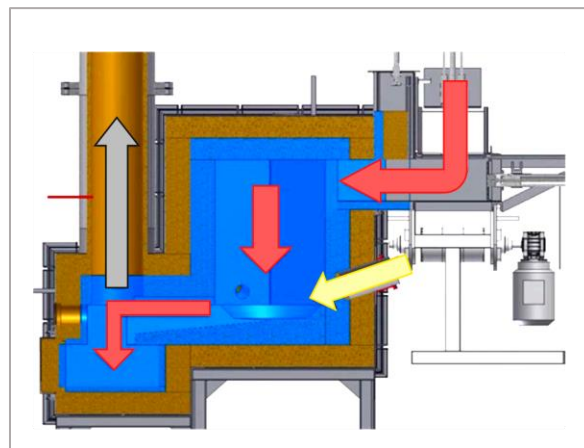


FIGURA B.5 SECCIÓN TRANSVERSAL DE REACTOR DE PLASMA. RESIDUOS Y PRODUCTO FUNDIDO SE INDICAN CON FLECHAS ROJAS, FLUJO DE PLASMA CON FLECHA AMARILLA Y GASES, FLECHA PLOMA (SZAŁATKIEWICZ, SZEWCZYK, BUDNY, MISSALA, & WINIARSKI, 2013; WANG, Y OTROS, 2017)

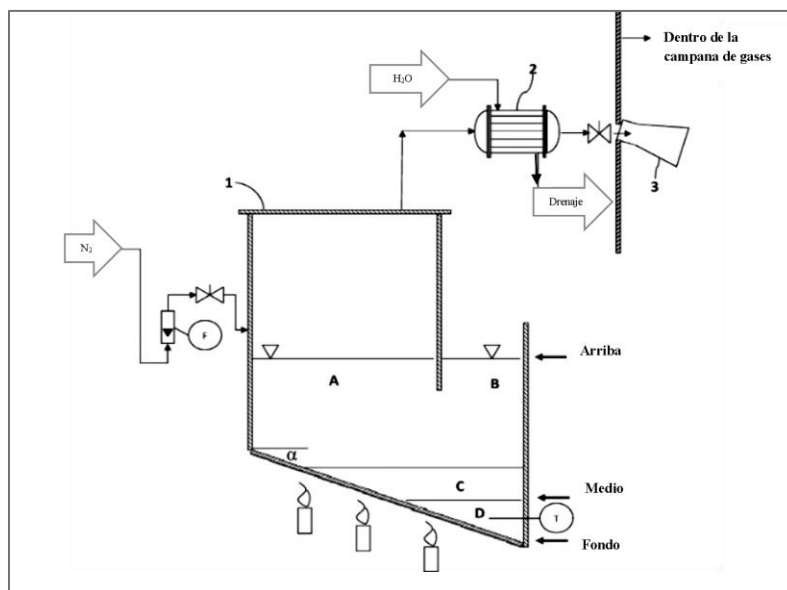


FIGURA B.6 DIAGRAMA P&ID DE EXPERIMENTO DE SEPARACIÓN/PIRÓLISIS DE TCI A ESCALA DE LABORATORIO (T: MEDIDOR DE TEMPERATURA, F: MEDIDOR DE FLUJO DE NITRÓGENO, A: 45°, 1: RECIPIENTE DE PIRÓLISIS, 2: CONDENSADOR, 3: MATRAZ DE VIDRIO (RIEDEWALD & SOUSA-GALLAGHER, 2015; WANG, Y OTROS, 2017)

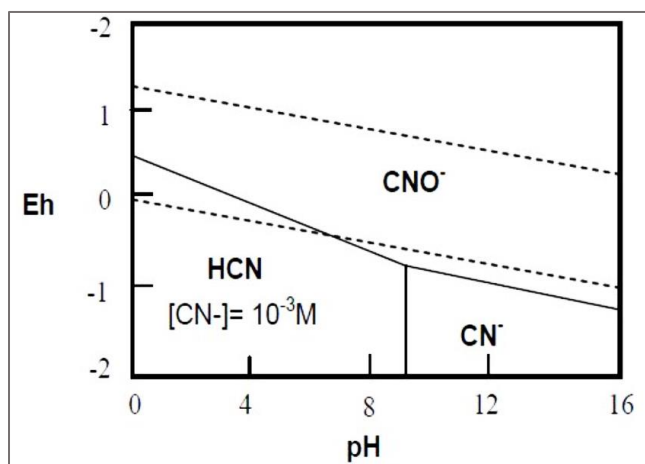


Figura B.7 Diagrama de Pourbaix para el sistema CN-H<sub>2</sub>O, a 25 °C y 1 atm

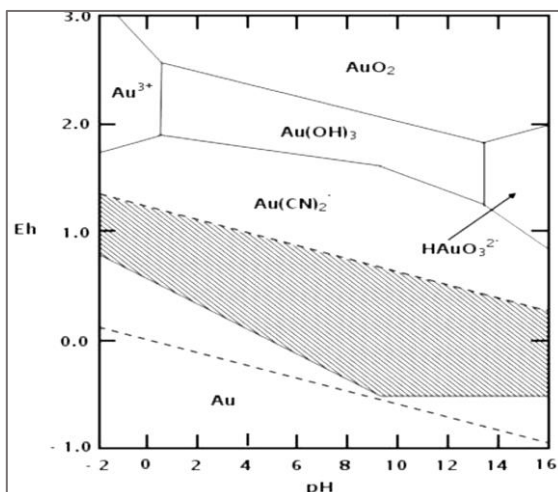


Figura B.8 Diagrama de Pourbaix para el sistema Au-CN-H<sub>2</sub>O a 25 °C y 1 atm

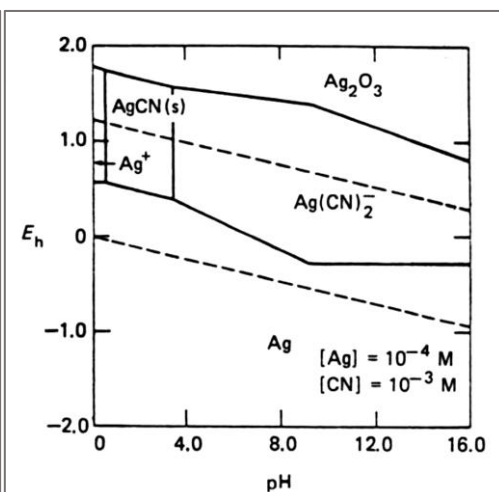


Figura B.9 Diagrama de Pourbaix para el sistema Ag-CN-H<sub>2</sub>O

## 2. Tablas: Tecnologías de fusión, resumen de estudios de concentración física y criterios de selección medios de lixiviación.

TABLA B.1 PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE HORNO DE FUSIÓN USADAS EN EL MUNDO (CÁCERES, 2017)

| Top Submerged Lance (TLS)                                                                                   | Top Blown Rotatory Converter (TBRC)                                                          | Noranda                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                    |
| Horno que posee una cámara cilíndrica y una lanza que inyecta aire sumergida en el baño y genera agitación. | Horno rotario en que se sopla aire enriquecido en la superficie del baño mediante una lanza. | Proceso continuo de fusión, similar al Convertidor Peirce-Smith, donde se sopla aire enriquecido mediante toberas sumergidas en el baño, para luego pasar a una zona del reactor donde se produce la separación de |

|                                                                                                                                                                |                                               | mata y escoria.                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|
| Empresas y tipo de tecnología usada                                                                                                                            |                                               |                                       |
| -Outotec Ausmelt: Kosawa (Japón), de Dowa y Danyang (Corea del Sur), de GRM<br>-Xtrata ISASMELT: Hoboken (Bélgica), de Umicore y Lünen (Alemania), de Aurubis. | Outotec Kaldo: Rönnskar (Suecia), de Boliden. | Noranda: Horne (Canadá), de Glencore. |

TABLA B.2 EMPRESAS PRINCIPALES QUE INCORPORAN PROCESOS PIROMETALÚRGICOS (QUEROL, 2020)

| Empresa           | Elementos recuperados                                              | Descripción del proceso                                                                                                                                              |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hoboken, Umicore  | Cu, Ni, As, Pb, Sn, Sb, Bi, Au, Ag, Pd, Pt, Ir, Ru, Rh, In, Se, Te | -Cobre: Fundición TSL<br>ISASMELT<br>-Plomo: Alto horno<br>Metales preciosos: Barros de EW de cobre<br>Metales especiales:                                           |
| Kosawa, Dowa      | Cu, Au, Ag, Ga, metales grupo del platino                          | -Fundición en reactor TSL combinada con fundición y refinado de plomo y zinc                                                                                         |
| Rönnskar, Boliden | Cu, Ag, Au, Pd, Ni, Se, Zn, Pb                                     |                                                                                                                                                                      |
| Horne, Glencore   | Cu, Au, Ag, Pt, Pd, Se, Te, Ni                                     | -Fundición de cobre, convertidor, fabricación de ánodos, afino electrolítico, Cu + metales grupo del platino, afino de metales grupo de platino y metales especiales |
| Lünen, Aurubis    | Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sn, metales grupo del platino                  | ----                                                                                                                                                                 |

TABLA B.3 RESUMEN ESTUDIOS DE CONMINUCIÓN DE TCI.

| Proceso                                                                                                                                                                                 | Rango de tamaño (mm) | Distribución en peso (%) |              | Composición Metálica (%) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Molino de cuchillos.</li> <li>Clasificación por tamaños. (Veit, Pereira, &amp; Andréa M. Bernardes, 2002)</li> </ul>                             | -0,25                | 25                       |              | 12,46                    |
|                                                                                                                                                                                         | -0,25/+0,50          | 15                       |              | 29,02                    |
|                                                                                                                                                                                         | -0,50/-1,00          | 45                       |              | 30,45 <sup>7</sup>       |
|                                                                                                                                                                                         | +1,00                | 15                       |              | -                        |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Cortadora.</li> <li>Molino de rodillo estampado.</li> <li>Clasificación tamaño en malla ASTM. (Yoo, Jeong, Yoo, Lee, &amp; Kim, 2008)</li> </ul> |                      | M % en peso              | NM % en peso |                          |
|                                                                                                                                                                                         | -0,6                 | 9                        | 34           | 22,70                    |
|                                                                                                                                                                                         | -0,6/+1,2            | 11                       | 14           | 43,44                    |
|                                                                                                                                                                                         | -1,2/+2,5            | 5                        | 5            | 44,94                    |
|                                                                                                                                                                                         | -2,5/-5              | 6                        | 3            | 54,22                    |
|                                                                                                                                                                                         | +5                   | 10                       | 5            | 67,89                    |
|                                                                                                                                                                                         |                      | 100                      |              |                          |

TABLA B.4 RESUMEN ESTUDIOS DE CONCENTRACIÓN GRAVITACIONAL

| Proceso                                                  | Tamaño       | Condiciones                                | Recuperación [%] | Ley [%] |
|----------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------|------------------|---------|
| Medio denso (Veit, Pereira, & Andréa M. Bernardes, 2002) | -0,25 mm     | TBE + Acetona<br>2.5 [g cm <sup>-3</sup> ] | 50,96            | 70,56   |
|                                                          | 0,25+0,50 mm |                                            | 54,25            | 62,98   |
|                                                          | 0,50+1,00 mm |                                            | 99,72            | 63,26   |
| Separación neumática (Yoo, Jeong, Yoo,                   | -0,6 mm      | 1,4 [m s <sup>-1</sup> ]                   | 60               | 45,10   |
|                                                          | 0,6+1,2 mm   | 1,7 [m s <sup>-1</sup> ]                   | 98               | 48,43   |
|                                                          |              | 2,6 [m s <sup>-1</sup> ]                   | 97               | 50,82   |

<sup>7</sup> Resultado estudios Veit, Pereira, & Andréa M. Bernardes (2002), considera la suma de wt% de Cu, Zn, Fe, Mg, Ni, Al, Pb, Ag y Sn, donde 24,34% corresponde a cobre.

|                                                                                                   |                           |                                                                                                                                             |                                  |                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Lee, & Kim, 2008)                                                                                 | 1,2+2,5<br>mm<br>2,5+5 mm | 3,5 [m s <sup>-1</sup> ]                                                                                                                    | 99                               | 58,48                                                                  |
| Separación<br>neumática<br>(Kumar V. , y<br>otros, 2013)                                          | -1,5 mm                   | 20 [m s <sup>-1</sup> ]<br>15 [m s <sup>-1</sup> ]<br>10 [m s <sup>-1</sup> ]<br>5 [m s <sup>-1</sup> ]                                     | 75,3                             | 64,8                                                                   |
|                                                                                                   |                           |                                                                                                                                             | 57,0                             | 71,5                                                                   |
|                                                                                                   |                           |                                                                                                                                             | 53,3                             | 75,0                                                                   |
|                                                                                                   |                           |                                                                                                                                             | 49,1                             | 81,9                                                                   |
| Flotación<br>(Kumar V. , y<br>otros, 2013)                                                        | -1,5 mm                   | 1500 [rpm]<br>2000 [rpm]<br>2300 [rpm]                                                                                                      | 80,6                             | 84,1                                                                   |
|                                                                                                   |                           |                                                                                                                                             | 76,7                             | 83,7                                                                   |
|                                                                                                   |                           |                                                                                                                                             | 74,4                             | 87,8                                                                   |
| Flotación inversa<br>con espumante<br>MIBC<br>(Dinç, Tosun,<br>Bastürkçü, Özer,<br>& Burat, 2021) | -0,15 mm                  | pH 8<br>Flujo de aire: 3 [L min <sup>-1</sup> ]<br>50 [g L <sup>-1</sup> ] MIBC<br>3 min (acondicionamiento)<br>3 min (tiempo de flotación) | Au:93,4%<br>Ag:84,3%<br>Cu:95,8% | Au:472 [g t <sup>-1</sup> ]<br>Ag:537 [g t <sup>-1</sup> ]<br>Cu:52,9% |
| Corriente<br>longitudinal<br>(Mesa vibratoria)<br>(Tanısalı, Özer, &<br>Burat, 2020)              | -2 mm                     | ----                                                                                                                                        | 96,71%                           | Au: 259 ppm<br>Ag: 677 ppm<br>Cu: 59,9%                                |
|                                                                                                   | 4+0,5 mm                  |                                                                                                                                             |                                  | Au: 28 ppm<br>Ag: 1198 ppm<br>Cu: 56,1%                                |
|                                                                                                   | -0,5 mm                   |                                                                                                                                             |                                  | Au: 657 ppm<br>Ag: 522 ppm<br>Cu: 61,4%                                |
|                                                                                                   |                           |                                                                                                                                             |                                  | TM: 54,67%                                                             |
| Centrífuga<br>(Falcon)<br>(Duana, y otros,<br>2008)                                               | -1 mm                     | 0,05 [MPa] water pressure<br>30 [Hz] Rotation<br>20 [g/L] Feed concentration                                                                | 92,36%                           | 97,05%                                                                 |
| Centrifuga Falcon<br>(Dinç, Tosun,<br>Bastürkçü, Özer,<br>& Burat, 2021)                          | -0,5 mm                   | 10% S/L<br>300 G                                                                                                                            | Au:90,4%<br>Ag:71,0%<br>Cu:93,0% | Au:320 [g t <sup>-1</sup> ]<br>Ag:317 [g t <sup>-1</sup> ]<br>Cu:36%   |

|                                                                     |        |                                                                                              |                                  |                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Centrifuga Knelson<br>(Dinç, Tosun, Bastürkçü, Özer, & Burat, 2021) | 0,5 mm | 10% S/L<br>80 G<br>0,5-3 psi agua                                                            | Au:95,6%<br>Ag:81,7%<br>Cu:96,0% | Au:363 [g t <sup>-1</sup> ]<br>Ag: 381 [g t <sup>-1</sup> ]<br>Cu: 40,1% |
| Centrifuga MIG<br>(Dinç, Tosun, Bastürkçü, Özer, & Burat, 2021)     | 0,5 mm | 10 % S/L<br>2 L/min alimentación<br>1 L/min agua de lavado<br>2° pendiente<br>15 mm amplitud | Au:92%<br>Ag:78,3%<br>Cu:92,3%   | Au:360 [g t <sup>-1</sup> ]<br>Ag:378 [g t <sup>-1</sup> ]<br>Cu:39,9%   |

| Proceso                                                                                                                                                                                       | Rango de tamaños (mm) | M peso (%) | Ley M (%) | Liberación de partículas (%) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------|-----------|------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Molienda húmeda de martillo de impacto 6 [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>]</li> <li>Clasificación tamaño en malla ASTM.</li> </ul> (Duana, y otros, 2008) | -2,2+2                | 0,26       | 22,75     | 66                           |
|                                                                                                                                                                                               | -2+1                  | 3,87       | 44,78     | 70                           |
|                                                                                                                                                                                               | -1+0,5                | 37         | 53,96     | 95                           |
|                                                                                                                                                                                               | -0,5+0,25             | 13,94      | 38,23     | 100                          |
|                                                                                                                                                                                               | -0,25+0,125           | 16,87      | 21,05     | 100                          |
|                                                                                                                                                                                               | -0,125+0,074          | 2,56       | ----      | 100                          |
|                                                                                                                                                                                               | -0,074                | 25,20      | 6,28      | 100                          |

| Proceso                                                                                                                                                                                                         | Rango de tamaño (mm) | Cantidad (%) | Au                      |      | Ag                      |      | Cu   |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------|-------------------------|------|-------------------------|------|------|------|
|                                                                                                                                                                                                                 |                      |              | C, [g t <sup>-1</sup> ] | D, % | C, [g t <sup>-1</sup> ] | D, % | C, % | D, % |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Trituración primaria.</li> <li>Clasificación Tamaño malla.</li> <li>Trituración secundaria.</li> <li>Clasificación Tamaño malla.</li> <li>Molienda de discos.</li> </ul> | -2 (MDP)             | 23,3         | 253                     | 41,8 | 587                     | 22,3 | 49,8 | 30,8 |
|                                                                                                                                                                                                                 | +2                   | 10,9         | 25                      | 1,9  | 652                     | 11,6 | 33,1 | 9,6  |
|                                                                                                                                                                                                                 | -2+1                 | 16,5         | 237                     | 28,0 | 1075                    | 28,9 | 33,8 | 14,8 |
|                                                                                                                                                                                                                 | -1+0,5               | 8,9          | 115                     | 7,3  | 1146                    | 16,6 | 45,6 | 10,8 |
|                                                                                                                                                                                                                 | -0,5+0,3             | 6,1          | 50                      | 2,2  | 460                     | 4,6  | 39,2 | 6,4  |
|                                                                                                                                                                                                                 | -0,3+0,074           | 15,3         | 72                      | 7,9  | 310                     | 7,7  | 22,0 | 9,0  |

|                                                                                                                                       |        |     |     |      |     |     |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----|-----|------|-----|-----|------|------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Clasificación tamaño hidrociclón. (Dinç, Tosun, Bastürkçü, Özer, &amp; Burat, 2021)</li> </ul> | -0,074 | 19  | 80  | 10,9 | 265 | 8,2 | 36,7 | 18,6 |
|                                                                                                                                       | Total  | 100 | 141 | 100  | 613 | 100 | 37,7 | 100  |

TABLA B.5 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE DISTINTOS MEDIOS LIXIVIANTES DE ACUERDO CON CRITERIOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES  
(LI, EKSTEEN, & ORABY, 2018)

| Metodo de LX             | Toxicidad | Seguridad | Cinética | Selectividad | Regeneración | Costo de regeneración | Corrosividad | Estudios |
|--------------------------|-----------|-----------|----------|--------------|--------------|-----------------------|--------------|----------|
| Agua Regia               | Medio     | Bajo      | Muy Alto | Bajo         | Bajo         | Bajo                  | Altísimo     | Bajo     |
| Cianurada                | Alto      | Bajo      | Medio    | Alto         | Alto         | Medio                 | Menos        | Bajo     |
| Tiourea                  | Bajo      | Medio     | Muy Alto | Medio        | Bajo         | Bajo                  | Muy Alto     | Alto     |
| Tiosulfato               | Bajo      | Alto      | Medio    | Medio        | Medio        | Medio                 | Menos        | Alto     |
| Tiocianato               | Medio     | Bajo      | Alto     | Medio        | Medio        | Medio                 | Muy Alto     | Bajo     |
| Amonio-Amoniaco          | Medio     | Bajo      | Alto     | Alto         | Medio        | Bajo                  |              | Medio    |
| Líquido iónicos          | Bajo      | Alto      | Medio    | ----         | ----         | Alto                  | Menos        | Bajo     |
| Lixiviación supercrítica | No toxico | Alto      | Alto     | ----         | ----         | Alto                  | Menos        | Bajo     |
| Cloro-cloruro            | Medio     | Bajo      | Alto     | Bajo         | Bajo         | Bajo                  | Altísimo     | Bajo     |
| Iodo-Ioduro              | No toxico | Alto      | Alto     | Alto         | Medio        | Medio                 | Menos        | Bajo     |

TABLA B.6 EVALUACIÓN NUMÉRICA DE DISTINTOS MEDIOS LIXIVIANTES DE ACUERDO CON CRITERIOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES  
(HAO, WANG, WU, & GUOA, 2020)

| Método de LX | Cinética | Costo | Corrosivo | Tóxico | Investigación (viabilidad) |
|--------------|----------|-------|-----------|--------|----------------------------|
| Cianuro      | 3        | 5     | 5         | 0      | 5                          |
| Agua Regia   | 4        | 4     | 0         | 3      | 5                          |
| Tiourea      | 4        | 4     | 4         | 4      | 4                          |
| Tiosulfato   | 2        | 2     | 5         | 4      | 2                          |
| Cloruro      | 5        | 4     | 0         | 3      | 4                          |

|         |   |   |   |   |   |
|---------|---|---|---|---|---|
| Bromuro | 5 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| Ioduro  | 5 | 3 | 5 | 5 | 3 |

## C. Ingeniería de Perfil

- Figuras: Volumen de RAEE (categorías B, E y F) en Chile, esquemas de equipos de concentración, diagrama de bloques del proceso, composición de principales corrientes en el proceso productivo, gráficos (diseño de equipos), turnos laborales y planificación de la producción.

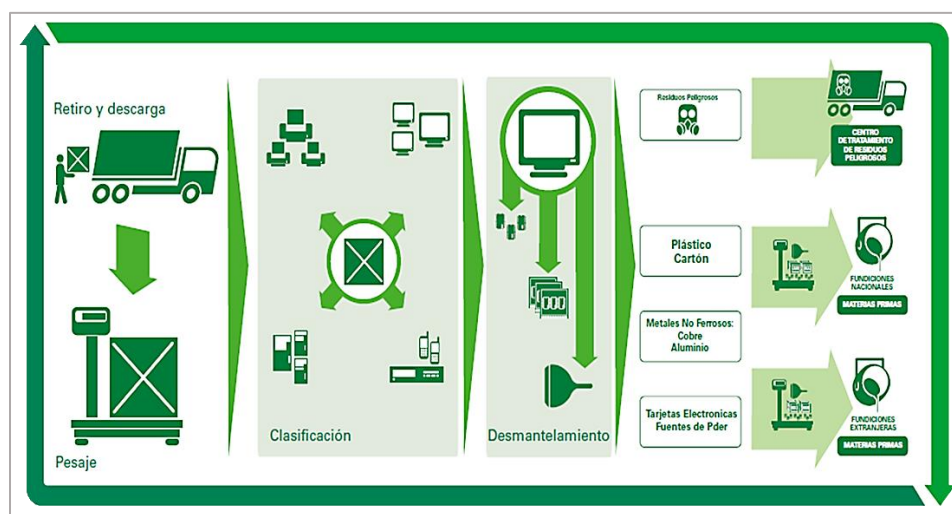


FIGURA C.1 PRETRATAMIENTO REALIZADO POR RECYCLA.

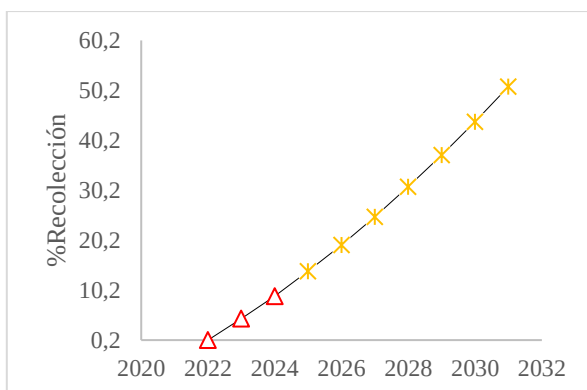


FIGURA C.2 % META DE RECOLECCIÓN PROYECTADA 2022-2031

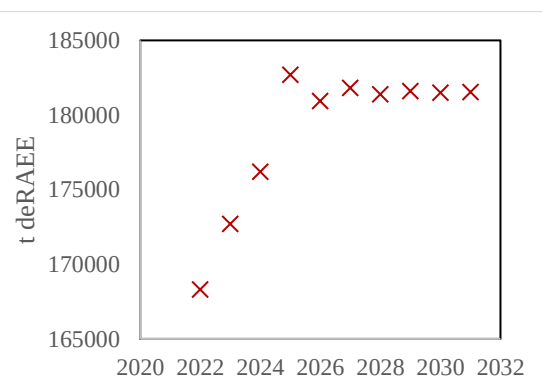


FIGURA C.3 CANTIDAD DE RESIDUO GENERADOS DESDE SUBCATEGORÍAS B1,E1,E2,F1 y F2 PROYECTADOS 2022-2031

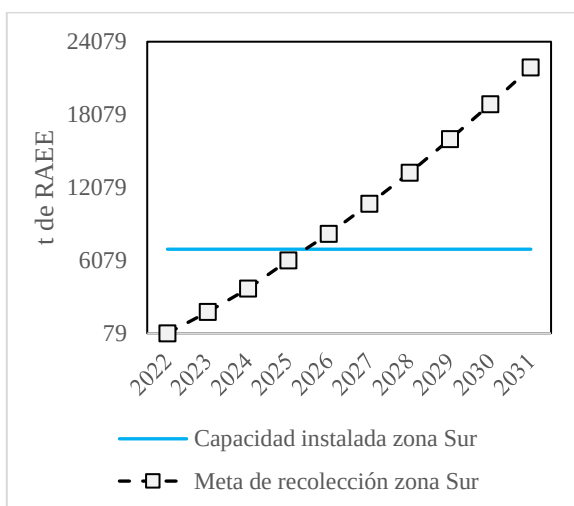


FIGURA C.4 META EN LA ZONA SUR COMPARADA CON LA CAPACIDAD DISPONIBLE EN LA ZONA SUR

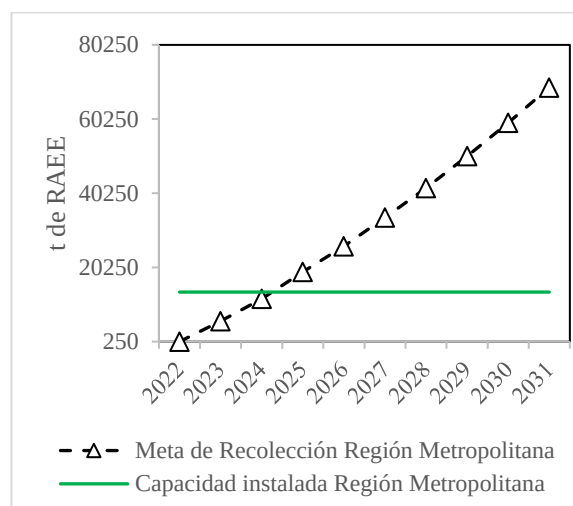


FIGURA C.5 META EN LA RM COMPARADA CON LA CAPACIDAD DISPONIBLE EN LA REGIÓN METROPOLITANA

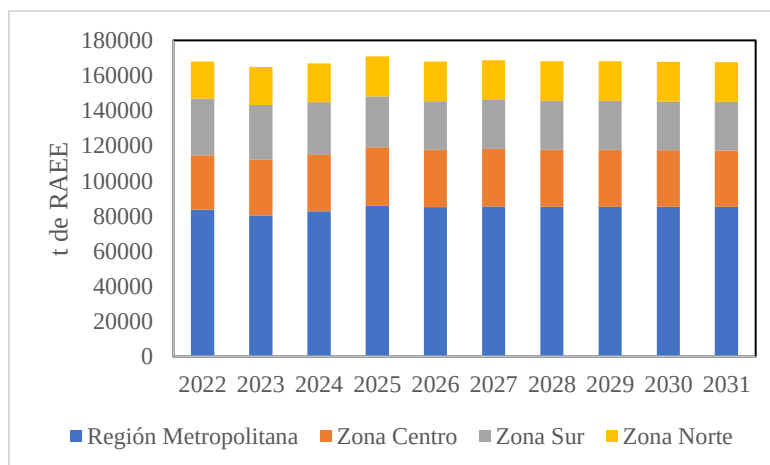


FIGURA C.6 CANTIDAD DE RAEE QUE NO SE RECICLA EN CHILE PROYECTADA 2022-2031.

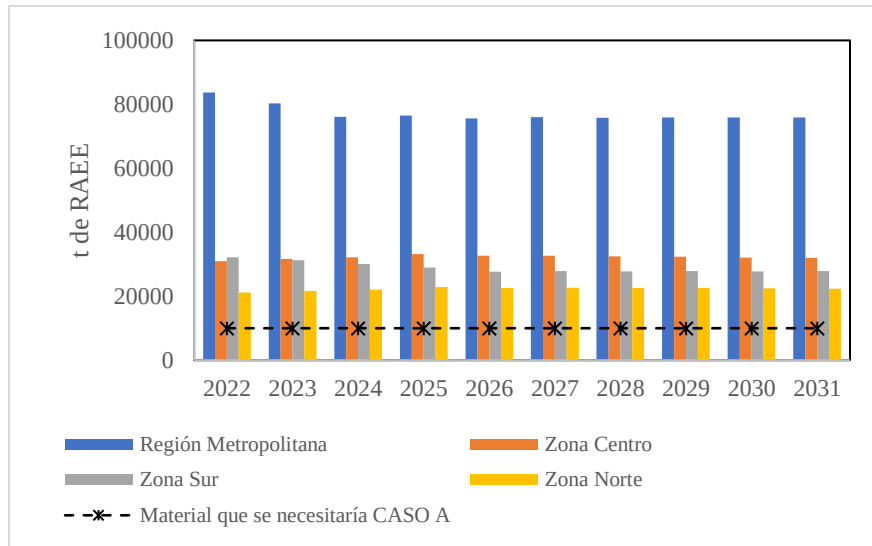


FIGURA C.7 RAEE EN CHILE SIN MANEJO Y CAPACIDAD DE ALIMENTACIÓN PLANTA DE RECICLAJE

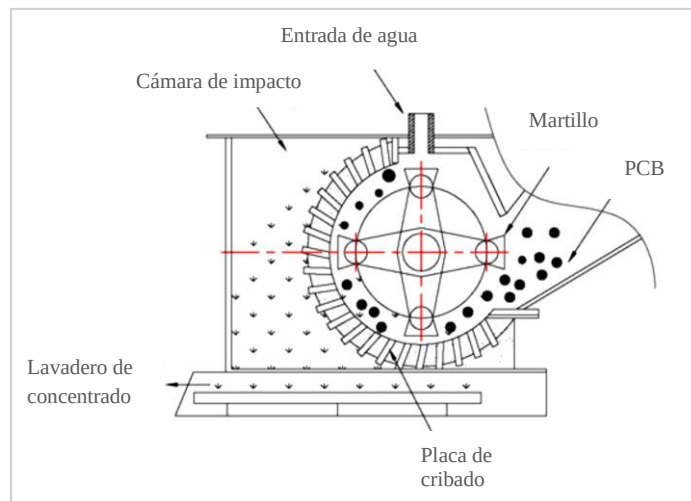


FIGURA C.8 ESQUEMA DE CHANCADOR DE MARTILLOS.

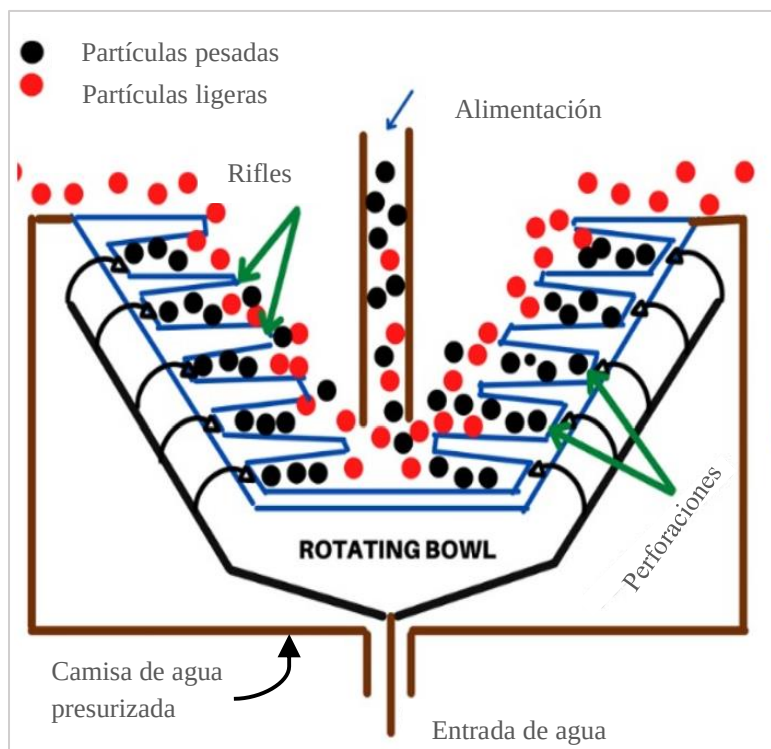


FIGURA C.9 ESQUEMA DEL CONCENTRADOR KNELSON

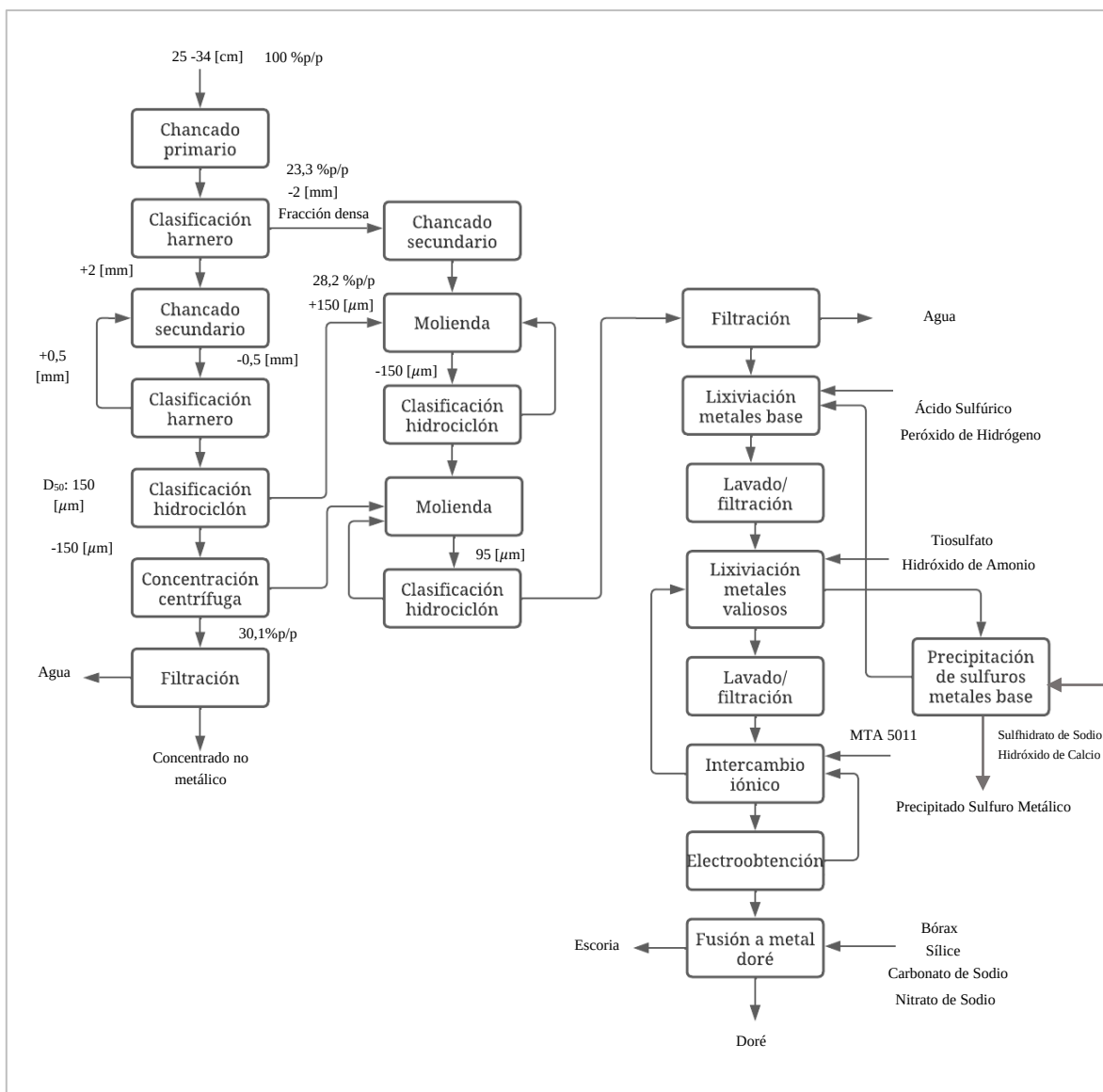


FIGURA C.10 DIAGRAMA DE BLOQUES PROCESO DE EXTRACCIÓN DE AU AG Y CU DESDE TCI.

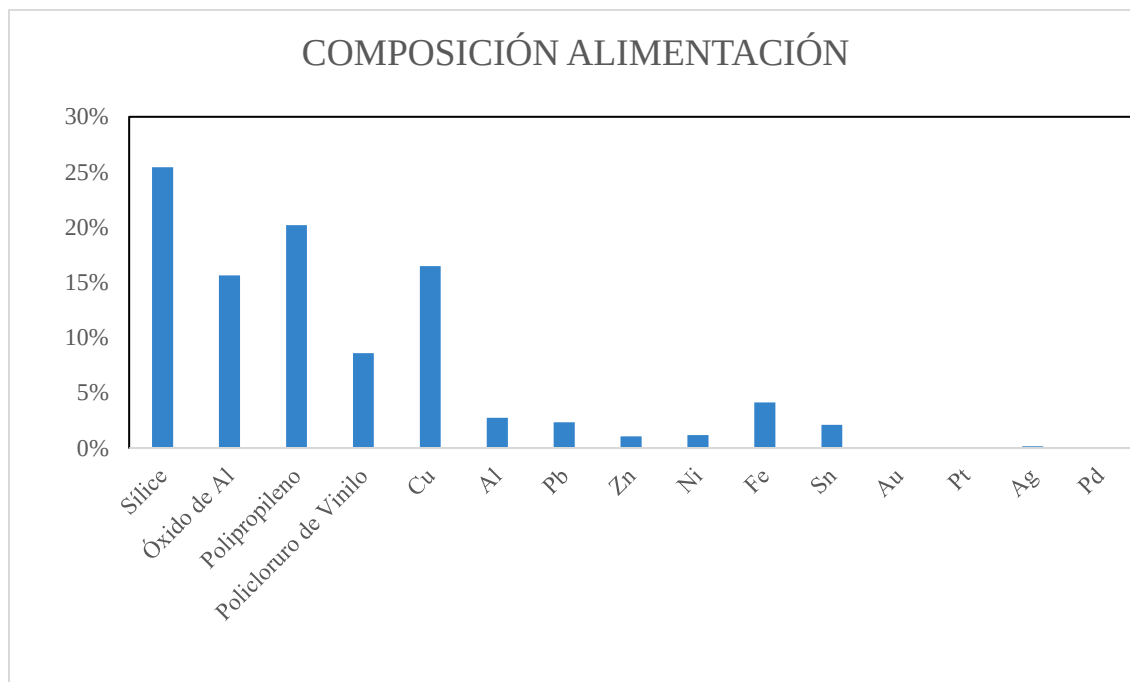


FIGURA C.11 GRÁFICO COMPOSICIÓN DE TCI EN LA ALIMENTACIÓN

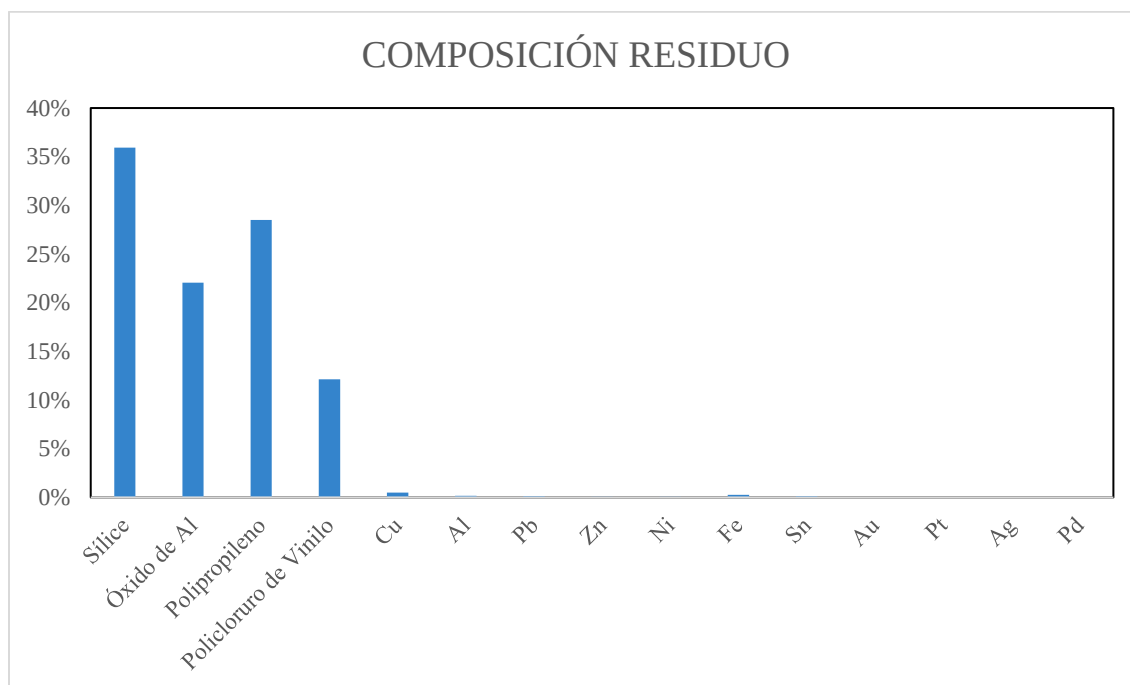


FIGURA C.12 GRÁFICO COMPOSICIÓN DE CONCENTRADO NO METALICO OBTENIDO EN ETAPA DE CONCENTRACIÓN CENTRÍFUGA

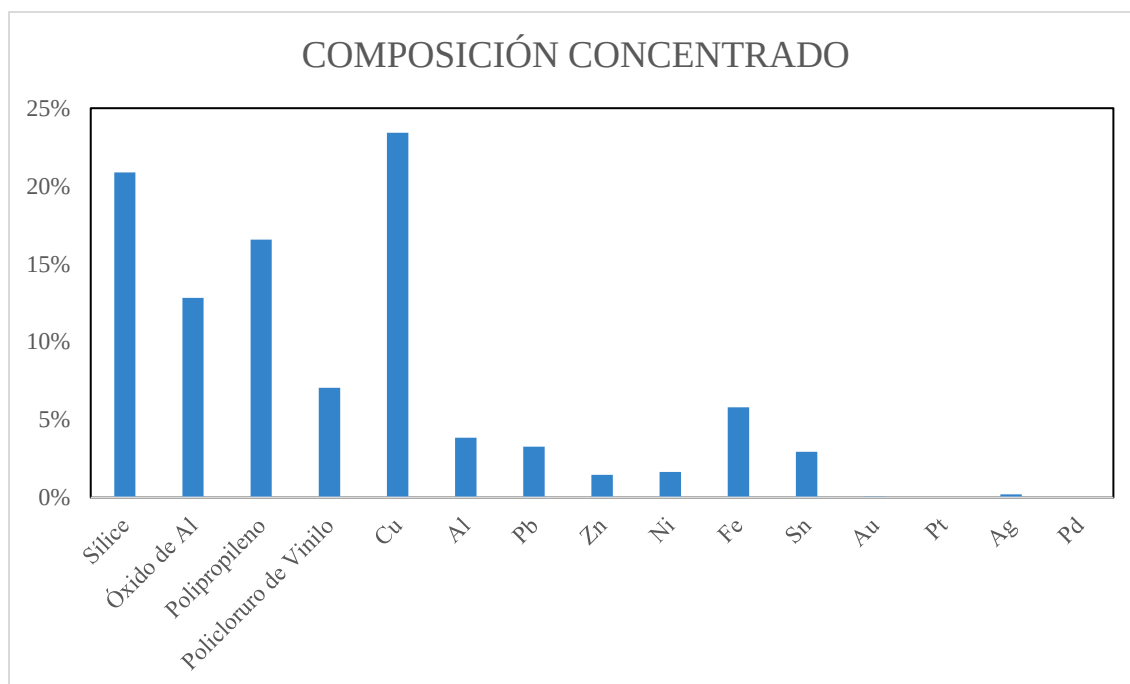


FIGURA C.13 GRÁFICO COMPOSICIÓN CONCENTRADO FINAL OBTENIDO

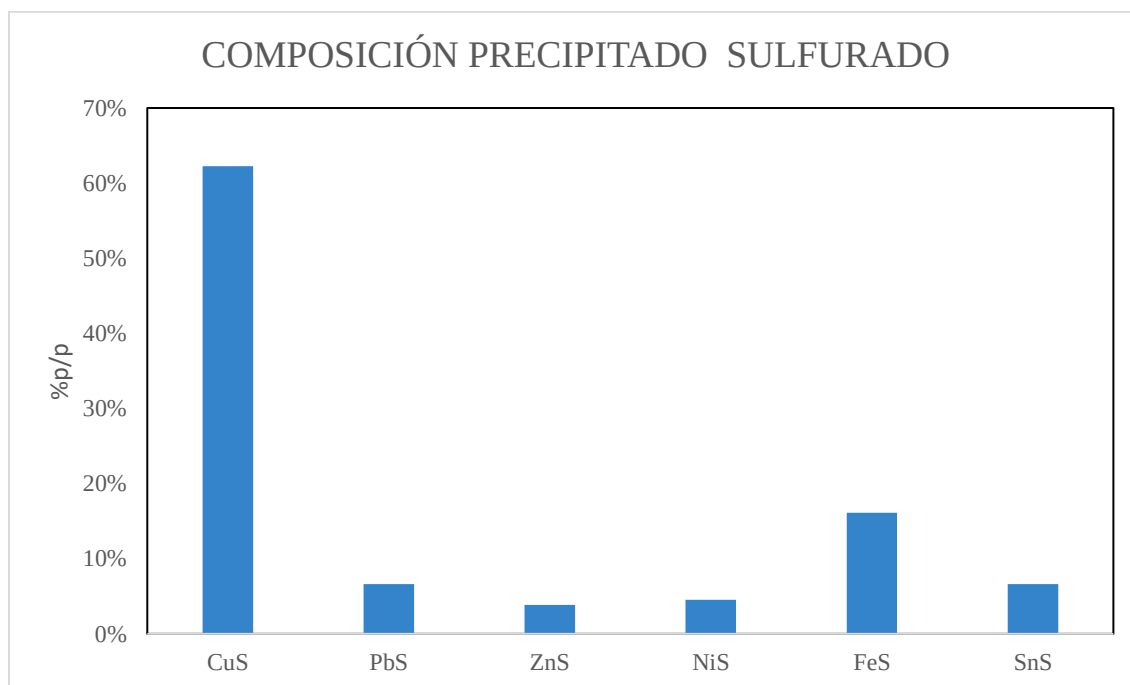


FIGURA C.14 GRÁFICO COMPOSICIÓN EN PESO DE SULFUROS PRESENTES EN EL PRODUCTO PRECIPITADO

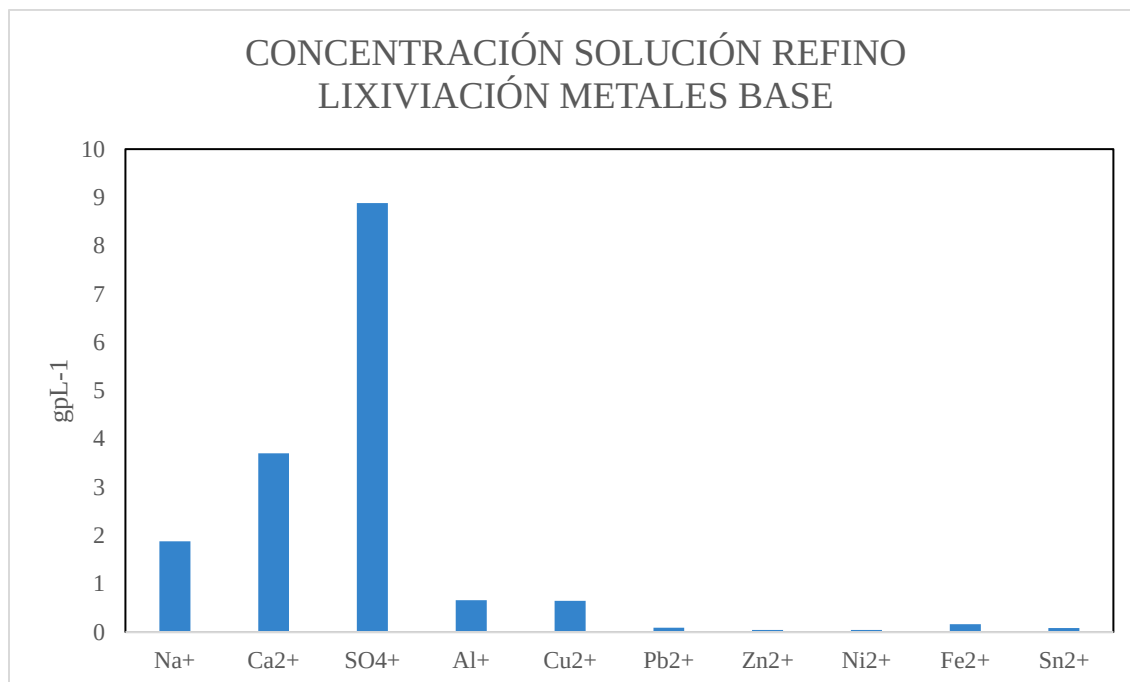


FIGURA C.15 GRÁFICO COMPOSICIÓN DE REFINO DIRIJIDO A ETAPA DE LIXIVIACIÓN DE METALES BASE

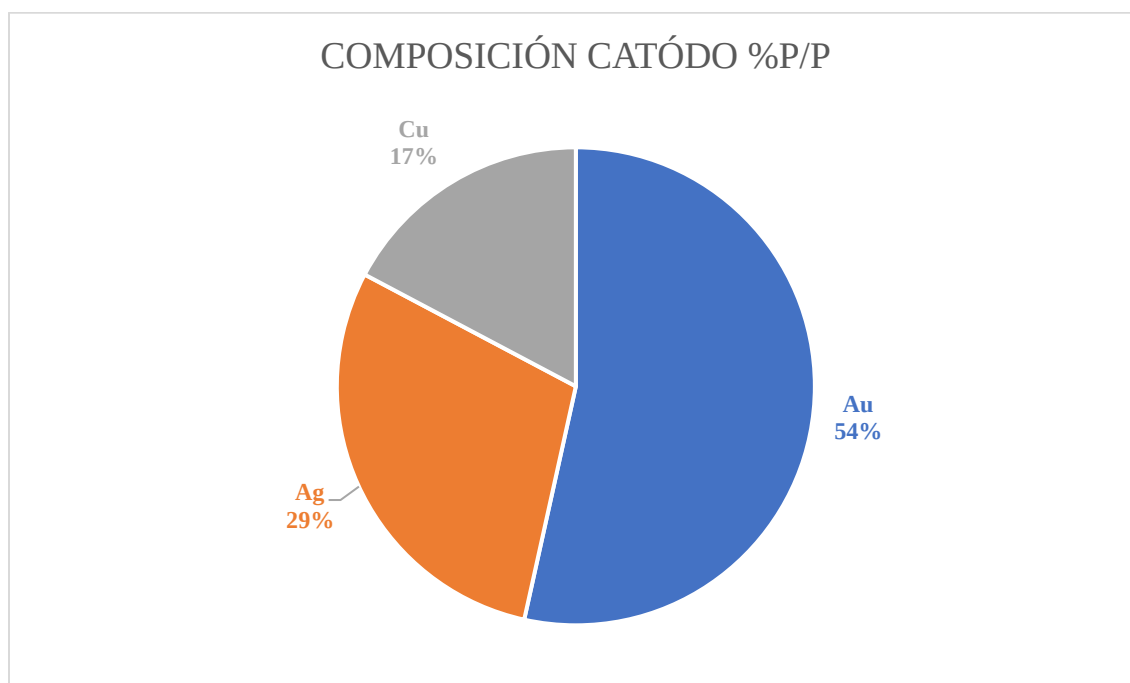


FIGURA C.16 COMPOSICIÓN EN PESO DE AU, AG Y CU PRESENTES EN EL CÁTODO DE ACERO

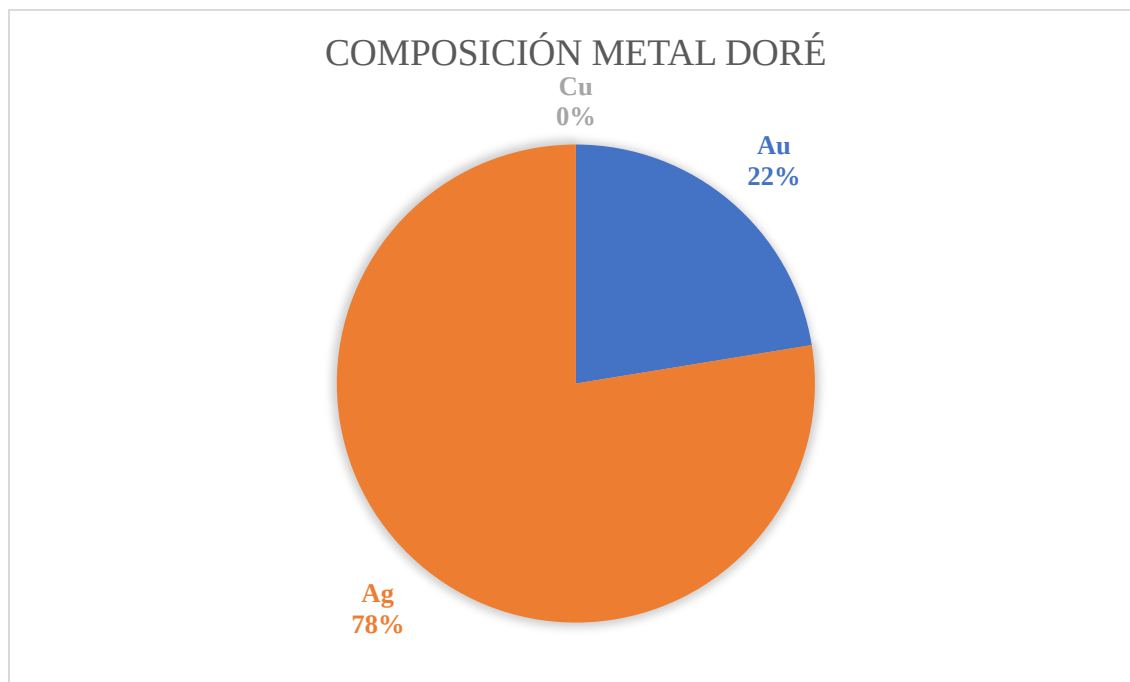


FIGURA C.17 GRÁFICO COMPOSICIÓN METAL DORÉ OBTENIDO

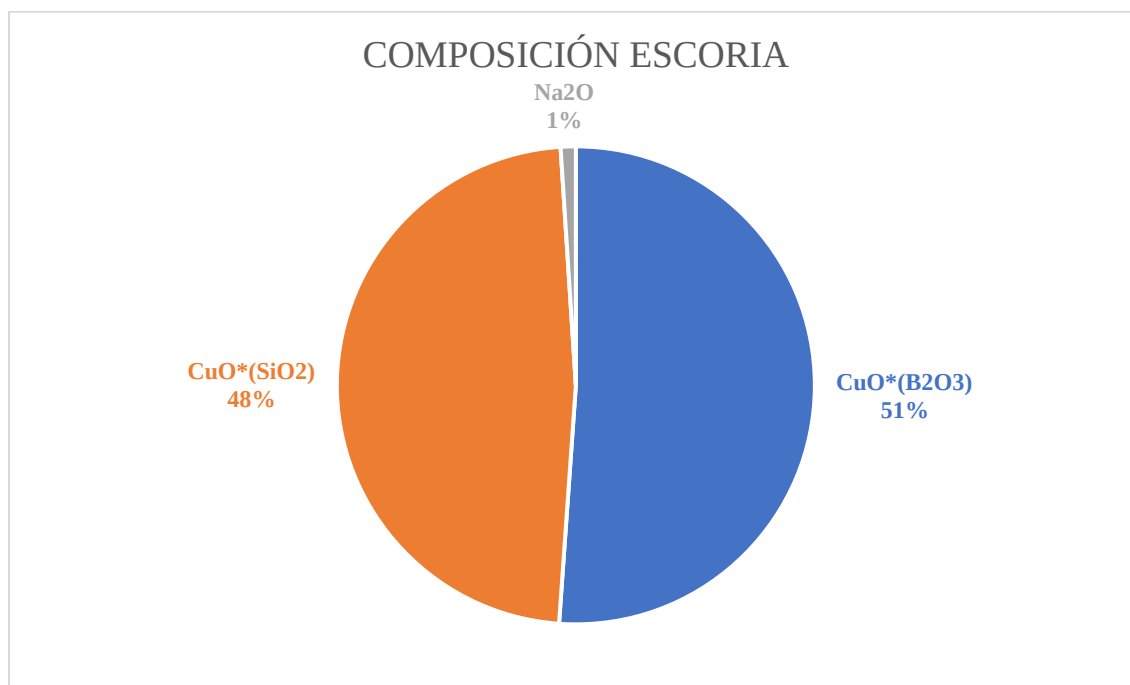


FIGURA C.18 GRÁFICO COMPOSICIÓN DE ESCORIA OBTENIDA DE PROCESO DE FUSIÓN

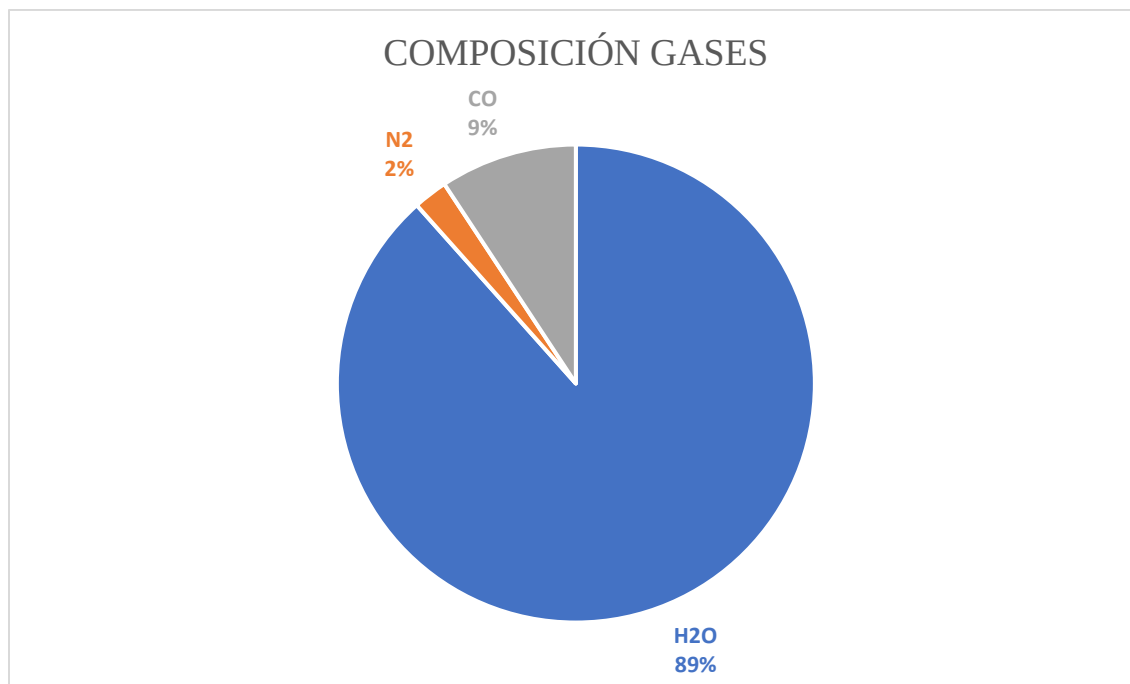


FIGURA C.19 GRÁFICO DE COMPOSICIÓN GASES OBTENIDOS EN PROCESO DE FUSIÓN

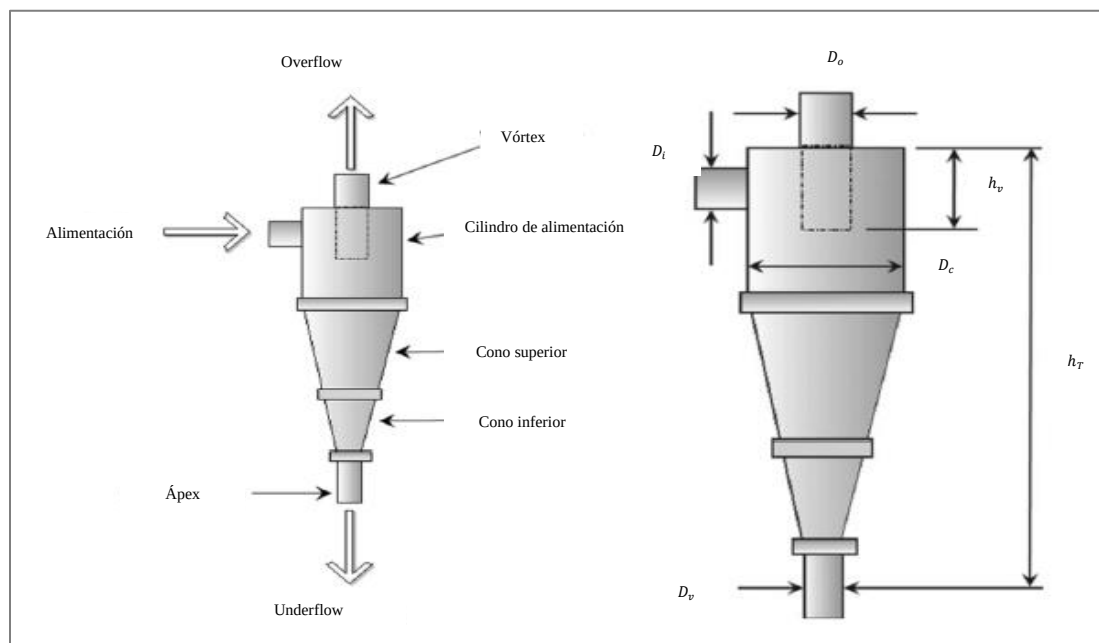


FIGURA C.20 PARTES DE UN HIDROCICLÓN

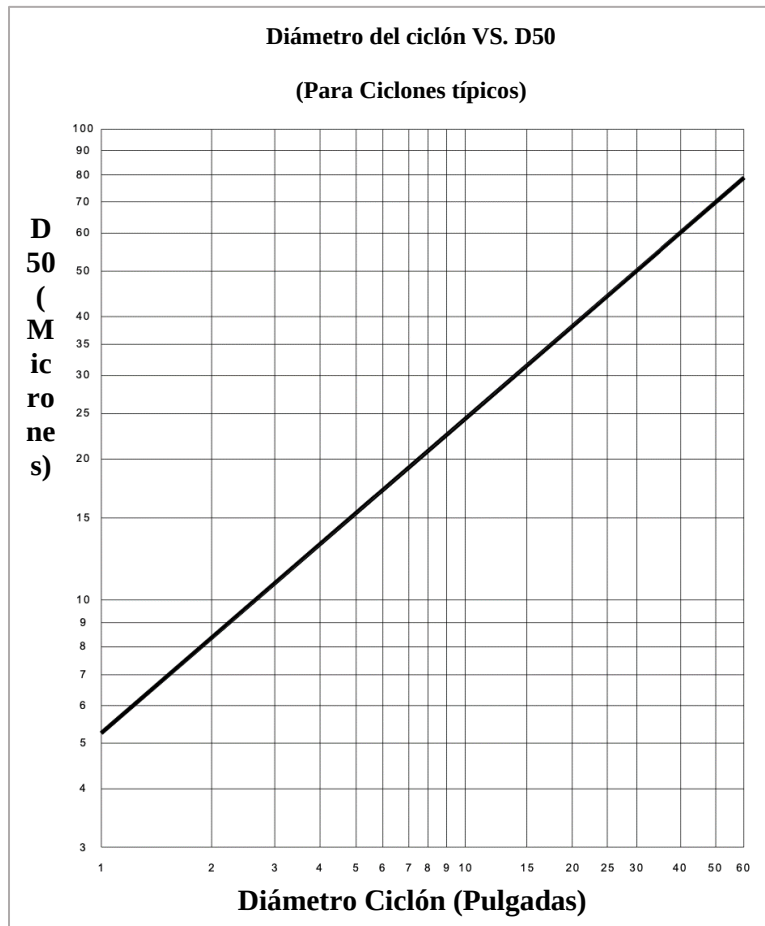


FIGURA C.21 GRÁFICO  $D_0$  VS  $D_{50}$



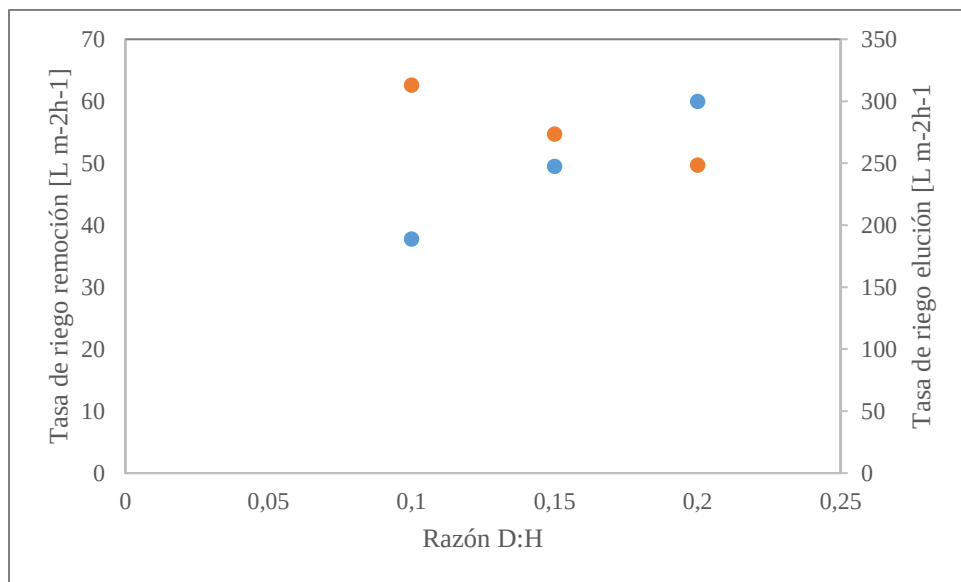


FIGURA C.24 TASA DE RIEGO EN ETAPA DE REMOCIÓN Y ELUCIÓN EN FUNCIÓN DE LA RAZÓN D:H (ÍÁMETRO ALTURA DE COLUMNA) EN CONDICIONES DE 100 gpL DE RESINA Y SOLUCIÓN EN ETAPA DE ELUCIÓN.

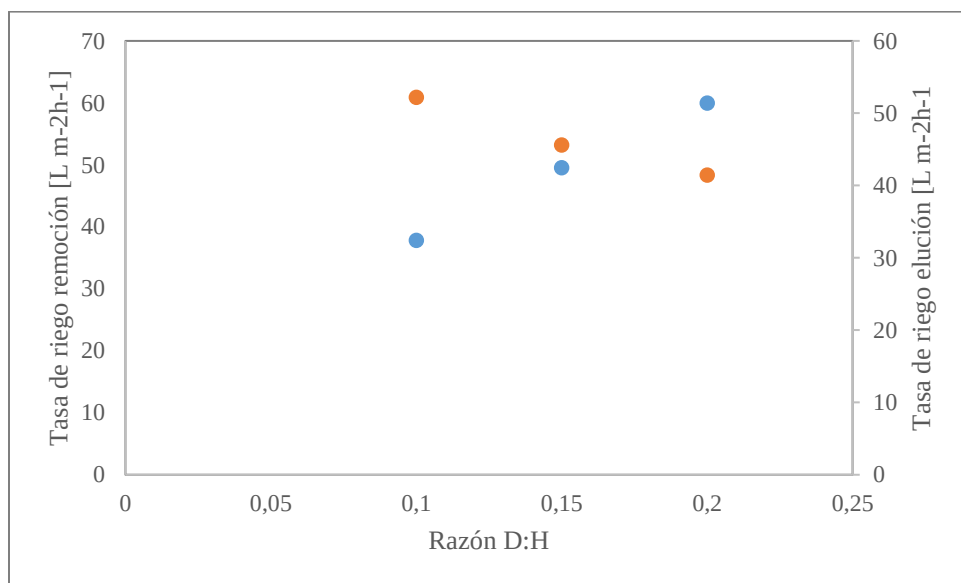


FIGURA C.25 TASA DE RIEGO EN ETAPA DE REMOCIÓN Y ELUCIÓN EN FUNCIÓN DE LA RAZÓN D:H (DIÁMETRO ALTURA DE COLUMNA) EN CONDICIONES DE 600 gpL DE RESINA Y SOLUCIÓN EN ETAPA DE ELUCIÓN.

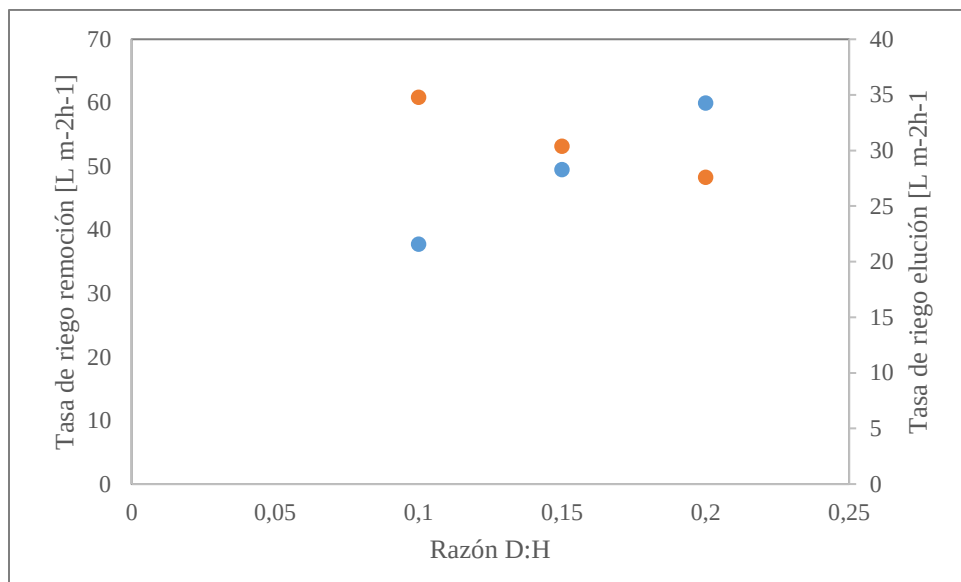


FIGURA C.26 TASA DE RIEGO EN ETAPA DE REMOCIÓN Y ELUCIÓN EN FUNCIÓN DE LA RAZÓN D:H (DIÁMETRO ALTURA DE COLUMNA) EN CONDICIONES DE 900 gpL DE RESINA Y SOLUCIÓN EN ETAPA DE ELUCIÓN.

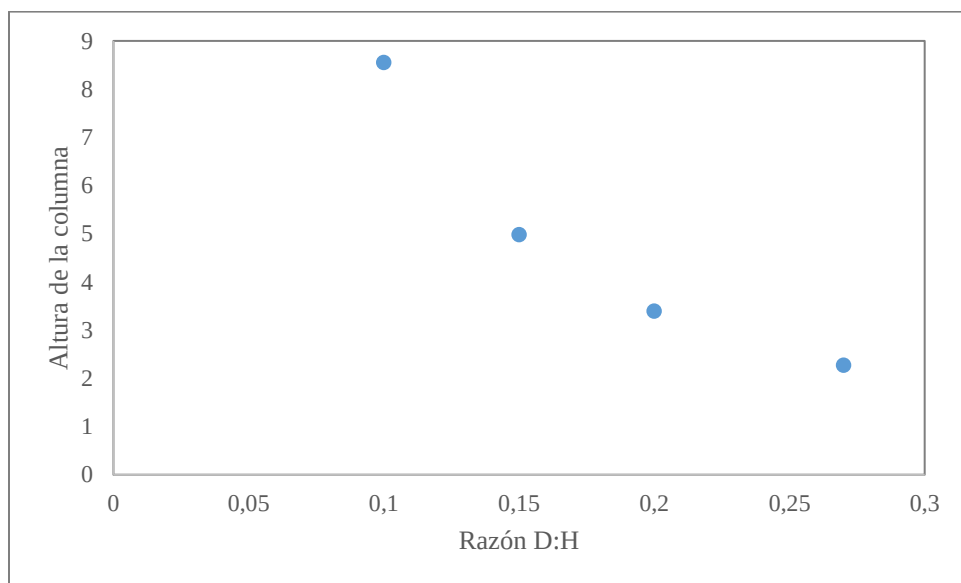


FIGURA C.27 ALTURA EN FUNCIÓN DE LA RAZÓN D:H (DIÁMETRO ALTURA DE COLUMNA) EN CONDICIONES DE 900 gpL DE RESINA Y SOLUCIÓN EN ETAPA DE ELUCIÓN.

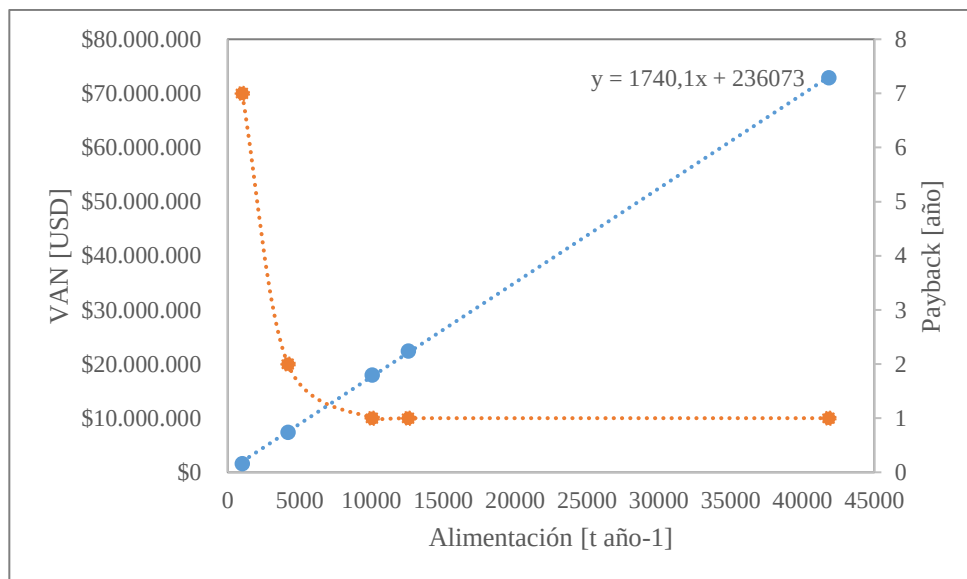


FIGURA C.28 VARIACIÓN DE LA TASA INTERNA DE RETORNO Y EL RETORNO DE DINERO RESPECTO EL TONELAJE DE ALIMENTACIÓN.

## 2. Tablas: Reacciones y energías libres, resultados estudios importantes, composición principales corrientes y diseño de equipos.

TABLA C.1 ENERGÍA LIBRE DE GIBBS ESTÁNDAR DE REACCIONES EN MEDIO ÁCIDO DE METALES PRESENTES EN LAS TARJETAS DE CIRCUITO IMPRESO (Wouter, 2017).

| Reacción de metales en solución ácida                                                                         | $\Delta G_R^\circ [\text{KJ mol}^{-1}]$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| $\text{Au}^\circ + 3\text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Au}^{3+}(\text{aq}) + 3/2\text{H}_2$             | 434,18                                  |
| $\text{Pt}^\circ (\text{aq}) + 3\text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Pt}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2$    | 231,56                                  |
| $\text{Pd}^\circ (\text{aq}) + 3\text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Pd}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2$    | 191,04                                  |
| $\text{Ag}^\circ (\text{aq}) + 3\text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Ag}^+(\text{aq}) + 1/2\text{H}_2$    | 77,11                                   |
| $\text{Cu}^\circ (\text{aq}) + 3\text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2$    | 65,49                                   |
| $\text{Pb}^\circ (\text{aq}) + 3\text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2$    | -24,43                                  |
| $\text{Sn}^\circ (\text{aq}) + 3\text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2$    | -27,39                                  |
| $\text{Ni}^\circ (\text{aq}) + 3\text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2$    | -46,4                                   |
| $\text{Co}^\circ (\text{aq}) + 3\text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Co}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2$    | -51,5                                   |
| $\text{Fe}^\circ (\text{aq}) + 3\text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2$    | -78,90                                  |
| $\text{Zn}^\circ (\text{aq}) + 3\text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2$    | -147,1                                  |
| $\text{Al}^\circ (\text{aq}) + 3\text{H}^+ (\text{aq}) \rightarrow \text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3/2\text{H}_2$ | -485                                    |

TABLA C.2 POTENCIAL ESTÁNDAR DE REDUCCIÓN DE METALES PRESENTES EN LAS TARJETAS DE CIRCUITO IMPRESO (WOUTER, 2017).

| Semi reacción de metales en solución ácida                                  | E°[V] |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------|
| $\text{Au}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^{-} \rightarrow \text{Au}(\text{s})$ | 1,5   |
| $\text{Pt}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Pt}(\text{s})$ | 1,2   |
| $\text{Pd}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Pd}(\text{s})$ | 0,99  |
| $\text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Ag}(\text{s})$   | 0,8   |
| $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$ | 0,34  |
| $\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Pb}(\text{s})$ | -0,13 |
| $\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Sn}(\text{s})$ | -0,14 |
| $\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Ni}(\text{s})$ | -0,25 |
| $\text{Co}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Co}(\text{s})$ | -0,28 |
| $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Fe}(\text{s})$ | -0,44 |
| $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Zn}(\text{s})$ | -0,76 |
| $\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^{-} \rightarrow \text{Al}(\text{s})$ | -1,66 |

TABLA C.3 POTENCIALES DE OXIDACIÓN PRINCIPALES CUPLAS (LI, EKSTEEN, & ORABY, 2018).

| Oxidante                      | Electro cupla                                             | E°[V] |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------|
| $\text{O}_2/\text{aire}$      | $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$                           | 1,23  |
|                               | $\text{O}_2/\text{OH}^{-}$                                | 0,4   |
| $\text{H}_2\text{O}_2$        | $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$                 | 1,76  |
| $\text{ClO}^{-}$              | $\text{ClO}^{-}/\text{Cl}^{-}$                            | 0,89  |
| $\text{Cl}_2$                 | $\text{Cl}_2/\text{Cl}^{-}$                               | 1,40  |
| $\text{Cu}^{2+}$              | $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$                                | 0,34  |
|                               | $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^{+}$                            | 0,16  |
|                               | $\text{Cu}^{2+}/\text{CuCl}$                              | 0,56  |
|                               | $\text{Cu}^{2+}/\text{CuBr}$                              | 0,65  |
|                               | $\text{Cu}^{2+}/\text{CuI}$                               | 0,86  |
|                               | $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}(\text{CN})_2^{-}$               | 1,12  |
| $\text{I}_2$                  | $\text{I}_2/\text{I}^{-}$                                 | 0,62  |
| $\text{Fe}^{3+}$              | $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$                           | 0,77  |
| $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ | $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}/\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ | 0,36  |

TABLA C.4 ENERGÍA LIBRE DE GIBBS ESTÁNDAR DE REACCIONES EN MEDIO ÁCIDO OXIDANTE DE METALES PRESENTES EN LAS TARJETAS DE CIRCUITO IMPRESO (WOUTER, 2017).

| Reacción de metales en solución ácida más oxidante                     | $\Delta G_R^\circ$ [KJ mol <sup>-1</sup> ] |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| $Au^\circ + 3/4O_2 + 3H^+ (aq) \rightarrow Au^{3+}(aq) + 3/2H_2O$      | 78,38                                      |
| $Pt^\circ (aq) + 1/2O_2 + 3H^+ (aq) \rightarrow Pt^{2+}(aq) + H_2O$    | -5,64                                      |
| $Pd^\circ (aq) + 1/2O_2 + 3H^+ (aq) \rightarrow Pd^{2+}(aq) + H_2O$    | -46,16                                     |
| $Ag^\circ (aq) + 1/2O_2 + 3H^+ (aq) \rightarrow Ag^+(aq) + 1/2H_2O$    | -41,49                                     |
| $Cu^\circ (aq) + 1/2O_2 + 3H^+ (aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + H_2O$    | -171,71                                    |
| $Pb^\circ (aq) + 1/2O_2 + 3H^+ (aq) \rightarrow Pb^{2+}(aq) + H_2O$    | -261,63                                    |
| $Sn^\circ (aq) + 1/2O_2 + 3H^+ (aq) \rightarrow Sn^{2+}(aq) + H_2O$    | -264,59                                    |
| $Ni^\circ (aq) + 1/2O_2 + 3H^+ (aq) \rightarrow Ni^{2+}(aq) + H_2O$    | -283,6                                     |
| $Co^\circ (aq) + 1/2O_2 + 3H^+ (aq) \rightarrow Co^{2+}(aq) + H_2O$    | -288,7                                     |
| $Fe^\circ (aq) + 1/2O_2 + 3H^+ (aq) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + H_2O$    | -316,1                                     |
| $Zn^\circ (aq) + 1/2O_2 + 3H^+ (aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + H_2O$    | -384,3                                     |
| $Al^\circ (aq) + 3/4O_2 + 3H^+ (aq) \rightarrow Al^{3+}(aq) + 3/2H_2O$ | -840,8                                     |

TABLA C.5 RESUMEN CONDICIONES DE ESTUDIOS DE LIXIVIACIÓN DE METALES BASE EN LAS TARJETAS DE CIRCUITO IMPRESO.

| Autor                                                       | Agentes                                                                                  | Tamaño     | T [°C]<br>P [MPa] | Densidad<br>Pulpa           | Agitación<br>[RPM] | Tiempo<br>[h] | Extracción<br>%                          |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|-----------------------------|--------------------|---------------|------------------------------------------|
| (Bas, Deveci, & Y.Yazici, 2014)                             | HNO <sub>3</sub> : 1-5 M                                                                 |            | 70°C              | 6%                          |                    |               | Cu: 88,5-99,9<br>Ag:14-68                |
| (Kumar M. , Lee, Kim, Jeong, & Yoo, 2014)                   | HNO <sub>3</sub> :4M                                                                     |            | 40                | 10%                         | 700                | 2             | Cu: 74,7                                 |
| (Jadhav & Hocheng, 2015)                                    | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :1M                                                       |            | amb               |                             |                    | 96            | Cu: 8,8                                  |
| (Altansukh, Haga, Ariunbolor, Kawarnura, & Shibayama, 2016) | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :1M                                                       |            | 120°C<br>2MPa     |                             |                    |               | Cu:100<br>Ni:100<br>Zn:100<br>Fe:100     |
| (Park & Fray, 2009)                                         | HCl:HNO <sub>3</sub><br>3:1 v/v                                                          |            | 20+/- 2           | 20 [mg<br>L <sup>-1</sup> ] |                    | 3             | Au:97<br>Ag:2<br>Cu:90<br>Pb:90<br>Ni:90 |
| (Birloaga, De Michelis, Ferella, Buzatua, & Vegliò, 2013)   | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : 2M<br>H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 20 mL<br>pH: 1,22 | <300<br>um | 30°C              | 5%                          | 300                | 3             | Cu:76,12<br>Zn:99,46                     |

|                                         |                                                                                                                                                                                      |                   |                   |                                 |                   |               |                                                  |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------|--------------------------------------------------|
| (Wouter, 2017)                          | (i)HNO <sub>3</sub> :1M<br>(ii)H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :2,5M<br>H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 30 wt%                                                                        |                   | (i)amb<br>(ii)amb | (i)100<br>gpL<br>(ii)160<br>gpL | (i)600<br>(ii)600 | (i)8<br>(ii)8 | (i)Pb:93<br>Ni:40<br>Fe:59<br>(ii)Cu:93<br>Zn:58 |
| (Birloaga & Vegliò, 2016)               | lixiviación oxidativa<br>en contra corriente de<br>2 pasos para extraer<br>cobre<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :3 M (98%<br>wt/vol)<br>H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :30 wt/vol% |                   | amb               | 15 gpL                          | 200               | 1             | Cu:~100%                                         |
| (Moosakazemi, Ghassa, & Tavakoli, 2019) | HCl: 2mol                                                                                                                                                                            | 250-<br>354<br>um | 75°C              |                                 | 500               |               | Sn:88<br>Pb:99                                   |
| (Rao, Singh, & A. Morrison, 2020)       | KCN:6-8% (pH: 12,5)                                                                                                                                                                  |                   | amb               |                                 |                   |               | Au:60                                            |
| (Jadhao, Pandey, Pant, & Nigam, 2021)   | NH <sub>3</sub> :90gpL<br>(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :180gpL<br>H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :0,4M                                                             |                   | 80°C              | 20<br>mL/g                      | 700               | 4             | Cu:100<br>Ni:90                                  |

TABLA C.6 RESUMEN CONDICIONES DE ESTUDIOS DE LIXIVIACIÓN DE MÚLTIPLES ETAPAS PARA LIXIVIAR METALES PRECIOSOS EN LAS TARJETAS DE CIRCUITO IMPRESO.

| Autor                                     | Etapas                                                                                                                                                                                              | Tamaño      | T [°C]<br>P [MPa] | S/L     | Agitación<br>[RPM] | Tiempo<br>[h] | Extracción<br>%    |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------|---------|--------------------|---------------|--------------------|
| (Ha, J.-C., Huynh, Jeong, & Pandey, 2014) | S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> : 72,7mM<br>Cu <sup>2+</sup> :10mM<br>NH <sub>3</sub> :0,266M<br>pH:12,5                                                                                |             | 20°C              |         | 400                |               | Au:<br>>90%        |
| (Birloaga & Vegliò, 2016)                 | (i)H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :17M<br>(ii) H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :17% v/v<br>SC(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> :20gpL<br>Fe <sup>3+</sup> :6gpL<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :0,1M |             | (i)amb<br>(ii)amb | 15 gpL  | 200                | 1             | Au:90%<br>Ag:75%   |
| (Gurung, y otros, 2013)                   | (i)Pretratamiento<br>Calcinación 750°C<br>6h<br>SC(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> :0,5M<br>Fe <sup>3+</sup> :0,01M<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :0,01M                                         | 53-75<br>um | 50°C              | 5%      | 500                | 2             | Au: 68%            |
| (Lee C, Tang L, & Popuri S, 2011)         | (i)Pretratamiento<br>Calcinación 850°C<br>3h                                                                                                                                                        | <300<br>um  | 20°C              | g/200mL | 150                | 24            | Au:<br>100%<br>Ag: |

|                                                             |                                                                                                                                            |       |                    |                   |                   |               |                                               |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------|-----------------------------------------------|
|                                                             | (ii)SC(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> :14g<br>Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> :2,6<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :3,6N |       |                    |                   |                   |               | 100%                                          |
| (Gámez, Garcés, de la Torre, & Guevara, 2019)               | (i) HNO <sub>3</sub> :4M<br>(ii) NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> +<br>N <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :0,7M<br>pH: 10,5       | 97um  | (i)40°C<br>(ii)amb | (i) 10%<br>(ii)5% | (i)700<br>(ii)700 | (i)6<br>(ii)6 | (i)Cu:<br>94,45<br>(ii) Au:<br>81%<br>Ag: 88% |
| (Altansukh, Haga, Ariunbolor, Kawarnura, & Shibayama, 2016) | (i)Lixiviación oxidativa a presión<br>2MPa<br>120°C<br>30 min<br>(ii)I <sub>2</sub> : 2gpL<br>I <sup>-</sup> :12gpL                        | <75um | 40°C               |                   | 550               | 2             | Au:<br>>90%                                   |

TABLA C.7 RESULTADOS DE DISTRIBUCIÓN DE MASA Y BENEFICIO EN PROCESO DE CONCENTRACIÓN A TCI (DİNÇ, TOSUN, BASTÜRKÜ, ÖZER, & BURAT, 2021).

| Flujos                             |    |    | F1       |      |      | F3       |      |      | F2       |      |      | F8       |      |      |
|------------------------------------|----|----|----------|------|------|----------|------|------|----------|------|------|----------|------|------|
| Peso Alimentación [% p/p]          |    |    | 100      |      |      | 23,3     |      |      | 76,7     |      |      | 28,2     |      |      |
| Au                                 | Ag | Cu | Au       | Ag   | Cu   | Au       | Ag   | Cu   | Au       | Ag   | Cu   | Au       | Ag   | Cu   |
| Contenido [ppm]                    |    |    | 141      | 613  | 37,7 | 253      | 587  | 49,8 | 107      | 621  | 33,9 | 45       | 1384 | 65,6 |
| Distribución [%]                   |    |    | 100      | 100  | 100  | 41,8     | 22,3 | 30,8 | 58,2     | 77,7 | 69,2 | 9        | 63,7 | 49,2 |
| Enriquecimiento                    |    |    | F3       |      |      | F2       |      |      | F9       |      |      | F8       |      |      |
| Au                                 | Ag | Cu | 1,79     | 0,95 | 1,32 | 0,75     | 1,01 | 0,89 | 1,00     | 0,28 | 0,41 | 0,31     | 2,25 | 1,74 |
| Metales base                       |    |    | 1,4      |      |      | 0,9      |      |      | 0,6      |      |      | 1,4      |      |      |
|                                    |    |    | F3       |      |      | F2       |      |      | F9       |      |      | F8       |      |      |
| Densidad TCI [Kg m <sup>-3</sup> ] |    |    | 4569,404 |      |      | 3814,008 |      |      | 5300,866 |      |      | 3097,426 |      |      |

TABLA C.8 RESULTADOS DE DISTRIBUCIÓN DE MASA Y BENEFICIO EN ESTUDIO DE CONCENTRACIÓN A TCI.

| F9   |    |    | F12  |    |    | F10  |    |    |
|------|----|----|------|----|----|------|----|----|
| 48,5 |    |    | 18,4 |    |    | 30,1 |    |    |
| Au   | Ag | Cu | Au   | Ag | Cu | Au   | Ag | Cu |

|            |       |       |            |       |       |                  |       |       |
|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------------|-------|-------|
| 142        | 177   | 15,5  | 363        | 381   | 40,1  | 11               | 52    | 1,1   |
| 49,2       | 14    | 20    | 46,9       | 11,4  | 19,1  | 2,3              | 2,6   | 0,9   |
| <b>F12</b> |       |       | <b>F10</b> |       |       | <b>F3+F8+F12</b> |       |       |
| 2,575      | 0,622 | 1,063 | 0,0780     | 0,085 | 0,029 | 1,405            | 1,394 | 1,422 |
| 1,4        |       |       | 0,1        |       |       | 1,4              |       |       |
| <b>F12</b> |       |       | <b>F10</b> |       |       | <b>F3+F8+F12</b> |       |       |
| 4362,793   |       |       | 2351,604   |       |       | 4706,944         |       |       |

TABLA C.9 RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ESTUDIO DE BENEFICIO DE TCI (DINÇ, TOSUN, BASTÜRKÜ, ÖZER, & BURAT, 2021).

| <b>Análisis granulométrico</b> |            | <b>Au</b>            |      | <b>Ag</b>            |      | <b>Cu</b> |      |
|--------------------------------|------------|----------------------|------|----------------------|------|-----------|------|
| Fracción mm                    | Distrib. % | [g t <sup>-1</sup> ] | D%   | [g t <sup>-1</sup> ] | D%   | %         | D%   |
| -2                             | 23,3       | 253                  | 41,8 | 587                  | 22,3 | 49,8      | 30,8 |
| +2                             | 10,9       | 25                   | 1,9  | 652                  | 11,6 | 33,1      | 9,6  |
| -2+1                           | 16,5       | 237                  | 28   | 1075                 | 28,9 | 33,8      | 14,8 |
| -1+0,5                         | 8,9        | 115                  | 7,3  | 1146                 | 16,6 | 45,6      | 10,8 |
| -0,5+0,3                       | 6,1        | 50                   | 2,2  | 460                  | 4,6  | 39,2      | 6,4  |
| -0,3+0,074                     | 15,3       | 72                   | 7,9  | 310                  | 7,7  | 22        | 9    |
| -0,074                         | 19         | 80                   | 10,9 | 265                  | 8,2  | 36,7      | 18,6 |
| Total                          | 100        | 141                  | 100  | 613                  | 100  | 37,7      | 100  |

TABLA C.10 COMPOSICIÓN EN PESO Y GRAVEDAD ESPECÍFICA DE COMPONENTES PRESENTES EN F2

| <b>F2</b>                      |  |            |                            |
|--------------------------------|--|------------|----------------------------|
| <b>Composición TCI [% p/p]</b> |  | <b>g.e</b> | <b>[g cm<sup>-3</sup>]</b> |
| Sílice                         |  | 26,587     | 2,620                      |
| Óxido de Al                    |  | 16,328     | 3,960                      |
| Polipropileno                  |  | 21,088     | 0,910                      |
| Policloruro de Vinilo          |  | 8,978      | 1,400                      |
| Cu                             |  | 14,805     | 8,260                      |
| Al                             |  | 2,434      | 3,700                      |
| Pb                             |  | 2,063      | 11,400                     |

|                       |       |        |          |
|-----------------------|-------|--------|----------|
| Zn                    | 0,928 | 7,140  | 0,074    |
| Ni                    | 1,048 | 8,900  | 0,105    |
| Fe                    | 3,673 | 7,800  | 0,322    |
| Sn                    | 1,864 | 7,190  | 0,151    |
| Au                    | 0,037 | 19,300 | 0,009    |
| Pt                    | 0,001 | 21,400 | 0,000    |
| Ag                    | 0,155 | 10,500 | 0,016    |
| Pd                    | 0,012 | 12,000 | 0,002    |
| [Kg m <sup>-3</sup> ] |       |        | 3993,136 |

TABLA C.11 COMPOSICIÓN EN PESO Y GRAVEDAD ESPECÍFICA DE COMPONENTES PRESENTES EN F3

| F3 (MDP)                |        |        |                       |
|-------------------------|--------|--------|-----------------------|
| Composición TCI [% p/p] |        | g.e    | [g cm <sup>-3</sup> ] |
| Sílice                  | 21,745 | 2,620  | 0,570                 |
| Óxido de Al             | 13,354 | 3,960  | 0,529                 |
| Polipropileno           | 17,248 | 0,910  | 0,157                 |
| Policloruro de Vinilo   | 7,343  | 1,400  | 0,103                 |
| Cu                      | 21,749 | 8,260  | 1,796                 |
| Al                      | 3,711  | 3,700  | 0,137                 |
| Pb                      | 3,146  | 11,400 | 0,359                 |
| Zn                      | 1,415  | 7,140  | 0,101                 |
| Ni                      | 1,597  | 8,900  | 0,142                 |
| Fe                      | 5,600  | 7,800  | 0,437                 |
| Sn                      | 2,843  | 7,190  | 0,204                 |
| Au                      | 0,087  | 19,300 | 0,017                 |
| Pt                      | 0,003  | 21,400 | 0,001                 |
| Ag                      | 0,146  | 10,500 | 0,015                 |
| Pd                      | 0,013  | 12,000 | 0,002                 |
| [Kg m <sup>-3</sup> ]   |        |        | 4569,404              |

TABLA C.12 COMPOSICIÓN EN PESO Y GRAVEDAD ESPECÍFICA DE COMPONENTES PRESENTES EN F8

| <b>F8 (Underflow)</b>        |        |            |                            |
|------------------------------|--------|------------|----------------------------|
| <b>Composición TCI % p/p</b> |        | <b>g.e</b> | <b>[g cm<sup>-3</sup>]</b> |
| Sílice                       | 17,174 | 2,620      | 0,450                      |
| Óxido de Al                  | 10,547 | 3,960      | 0,418                      |
| Polipropileno                | 13,622 | 0,910      | 0,124                      |
| Policloruro de Vinilo        | 5,799  | 1,400      | 0,081                      |
| Cu                           | 31,860 | 8,260      | 2,632                      |
| Al                           | 4,177  | 3,700      | 0,155                      |
| Pb                           | 3,541  | 11,400     | 0,404                      |
| Zn                           | 1,593  | 7,140      | 0,114                      |
| Ni                           | 1,798  | 8,900      | 0,160                      |
| Fe                           | 6,304  | 7,800      | 0,492                      |
| Sn                           | 3,200  | 7,190      | 0,230                      |
| Au                           | 0,020  | 19,300     | 0,004                      |
| Pt                           | 0,002  | 21,400     | 0,001                      |
| Ag                           | 0,340  | 10,500     | 0,036                      |
| Pd                           | 0,021  | 12,000     | 0,002                      |
| <b>[Kg m<sup>-3</sup>]</b>   |        |            | <b>5300,866</b>            |

TABLA C.13 COMPOSICIÓN EN PESO Y GRAVEDAD ESPECÍFICA DE COMPONENTES PRESENTES EN F9

| <b>F9 (Overflow)</b>         |        |            |                            |
|------------------------------|--------|------------|----------------------------|
| <b>Composición TCI % p/p</b> |        | <b>g.e</b> | <b>[g cm<sup>-3</sup>]</b> |
| Sílice                       | 31,131 | 2,620      | 0,816                      |
| Óxido de Al                  | 19,119 | 3,960      | 0,757                      |
| Polipropileno                | 24,692 | 0,910      | 0,225                      |
| Policloruro de Vinilo        | 10,512 | 1,400      | 0,147                      |
| Cu                           | 6,769  | 8,260      | 0,559                      |
| Al                           | 1,555  | 3,700      | 0,058                      |
| Pb                           | 1,319  | 11,400     | 0,150                      |

|                       |       |        |          |
|-----------------------|-------|--------|----------|
| Zn                    | 0,593 | 7,140  | 0,042    |
| Ni                    | 0,670 | 8,900  | 0,060    |
| Fe                    | 2,347 | 7,800  | 0,183    |
| Sn                    | 1,191 | 7,190  | 0,086    |
| Au                    | 0,049 | 19,300 | 0,009    |
| Pt                    | 0,001 | 21,400 | 0,000    |
| Ag                    | 0,044 | 10,500 | 0,005    |
| Pd                    | 0,008 | 12,000 | 0,001    |
| [Kg m <sup>-3</sup> ] |       |        | 3097,426 |

TABLA C.14 COMPOSICIÓN EN PESO Y GRAVEDAD ESPECÍFICA DE COMPONENTES PRESENTES EN F10

| F10 (Relave Knelson)  |        |        |                       |
|-----------------------|--------|--------|-----------------------|
| Composición TCI % p/p |        | g.e    | [g cm <sup>-3</sup> ] |
| Sílice                | 35,934 | 2,620  | 0,941                 |
| Óxido de Al           | 22,069 | 3,960  | 0,874                 |
| Polipropileno         | 28,502 | 0,910  | 0,259                 |
| Policloruro de Vinilo | 12,134 | 1,400  | 0,170                 |
| Cu                    | 0,480  | 8,260  | 0,040                 |
| Al                    | 0,175  | 3,700  | 0,006                 |
| Pb                    | 0,148  | 11,400 | 0,017                 |
| Zn                    | 0,067  | 7,140  | 0,005                 |
| Ni                    | 0,075  | 8,900  | 0,007                 |
| Fe                    | 0,264  | 7,800  | 0,021                 |
| Sn                    | 0,134  | 7,190  | 0,010                 |
| Au                    | 0,004  | 19,300 | 0,001                 |
| Pt                    | 0,000  | 21,400 | 0,000                 |
| Ag                    | 0,013  | 10,500 | 0,001                 |
| Pd                    | 0,001  | 12,000 | 0,000                 |
| [Kg m <sup>-3</sup> ] |        |        | 2351,604              |

TABLA C.15 COMPOSICIÓN EN PESO Y GRAVEDAD ESPECÍFICA DE COMPONENTES PRESENTES EN F12

| <b>F12 (Concentrado Knelson)</b> |        |        |                       |
|----------------------------------|--------|--------|-----------------------|
| Composición TCI % p/p            |        | g.e    | [g cm <sup>-3</sup> ] |
| Sílice                           | 22,985 | 2,620  | 0,602                 |
| Óxido de Al                      | 14,116 | 3,960  | 0,559                 |
| Polipropileno                    | 18,231 | 0,910  | 0,166                 |
| Policloruro de Vinilo            | 7,761  | 1,400  | 0,109                 |
| Cu                               | 17,512 | 8,260  | 1,447                 |
| Al                               | 3,881  | 3,700  | 0,144                 |
| Pb                               | 3,291  | 11,400 | 0,375                 |
| Zn                               | 1,480  | 7,140  | 0,106                 |
| Ni                               | 1,671  | 8,900  | 0,149                 |
| Fe                               | 5,857  | 7,800  | 0,457                 |
| Sn                               | 2,973  | 7,190  | 0,214                 |
| Au                               | 0,124  | 19,300 | 0,024                 |
| Pt                               | 0,002  | 21,400 | 0,000                 |
| Ag                               | 0,095  | 10,500 | 0,010                 |
| Pd                               | 0,019  | 12,000 | 0,002                 |
| [Kg m <sup>-3</sup> ]            |        |        | 4362,793              |

TABLA C.16 COMPOSICIÓN EN PESO Y GRAVEDAD ESPECÍFICA DE COMPONENTES PRESENTES EN F23

| <b>F23 (Concentrado final)</b> |        |        |                       |
|--------------------------------|--------|--------|-----------------------|
| Composición TCI % p/p          |        | g.e    | [g cm <sup>-3</sup> ] |
| Sílice                         | 20,876 | 2,620  | 0,547                 |
| Óxido de Al                    | 12,821 | 3,960  | 0,508                 |
| Polipropileno                  | 16,558 | 0,910  | 0,151                 |
| Policloruro de Vinilo          | 7,049  | 1,400  | 0,099                 |
| Cu                             | 23,417 | 8,260  | 1,934                 |
| Al                             | 3,846  | 3,700  | 0,142                 |
| Pb                             | 3,260  | 11,400 | 0,372                 |
| Zn                             | 1,467  | 7,140  | 0,105                 |

|                       |       |        |          |
|-----------------------|-------|--------|----------|
| Ni                    | 1,655 | 8,900  | 0,147    |
| Fe                    | 5,803 | 7,800  | 0,453    |
| Sn                    | 2,946 | 7,190  | 0,212    |
| Au                    | 0,068 | 19,300 | 0,013    |
| Pt                    | 0,002 | 21,400 | 0,000    |
| Ag                    | 0,213 | 10,500 | 0,022    |
| Pd                    | 0,019 | 12,000 | 0,002    |
| [Kg m <sup>-3</sup> ] |       |        | 4706,944 |

TABLA C.17 DENSIDAD, FLUJO MÁSICO Y VOLUMÉTRICO DE COMPONENTES PRESENTES EN F25

| Elemento                       | F25                   |                       |                      |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
|                                | [g cm <sup>-3</sup> ] | [kg d <sup>-1</sup> ] | [L d <sup>-1</sup> ] |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 1,83                  | 49471,22              | 27033,45             |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>  | 1,45                  | 665,96                | 459,28               |
| Cu                             | 8,26                  | 893,48                | 108,17               |
| Al                             | 3,70                  | 146,73                | 39,66                |
| Pb                             | 11,40                 | 124,37                | 10,91                |
| Zn                             | 7,14                  | 55,96                 | 7,84                 |
| Ni                             | 8,90                  | 63,16                 | 7,10                 |
| Fe                             | 7,80                  | 221,42                | 28,39                |
| Sn                             | 7,19                  | 112,85                | 15,70                |
| Total [L d <sup>-1</sup> ]     |                       |                       | 27710,49             |

TABLA C.18 FLUJO MÁSICO, % EN PESO, GRAVEDAD ESPECÍFICA DE COMPONENTES PRESENTES EN F26 Y DENSIDAD DE LA CORRIENTE

| Elemento      | F26                   |       |      |                       |
|---------------|-----------------------|-------|------|-----------------------|
|               | [kg d <sup>-1</sup> ] | % p/p | g.e  | [g cm <sup>-3</sup> ] |
| Sílice        | 803,91                | 29,67 | 2,62 | 0,78                  |
| Óxido de Al   | 493,71                | 18,22 | 3,96 | 0,72                  |
| Polipropileno | 637,64                | 23,53 | 0,91 | 0,21                  |

|                       |        |       |       |         |
|-----------------------|--------|-------|-------|---------|
| Policloruro de Vinilo | 271,46 | 10,02 | 1,40  | 0,14    |
| Cu                    | 276,85 | 10,22 | 8,26  | 0,84    |
| Al                    | 45,47  | 1,68  | 3,70  | 0,06    |
| Pb                    | 39,42  | 1,46  | 11,40 | 0,17    |
| Zn                    | 17,34  | 0,64  | 7,14  | 0,05    |
| Ni                    | 19,57  | 0,72  | 8,90  | 0,06    |
| Fe                    | 68,61  | 2,53  | 7,80  | 0,20    |
| Sn                    | 34,82  | 1,29  | 7,19  | 0,09    |
| Au                    | 0,16   | 0,01  | 19,30 | 0,00    |
| Pt                    | 0,01   | 0,00  | 21,40 | 0,00    |
| Ag                    | 0,51   | 0,02  | 10,50 | 0,00    |
| Pd                    | 0,05   | 0,00  | 12,00 | 0,00    |
| [Kg m <sup>-3</sup> ] |        |       |       | 3328,53 |

TABLA C.19 DENSIDAD, FLUJO MÁSICO Y VOLUMÉTRICO DE COMPONENTES PRESENTES EN F29

| Elemento                       | F29                   |                       |                      |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
|                                | [g cm <sup>-3</sup> ] | [kg d <sup>-1</sup> ] | [L d <sup>-1</sup> ] |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 1,83                  | 52179,54              | 28513,41             |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>  | 1,45                  | 2714,46               | 1872,04              |
| Cu                             | 8,26                  | 268,54                | 32,51                |
| Al                             | 3,70                  | 44,10                 | 11,92                |
| Pb                             | 11,40                 | 38,24                 | 3,35                 |
| Zn                             | 7,14                  | 16,82                 | 2,36                 |
| Ni                             | 8,90                  | 18,98                 | 2,13                 |
| Fe                             | 7,80                  | 66,55                 | 8,53                 |
| Sn                             | 7,19                  | 18,98                 | 2,64                 |
| Total [L d <sup>-1</sup> ]     |                       |                       | 30448,89             |

TABLA C.20 FLUJO MÁSICO, % EN PESO, GRAVEDAD ESPECÍFICA DE COMPONENTES PRESENTES EN F30 Y DENSIDAD DE LA CORRIENTE

| Elemento              | F30                   |       |       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-------|-------|-----------------------|
|                       | [kg d <sup>-1</sup> ] | % p/p | g.e   | [g cm <sup>-3</sup> ] |
| Sílice                | 803,91                | 29,67 | 2,62  | 0,78                  |
| Óxido de Al           | 493,71                | 18,22 | 3,96  | 0,72                  |
| Polipropileno         | 637,64                | 23,53 | 0,91  | 0,21                  |
| Policloruro de Vinilo | 271,46                | 10,02 | 1,40  | 0,14                  |
| Cu                    | 8,31                  | 0,31  | 8,26  | 0,03                  |
| Al                    | 1,36                  | 0,05  | 3,70  | 0,00                  |
| Pb                    | 1,18                  | 0,04  | 11,40 | 0,00                  |
| Zn                    | 0,52                  | 0,02  | 7,14  | 0,00                  |
| Ni                    | 0,59                  | 0,02  | 8,90  | 0,00                  |
| Fe                    | 2,06                  | 0,08  | 7,80  | 0,01                  |
| Sn                    | 0,59                  | 0,02  | 7,19  | 0,00                  |
| Au                    | 0,16                  | 0,01  | 19,30 | 0,00                  |
| Pt                    | 0,01                  | 0,00  | 21,40 | 0,00                  |
| Ag                    | 0,51                  | 0,00  | 10,50 | 0,00                  |
| Pd                    | 0,05                  | 0,00  | 12,00 | 0,00                  |
| [Kg m <sup>-3</sup> ] |                       |       |       | 1899,65               |

TABLA C.21 COMPOSICIÓN DEL PLS OBENDIO DESDE LIXIVIACIÓN DE METALES VALIOSOS<sup>8</sup>

| Especies iónicas                                                 | F36                  |                      |                       |       |                       |
|------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-------|-----------------------|
|                                                                  | [g d <sup>-1</sup> ] | [g L <sup>-1</sup> ] | [mg L <sup>-1</sup> ] | Delta | [mg L <sup>-1</sup> ] |
| [Au(S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>3-</sup> | 4527,19              | 0,90                 | 904,16                | 0,69  | 904,85                |
| [Ag(S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>3-</sup> | 18913,39             | 3,78                 | 3777,36               | 0,09  | 3777,45               |
| [Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>2+</sup>               | 17352,18             | 3,47                 | 3465,56               | 20,64 | 3486,20               |
| (S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sup>2-</sup>                   | 381774,98            | 76,25                | 76,25                 |       | 76,25                 |

<sup>8</sup> Delta corresponde a la composición de complejos de Au, Ag y Cu que contiene el refino proveniente de la etapa de intercambio iónico

|                                            |           |       |         |         |         |
|--------------------------------------------|-----------|-------|---------|---------|---------|
| $[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-}$ | 3137,13   | 0,63  | 626,54  | 626,54  | 1253,09 |
| $\text{Na}^+$                              | 160799,88 | 32,11 | 32,11   |         | 32,11   |
| $\text{OH}^-$                              | 2024,12   | 0,40  | 0,40    |         | 0,40    |
| $\text{NH}_4^+$                            | 1432,33   | 0,29  | 0,29    |         | 0,29    |
| $\text{Cl}^-$                              | 0,00      | 0,00  | 1301,73 | 1301,73 | 1301,73 |

TABLA C.22 COMPOSICIÓN CORRIENTE F35 QUE SE IDENTIFICA COMO RESIDUO

| Compuestos                        | F35                  |                      |                     |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
|                                   | $[\text{kg d}^{-1}]$ | $[\text{g cm}^{-3}]$ | $[\text{L d}^{-1}]$ |
| Sílice                            | 803,91               | 2,62                 | 306,84              |
| Óxido de Al                       | 493,71               | 3,96                 | 124,67              |
| Polipropileno                     | 637,64               | 0,91                 | 700,70              |
| Policloruro de Vinilo             | 271,46               | 1,40                 | 193,90              |
| Cu                                | 3,32                 | 8,26                 | 0,40                |
| Al                                | 1,36                 | 3,70                 | 0,37                |
| Pb                                | 1,18                 | 11,40                | 0,10                |
| Zn                                | 0,52                 | 7,14                 | 0,07                |
| Ni                                | 0,59                 | 8,90                 | 0,07                |
| Fe                                | 2,06                 | 7,80                 | 0,26                |
| Sn                                | 0,59                 | 7,19                 | 0,08                |
| Au                                | 0,50                 | 19,30                | 0,03                |
| Pd                                | 0,08                 | 21,40                | 0,00                |
| Ag                                | 2,05                 | 10,50                | 0,20                |
| Pt                                | 0,74                 | 12,00                | 0,06                |
| Volumen total $[\text{L d}^{-1}]$ |                      |                      | 1327,76             |

TABLA C.23 COMPOSICIÓN DE PRECIPITADO DE SULFUROS METÁLICOS

| Sulfuros metálicos | F47                |       |                   |
|--------------------|--------------------|-------|-------------------|
|                    | $\text{kg d}^{-1}$ | %p/p  | $\text{L d}^{-1}$ |
| CuS                | 1131,83            | 62,27 | 273,86            |

|                  |         |        |        |
|------------------|---------|--------|--------|
| PbS              | 120,64  | 6,64   | 16,96  |
| ZnS              | 70,05   | 3,85   | 17,70  |
| NiS              | 82,04   | 4,51   | 19,93  |
| FeS              | 292,76  | 16,11  | 75,33  |
| SnS              | 120,40  | 6,62   | 25,53  |
| Total            | 1817,72 | 100,00 | 429,31 |
| H <sub>2</sub> O | 218,13  | -      | -      |
| Humedad (%)      | 11,00   |        |        |

TABLA C.24 COMPOSICIÓN EN PESO SOLUCIÓN REFINO DE LIXIVIACIÓN DE METALES BASE

| Especies iónicas             | F46                |                   |
|------------------------------|--------------------|-------------------|
|                              | kg d <sup>-1</sup> | g L <sup>-1</sup> |
| Na <sup>+</sup>              | 415,97             | 1,88              |
| Ca <sup>2+</sup>             | 819,38             | 3,70              |
| SO <sub>4</sub> <sup>+</sup> | 1967,78            | 8,88              |
| Al <sup>3+</sup>             | 146,73             | 0,66              |
| Cu <sup>2+</sup>             | 142,96             | 0,65              |
| Pb <sup>2+</sup>             | 19,90              | 0,09              |
| Zn <sup>2+</sup>             | 8,95               | 0,04              |
| Ni <sup>2+</sup>             | 10,11              | 0,05              |
| Fe <sup>2+</sup>             | 35,43              | 0,16              |
| Sn <sup>2+</sup>             | 18,06              | 0,08              |
| pH                           | 8,00               |                   |

TABLA C.25 COMPOSICIÓN SOLUCIÓN PLS, REFINO Y DELTA DE CONCENTRACIÓN QUE PASA A LIXIVIACIÓN DE METALES VALIOSOS

| Elemento                                                         | Sol. PLS [mg L <sup>-1</sup> ] | Refino [mg L <sup>-1</sup> ] | Delta |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------|
| [Au(S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>3-</sup> | 904,16                         | 74,42                        | 0,69  |
| [Ag(S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>3-</sup> | 3777,36                        | 0,82                         | 0,09  |
| [Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>2+</sup>               | 3465,56                        | 214,90                       | 20,64 |

|                       |        |         |         |
|-----------------------|--------|---------|---------|
| $(S_2O_3)^{2-}$       | 76,25  | 0,08    | ----    |
| $[Cu(S_2O_3)_3]^{5-}$ | 626,54 | 626,54  | 626,54  |
| $Na^+$                | 32,11  | 0,03    | ----    |
| $OH^-$                | 0,40   | 0,00    | ----    |
| $NH_4^+$              | 0,29   | 0,00    | ----    |
| $Cl^-$                | 0,00   | 1301,73 | 1301,73 |
| pH                    | 12,38  | 12,38   | 12,38   |

TABLA C.26 COMPOSICIÓN SOLUCIÓN POBRE , RICA Y CORTE DE CONCENTRACIÓN

| <b>Sol. Pobre</b>       | <b>gpL</b> | <b>Sol. Rica</b>            | <b>gpL</b> | <b>Corte</b> |
|-------------------------|------------|-----------------------------|------------|--------------|
| $[Au(S_2O_3)_2]^{3-}$   | 12,66      | $[Au(S_2O_3)_2]^{3-}$       | 13,11      | 0,46         |
| $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$   | 52,88      | $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$       | 55,15      | 2,26         |
| $[Cu(S_2O_3)_3]^{5-}$   | 8,77       | $[Cu(S_2O_3)_3]^{5-}$       | 8,87       | 0,10         |
| $Na^+$                  | 50,58      | $Na^+$                      | 50,58      | ----         |
| $Cl^-$                  | 70,91      | $Cl^-$                      | 70,91      | ----         |
| $SO_3^{-2}$             | 8,01       | $SO_3^{-2}$                 | 8,01       | ----         |
| pH                      | 11,00      | pH                          | 11,00      | ----         |
| Flujo L d <sup>-1</sup> | 2782,86    | Flujo L ciclo <sup>-1</sup> | 8348,58    | ----         |

TABLA C.27 DATOS Y RESULTADOS DE DEPOSICIÓN DE AU, AG Y CU EN EL CÁTODO DE ACERO SEGÚN LA LEY DE FARADAY Y LAS CONDICIONES OPERACIONALES PLANTEADAS EN LA SECCIÓN 3.4

|                     |        |
|---------------------|--------|
| <b>PM (Au)</b>      | 196,97 |
| <b>PM (Ag)</b>      | 107,86 |
| <b>PM (Cu)</b>      | 63,55  |
| <b>n (Au)</b>       | 1      |
| <b>n (Ag)</b>       | 1      |
| <b>n (Cu)</b>       | 1      |
| <b>F [A s/ mol]</b> | 96500  |
| <b>W (Au) [g]</b>   | 1500   |
| <b>W (Ag) [g]</b>   | 821,39 |

|                     |        |
|---------------------|--------|
| <b>W (Cu) [g]</b>   | 483,96 |
| <b>W total [kg]</b> | 2,81   |

TABLA C.28 DATOS DE ENTALPÍA A TEMPERATURAS EN QUE SE DESARROLLAN LAS REACCIONES DE FUSIÓN

| <b>Especie</b>                                                     | <b>H (1200) [kJ mol<sup>-1</sup>]</b> | <b>H(851) [kJ mol<sup>-1</sup>]</b> | <b>H(308) [kJ mol<sup>-1</sup>]</b> | <b>H(200) [kJ mol<sup>-1</sup>]</b> |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Au                                                                 | 45,965                                | ----                                | ----                                | ----                                |
| Ag                                                                 | 45,705                                | ----                                | ----                                | ----                                |
| Cu                                                                 | 46,529                                | ----                                | ----                                | ----                                |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                                    | -903,876                              | -970,025                            | ----                                | ----                                |
| Na <sub>2</sub> NO <sub>3</sub>                                    | ----                                  | ----                                | -425,05                             | ----                                |
| Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> · 10H <sub>2</sub> O | -5541,365                             | ----                                | ----                                | -6156,367                           |
| SiO <sub>2</sub>                                                   | -829,680                              | ----                                | ----                                | ----                                |
| Na <sub>2</sub> O                                                  | -247,006                              | -341,433                            | 94,002                              | -401,934                            |
| CO                                                                 | -72,639                               | -84,687                             | ----                                | ----                                |
| O <sub>2</sub>                                                     | 39,630                                | 27,071                              | 8,642                               | ----                                |
| N <sub>2</sub>                                                     | 37,470                                | ----                                | 8,328                               | ----                                |
| CuO                                                                | -93,220                               | ----                                | ----                                | ----                                |
| H <sub>2</sub> O                                                   | -194,794                              | ----                                | ----                                | -272,360                            |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                      | -1112,17                              | ----                                | ----                                | -1258,590                           |
| CuO · (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )                             | -821,043                              | ----                                | ----                                | ----                                |
| CuO · (SiO <sub>2</sub> )                                          | -535,096                              | ----                                | ----                                | ----                                |
| tiempo [h]                                                         | 2                                     | -                                   | -                                   | -                                   |
| temperatura [°C]                                                   | 1200                                  | -                                   | -                                   | -                                   |

TABLA C.29 ENERGÍA LIBERADA Y CONSUMIDA DURANTE EL PROCESO DE FUSIÓN

|                                                                                                  |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Au = Au                                                                                          | 0,00   |
| Ag = Ag                                                                                          | 0,00   |
| Cu + B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = CuO · (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) ( <b>1200 °C</b> )   | 233,37 |
| Cu + SiO <sub>2</sub> = CuO · (SiO <sub>2</sub> ) ( <b>1200°C</b> )                              | 236,66 |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> = Na <sub>2</sub> O + CO + 1/2 · O <sub>2</sub> ( <b>851°C</b> ) | 531,84 |

|                                                                                                                                                |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| $\text{Na}_2\text{NO}_3 = \text{N}_2\text{O} + 1/2\text{N}_2 + \text{O}_2$ ( <b>308°C</b> )                                                    | 253,71  |
| $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 * 10\text{H}_2\text{O} = 2\text{B}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + 10\text{H}_2\text{O}$ ( <b>200°C</b> ) | 726,25  |
| Total [KJ]                                                                                                                                     | 1981,30 |
| Tiempo operación [h]                                                                                                                           | 2       |
| Consumo [KW]                                                                                                                                   | 0,28    |

TABLA C.30 DATOS DISEÑO DE MOLINO DE BOLAS 100-MB-1

| Datos 100-MB-1                                    |       |
|---------------------------------------------------|-------|
| F80                                               | -     |
| P80                                               | 150   |
| Work index [KWh t <sup>-1</sup> ]                 | 15,5  |
| D: Diámetro interior [ft] (0 - 30)                | 2,64  |
| Razón Largo/diámetro                              | 2     |
| f: Fracción velocidad crítica utilizada % (0 - 1) | 0,75  |
| Fracción Peso Solidos Pulpa % (0 -1)              | 0,67  |
| J: Nivel llenado aparente % (0-1)                 | 0,7   |
| Volumen Tubos [m <sup>3</sup> ]                   | 0,048 |
| Peso Tubos [t]                                    | 0,03  |
| JB: Nivel de Llena de Bolas (0 - 1)               | 0,5   |
| DB: Densidad de Bolas [t m <sup>-3</sup> ]        | 1     |
| JP: Nivel llenado de Pulpa % (0 - 100)            | 40    |
| N [rpm]                                           | 10    |
| Ángulo entre la carga y la horizontal             | 30    |
| Pérdidas potencia (0 - 1)                         | 0,5   |

TABLA C.31 DATOS DISEÑO DE MOLINO DE BOLAS 100-MB-2

| Datos 100-MB-2                    |       |
|-----------------------------------|-------|
| F80                               | 150   |
| P80                               | 95    |
| Work index [KWh t <sup>-1</sup> ] | 15,50 |

|                                              |      |
|----------------------------------------------|------|
| Diámetro interior [ft] (0 - 30)              | 3,31 |
| Razón Largo/diámetro                         | 1    |
| Fracción velocidad crítica utilizada (0 - 1) | 0,75 |
| Fracción Peso Solidos Pulpa (0 - 1)          | 0,67 |
| Nivel llenado aparente (0-1)                 | 0,70 |
| Volumen Tubos [m <sup>3</sup> ]              | 0,05 |
| Peso Tubos [t]                               | 0,03 |
| Nivel de Llena de Bolas % (0 - 1)            | 0,50 |
| Densidad de Bolas [t m <sup>-3</sup> ]       | 1    |
| Nivel llenado de Pulpa % (0 - 100)           | 40   |
| N [rpm]                                      | 10   |
| Ángulo entre la carga y la horizontal        | 30   |
| Pérdidas potencia (0 - 1)                    | 0,50 |

TABLA C.32 CONSTANTES DE DISEÑO TAMICES

|                                         |        |        |       |       |      |      |      |
|-----------------------------------------|--------|--------|-------|-------|------|------|------|
| Abertura [mm]                           | 177,80 | 139,70 | 88,90 | 25,40 | 9,52 | 2,36 | 0,84 |
| C [t ft <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ] | 18,0   | 14,80  | 10,00 | 5,50  | 3,20 | 1,10 | 0,50 |

3. Reacciones químicas: Lixiviación de metales base y valiosos, precipitación sulfuros metálicos, intercambio iónico y formación de escoria

#### Reacciones lixiviación de metales base I

|                                      | <b><i>Cu</i></b> | <b><i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i></b> | <b><i>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i></b> | <b>=</b> | <b><i>CuSO<sub>4</sub></i></b> | <b><i>2H<sub>2</sub>O</i></b> |
|--------------------------------------|------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|----------|--------------------------------|-------------------------------|
| <b><i>masa<sub>Inicial</sub></i></b> | 901,78           | 52179,54                                  | 2714,46                                  |          | 696,66                         | ----                          |
| <b><i>kmol<sub>Inicial</sub></i></b> | 14,22            | 532,44                                    | 79,84                                    |          | 4,37                           | ----                          |
| <b><i>kmol<sub>RXR</sub></i></b>     | 9,86             | 9,86                                      | 9,86                                     |          | 9,86                           | 28,45                         |
| <b><i>kmol<sub>Final</sub></i></b>   | 4,37             | 522,59                                    | 69,98                                    |          | 14,22                          | 28,45                         |
| <b><i>masa<sub>Final</sub></i></b>   | 276,85           | 51213,55                                  | 2379,32                                  |          | 2269,25                        | 512,05                        |

|                               | <b>Fe</b> | <b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b> | <b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b> | <b>=</b> | <b>FeSO<sub>4</sub></b> | <b>2H<sub>2</sub>O</b> |
|-------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|----------|-------------------------|------------------------|
| <i>masa<sub>Inicial</sub></i> | 223,48    | ----                               | ----                              |          | 0,00                    | ----                   |
| <i>kmol<sub>Inicial</sub></i> | 4,00      | 522,59                             | 69,98                             |          | 1,19                    | ----                   |
| <i>kmol<sub>RXR</sub></i>     | 2,77      | 2,77                               | 2,77                              |          | 2,77                    | 2,77                   |
| <i>kmol<sub>Final</sub></i>   | 1,23      | 519,81                             | 67,21                             |          | 3,96                    | 2,77                   |
| <i>masa<sub>Final</sub></i>   | 68,61     | 50941,80                           | 2285,04                           |          | 602,02                  | 49,91                  |

|                               | <b>Zn</b> | <b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b> | <b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b> | <b>=</b> | <b>ZnSO<sub>4</sub></b> | <b>2H<sub>2</sub>O</b> |
|-------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|----------|-------------------------|------------------------|
| <i>masa<sub>Inicial</sub></i> | 56,48     | ----                               | ----                              |          | 0,00                    | ----                   |
| <i>kmol<sub>Inicial</sub></i> | 0,86      | 519,81                             | 67,21                             |          | 0,26                    | ----                   |
| <i>kmol<sub>RXR</sub></i>     | 0,60      | 0,60                               | 0,60                              |          | 0,60                    | 1,73                   |
| <i>kmol<sub>Final</sub></i>   | 0,27      | 519,22                             | 66,61                             |          | 0,86                    | 1,73                   |
| <i>masa<sub>Final</sub></i>   | 17,34     | 50883,13                           | 2264,69                           |          | 139,48                  | 31,10                  |

|                               | <b>Sn</b> | <b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b> | <b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b> | <b>=</b> | <b>SnSO<sub>4</sub></b> | <b>2H<sub>2</sub>O</b> |
|-------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|----------|-------------------------|------------------------|
| <i>masa<sub>Inicial</sub></i> | 113,44    | ----                               | ----                              |          | 0,00                    | ----                   |
| <i>kmol<sub>Inicial</sub></i> | 0,96      | 519,22                             | 66,61                             |          | 0,16                    | ----                   |
| <i>kmol<sub>RXR</sub></i>     | 0,66      | 0,66                               | 0,66                              |          | 0,96                    | 1,32                   |
| <i>kmol<sub>Final</sub></i>   | 0,29      | 518,55                             | 65,95                             |          | 1,12                    | 1,32                   |
| <i>masa<sub>Final</sub></i>   | 34,82     | 50,82                              | 2,24                              |          | 239,57                  | 23,84                  |

|                               | <b>Ni</b> | <b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b> | <b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b> | <b>=</b> | <b>NiSO<sub>4</sub></b> | <b>2H<sub>2</sub>O</b> |
|-------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|----------|-------------------------|------------------------|
| <i>masa<sub>Inicial</sub></i> | 63,75     | ----                               | ----                              |          | 0,00                    | ----                   |
| <i>kmol<sub>Inicial</sub></i> | 1,09      | 518,55                             | 65,95                             |          | 0,33                    | ----                   |
| <i>kmol<sub>RXR</sub></i>     | 0,75      | 1,09                               | 0,75                              |          | 1,09                    | 2,17                   |
| <i>kmol<sub>Final</sub></i>   | 0,33      | 517,47                             | 65,19                             |          | 1,42                    | 2,17                   |
| <i>masa<sub>Final</sub></i>   | 19,57     | 50711,80                           | 2216,58                           |          | 219,67                  | 39,10                  |

|                               | <b><i>Al</i></b> | <b><i>3H<sup>+</sup></i></b> | <b>=</b> | <b><i>Al<sup>3+</sup></i></b> | <b><i>H<sub>2</sub></i></b> |
|-------------------------------|------------------|------------------------------|----------|-------------------------------|-----------------------------|
| <i>masa<sub>Inicial</sub></i> | 148,10           | ----                         |          | 0,00                          | ----                        |
| <i>kmol<sub>Inicial</sub></i> | 5,49             | 517,47                       |          | 0,00                          | 3,27                        |
| <i>kmol<sub>RXR</sub></i>     | 3,80             | 11,41                        |          | 3,80                          | 7,61                        |
| <i>kmol<sub>Final</sub></i>   | 1,69             | 506,06                       |          | 3,80                          | 10,88                       |
| <i>masa<sub>Final</sub></i>   | 45,47            | 49593,43                     |          | 102,63                        | 21,75                       |

|                               | <b><i>Pb</i></b> | <b><i>3H<sup>+</sup></i></b> | <b>=</b> | <b><i>Pb<sup>2+</sup></i></b> | <b><i>H<sub>2</sub></i></b> |
|-------------------------------|------------------|------------------------------|----------|-------------------------------|-----------------------------|
| <i>masa<sub>Inicial</sub></i> | 125,56           | ----                         |          | 0,00                          | ----                        |
| <i>kmol<sub>Inicial</sub></i> | 0,61             | 506,06                       |          | 0,00                          | 0,19                        |
| <i>kmol<sub>RXR</sub></i>     | 0,42             | 1,25                         |          | 0,42                          | 0,42                        |
| <i>kmol<sub>Final</sub></i>   | 0,19             | 504,81                       |          | 0,42                          | 0,61                        |
| <i>masa<sub>Final</sub></i>   | 39,42            | 49471,22                     |          | 86,13                         | 1,21                        |

### Reacciones lixiviación de metales base II

|                               | <b><i>Cu</i></b> | <b><i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i></b> | <b><i>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i></b> | <b>=</b> | <b><i>CuSO<sub>4</sub></i></b> | <b><i>2H<sub>2</sub>O</i></b> |
|-------------------------------|------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|----------|--------------------------------|-------------------------------|
| <i>masa<sub>Inicial</sub></i> | 276,85           | 53320,29                                  | 9249,44                                  |          | ----                           | ----                          |
| <i>kmol<sub>Inicial</sub></i> | 4,37             | 544,08                                    | 272,04                                   |          | ----                           | ----                          |
| <i>kmol<sub>RXR</sub></i>     | 4,24             | 4,24                                      | 4,37                                     |          | 4,37                           | 8,73                          |
| <i>kmol<sub>Final</sub></i>   | 0,13             | 539,85                                    | 267,68                                   |          | 4,37                           | 8,73                          |
| <i>masa<sub>Final</sub></i>   | 8,31             | 52905,19                                  | 9100,97                                  |          | 696,66                         | 157,20                        |

|                               | <b><i>Fe</i></b> | <b><i>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i></b> | <b><i>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i></b> | <b>=</b> | <b><i>FeSO<sub>4</sub></i></b> | <b><i>2H<sub>2</sub>O</i></b> |
|-------------------------------|------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|----------|--------------------------------|-------------------------------|
| <i>masa<sub>Inicial</sub></i> | 68,61            | ----                                      | ----                                     |          | ----                           | ----                          |
| <i>kmol<sub>Inicial</sub></i> | 1,23             | 539,85                                    | 267,68                                   |          | ----                           | ----                          |

|                |      |          |         |        |       |
|----------------|------|----------|---------|--------|-------|
| $kmol_{RXR}$   | 1,19 | 1,19     | 1,19    | 1,19   | 1,19  |
| $kmol_{Final}$ | 0,04 | 538,66   | 266,48  | 1,19   | 1,19  |
| $masa_{Final}$ | 2,06 | 52788,41 | 9060,46 | 180,94 | 21,45 |

|                  | <b>Zn</b> | <b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b> | <b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b> | <b>=</b> | <b>ZnSO<sub>4</sub></b> | <b>2H<sub>2</sub>O</b> |
|------------------|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|----------|-------------------------|------------------------|
| $masa_{Inicial}$ | 17,34     | ----                               | ----                              |          | ----                    | ----                   |
| $kmol_{Inicial}$ | 0,27      | 538,66                             | 266,48                            |          | ----                    | ----                   |
| $kmol_{RXR}$     | 0,26      | 0,26                               | 0,26                              |          | 0,26                    | 0,53                   |
| $kmol_{Final}$   | 0,01      | 538,40                             | 266,23                            |          | 0,26                    | 0,53                   |
| $masa_{Final}$   | 0,52      | 52763,21                           | 9051,71                           |          | 41,54                   | 9,55                   |

|                  | <b>Sn</b> | <b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b> | <b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b> | <b>=</b> | <b>SnSO<sub>4</sub></b> | <b>2H<sub>2</sub>O</b> |
|------------------|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|----------|-------------------------|------------------------|
| $masa_{Inicial}$ | 19,57     | ----                               | ----                              |          | ----                    | ----                   |
| $kmol_{Inicial}$ | 0,16      | 538,40                             | 266,23                            |          | ----                    | ----                   |
| $kmol_{RXR}$     | 0,16      | 0,16                               | 0,16                              |          | 0,16                    | 0,33                   |
| $kmol_{Final}$   | 0,00      | 538,24                             | 266,06                            |          | 0,16                    | 0,33                   |
| $masa_{Final}$   | 0,59      | 52747,05                           | 9046,11                           |          | 34,34                   | 5,93                   |

|                  | <b>Ni</b> | <b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b> | <b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b> | <b>=</b> | <b>NiSO<sub>4</sub></b> | <b>2H<sub>2</sub>O</b> |
|------------------|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|----------|-------------------------|------------------------|
| $masa_{Inicial}$ | 19,57     | ----                               | ----                              |          | ----                    | ----                   |
| $kmol_{Inicial}$ | 0,33      | 538,24                             | 266,06                            |          | ----                    | ----                   |
| $kmol_{RXR}$     | 0,32      | 0,33                               | 0,33                              |          | 0,33                    | 0,67                   |
| $kmol_{Final}$   | 0,01      | 537,90                             | 265,73                            |          | 0,33                    | 0,67                   |
| $masa_{Final}$   | 0,59      | 52714,37                           | 9034,77                           |          | 51,60                   | 12,00                  |

|           |                       |          |                        |                      |
|-----------|-----------------------|----------|------------------------|----------------------|
| <b>Al</b> | <b>3H<sup>+</sup></b> | <b>=</b> | <b>Al<sup>3+</sup></b> | <b>H<sub>2</sub></b> |
|-----------|-----------------------|----------|------------------------|----------------------|

|                  |       |          |       |      |
|------------------|-------|----------|-------|------|
| $masa_{Inicial}$ | 45,47 | ----     | ----  | ---- |
| $kmol_{Inicial}$ | 1,69  | 537,90   | ----  | ---- |
| $kmol_{RXR}$     | 1,63  | 4,90     | 1,63  | 3,27 |
| $kmol_{Final}$   | 0,05  | 533,00   | 1,63  | 3,27 |
| $masa_{Final}$   | 1,36  | 52233,80 | 44,10 | 6,54 |

|                  | <b><math>Pb</math></b> | <b><math>3H^+</math></b> | <b>=</b> | <b><math>Pb^{2+}</math></b> | <b><math>H_2</math></b> |
|------------------|------------------------|--------------------------|----------|-----------------------------|-------------------------|
| $masa_{Inicial}$ | 39,42                  | ----                     |          | ----                        | ----                    |
| $kmol_{Inicial}$ | 0,19                   | 533,00                   |          | ----                        | ----                    |
| $kmol_{RXR}$     | 0,18                   | 0,55                     |          | ----                        | ----                    |
| $kmol_{Final}$   | 0,01                   | 532,44                   |          | 0,19                        | 0,19                    |
| $masa_{Final}$   | 1,18                   | 52179,54                 |          | 39,42                       | 0,38                    |

#### Reacciones lixiviación de metales valiosos

|                  | $Na_2S_2O_3$ | = | $2Na^+$ | $(S_2O_3)^{2-}$ |
|------------------|--------------|---|---------|-----------------|
| $masa_{Inicial}$ | 552,94       |   | ----    | ----            |
| $kmol_{Inicial}$ | 3,50         |   | 6,99    | 3,50            |
| $kmol_{RXR}$     | 3,50         |   | 6,99    | 3,50            |
| $kmol_{Final}$   | 0,00         |   | 6,99    | 3,50            |
| $masa_{Final}$   | 0,00         |   | 160,80  | 392,14          |

|                  | $NH_4OH$ | = | $NH_4^+$ | $OH^-$ |
|------------------|----------|---|----------|--------|
| $masa_{Inicial}$ | 2,80     |   | ----     | ----   |
| $kmol_{Inicial}$ | 0,08     |   | ----     | ----   |
| $kmol_{RXR}$     | 0,08     |   | 0,08     | 0,08   |

|                |      |      |      |
|----------------|------|------|------|
| $kmol_{Final}$ | 0,00 | 0,08 | 0,08 |
| $masa_{Final}$ | 0,00 | 1,44 | 1,36 |

|                  | $Au$ | $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ | $3(S_2O_3)^{2-}$ | $=$  | $[Au(NH_3)_2]^{2+}$ | $[Cu(S_2O_3)_3]^{5-}$ | $2NH_3$ |
|------------------|------|---------------------|------------------|------|---------------------|-----------------------|---------|
| $masa_{Inicial}$ | 2,61 | 2,64                | 392,14           | ---- | ----                | ----                  | ----    |
| $kmol_{Inicial}$ | 0,01 | 0,01                | 3,50             | ---- | ----                | ----                  | ----    |
| $kmol_{RXX}$     | 0,01 | 0,01                | 0,03             | 0,01 | 0,01                | 0,01                  | 0,02    |
| $kmol_{Final}$   | 0,00 | 0,00                | 3,46             | 0,01 | 0,01                | 0,01                  | 0,02    |
| $masa_{Final}$   | 0,50 | ----                | ----             | ---- | ----                | ----                  | ----    |

|                  | $[Au(NH_3)_2]^{2+}$ | $2(S_2O_3)^{2-}$ | $=$  | $[Au(S_2O_3)_2]^{3-}$ | $2NH_3$ |
|------------------|---------------------|------------------|------|-----------------------|---------|
| $kmol_{Inicial}$ | 0,01                | 3,46             | ---- | ----                  | 0,02    |
| $kmol_{Final}$   | 0,00                | 3,45             | 0,01 | 0,01                  | 0,03    |
| $masa_{Final}$   | ----                | ----             | 4,53 | ----                  | ----    |

|                  | $Ag$ | $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ | $3(S_2O_3)$ | $=$  | $[Ag(NH_3)_2]^{2+}$ | $[Cu(S_2O_3)_3]^{5-}$ | $2NH_3$ |
|------------------|------|---------------------|-------------|------|---------------------|-----------------------|---------|
| $masa_{Inicial}$ | 8,19 | 14,00               | ----        | ---- | ----                | ----                  | ----    |
| $kmol_{Inicial}$ | 0,08 | 0,06                | 3,45        |      |                     | 0,01                  | 0,03    |
| $kmol_{RXX}$     | 0,06 | 0,06                | 0,17        | 0,06 | 0,06                | 0,06                  | 0,11    |
| $kmol_{Final}$   | 0,02 | 0,00                | 3,28        | 0,06 | 0,07                | 0,07                  | 0,15    |
| $masa_{Final}$   | 2,05 | ----                | ----        | ---- | 27,07               |                       |         |

|                  | $[Ag(NH_3)_2]^{2+}$ | $2(S_2O_3)^{2-}$ | $=$  | $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ | $2NH_3$ |
|------------------|---------------------|------------------|------|-----------------------|---------|
| $kmol_{Inicial}$ | 0,06                | 3,28             | ---- | ----                  | 0,15    |
| $kmol_{RXX}$     | 0,06                | 0,11             | 0,06 | 0,06                  | 0,11    |
| $kmol_{Final}$   | ----                | ----             | ---- | ----                  | ----    |

|                |      |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|
| $masa_{Final}$ | 0,00 | 3,17 | 0,06 | 0,26 |
|----------------|------|------|------|------|

|                  | $4[Cu(S_2O_3)_3]^{5-}$ | $16NH_3$ | $0,5O_2$ | $H_2O$ | $=$ | $4[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ | $12(S_2O_3)^{2-}$ | $20H^-$ |
|------------------|------------------------|----------|----------|--------|-----|----------------------|-------------------|---------|
| $kmol_{Inicial}$ | 0,08                   | 0,46     | ----     | ----   |     | 0,00                 | 3,17              | 0,08    |
| $kmol_{RXR}$     | 0,07                   | 0,31     | 0,01     | 0,02   |     | 0,07                 | 0,24              | 0,04    |
| $kmol_{Final}$   | 0,01                   | 0,15     | 0,01     | 0,02   |     | 0,07                 | 3,40              | 0,12    |
| $masa_{Final}$   | 3,14                   | ----     | ----     | 0,35   |     | 17,35                | 381,77            | 2,02    |

### Mecanismo de disolución del sulfhidrato de sodio (NaSH)

|                  | $NaHS$ | $H_2O$ | $=$ | $Na^+$ | $OH^-$ | $H_2S$ |
|------------------|--------|--------|-----|--------|--------|--------|
| $kmol_{Inicial}$ | 18,09  | ----   |     | ----   | ----   | ----   |
| $kmol_{RXR}$     | 18,09  | 18,09  |     | 18,09  | 18,09  | 18,09  |
| $kmol_{Final}$   | 0,00   | 18,09  |     | 18,09  | ----   | ----   |
| $masa_{Final}$   | ----   | 325,69 |     | 415,97 | ----   | ----   |

|                  | $H_2S$ | $=$ | $H^+$ | $HS^-$ |
|------------------|--------|-----|-------|--------|
| $kmol_{Inicial}$ | 18,09  |     | ----  | ----   |
| $kmol_{RXR}$     | 18,09  |     | 18,09 | 18,09  |
| $kmol_{Final}$   | 0,00   |     | 18,09 | 18,09  |
| $masa_{Final}$   | ----   |     | ----  | ----   |

|                  | $HS^-$ | $=$ | $H^+$ | $S^{2-}$ |
|------------------|--------|-----|-------|----------|
| $kmol_{Inicial}$ | 18,09  |     | ----  | ----     |
| $kmol_{RXR}$     | 18,09  |     | 18,09 | 18,09    |
| $kmol_{Final}$   | 0,00   |     | 18,09 | 18,09    |
| $masa_{Final}$   | ----   |     | ----  | ----     |

**Reacciones de ajuste de pH de la solución lixivante mediante la incorporación de lechada de Cal**

|                | $CaO$ | $H_2O$ | = | $Ca(OH)_2$ |
|----------------|-------|--------|---|------------|
| $M_{Inicial}$  | ----  | ----   |   | ----       |
| $M_{RXR}$      | 20,48 | 20,48  |   | 20,48      |
| $M_{Final}$    | ----  | ----   |   | 20,48      |
| $masa_{Final}$ | ----  | ----   |   | ----       |

|                | $Ca(OH)_2$ | = | $Ca^{2+}$ | $2OH^-$ |
|----------------|------------|---|-----------|---------|
| $M_{Inicial}$  | 0,00       |   | ----      | ----    |
| $M_{RXR}$      | 0,00       |   | 0,00      | 0,00    |
| $M_{Final}$    | 0,00       |   | ----      | 0,00    |
| $masa_{Final}$ | 0,00       |   | ----      | ----    |

|                | $Ca(OH)_2$ | $H_2SO_4$ | = | $2H_2O$ | $CaSO_4$ |
|----------------|------------|-----------|---|---------|----------|
| $M_{Inicial}$  | 20,48      | 2,39      |   | ----    | ----     |
| $M_{RXR}$      | 2,39       | 2,39      |   | 2,39    | 2,39     |
| $M_{Final}$    | 0,00       | 0,00      |   | 2,39    | 2,39     |
| $masa_{Final}$ | ----       | ----      |   | ----    | ----     |

|                | $Ca(OH)_2$ | $H_2SO_4$ | = | $2H_2O$ | $CaSO_4$ |
|----------------|------------|-----------|---|---------|----------|
| $M_{Inicial}$  | 18,09      | 18,09     |   | ----    | ----     |
| $M_{RXR}$      | 18,09      | 18,09     |   | 18,09   | 18,09    |
| $M_{Final}$    | 0,00       | ----      |   | ----    | 18,09    |
| $masa_{Final}$ | ----       | ----      |   | ----    | ----     |

**Reacción de ajuste de acidez en el sistema para recircular a lixiviación de metales base**

| <i>Make up ácido ajuste de concentración 3M H+</i> |            |           |   |         |          |
|----------------------------------------------------|------------|-----------|---|---------|----------|
|                                                    | $Ca(OH)_2$ | $H_2SO_4$ | = | $2H_2O$ | $CaSO_4$ |

|                |      |          |      |      |
|----------------|------|----------|------|------|
| $M_{Inicial}$  | 0,00 | 3,00     | ---- | ---- |
| $M_{RXR}$      | 0,00 | 0,00     | 0,00 | 0,00 |
| $M_{Final}$    | 0,00 | 3,00     | 0,00 | 0,00 |
| $masa_{Final}$ | ---- | 65117,88 | ---- | ---- |

### Reacciones de precipitación

| $Kps$            | $4 \cdot 10^{-36}$ |                        |          |            |                      |                       |
|------------------|--------------------|------------------------|----------|------------|----------------------|-----------------------|
|                  | <b>NaSH</b>        | <b>Cu<sup>2+</sup></b> | <b>=</b> | <b>CuS</b> | <b>H<sup>+</sup></b> | <b>Na<sup>+</sup></b> |
| $masa_{Inicial}$ | ----               | 893,48                 |          | ----       | ----                 | ----                  |
| $kmol_{Inicial}$ | 11,84              | 14,09                  |          | ----       | ----                 | ----                  |
| $kmol_{RXR}$     | 11,84              | 11,84                  |          | 11,84      | 11,84                | 11,84                 |
| $kmol_{Final}$   | 0,00               | 2,25                   |          | 11,84      | 11,84                | 11,84                 |
| $masa_{Final}$   | ----               | 142,96                 |          | 1131,83    | ----                 | ----                  |

| $Kps$            | $4 \cdot 10^{-17}$ |                        |          |            |                      |                       |
|------------------|--------------------|------------------------|----------|------------|----------------------|-----------------------|
|                  | <b>NaSH</b>        | <b>Fe<sup>2+</sup></b> | <b>=</b> | <b>FeS</b> | <b>H<sup>+</sup></b> | <b>Na<sup>+</sup></b> |
| $masa_{Inicial}$ | ----               | 221,42                 |          | ----       | ----                 | ----                  |
| $kmol_{Inicial}$ | 3,33               | 3,96                   |          |            |                      |                       |
| $kmol_{RXR}$     | 3,33               | 3,33                   |          | 3,33       | 3,33                 | 3,33                  |
| $kmol_{Final}$   | 0,00               | 0,63                   |          | 3,33       | 3,33                 | 3,33                  |
| $masa_{Final}$   | ----               | 35,43                  |          | 292,76     | ----                 | ----                  |

| $Kps$            | $1,2 \cdot 10^{-23}$ |                        |          |            |                      |                       |
|------------------|----------------------|------------------------|----------|------------|----------------------|-----------------------|
|                  | <b>NaSH</b>          | <b>Zn<sup>2+</sup></b> | <b>=</b> | <b>ZnS</b> | <b>H<sup>+</sup></b> | <b>Na<sup>+</sup></b> |
| $masa_{Inicial}$ | ----                 | 55,96                  |          | ----       | ----                 | ----                  |
| $kmol_{Inicial}$ | 0,72                 | 0,86                   |          | ----       | ----                 | ----                  |
| $kmol_{RXR}$     | 0,72                 | 0,72                   |          | 0,72       | 0,72                 | 0,72                  |
| $kmol_{Final}$   | 0,00                 | 0,14                   |          | 0,72       | 0,72                 | 0,72                  |
| $masa_{Final}$   | ----                 | 8,95                   |          | 70,05      | ----                 |                       |

| <i>Kps</i>                    | $1 \cdot 10^{-25}$ |                        |          |            |                      |                       |
|-------------------------------|--------------------|------------------------|----------|------------|----------------------|-----------------------|
|                               | <b>NaSH</b>        | <b>Sn<sup>2+</sup></b> | <b>=</b> | <b>SnS</b> | <b>H<sup>+</sup></b> | <b>Na<sup>+</sup></b> |
| <i>masa<sub>Inicial</sub></i> | ----               | 112,85                 |          | ----       | ----                 | ----                  |
| <i>kmol<sub>Inicial</sub></i> | 0,80               | 0,95                   |          | ----       | ----                 | ----                  |
| <i>kmol<sub>RXR</sub></i>     | 0,80               | 0,80                   |          | 0,80       | 0,80                 | 0,80                  |
| <i>kmol<sub>Final</sub></i>   | 0,00               | 0,15                   |          | 0,80       | 0,80                 | 0,80                  |
| <i>masa<sub>Final</sub></i>   | ----               | 18,06                  |          | 120,40     | ----                 | ----                  |

| <i>Kps</i>                    | $3,2 \cdot 10^{-19}$ |                        |          |            |                      |                       |
|-------------------------------|----------------------|------------------------|----------|------------|----------------------|-----------------------|
|                               | <b>NaSH</b>          | <b>Ni<sup>2+</sup></b> | <b>=</b> | <b>NiS</b> | <b>H<sup>+</sup></b> | <b>Na<sup>+</sup></b> |
| <i>masa<sub>Inicial</sub></i> | ----                 | 63,16                  |          | ----       | ----                 | ----                  |
| <i>kmol<sub>Inicial</sub></i> | 0,90                 | 1,08                   |          | ----       | ----                 | ----                  |
| <i>kmol<sub>RXR</sub></i>     | 0,90                 | 0,90                   |          | 0,90       | 0,90                 | 0,90                  |
| <i>kmol<sub>Final</sub></i>   | 0,00                 | 0,17                   |          | 0,90       | 0,90                 | 0,90                  |
| <i>masa<sub>Final</sub></i>   | ----                 | 10,11                  |          | 82,04      | ----                 | ----                  |

| <i>Kps</i>                    | $8 \cdot 10^{-28}$ |                        |          |          |                      |                       |
|-------------------------------|--------------------|------------------------|----------|----------|----------------------|-----------------------|
|                               | <b>NaSH</b>        | <b>Pb<sup>2+</sup></b> | <b>=</b> | <b>S</b> | <b>H<sup>+</sup></b> | <b>Na<sup>+</sup></b> |
| <i>masa<sub>Inicial</sub></i> | ----               | 124,37                 |          | ----     | ----                 | ----                  |
| <i>kmol<sub>Inicial</sub></i> | 0,50               | 0,60                   |          | ----     | ----                 | ----                  |
| <i>kmol<sub>RXR</sub></i>     | 0,50               | 0,50                   |          | 0,50     | 0,50                 | 0,50                  |
| <i>kmol<sub>Final</sub></i>   | 0,00               | 0,10                   |          | 0,50     | 0,50                 | 0,50                  |
| <i>masa<sub>Final</sub></i>   | ----               | 19,90                  |          | 120,64   | ----                 | ----                  |

**Reacciones globales de remoción en intercambio iónico**

|                               | <b><math>3P - NR4^+Cl^-</math></b> | <b><math>[Au(S2O3)2]^{3-}</math></b> | <b>=</b> | <b><math>([P - NR4]3)^+[Au(S2O3)2]^{3-}</math></b> | <b><math>3Cl^-</math></b> |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------|----------------------------------------------------|---------------------------|
| <i>masa<sub>Inicial</sub></i> | ----                               | 4527,19                              |          | ----                                               | ----                      |
| <i>mol<sub>Inicial</sub></i>  | ----                               | 10,75                                |          | ----                                               | ----                      |
| <i>mol<sub>RXR</sub></i>      | 32,02                              | 10,67                                |          | 0,74                                               | 2,22                      |
| <i>mol<sub>Final</sub></i>    | ----                               | 0,07                                 |          | ----                                               | 2,22                      |

|                |      |       |      |       |
|----------------|------|-------|------|-------|
| $masa_{Final}$ | ---- | 31,05 | ---- | 78,60 |
|----------------|------|-------|------|-------|

|                  | $3P - NR4^+ Cl^-$ | $[Ag(S2O3)2]^{3-}$ | = | $([P - NR4]3)^+ [Au(S2O3)2]^{3-}$ | $3Cl^-$ |
|------------------|-------------------|--------------------|---|-----------------------------------|---------|
| $masa_{Inicial}$ | ----              | 1576,12            |   | ----                              | ----    |
| $mol_{Inicial}$  | ----              | 4,75               |   | ----                              | ----    |
| $mol_{RXR}$      | 14,23             | 4,74               |   | 3,96                              | 11,88   |
| $mol_{Final}$    | ----              | 0,00               |   | ----                              | 11,88   |
| $masa_{Final}$   | ----              | 0,34               |   | ----                              | 421,24  |

|                  | $5P - NR4^+ Cl^-$ | $[Ag(S2O3)2]^{5-}$ | = | $([P - NR4]5)^+ [Au(S2O3)2]^{5-}$ | $5Cl^-$ |
|------------------|-------------------|--------------------|---|-----------------------------------|---------|
| $masa_{Inicial}$ | ----              | 261,43             |   | ----                              | ----    |
| $mol_{Inicial}$  | ----              | 0,65               |   | ----                              | ----    |
| $mol_{RXR}$      | 2,15              | 0,43               |   | 0,24                              | 1,22    |
| $mol_{Final}$    | ----              | 0,22               |   | ----                              | 1,22    |
| $masa_{Final}$   | ----              | 89,67              |   | ----                              | 43,31   |

### Reacciones globales de elución en intercambio iónico

|                  | $([P - NR4]3)^+ [Au(S2O3)2]^{3-}$ | $3Cl^-$ | = | $3P - NR4^+ Cl^-$ | $[Au(S2O3)2]^{3-}$ |
|------------------|-----------------------------------|---------|---|-------------------|--------------------|
| $masa_{Inicial}$ | ----                              | ----    |   | ----              | ----               |
| $mol_{Inicial}$  | 10,67                             | ----    |   | ----              | ----               |
| $mol_{RXR}$      | 9,03                              | 27,09   |   | 27,09             | ----               |
| $mol_{Final}$    | 1,64                              | 27,09   |   | 27,09             | 9,03               |
| $masa_{Final}$   | ----                              | ----    |   | ----              | 3803,77            |

|                  | $([P - NR4]3)^+ [Ag(S2O3)2]^{3-}$ | $3Cl^-$ | = | $3P - NR4^+ Cl^-$ | $[Au(S2O3)2]^{3-}$ |
|------------------|-----------------------------------|---------|---|-------------------|--------------------|
| $masa_{Inicial}$ | ----                              | ----    |   | ----              | ----               |

|                 |      |       |       |         |
|-----------------|------|-------|-------|---------|
| $mol_{Inicial}$ | 4,74 | ----  | ----  | ----    |
| $mol_{RXR}$     | 4,74 | 14,23 | 14,23 | ----    |
| $mol_{Final}$   | 0,00 | 14,23 | 14,23 | 4,74    |
| $masa_{Final}$  | ---- | ----  | ----  | 1575,78 |

|                  |                                   |         |   |                   |                    |
|------------------|-----------------------------------|---------|---|-------------------|--------------------|
|                  | $([P - NR4]5)^+ [Cu(S2O3)2]^{5-}$ | $3Cl^-$ | = | $3P - NR4^+ Cl^-$ | $[Cu(S2O3)2]^{5-}$ |
| $masa_{Inicial}$ | -                                 | -       |   | ----              | ----               |
| $mol_{Inicial}$  | 0,43                              | 14,23   |   | ----              | ----               |
| $mol_{RXR}$      | 0,18                              | 0,53    |   | 0,89              | 0,18               |
| $mol_{Final}$    | 0,25                              | 0,53    |   | ----              | 0,18               |
| $masa_{Final}$   | ----                              | ----    |   | ----              | 71,04              |

#### Reacciones de descomposición térmica

|                  |            |   |         |      |          |                        |
|------------------|------------|---|---------|------|----------|------------------------|
|                  | $Na_2CO_3$ | = | $Na_2O$ | $CO$ | $0,5O_2$ | $851\text{ }^{\circ}C$ |
| $masa_{inicial}$ | 101,12     |   | 59,13   | ---- | ----     |                        |
| $mol_{RXR}$      | 0,95       |   | 0,95    | 0,95 | 0,48     |                        |
| $mol_{Final}$    | ----       |   | 0,95    | 0,95 | 0,48     |                        |

|                  |            |   |         |          |       |                        |
|------------------|------------|---|---------|----------|-------|------------------------|
|                  | $Na_2NO_3$ | = | $Na_2O$ | $0,5N_2$ | $O_2$ | $308\text{ }^{\circ}C$ |
| $masa_{inicial}$ | 106,47     |   | 29,57   | ----     | ----  |                        |
| $mol_{RXR}$      | 0,48       |   | 0,48    | 0,24     | 0,48  |                        |
| $mol_{Final}$    | 0,00       |   | ----    | 0,24     | 0,48  |                        |

#### Reacciones de oxidación de metales base

|      |          |   |       |
|------|----------|---|-------|
| $Cu$ | $0,5O_2$ | = | $CuO$ |
|------|----------|---|-------|

|                  |        |      |      |
|------------------|--------|------|------|
| $masa_{inicial}$ | 121,26 | 0,95 | ---- |
| $mol_{RXR}$      | 1,91   | 0,95 | 1,91 |

### Reacciones de formación de escoria

|                  |                           |   |           |         |          |                        |
|------------------|---------------------------|---|-----------|---------|----------|------------------------|
|                  | $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ | = | $2B_2O_3$ | $Na_2O$ | $10H_2O$ | $200\text{ }^{\circ}C$ |
| $masa_{inicial}$ | 539,21                    |   | 196,87    | 87,63   | ----     |                        |
| $mol_{RXR}$      | 1,41                      |   | 2,83      | 1,41    | 14,14    |                        |

|                  |       |          |   |                      |
|------------------|-------|----------|---|----------------------|
|                  | $CuO$ | $B_2O_3$ | = | $CuO \cdot (B_2O_3)$ |
| $masa_{inicial}$ | 1,91  | 2,83     |   | ----                 |
| $mol_{RXR}$      | 0,95  | 1,87     |   | 0,95                 |

|                  |       |         |   |                   |
|------------------|-------|---------|---|-------------------|
|                  | $CuO$ | $SiO_2$ | = | $CuO \cdot SiO_2$ |
| $masa_{inicial}$ | 0,95  | 147,11  |   | ----              |
| $mol_{RXR}$      | 0,95  | 2,45    |   | 0,95              |
| $mol_{Final}$    | 0,00  | 1,49    |   | ----              |

## D. Evaluación económica

### 1. Figuras: Variación precio productos principales y Flujo de caja

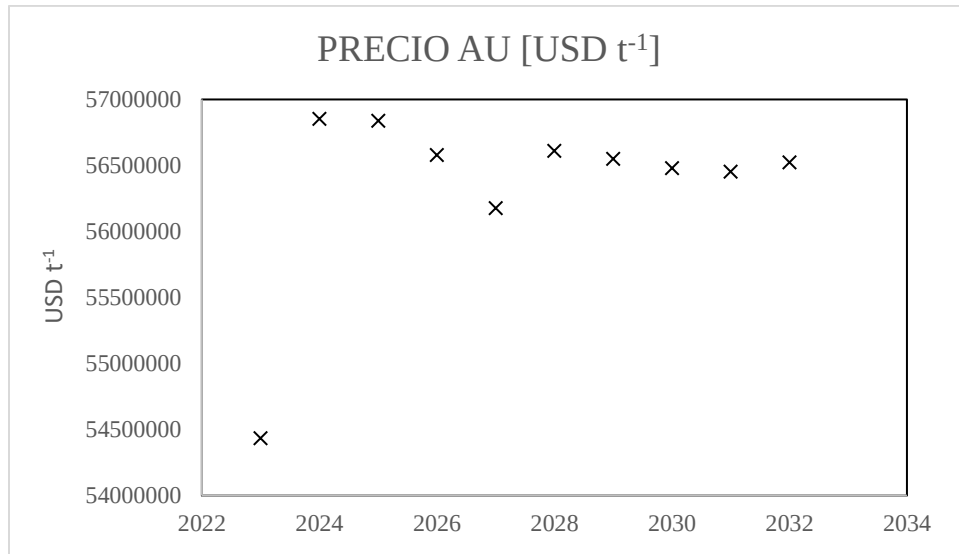


FIGURA D.1 PRONÓSTICO VARIACIÓN DEL PRECIO DEL ORO CON PROMEDIOS MÓVILES BASE 2

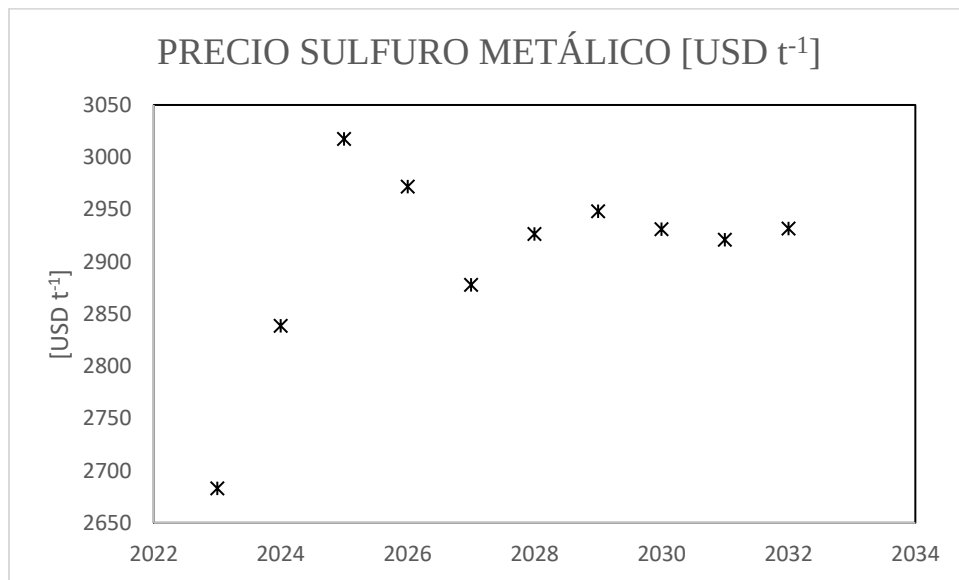


FIGURA D.2 PRONÓSTICO VARIACIÓN DEL PRECIO DE SÚLFURO METÁLICO CON PROMEDIOS MÓVILES BASE 2

| Caso A                      |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                             | Año 0         | Año 1         | Año 2         | Año 3         | Año 4         | Año 5         | Año 6         | Año 7         | Año 8         | Año 9         | Año 10        |
| Ingresos                    |               | \$ 15.017.012 | \$ 12.277.594 | \$ 13.899.741 | \$ 13.956.975 | \$ 13.772.749 | \$ 13.476.765 | \$ 13.776.557 | \$ 13.745.761 | \$ 13.692.958 | \$ 13.673.010 |
| Costos variables            |               | \$ 879.281    | \$ 908.297    | \$ 938.271    | \$ 969.234    | \$ 1.001.219  | \$ 1.034.259  | \$ 1.068.390  | \$ 1.103.646  | \$ 1.140.067  | \$ 1.177.689  |
| Costos fijos                |               | \$ 141.795    | \$ 141.795    | \$ 141.795    | \$ 141.795    | \$ 141.795    | \$ 141.795    | \$ 141.795    | \$ 141.795    | \$ 141.795    | \$ 141.795    |
| Intereses                   |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| Utilidad bruta              |               | \$ 13.995.935 | \$ 11.227.501 | \$ 12.819.674 | \$ 12.845.945 | \$ 12.629.735 | \$ 12.300.710 | \$ 12.566.372 | \$ 12.500.319 | \$ 12.411.096 | \$ 12.353.526 |
| Depreciación                |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| Utilidad antes de impuestos |               | \$ 13.995.935 | \$ 11.227.501 | \$ 12.819.674 | \$ 12.845.945 | \$ 12.629.735 | \$ 12.300.710 | \$ 12.566.372 | \$ 12.500.319 | \$ 12.411.096 | \$ 12.353.526 |
| Impuesto                    |               | \$ 3.778.903  | \$ 3.031.425  | \$ 3.461.312  | \$ 3.468.405  | \$ 3.410.028  | \$ 3.321.192  | \$ 3.392.920  | \$ 3.375.086  | \$ 3.350.996  | \$ 3.335.452  |
| Utilidad neta               |               | \$ 10.217.033 | \$ 8.196.076  | \$ 9.358.362  | \$ 9.377.540  | \$ 9.219.706  | \$ 8.979.518  | \$ 9.173.452  | \$ 9.125.233  | \$ 9.060.100  | \$ 9.018.074  |
| Depreciación                |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| Inversiones                 | \$ -2.500.802 | \$ -          | \$ -          | \$ -          | \$ -          | \$ -          | \$ -          | \$ -          | \$ -          | \$ -          | \$ -          |
| Capital de trabajo          | \$ -883.185   |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| Sociedad                    |               | \$ 6.130.220  | \$ 4.917.646  | \$ 5.615.017  | \$ 5.626.524  | \$ 5.531.824  | \$ 5.387.711  | \$ 5.504.071  | \$ 5.475.140  | \$ 5.436.060  | \$ 5.410.844  |
| Amortización                |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| Valor residual              |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| Flujo neto                  | \$ -3.383.988 | \$ 4.086.813  | \$ 3.278.430  | \$ 3.743.345  | \$ 3.751.016  | \$ 3.687.883  | \$ 3.591.807  | \$ 3.669.381  | \$ 3.650.093  | \$ 3.624.040  | \$ 3.607.230  |

FIGURA D.3 FLUJO DE CAJA

## 2. Tablas: Capex y Opex

TABLA D.1 INVERSIÓN MAQUINARIA

| Inversión en equipos             |              |          |                        |                   |                        |
|----------------------------------|--------------|----------|------------------------|-------------------|------------------------|
| Equipo                           | Nomenclatura | Unidades | Costo maquinaria [USD] | Costo total [USD] | Fuente                 |
| Trituradora                      | 100-TR-1     | 2        | \$                     | \$                | (Alibaba, 2022a)       |
|                                  | 100-TR-2     |          | 30.000                 | 60.000            |                        |
| Tamiz vibratorio                 | 100-HR-1     | 3        | \$                     | \$                | (Made in China, 2022a) |
|                                  | 100-HR-2     |          | 2.800                  | 8.400             |                        |
|                                  | 100-HR-3     |          |                        |                   |                        |
| Molino de martillos              | 100-MT-1     | 2        | \$                     | \$                | (Made in China, 2022b) |
|                                  | 100-MT-2     |          | 12.000                 | 24.000            |                        |
| molino de bolas                  | 100-MB-1     | 2        | \$                     | \$                | (Alibaba, 2022b)       |
|                                  | 100-MB-2     |          | 52.250                 | 104.500           |                        |
| Hidrociclón                      | 100-HD-1     | 3        | \$                     | \$                | (Made in Chin, 2022c)  |
|                                  | 100-HD-2     |          | 5.000                  | 15.000            |                        |
|                                  | 100-HD-3     |          |                        |                   |                        |
| Concentrador Knelson             | 100-KN-1     | 1        | \$                     | \$                | (Made in China, 2022d) |
| Filtro prensa                    | 100-FL-1     | 5        | \$                     | \$                | (Made in China, 2022e) |
|                                  | 100-FL-2     |          | 4.000                  | 20.000            |                        |
| Tanque de lixiviación metal base | 200-TK-1     | 3        | \$                     | \$                | (Alibaba, 2022c)       |
|                                  | 200-TK-2     |          | 23.546                 | 70.638            |                        |
|                                  | 200-TK-3     |          |                        |                   |                        |

|                               |                                                          |    |              |               |                        |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------|----|--------------|---------------|------------------------|
| Tanque de lixiviación Au-Ag   | 200-TK-4                                                 | 1  | \$<br>23.546 | \$<br>23.546  | (Made in China, 2022f) |
| Tanque agitado cal            | 200-TK-5<br>200-TK-6                                     | 2  | \$<br>1.200  | \$<br>2.400   | (Made in Chine, 2022g) |
| Filtro prensa                 | 200-FL-3<br>200-FL-4<br>200-FL-5<br>200-FL-6<br>200-FL-7 | 5  | \$<br>4.000  | \$<br>4.000   | (Made in China, 2022e) |
| Columnas IX                   | 300-CL-(1-10)<br>300-CL-(11-20)                          | 24 | \$<br>10.000 | \$<br>240.000 | (Alibaba, 2022d)       |
| Celda electrolítica           | 300-NV-1                                                 | 3  | \$<br>9.000  | \$<br>27.000  | (Alibaba, 2022e)       |
| Horno de fusión               | 400-HR-1                                                 | 1  | \$<br>800    | \$<br>800     | (Made in Chine, 2022h) |
| Tanque de almacenamiento (LX) | 200-AL-1<br>200-AL-2<br>200-AL-3<br>200-AL-4<br>200-AL-5 | 5  | \$<br>23.546 | \$<br>94.184  | (Made in Chine, 2022g) |
| Tanque de almacenamiento (IX) | 200-AL-6<br>200-AL-7<br>200-AL-8<br>200-AL-9             | 4  | \$<br>23.546 | \$<br>94.184  | (Made in Chine, 2022g) |
| Compresor de aire             | 100-CP-1<br>200-CP-2<br>200-CP-3                         | 3  | \$<br>2.300  | \$<br>6.900   |                        |
| Equipo de osmosis inversa     | 100-OS-1<br>200-OS-2<br>200-OS-3<br>300-OS-4<br>400-OS-5 | 5  | \$<br>1.850  | \$<br>9.250   | (Alibaba, 2022f)       |
| Lavador de gases (Scrubber)   | 400-LV-1                                                 | 1  | \$<br>2.000  | \$<br>2.000   | (Alibaba, 2022g)       |
| Costo total [USD]             |                                                          |    |              | \$            |                        |

|  |         |  |
|--|---------|--|
|  | 826.802 |  |
|--|---------|--|

TABLA D.2 INVERSIÓN DE REACTIVOS DE ARRANQUE

| Inversión en reactivos |                               |        |                                       |                   |
|------------------------|-------------------------------|--------|---------------------------------------|-------------------|
| Reactivos              | Cantidad [t d <sup>-1</sup> ] | Tiempo | Costo por peso [USD t <sup>-1</sup> ] | Costo total [USD] |
| Ácido sulfúrico        | 59,3364148                    | 1      | \$ 64                                 | \$3.412           |
| Peróxido de hidrógeno  | 10,2930515                    | 1      | \$ 5.495                              | \$50.830          |
| Tiosulfato de sodio    | 0,61533173                    | 1      | \$ 12.070                             | \$6.674           |
| Hidróxido de amonio    | 0,00311344                    | 1      | \$ 325                                | \$1               |
| Sulfhidrato de sodio   | 1,12883252                    | 1      | \$ 400                                | \$406             |
| Óxido de calcio        | 15,3742169                    | 1      | \$ 138                                | \$1.572           |
| MTA 5011               | 0,00985738                    | 1      | \$ 8.571                              | \$199             |
| Carbonato de sodio     | 7,3427E-05                    | 1      | \$ 11.910                             | \$1               |
| Nitrato de sodio       | 2,4476E-05                    | 1      | \$ 19.400                             | \$1               |
| Bórax                  | 0,00195806                    | 1      | \$ 8.000                              | \$18              |
| Sílice                 | 0,0005507                     | 1      | \$ 380                                | \$0               |
| Costo total            |                               |        |                                       | \$63.115          |

TABLA D.3 PROPUESTA DE FACTOR DE ESCALAMIENTO DE ÁREA DE INSTALACIONES AUXILIARES (COMPARACIÓN CON MINERA PULLALLI)

| Escalamiento Pullalli: Planta diseñada                    |       |
|-----------------------------------------------------------|-------|
| Capacidad Pullalli [kg h <sup>-1</sup> ]                  | 20833 |
| Capacidad planta de tratamiento TCI [kg h <sup>-1</sup> ] | 256   |
| Razón                                                     | 0,5   |

TABLA D.4 COSTOS UNITARIOS DE TERRENOS CONSULTADOS EN BARRIOS INDUSTRIALES DE LA REGIÓN METROPOLITANA

| Terreno      | Costo [USD m <sup>-2</sup> ] | Costo [USD]  |
|--------------|------------------------------|--------------|
| Lo Barnechea | \$ 3.646                     | \$ 1.878.592 |
| Pudahuel     | \$ 2.117                     | \$ 1.090.053 |
| San Bernardo | \$ 1.910                     | \$ 988.692   |

TABLA D.5 ESTIMACIÓN DE ÁREA DE PLANTA DE OPERACIONES E INSTALACIONES

| Áreas                                |        |
|--------------------------------------|--------|
| Área total equipos [m <sup>2</sup> ] | 133,96 |
| Sobredimensionamiento (Pasillos)     | 70     |

|                                                    |        |
|----------------------------------------------------|--------|
| Área de operaciones [m <sup>2</sup> ]              | 227,72 |
| Área de instalaciones auxiliares [m <sup>2</sup> ] | 290,05 |

TABLA D.6 COSTOS UNITARIOS DE TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

|                             |                              |
|-----------------------------|------------------------------|
| Costo unitario construcción | Costo [USD m <sup>-2</sup> ] |
| galpón AA categoría b       | 69,4                         |
| Edificación A categoría 1   | 449,35                       |

TABLA D.7 COSTO INSTALACIONES AUXILIARES BASADO EN LA EXPERIENCIA DE MINERA PULLALLI

| Instalaciones auxiliares             | Pullalli          |                       |            | Planta de tratamiento de TCI |           |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------------|------------|------------------------------|-----------|
|                                      | [m <sup>2</sup> ] | USD m <sup>-2</sup> ] | [USD]      | [m <sup>2</sup> ]            | [USD]     |
| Maestranza de mantención             | 50                | \$ 69                 | \$ 3.470   | 25                           | \$ 1.735  |
| Bodega control de materiales         | 150               | \$ 69                 | \$ 10.410  | 75                           | \$ 5.205  |
| Bodega lubricantes                   | 12                | \$ 69                 | \$ 833     | 6                            | \$ 416    |
| Bodega reactivos                     | 50                | \$ 69                 | \$ 3.470   | 25                           | \$ 1.735  |
| Casino industrial                    | 150               | \$ 449                | \$ 67.403  | 75                           | \$ 33.701 |
| Oficinas administrativas             | 36                | \$ 449                | \$ 16.177  | 25,2                         | \$ 8.088  |
| Depto. prevención de riesgos 1° Aux. | 16                | \$ 449                | \$ 7.190   | 14,4                         | \$ 3.595  |
| Vestidores                           | 32                | \$ 449                | \$ 14.379  | 22,4                         | \$ 7.190  |
| Laboratorio análisis a fuego         | 31,5              | \$ 449                | \$ 14.155  | 22,05                        | \$ 7.077  |
| Vías de acceso                       | -                 |                       |            |                              |           |
| Total [USD]                          | -                 |                       | \$ 137.485 | -                            | \$ 68.743 |

TABLA D.8 INVERSIÓN TOTAL EDIFICACIONES

| Inversión Total               |             |
|-------------------------------|-------------|
| Edificaciones                 | Costo [USD] |
| Edificación área operación    | \$ 15.804   |
| Subestación eléctrica         | \$ 30.000   |
| Pozo industrial               | \$ 54.000   |
| Instalaciones auxiliares      | \$ 68.743   |
| Instrumentación y control     | \$ 157.360  |
| Galpón de residuos            | \$ 1.580    |
| Costo total edificación [USD] | \$ 327.487  |

TABLA D.9 COSTOS VARIABLES DE SERVICIOS USADOS EN LAS OPERACIONES

| Costos variables servicios |                |                   |                |                         |                   |
|----------------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------------|-------------------|
| Servicio industrial        | Cantidad anual |                   | Costo unitario |                         | Costo total [USD] |
| Agua                       | 527131,88      | [m <sup>3</sup> ] | 1,45           | [USD m <sup>-3</sup> ]  | \$ 764.341        |
| Energía eléctrica          | 41822272,83    | [KW]              | 0,0026         | [USD KW <sup>-1</sup> ] | \$ 108.738        |
| Costo total [USD]          |                |                   |                |                         | \$ 873.079        |

TABLA D.10 COSTO VARIABLE DE REACTIVOS USADOS EN LAS OPERACIONES

| Costo variable insumos                        |              |                                       |                   |
|-----------------------------------------------|--------------|---------------------------------------|-------------------|
| Reactivo                                      | Cantidad [t] | Costo unitario [USD t <sup>-1</sup> ] | Costo total [USD] |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                | 65,12        | \$ 64                                 | \$4.168           |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>                 | 9,25         | \$ 6                                  | \$56              |
| Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,01         | \$ 12                                 | \$0               |
| NH <sub>4</sub> OH                            | 0,00         | \$ 114                                | \$0               |
| NaHS                                          | 1,01         | \$ 400                                | \$406             |
| CaO                                           | 11,42        | \$ 138                                | \$1.572           |
| MTA 5011                                      | 0,00         | \$ 6                                  | -                 |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>               | 0,00         | \$ 12                                 | \$0               |
| Na <sub>2</sub> NO <sub>3</sub>               | 0,00         | \$ 19                                 | \$0               |

|                                                                    |      |      |         |
|--------------------------------------------------------------------|------|------|---------|
| Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> · 10H <sub>2</sub> O | 0,00 | \$ 8 | \$0     |
| SiO <sub>2</sub>                                                   | 0,00 | \$ 0 | \$0     |
| Costo total [USD]                                                  |      |      | \$6.202 |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| Costo variable total [USD] | \$ 879.281 |
|----------------------------|------------|

TABLA D.11 COSTO FIJO PROYECTO

| Costo fijo             |                      |
|------------------------|----------------------|
| Tipo de costo fijo     | Costos [USD] anuales |
| Salarios               | \$ 52.596            |
| Mantenimiento          | \$ 78.680            |
| Gastos administrativos | \$ 10.519            |
| Costo total [USD]      | \$ 141.795           |

TABLA D.12 SALARIOS DE TRABAJADORES EN LA PLANTA Y EN EL ÁREA ADMINISTRATIVA

| Salarios de personal en planta |          |                     |               |
|--------------------------------|----------|---------------------|---------------|
| Cargo                          | Cantidad | Salario [USD]/cargo | Salario [USD] |
| Gerente de producción          | 1        | \$ 4.320            | \$ 4.320      |

|               |    |          |           |
|---------------|----|----------|-----------|
| Secretaria    | 1  | \$ 540   | \$ 540    |
| Operarios     | 35 | \$ 1.026 | \$ 35.910 |
| Conserjes     | 4  | \$ 486   | \$ 1.944  |
| Guardias      | 4  | \$ 486   | \$ 1.944  |
| Choferes      | 3  | \$ 1.026 | \$ 3.078  |
| Jefe de turno | 3  | \$ 1.620 | \$ 4.860  |
| Cocineros     | 0  | \$ -     | \$ -      |
| Total [USD]   |    | \$ 9.504 | \$ 52.596 |

## E.Evaluación de Impacto Ambiental

### 1. Tablas: Normativas medio ambientales

TABLA E.1 EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN CONTINUA A VARIOS NIVELES DE CO (REVECO, 2015)

| Efectos de la exposición continua a varios niveles de CO |                             |                                                  |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|
| Niveles de CO [ppm]                                      | Porcentaje alcanzado Hem-CO | Efectos sobre el organismo humano                |
| 10                                                       | 2                           | Somnolencia, disminución de la audición          |
| 30                                                       | 5                           | Alteraciones del juicio, de la percepción visual |

|      |    |                                 |
|------|----|---------------------------------|
| 100  | 15 | Cefalea                         |
| 250  | 60 | Muerte después de algunas horas |
| 1000 | 66 | Muerte súbita (en minutos)      |

TABLA E.2 VALORES INDICAN INICIO DE CADA TRAMO DE CALIDAD (VALORES EN [PPM]) FUENTE: RESOLUCIÓN 369 DEL 12.04.88 DEL MINISTERIO DE SALUD (REVECO, 2015)

| índice  | índice de gases y marial particulado respirable |                          |              |
|---------|-------------------------------------------------|--------------------------|--------------|
|         | CO<br>(8h)                                      | NO <sub>2</sub><br>(1 h) | Calificación |
| 0-100   | 0                                               | 0                        | Bueno        |
| 101-200 | 9                                               | 0,23                     | Regular      |
| 201-300 | 23                                              | 0,76                     | Malo         |
| 301-400 | 36                                              | 1,29                     | Crítico      |
| 401-500 | 50                                              | 1,83                     | Peligroso    |

TABLA E.3 VALORES LÍMITES DE EMISIÓN PARA INCINERACIÓN, CO-INCINERACIÓN Y CO-PROCESAMIENTO (AVENDAÑO, 2017)

| Contaminante                                                                | Unidad              | Límite máximo permitido |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Material particulado                                                        | mg Nm <sup>-3</sup> | 30                      |
| Dióxido de azufre                                                           | mg Nm <sup>-3</sup> | 50                      |
| Óxido de nitrógeno                                                          | mg Nm <sup>-3</sup> | 300                     |
| Carbono orgánico total                                                      | mg Nm <sup>-3</sup> | 20                      |
| Monóxido de carbono                                                         | mg Nm <sup>-3</sup> | 50                      |
| Cadmio y sus compuestos                                                     | mg Nm <sup>-3</sup> | 0,1                     |
| Mercurios y sus compuestos                                                  | mg Nm <sup>-3</sup> | 0,1                     |
| Plomo + Zinc y sus compuestos, suma total                                   | mg Nm <sup>-3</sup> | 1                       |
| Arsenico + cobalto + níquel + selenio+ telurio y sus compuestos, suma total | mg Nm <sup>-3</sup> | 1                       |
| Antimonio+ cromo +                                                          | mg Nm <sup>-3</sup> | 1                       |

|                                                                 |                     |     |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------|-----|
| manganeso + vanadio                                             |                     |     |
| Compuesto inorgánicos indicados, como ácido clorhídrico         | mg Nm <sup>-3</sup> | 20  |
| Compuestos fluorados gaseosos indicados como ácido fluorhídrico | mg Nm <sup>-3</sup> | 2   |
| Benceno                                                         | mg Nm <sup>-3</sup> | 5   |
| Dioxinas y furanos                                              | mg Nm <sup>-3</sup> | 0,2 |

TABLA E.4 VALORES LÍMITE DE EMISIÓN PARA LA REGULACIÓN DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES SUPERFICIALES (AVENDAÑO, 2017)

| Contaminante    | Unidad             | Límite máximo permitido |
|-----------------|--------------------|-------------------------|
| Aluminio        | mg L <sup>-1</sup> | 20                      |
| Arsénico        | mg L <sup>-1</sup> | 5                       |
| Boro            | mg L <sup>-1</sup> | 0,5                     |
| Cadmio          | mg L <sup>-1</sup> | 0,75                    |
| Cianuro         | mg L <sup>-1</sup> | 0,20                    |
| Cobre total     | mg L <sup>-1</sup> | 1                       |
| Hierro disuelto | mg L <sup>-1</sup> | 5                       |
| Manganeso       | mg L <sup>-1</sup> | 0,3                     |
| Mercurio        | mg L <sup>-1</sup> | 0,001                   |
| Molibdeno       | mg L <sup>-1</sup> | 1                       |
| Níquel          | mg L <sup>-1</sup> | 0,2                     |
| Nitrógeno total | mg L <sup>-1</sup> | 50                      |
| pH              | Unidad             | 6-8,5                   |
| Plomo           | mg L <sup>-1</sup> | 0,05                    |
| Sulfatos        | mg L <sup>-1</sup> | 1000                    |
| Sulfuros        | mg L <sup>-1</sup> | 1                       |
| Temperatura     | °C                 | 35                      |
| Zinc            | mg L <sup>-1</sup> | 3                       |

TABLA E.5 DATOS GASES GENERADOS ETAPA DE FUSIÓN ÁREA 400

|                                                         | PM [g mol <sup>-1</sup> ] | Densidad [g cm <sup>-3</sup> ] |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| CO                                                      | 28                        | 0,00114                        |
| N <sub>2</sub>                                          | 28                        | 0,00145                        |
| H <sub>2</sub> O                                        | 18                        | 0,00060                        |
| O <sub>2</sub>                                          | 32                        | 0,00144                        |
| F vol gases <sub>F<sub>G1</sub></sub> [m <sup>3</sup> ] | 0,50                      |                                |

TABLA E.6 ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO DECRETO N°29

| Especies gaseosas | F <sub>G1</sub>                    | Cumple normativa |
|-------------------|------------------------------------|------------------|
|                   | mg N <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup> | Si/No            |
| H <sub>2</sub> O  | 518400                             | -                |
| CO                | 53200                              | No               |
| N <sub>2</sub>    | 22080                              | -                |
| O <sub>2</sub>    | 61440                              | -                |

TABLA E.7 ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO DECRETO N°90

| Especies iónicas             | F46                | Cumple normativa |
|------------------------------|--------------------|------------------|
|                              | mg L <sup>-1</sup> | Si/No            |
| Na <sup>+</sup>              | 1878               | -                |
| Ca <sup>2+</sup>             | 3699               | -                |
| SO <sub>4</sub> <sup>+</sup> | 8884               | No               |
| Al <sup>3+</sup>             | 662                | No               |
| Cu <sup>2+</sup>             | 645                | No               |
| Pb <sup>2+</sup>             | 89                 | No               |
| Zn <sup>2+</sup>             | 40                 | No               |
| Ni <sup>2+</sup>             | 45                 | No               |
| Fe <sup>2+</sup>             | 159                | -                |
| Sn <sup>2+</sup>             | 81                 | No               |
| pH                           | 8                  | Sí               |
| Temperatura                  | amb                | Sí               |