



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

**Facultad De Ingeniería Química Y Metalúrgica
Escuela Profesional de Ingeniería Química**

**La hidrometalurgia en los procesos extractivos y la separación de
imperfecciones en los metales de las mineras peruanas**

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

Autor

Walter Yuniór Silva Ayala

Asesor

Mtro. Algemiro Julio Muñoz Vilela

HUACHO - PERÚ

2023

Documento_de_hidro_

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|--|-----|
| 1 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 13% |
| 2 | oa.upm.es Fuente de Internet | <1% |
| 3 | Submitted to Tecsup Trabajo del estudiante | <1% |
| 4 | www.tesis.unjbg.edu.pe Fuente de Internet | <1% |
| 5 | repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet | <1% |
| 6 | repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet | <1% |
| 7 | Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante | <1% |
| 8 | repositorioinstitucional.uson.mx Fuente de Internet | <1% |
| 9 | www.sgm.gob.mx Fuente de Internet | <1% |

La hidrometalurgia en los procesos extractivos y la
separación de imperfecciones en los metales
de las mineras peruanas

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Nota del autor:

Egresado de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia,

de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica,

presento la Tesis con la finalidad de

obtener mi Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico,

esta investigación ha sido desarrollada y

financiada económicamente por aporte propio;

agradezco por las contribuciones y asesoría al

M(°). ALGEMIRO JULIO MUÑOZ VILELA en la elaboración de la presente tesis.

ASESOR Y MIEMBROS DE JURADO

Dr. ALBERTO IRHAAM SÁNCHEZ GUZMÁN
Presidente

Dr. BERARDO BEDER RUIZ SÁNCHEZ
Secretario

Dr. VÍCTOR RAÚL COCA RAMÍREZ
Vocal

M(o). ALGEMIRO JULIO MUÑOZ VILELA
Asesor

DEDICATORIA

Quiero dedicar la presente, a mis padres que fueron unas personas muy importantes en mis estudios y que a un paso de ser profesional les agradezco infinitamente por su apoyo; va para ellos mis bendiciones y que con mucho gusto retribuiré en mi andar profesional.

El Autor

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer por el aporte a los colaboradores y profesionales que pertenecen al rubro de la ingeniería metalurgia; especialmente en las que día a día dedican su labor profesional en las minas peruanas.

Agradecer al M(o). ALGEMIRO JULIO MUÑOZ VILELA, por la asesoría de la presente, por encaminarme en el seguimiento del proyecto de investigación.

Preciso y eterna gratitud por la importancia presentada a mi investigación y las contribuciones formuladas.

A los ingenieros especialistas por las evaluaciones, recomendaciones y su apoyo en el desarrollo de nuestra investigación, así como validar mi instrumento de recolección de información que fueron claves en la evaluación de las variables usadas.

Consecutivamente, agradecer a mis familiares y compañeros de aulas que aportaron en la presente para que todo quede terminado.

El Autor.

RESUMEN

Objetivo: Determinar si existe relación entre la hidrometalurgia en los procesos extractivos con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. **Métodos:** La Población está constituida por aquellos que tienen participación directa para la presente investigación, tales como: profesionales y operadores de las empresas mineras peruanas; en cuanto a la muestra se calculó una cantidad de 60 personas integrantes que tienen estrecha relación con la investigación. Se utilizó la Técnica de Observación, Análisis Documental, Encuesta y Entrevista, para medir la relación de variables: La hidrometalurgia en los procesos extractivos y la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. Con este indicador de alfa de Cronbach se indica que el Cuestionario tiene un 83,2% de validez. **Resultados:** En la presente tesis de investigación se enfoca los diversos procesos tanto hidrometalúrgicos como métodos de nuevas separaciones de más metales que existen en nuestro país como son los casos de lixiviación, concentración y purificación de soluciones; y por último la electroobtención. Planteando una relación entre la hidrometalurgia en sus procesos extractivos con la separación de imperfecciones en los metales. Además, es de aclarar que también detallamos la aplicación de pirometalurgia como otra alternativa de separación de nuevos o más minerales. **Conclusiones:** Con un 95% de confianza se comprobó que la hidrometalurgia en procesos extractivos si se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

Palabras claves: hidrometalurgia, separación de imperfecciones en los metales y mineras peruanas.

ABSTRACT

Objective: To determine if there is a relationship between hydrometallurgy in extractive processes with the separation of imperfections in metals from Peruvian mining companies. **Methods:** The population is made up of those who have direct participation in this research, such as: professionals and operators of Peruvian mining companies; Regarding the sample, a number of 60 members who are closely related to the investigation were calculated. The Observation Technique, Documentary Analysis, Survey and Interview was used to measure the relationship of variables: Hydrometallurgy in extractive processes and the separation of imperfections in metals from Peruvian mining companies. With this Cronbach's alpha indicator, it is indicated that the Questionnaire has 83.2% validity. **Results:** This research thesis focuses on the various hydrometallurgical processes as well as methods of new separations of more metals that exist in our country, such as the cases of leaching, concentration and purification of solutions; and finally electrowinning. Raising a relationship between hydrometallurgy in its extractive processes with the separation of imperfections in metals. In addition, it is clear that we also detail the application of pyrometallurgy as another alternative for the separation of new or more minerals. **Conclusions:** With 95% confidence, it was verified that hydrometallurgy in extractive processes is related to the separation of imperfections in metals from Peruvian mining companies.

Keywords: hydrometallurgy, separation of imperfections in metals and Peruvian mining

INDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN | 12 |
| CAP. I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 14 |
| 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA | 14 |
| 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 16 |
| 1.2.1 Problema general | 16 |
| 1.2.2 Problemas específicos | 16 |
| 1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN | 16 |
| 1.3.1 Objetivo general | 16 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 17 |
| 1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 17 |
| 1.5 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 19 |
| 1.5.1 Delimitación Geográfica | 19 |
| 1.5.2 Delimitación Temporal | 19 |
| 1.5.3 Delimitación de Recursos | 19 |
| 1.6 VIABILIDAD | 20 |
| CAP. II: MARCO TEÓRICO | 21 |
| 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN | 21 |
| 2.1.1 Investigaciones Internacionales | 21 |
| 2.1.2 Investigaciones Nacionales | 25 |
| 2.2 BASES TEÓRICAS | 30 |
| 2.2.1 La Hidrometalurgia en los procesos extractivos | 30 |
| 2.2.2 Separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas | 54 |
| 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS | 62 |
| 2.4 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS | 65 |
| 2.4.1 Hipótesis General | 65 |
| 2.4.2 Hipótesis Específica | 65 |
| 2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES | 66 |
| CAP. III: METODOLOGÍA | 67 |
| 3.1 DISEÑO METODOLÓGICO | 67 |
| 3.1.1 Tipo de Investigación | 67 |
| 3.1.2 Nivel | 67 |
| 3.1.3 Enfoque | 67 |
| 3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA | 68 |
| 3.2.1 Población | 68 |
| 3.2.2 Muestra | 68 |
| 3.2.3 Técnicas | 70 |
| 3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 70 |
| 3.3.1 Técnicas a Emplear | 70 |
| 3.3.2 Descripción de los Instrumentos | 70 |
| 3.3.3 Validez de los Instrumentos | 71 |
| 3.4 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN | 71 |
| 3.5 MATRIZ DE CONSISTENCIA | 72 |
| CAP. IV: RESULTADOS | 73 |
| 4.1 RESULTADOS TEÓRICOS | 73 |
| 4.2 RESULTADOS METODOLÓGICOS | 74 |
| 4.2.1 Validez del Instrumento | 74 |
| 4.2.2 Descripción de los Instrumentos | 76 |
| 4.2.3 Tablas y gráficos estadísticos | 78 |
| 4.2.4 Contrastación de hipótesis | 97 |

| | |
|--|-----|
| CAP. V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 106 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 106 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 107 |
| CAP. VI: REFERENCIAS | 108 |
| 6.1 FUENTES BIBLIOGRÁFICAS | 108 |
| 6.2 FUENTES ELECTRÓNICAS | 110 |
| ANEXOS | 111 |

INDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura N° 01: Etapas Básicas de los procesos hidrometalúrgicos. | 37 |
| Figura N° 02: Diagrama de flujos para beneficio de minerales. | 41 |
| Figura N° 03: Consumo de energía en minería y metalurgia. | 51 |
| Figura N° 04: Esquema típico de este tipo de procesos. | 57 |
| Figura N° 05: Esquema de la extracción por solventes. | 59 |
| Figura N° 06: Esquema Básico de una celda electroquímica, que corresponde a un reactor de electroobtención. | 61 |
| Figura N° 07: Respuesta a la pregunta N° 1 del cuestionario | 78 |
| Figura N° 25: Respuesta a la pregunta N° 19 del cuestionario | 96 |

INDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 01: Consumo de energía en planta minera mecánica | 52 |
| Tabla 02: Consumo de energía en el proceso de chancado | 53 |
| Tabla03: Consumo de combustible (diesel) en planta minera metálica | 53 |
| Tabla 04: Calificación de los Expertos | 75 |
| Tabla 05: Calificación de los Expertos | 76 |
| Tabla 06: Alpha de Cronbach | 77 |
| Tabla 07: Escala de confiabilidad | 77 |
| Tabla 08: Pregunta N° 01 del cuestionario | 78 |
| Tabla 26: Pregunta N° 19 del cuestionario | 96 |
| Tabla 27: $X1 \rightarrow Y$ | 97 |
| Tabla 28: Prueba chi cuadrado | 98 |
| Tabla 29: $X2 \rightarrow Y$ | 99 |
| Tabla 30: Prueba chi cuadrado | 99 |
| Tabla 31: $X3 \rightarrow Y$ | 100 |
| Tabla 32: Prueba chi cuadrado | 100 |
| Tabla 33: $X4 \rightarrow Y$ | 101 |
| Tabla 34: Prueba chi cuadrado | 102 |
| Tabla 35: $X \rightarrow Y$ | 103 |
| Tabla 36: Prueba chi cuadrado | 103 |
| Tabla 37: Resumen de Contrastación de Hipótesis | 104 |

INTRODUCCIÓN

En el contexto histórico podemos ver que nuestro país tuvo el privilegio en América de realizar las primeras experiencias en la hidrometalurgia del tratamiento de aguas de mina en 1637 con Alonso Barba para extraer cobre. Pasaron los años hasta que 1848 el químico Pedro Hugón instaló en Arqueta (Cajamarca) una planta de lixiviación. En Hualgayoc en 1890 se iniciaron los primeros ensayos de lixiviación, para que un año más tarde instalarse oficinas de lixiviación en el mismo Hualgayoc y en Bambamarca. En 1892 se instalan plantas de lixiviación con hiposulfito de sodio en San José (Castrovirreyna), Gazuna (Cajatambo) y en Pilancos (Hualgayoc). Y la compañía Minera Pataz (El Gigante) empezó con el tratamiento de minerales de oro por el método de cianuración en 1895. Ya en 1897 funcionaban en nuestro país trece plantas de lixiviación.

Pasaron los años hasta que en 1945 en nuestro país se comience a producir soluciones de sulfato de cinc a partir de minerales sulfurados. En 1975 se empieza aplicar el sistema de intercambio Iónico en Cerro Verde.

Desde la década de 1980 emergen plantas hidrometalúrgicas de envergadura tales como: Cajamarquilla, Cerro Verde, planta de agua de mina de Cerro de Pasco, Yanacocha y otros que se están materializando con buenas perspectivas para desarrollar las tecnologías limpias en nuestro país.

En el capítulo 1, se detallan las situaciones problemáticas planteadas sobre las bases de otros estudios donde se usan la hidrometalurgia en los procesos extractivos y la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas y/o bibliografías, análisis exploratorios y herramientas útiles dirigidos a las problemáticas que se suscitan en la obtención de más metales.

En el capítulo 2, nominado marco teórico, se describen estudios nacionales y del exterior que utilizo para afianzar mi investigación; de tal modo se expresan las bases teóricas y de las ciencias de las variables estudiadas (la hidrometalurgia en

los procesos extractivos y la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas).

En el capítulo 3, se detalla las teorías del encaje, se dicen los medios importantes de los parámetros de investigación como: hipótesis, variables, tipo de investigación, diseño, método de estudio, población y muestra, técnicas de recojo de datos y método de tratamiento de contenidos.

En el capítulo 4, denominado resultados, se precisan el proceso a seguir de la aplicación, descripción y sustentación de la relación de la hidrometalurgia en los procesos extractivos y la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas y la discusión del análisis de las consecuencias y los resultados, se presentan los hallazgos explorados y expresados en tablas estadísticas, gráficos y medidas de resumen. Complementado con interpretaciones y prueba de hipótesis, de acuerdo a los objetivos generales y específicos establecidos previamente. Enseguida se discuten los resultados destacando nuestra opinión sobre la validez de los resultados y estableciendo la relación con los antecedentes y las teorías precisados en el estudio.

En la parte final del trabajo de investigación se formulan de manera puntual las conclusiones más relevantes, se plantean recomendaciones dirigidas a los representantes o inversionistas de todas las empresas mineras del Perú. Y en la sección de anexos se adjuntan las evidencias que contribuyen a lograr la credibilidad del estudio.

El Autor.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En nuestro país, al igual que muchos otros se encuentran recursos importantes en el subsuelo, aguas y por aire, que toman grandes valores, para la explotación con beneficio o desarrollo y grandes utilidades empresariales y sociales.

Apoyado en leyes o normas regularizadas con el transcurrir de criterios o políticas de gobierno, distinguiendo un cuidado ambiental, social y personal de la humanidad o los habitantes.

Y, justamente por esta actividad ocurren un sin número de inconvenientes que muchas veces pone en conflicto que paralizan las actividades programadas perjudicando a grandes mayorías que dependen de las actividades mineras.

Es por ello, que en la presente investigación se desarrolla métodos extractivos que logra optimizar los procesos permitiendo conseguir tener menos desperdicios y la tarea más principal poder separar las imperfecciones en los metales obtenidos de minerales mediante procesos o métodos que en primera instancia se empleó solo la trituración o la quema del mineral sino se ha optado por lavados, o mejor dicho empleo de soluciones acuosas a bajas temperaturas que cada vez se rescatan o recupera más metales para aumentar la productividad.

Materia de la presente investigación es el aporte de la hidrometalurgia que es la rama de la metalurgia extractiva que cubre la extracción y recuperación de metales usando soluciones líquidas, acuosas y orgánicas; obteniendo metales y/o compuestos desde sus minerales o materiales de reciclaje (chatarras, escorias, cementos metálicos, barras anódicos, etc).

Mediante ello, se busca relacionar la hidrometalurgia en procesos extractivos con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas; buscando analizar que otros beneficios adicionales predominan con el empleo de métodos extractivos en soluciones acuosas muy distintas a las que se usan como la trituración, machacado, etc. Comparamos los bajos costos en las cadenas cíclicas o que directamente tienen que ver con los metales. Por otro lado, se compara, analiza o se seleccionan que métodos se deberá emplear en la búsqueda de separar los metales muy diversos como son los hidrometalúrgicos o pirometalúrgicos y por último analizar el ahorro de combustibles en el uso de dichos métodos extractivos como la electricidad o el petróleo.

Finalmente, determinar la separación de imperfecciones en los metales de las mineras del Perú empleando la Lixiviación, Concentración, Purificación de Soluciones, así como la Electroobtención como aporte en separación de otros metales.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la hidrometalurgia en los procesos extractivos se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera los beneficios de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas?
- ¿De qué manera los costos de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas?
- ¿De qué manera la selección de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas?
- ¿De qué manera el ahorro de combustibles de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Determinar si existe relación entre la hidrometalurgia en los procesos extractivos con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar la relación entre los beneficios de la hidrometalurgia en los procesos extractivos con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.
- Analizar la relación entre los costos de la hidrometalurgia en los procesos extractivos con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.
- Analizar la relación entre la selección de la hidrometalurgia en los procesos extractivos con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.
- Analizar la relación entre el ahorro de combustibles de la hidrometalurgia en los procesos extractivos con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación, se justifica, acorde a los aspectos siguientes:

- a) **Justificación Técnica:** La minería es una actividad del sector primario de la economía de amplia cobertura en el ámbito mundial y es indispensable para el suministro de minerales, los cuales a su vez, son la base de la cadena productiva en la producción de una buena mayoría de materiales que se requieren en la actividad humana.

Además de la evaluación y estimación de reservas en los depósitos minerales, el análisis de las leyes y/o tenores de las sustancias en los yacimientos es la actividad que particulariza la actividad profesional de los ingenieros de Minas y Metalurgia, ya que es estos profesionales mediante el uso de esta información diseñan, planean, dirigen los montajes y ejecutan las labores de explotación en las minas, en las

plantas de beneficio de minerales y eventualmente en plantas de extracción metalúrgicas más complejas.

- b) Justificación Legal:** Durante el periodo 2006-2011 se desarrolló un marco normativo e institucional que tuvo como objetivo fundamental la lucha contra la minería ilegal a través de su interdicción y control; y a su vez, brindar asistencia técnica y procedimientos ágiles y simplificados para formalizar a los operadores mineros que calificaran para tal fin. La formalización, así como las acciones de control e interdicción para el caso de la minería ilegal, ha ido avanzando de manera progresiva, enfrentando y superando dificultades que tienen décadas de antigüedad; siendo necesario seguir en este camino a fin de consolidar estos esfuerzos que buscan cumplir los objetivos sociales, ambientales y económicos expresados en dichas regulaciones. Sin embargo, es necesario que el debate sea abierto, transparente y orientado a la búsqueda del consenso. Son un conjunto de elementos que están en discusión frente a tan difícil tarea. Podemos señalar, sin temor a equivocarnos, que la ruta definida por el proceso es la correcta y que, con los ajustes requeridos al mismo, avanzaremos con mayor rapidez en el cumplimiento del objetivo. Es una apuesta de todos los peruanos que buscan una mejor calidad de vida y condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo del ciudadano.
- c) Justificación Económica:** Los trabajos o planes ayudan al crecimiento de la recaudación fiscal. Las proposiciones se concretan en engrandecer el aumento de beneficios hacia las empresas y la satisfacción de mineras y trabajadores. Por lo tanto, la solución a la problemática que se presenten reducirán el margen de pérdida por entrega de más minerales y/o metales.
- d) Justificación Social:** La minería responsable tiene beneficios directos sobre el crecimiento económico del Perú y la mejora de la calidad de vida de la población. Y es justo este detalle el que debe ser difundido:

el impacto positivo de esta actividad económica, para romper mitos en la mente de los peruanos y los empresarios.

Actualmente, antes de hablar de minería, tenemos que afirmar (y comprobar mediante estudios socio-ambientales) que ésta no afecta el agua, la agricultura y el desarrollo, y que más bien aporta ganancias en sectores como educación, salud o defensa.

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Delimitación Geográfica

El proyecto de investigación se circunscribe en el - Perú.

1.5.2. Delimitación Temporal

El objeto de la investigación se desarrolla en el año (2022), formulando la hidrometalurgia en los procesos extractivos y la separación de las imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

1.5.3. Delimitación de Recursos

El proyecto de investigación se limita por ser un análisis relacional entre la hidrometalurgia en los procesos extractivos y la separación de las imperfecciones en los metales de las mineras peruanas; pues el acceso es confidencial, además la presente investigación no es experimental y que se está evaluando determinar dicha relación con los métodos hidrometalúrgicos para lograr nuevas técnicas de separación de más metales.

1.6. VIABILIDAD

La investigación resulta viable por las siguientes características:

- Se cuenta con el financiamiento necesario para la presente investigación.

- Accesibilidad de los datos, en referencias anteriores de la hidrometalurgia en los procesos extractivos en las mineras peruanas logrando nuevos métodos o enfoques sobre separación de imperfecciones en los metales.
- Se cuenta con asesor, con vasta experiencia, en metalurgia.
- Se tiene el material bibliográfico especializado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Investigaciones Internacionales:

Cadierno, D. (2020) realizó una tesis titulada: “Estudio de Impacto Ambiental de recuperación de estaño, niobio y tantalio de Mina Penouta (Ourense) Experimento hidrometalurgia” – Universidad Rey Juan Carlos. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Madrid - España. Para optar el título de Ingeniero Ambiental; objetivo: Obtener en una primera fase pirometalurgica estaño y en una segunda fase hidrometalurgica niobio y tantalio, de las balsas y escombreras creadas durante 80 años de extracción del estaño que genero 15 millones de toneladas de residuos. De esta manera, se pone en liza uno de los objetivos principales de la economía circular devolviendo a la cadena de suministro metales que se consideraron desechos. Además, se desarrolla la parte de hidrometalurgia que se encuentra en fase laboratorio. La ruta es lixiviación, extracción, re-extracciones, precipitación y calcinación, todo esto para lograr una pureza del 99% de niobio (Nb_5O_2) y tantalio (Ta_5O_2), obtenido a partir del residuo de estaño de la parte de pirometalurgia. El experimento da resultados satisfactorios cerca del objetivo de recuperación y pureza, debido a que la ley de estos metales no es fija en las menas obtenidas de las balsas y escombreras se debe ajustar el experimento, además de profundizar en la precipitación del tantalio en el que se obtiene un rendimiento muy por debajo del esperado. En conclusión, la ejecución del proyecto de Mina Penouta supone el aprovechamiento sostenible de niobio y tantalio logrando un equilibrio con el medio ambiente durante el tiempo de explotación, así como la recuperación del medio dañado en el pasado.

Hess, J. (2019) realizó una tesis titulada: “Documento sobre Inclusiones Fluidas VIII: exploración de metales preciosos en la veta Don Leopoldo, distrito minero de Alhué, región metropolitana, Chile” – Universidad de Chile – Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas – Departamento de Geología. Chile. Para optar el título profesional de Geólogo; objetivo: Definir al menos tres etapas en las cuales la mineralización procedió. Una primera etapa consiste de la deposición de minerales de ganga, los cuales precipitaron a partir de una solución ebullendo, atrapando inclusiones primarias ricas en vapor. Una segunda etapa se tradujo en la deposición de los principales metales oro y plata, junto con otros minerales económicos, por medio de una solución hidrotermal alcalina y reducida. Por último, una etapa post-mineralización queda marcada por la formación de minerales de alteración como especularita, junto con el atrapamiento de inclusiones ricas en líquido, que dan cuenta de las nuevas condiciones oxidantes.

Castro. H. (2017) realizó una tesis titulada: “Evaluación y optimización del método hidrometalúrgico de recuperación de zinc a partir de los desperdicios de pilas alcalinas a nivel laboratorio” – Universidad de San Carlos de Guatemala – Facultad de Ingeniería, Guatemala. Para optar el título Ingeniero Químico; objetivo: Detallar los resultados del proceso experimental de evaluación y optimización de una metodología experimental funcional para la recuperación de zinc metálico de las pilas alcalinas desechadas implementando un método hidrometalúrgico, variando los parámetros de temperatura, concentración del electrolito y tiempo. El procedimiento experimental global desarrollado para la recuperación de zinc comprende dos partes: la primera consiste en la extracción del zinc del ánodo de la pila; la segunda, en un proceso de electroanálisis para la recuperación del zinc metálico. El proceso inició removiendo la parte del ánodo de la pila alcalina donde se encuentra la pasta con zinc, se secó y se redujo el tamaño de la partícula para facilitar el proceso de extracción. Se realizó la recuperación del zinc por medio de lixiviación con ácido

nítrico; se digiere la muestra por una hora a 90 °C hasta que se evapora el ácido nítrico en su totalidad; posteriormente, se filtró la muestra para eliminar contaminantes indeseables y se reconstituyó con ácido bórico a diferentes concentraciones como electrolito para el análisis. Se determinó la concentración de zinc presente en las muestras por medio de espectrofotometría de absorción atómica obteniendo valores en un rango de 2 000,00 a 6 000,00 mg/L; finalmente se recuperó el zinc metálico por gravimetría de electroanálisis utilizando una celda electroquímica. Se graficó el comportamiento de la masa de zinc recuperada por área de placa utilizada (electroanálisis) en función del tiempo a diferentes condiciones de temperatura 25 °C, 40 °C y 85 °C y concentración de electrolito 0,1 M, 0,5 M y 0,9 M.

Castañeda, J. (2015) realizó una tesis titulada: “Evaluación de los métodos de hidrometalurgia, pirometalurgia y estabilización solidificación en el tratamiento de lodos procedentes de plantas de aguas residuales de procesos de cromado” – Universidad Nacional de Colombia – Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Maestría en Materiales y Procesos. Bogotá - Colombia. Para optar el título de Magister en Ingeniería, Materiales y Procesos; objetivo: Evaluar tres diferentes procesos para el tratamiento de lodos provenientes de plantas de tratamientos de aguas residuales industriales de procesos galvánicos, con altos contenidos de metales como Cu, Cr y Ni; teniendo en cuenta aspectos como la reducción en la toxicidad del lodo, la no generación de subproductos, y la valorización que se les pueda dar. El primero fue el proceso de estabilización solidificación, en el cual se usó arcilla roja para la preparación de baldosas cerámicas; se evaluaron el contenido de lodo en la arcilla 0%, 1%, 5% y 10%, y la temperatura máxima de cocción 1120°C y 1190°C. A las probetas obtenidas se les realizó la prueba estándar de la Environmental Protection Agency - EPA 1311 para determinar su efectividad en la retención de los metales. Además, se les evaluó las propiedades técnicas, mecánicas y microestructurales de

las muestras cocidas. El segundo fue el proceso de la hidrometalurgia, en el cual se usó como agente de extracción ácido sulfúrico 1:1 usando una relación S/L 1/20, se dejó en agitación durante 24 horas y se separó la mezcla por filtración. A los extractos con los metales en dilución se les subió el pH a 5 y 10 con adiciones de NaOH al 30% m/v para precipitarlos y luego separarlos por filtración. El tercero y último fue el de la pirometalurgia, en el cual se usó un horno de inducción donde se fundió un acero de bajo carbono al cual se le adiciono el lodo seco, para su integración en el metal líquido. En este proceso se tuvieron problemas porque se perforó el crisol del horno, generando riesgo para el personal allí presente. Por tal motivo hubo que probar procesos que no implicaran adicionar el lodo dentro del crisol del horno. Como resultados se obtuvo que en el proceso de E/S la retención de los metales fue de más del 99% y se da por micro y macroencapsulado. En la hidrometalurgia la extracción de metales fue de más del 97%. Y en la pirometalurgia la agitación del metal fundido es vital para la integración del lodo.

Guillen, B. (2015) realizó la tesis titulada: “Modelo de comportamiento de variables que afectan a la corrosión y protección catódica de estructuras de acero: Aplicación práctica a las conducciones enterradas y a los sistemas de captación continua de agua en desaladoras” – Universidad Politécnica de Madrid – Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. España. Para optar el grado de Doctor en Ingeniero de Minas; objetivo: Aplicar la Electrónica o Electroquímica Moderna. Un problema importante y nunca resuelto de una forma satisfactoria ha sido la protección contra la corrosión del interior de tuberías de pequeño diámetro. La protección catódica, tiene un brillante porvenir en esta aplicación. El estudio de la protección catódica por corriente impuesta, a través del montaje en el laboratorio de una planta piloto de red de tuberías de acero al carbono, nos permitirá eliminar de forma definitiva lo que con frecuencia se decía, de que la corriente no tiene poder de «desplazamiento». La corrosión

en suelos es un proceso generalmente electroquímico. El metal, con sus imperfecciones superficiales presenta ánodos y cátodos, sirviendo de electrolito el suelo, debido a la humedad y a las sales solubles que en él existen. Se han determinado 226 muestras de la Comunidad Autónoma de Madrid de pH, resistividad del medio, capacidad de retención del agua, y campos eléctricos.

2.1.2. Investigaciones Nacionales:

Huaraya, N. (2020) realizó una tesis titulada “Evaluación de los parámetros de operación de un pad de lixiviación de cobre” Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa – Facultad de Ingeniería de Procesos – Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica. Arequipa – Perú. Para optar el título de Ingeniero Metalurgista; objetivo: Evaluar los parámetros de operación del Pad de lixiviación de la mina de Cuajone, que nos permita el beneficio integral de las operaciones en la recuperación del cobre. Los yacimientos mineros de cobre que están conformados principalmente por óxidos, los cuales se están agotando dando paso a, yacimientos mineros de sulfuros secundarios de cobre, los cuales a la actualidad no son explotados adecuadamente debido a la ausencia de una adecuada tecnología para el procesamiento de dichos minerales. Los precios del cobre en Londres caían en los últimos tres meses y se encaminaban a su tercera semana consecutiva de declives, ya que la demanda del metal rojo seguía débil en medio de una prolongada guerra comercial entre Estados Unidos y China. Por lo anterior expuesto la lixiviación de los óxidos de cobre, se requiere evaluar el los principales parámetros de la lixiviación en pad, que nos permita cuantificar la mejor operatividad de las mismas con un beneficio en la mejora del porcentaje de recuperación cobre con el manejo de las variables como son: Concentración de H₂SO₄, flujo de solución y pH. El proceso de lixiviación en el pad mejora con el incremento de la concentración del lixivante H₂SO₄ de 6 a 12 gr/litro, flujo de

solución de 145 m³ /hr y curado de 40 de H₂SO₄Kg/Tn, con una recuperación del 80.30% de cobre; lo que muestra su importancia estos parámetros en la lixiviación de cobre.

Gonzales, L & Salazar, C. (2020) realizaron una tesis titulada: “Influencia de los colectores Xantato Amilico de Potasio y Xantato Isopropílico de sodio en la flotación de Cu - Ag en la planta concentradora Emotsa, Compañía Minera Otapara S.A. Acari - Arequipa” – Universidad Nacional del Centro del Perú – Facultad de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales – Escuela de Ingeniería Comercial. Huancayo – Perú. Para optar el grado académico de Ingeniero Metalurgista y de Materiales; objetivo: Determinar la influencia de los colectores xantato amílico de potasio y xantato isopropílico de sodio en la obtención de concentrados de Cu-Ag, con grado y recuperaciones óptimas para su respectiva comercialización. El xantato amílico de potasio tiene la virtud de ser altamente selectivo y menos usado por ensuciar a los concentrados requeridos, pero no menos importante debido al contenido de elementos que contiene la mena, por otra parte, el xantato isopropílico de sodio, es menos selectivo, pero de uso general; por tanto, se han hallado muy exitosas aplicaciones en la flotación de minerales sulfurosos. Como hipótesis indicamos Los colectores xantato amílico de potasio y xantato isopropílico de sodio influyen significativamente en la calidad de concentrado, mejorando la recuperación Cu-Ag, en la Planta Concentradora Emotsa, compañía minera Otapara S.A. Acari - Arequipa.

Mamani, A. (2019) realizó una tesis titulada: “Lixiviación de minerales finos oxidados de Cobre” – Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Facultad de Ingeniería – Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales. Tacna - Perú. Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial; su objetivo: Realizar un estudio de estos minerales finos marginales, con el fin de demostrar que aún

son tratables, en las diferentes pruebas programadas, considerando primeramente el tratamiento por mallas, se logra la recuperación de cobre entre 45,5 a 58,64 % y en el tratamiento de lixiviación directa del mineral fino se logra recuperaciones de cobre del 33,7 %. Esta solución obtenida posee carga iónica adecuada (0,82 a 2,2 g/L de sulfato). Es común pensar en lixiviación como una simple disolución selectiva del metal deseado, por consiguiente, si se tiene ácido y un mineral, se mezcla en proporciones razonables y se espera que el ácido haga su trabajo, por ende, lo que hasta el momento interesa es la masa del mineral, su ley, el volumen del ácido, su concentración y el tiempo necesario para que la disolución sea completa. Pero si interesa saber cómo ocurre la disolución, como la masa del Cu y concentración del ácido va disminuyendo y cómo aumenta el catión Cu en la solución, para poder predecir mediante un modelo los valores óptimos y hacer proyecciones interpolando el modelo, entonces se debe monitorear el proceso analizando muestras mediante la titulación, para poder calcular el ácido libre, por lo tanto el consumo de ácido, así como la concentración del metal en solución, de acuerdo a estos valores se puede predecir el tiempo óptimo para el proceso, mediante las curvas cinéticas.

Arrieta, L. (2019) realizó una tesis titulada: “Biosorción de metales pesados por hongos filamentosos, aislados de cuerpos de agua altoandinos contaminados con relaves mineros de la sierra central del Perú”- Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Facultad de Ciencias Biológicas – Escuela Profesional de Microbiología y Parasitología. Para optar el título profesional de Biólogo Microbiólogo, Lima – Perú; objetivo: Evaluar la resistencia y la biosorción de Cd II y Cr VI por los hongos filamentosos aislados de los cuerpos de agua de las Regiones Altoandinas de la sierra central de Perú (Lima, Junín y Pasco). Las muestras de agua analizadas procedieron del río San Juan, relaveras Yanamate, Carhuacayan, Huarón, Milpo, y laguna Santa Catalina, usadas en la actualidad como

depósitos de relaves mineros. Los hongos fueron aislados en agar YPG, y seleccionados según su capacidad de resistencia a Cr VI y Cd II, posteriormente fueron identificados fenotípicamente y molecularmente mediante los marcadores ITS 1 e ITS 4. Así mismo se estudiaron el crecimiento de las cepas a diferentes pH y temperaturas, también se determinó la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) para estos metales, finalmente se realizaron las pruebas de biosorción de Cr VI y Cd II, con cepas de *Trichoderma asperellum* (MRYP4) y *Trichoderma sp* (MRMP1). Se identificaron 20 hongos filamentosos de lagunas contaminadas con relaves mineros, las cepas *Trichoderma asperellum* (MRYP4), *Trichoderma sp* (MRMP1) y *Trichoderma koningiopsis* (MSCJ3) presentaron una mayor tolerancia a Cr⁺² y Cd⁺², entre 200 y 800 ppm. Se obtuvo el 73 % de biosorción de Cd II con la cepa *Trichoderma asperellum* (MRYP4) y un 47 % de biosorción de Cr VI con la cepa *Trichoderma sp* (MRMP1), además una biosorción de Cd II de 1.18 mg del metal/g de biomasa en solución acuosa, realizado por la cepa *Trichoderma asperellum* (MRYP4).

Cáceres, S. (2018) realizó una tesis titulada: “Influencia del modelo geometalúrgico para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo de la provincia de Recuay, Ancash - 2017” – Universidad Nacional de Huancavelica – Escuela de Posgrado. Huancavelica – Perú. Para optar el grado académico de Maestro en Ingeniería Geológica, Mención Geometalurgia Aplicada; objetivo: Determinar la influencia del modelo geometalúrgico para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del oro en el yacimiento “Don Marcelo”, el mismo que se encuentra ubicado en las faldas del Cerro Carhuac, Pampa Chururo y la Quebrada Huancacancha, comunidades de San Miguel de Utcuyacu, Ichoca y Marca, en el distrito de Catac, provincia de Recuay del departamento de Ancash. Aproximadamente a 63 Km. de carretera al SE del yacimiento minero “Pierina” y a 55 Km al SE

de la ciudad de Huaraz. El yacimiento está constituido por un cuerpo diseminado de oro de origen hidrotermal, del tipo epitermal de intermedia a alta sulfuración, emplazado en un cruce de estructuras Nor-Oeste/Nor-Este, habiéndose identificado 2 targets con interesante potencial económico en oro, el target Nor-Oeste y el Target Central. La metodología aplicada consistió en el análisis de 4 aspectos de suma importancia: el patrón textural de las rocas y especies minerales, el comportamiento geoquímico y su importancia en las leyes económicas del oro, el estudio mineralógico para determinar cuál es el mineral o minerales que aportan el oro y el comportamiento físico-mecánico para predecir la fragmentación de las rocas mineralizadas. El análisis de cada uno de estos aspectos y una minuciosa observación de la realidad geológica en campo en base a los mapeos litológicos-mineralógicos y la descripción e interpretación de los sondajes ejecutados, nos permitieron elaborar un constructo general geometalúrgico. Se llegó a la conclusión de que el modelo geometalúrgico es de suma importancia para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del oro. Con los diferentes estudios y análisis realizados se comprobó que las rocas volcánicas presentan condiciones favorables (textura, geoquímica, mineralogía, y su comportamiento mineralógico) para optimizar los procesos cuando el proyecto pase a etapa de mina.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. LA HIDROMETALURGIA EN LOS PROCESOS EXTRACTIVOS

METALURGIA EXTRACTIVA

“La Metalurgia es la ciencia, el área de ingeniería y el arte de extraer metales a partir de sus minerales, refinándolos y preparándolos para sus usos en todo el ámbito del trabajo y quehacer humano desde hace siglos”. (INACAP, 2022).

“La preparación mecánica contempla la conminución en sus etapas de chancado primario, chancado secundario y molienda o chancado primario, molienda semiautógena y molienda”. (INACAP, 2022).

“Por otra parte, los metales, entre otros nuestro cobre, se encuentran en la naturaleza, en los minerales, los cuales están formados por las especies mineralógicas valiosas, mezcladas con grandes cantidades de materiales de desecho o ganga”. (INACAP, 2022).

“Una vez extraído el mineral de la mina, el primer paso consiste, en separar físicamente las especies mineralógicas que contienen el o los metales que nosotros deseamos separar de la ganga, triturando y moliendo los minerales; el segundo paso consiste en concentrar las especies valiosas por flotación por espuma (en el caso de minerales sulfurados). Estas operaciones no modifican las características químicas de las especies que han sido separadas y concentradas”. (INACAP, 2022).

“Las etapas siguientes de obtención del cobre a partir de sus concentrados y su posterior refinación son de naturaleza química, ya que debe ser recuperado de la especie mineralógica que lo contiene, donde el metal está unido químicamente a otros elementos, en el caso del cobre, principalmente azufre y fierro; por lo tanto, su separación

sólo es posible a través de un proceso químico. La mayoría de ellos se realiza en hornos a altas temperaturas, aunque algunos se efectúan en soluciones acuosas a temperaturas ambientes; en ciertos casos, también se utiliza la electricidad para producir dichos cambios químicos. En general la obtención de cobre, dependiendo de la naturaleza de la especie mineralógica, involucra una combinación particular de estas etapas”. (INACAP, 2022).

“Una vez que el metal ha sido extraído y refinado debe ser sometido a un tratamiento posterior para ser adaptado al uso que se le ha asignado. La primera parte de esta descripción comienza con la recepción, desde la mina, del mineral (MENA) y su reducción hasta tamaños aptos de concentración por medio de etapas de chancado y en especial de molienda”. (INACAP, 2022).

LA HIDROMETALURGIA

“La aplicación de agua en la extracción de metales limitó, inicialmente, su uso a la separación física de los minerales pesados como el oro nativo y óxido de estaño a partir de depósitos aluviales. Así, en comparación con los antiguos procesos pirometalúrgicos de la extracción de metales de refinación al fuego, los métodos hidrometalúrgicos que emplean reactivos en soluciones acuosas y orgánicas para la producción de metales y compuestos metálicos tienen solo una relativa corta historia”. (Uceda, 2016).

“El cobre fue el primer metal en ser aislado comercialmente a partir de soluciones acuosas. En el siglo XV este metal fue recuperado, por cementación con hierro, del agua ácida subterránea que fluía de los yacimientos de minerales en varias partes de Europa. Sin embargo, la hidrometalurgia no se convirtió en un proceso ampliamente aplicado para la producción de metales hasta principios del siglo XX”. (Uceda, 2016).

“Ha habido muchos intentos, para desarrollar procesos hidrometalúrgicos con el fin de reemplazar los procesos de fundición. Sin embargo, a la fecha los procesos aplicados a concentrados no han sido del todo exitosos. Varios procesos han sido evaluados a nivel de planta piloto y pocos han sido construidos a nivel comercial y operados durante periodos largos. Ejemplo de esto, es el proceso de Tostación-Lixiviación-Electrodeposición de cobre (conocido por sus siglas en inglés como RLE, Roasting, Leaching and Electrowinning), el Proceso Arbiter de lixiviación a temperatura ambiente con sulfato de amonio, el Proceso Duval de lixiviación clorurante, el Proceso Clear también de lixiviación clorurante, y otros procesos evaluados a nivel de planta piloto e industrial pero sin éxito a largo plazo por lo que fueron descontinuados. El proceso RLE para el caso de sulfuros de zinc es la tecnología convencional preferida para la metalurgia del zinc; sin embargo, para los sulfuros de cobre no se ha podido aplicar”. (Uceda, 2016).

“La hidrometalurgia no es un competidor de la pirometalurgia y, de hecho, los procesos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos, muy a menudo, se combinan en la práctica para explotar las mejores características de ambos”. (Uceda, 2016).

“La tendencia general de la metalurgia extractiva moderna a menudo utiliza enfoques pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos integrados. Además, la inclusión de la electrometalurgia subraya el carácter multidisciplinario de la hidrometalurgia. Varios factores pueden ser identificados como responsables de este desarrollo tardío en comparación con la pirometalurgia” (Uceda, 2016):

- “A diferencia de los procesos pirometalúrgicos que sólo requieren alguna forma de carbono como reactivo directo y fuente de energía; la hidrometalurgia utiliza ácidos, álcalis y otros compuestos inorgánicos y orgánicos que eran desconocidos o

disponibles sólo en cantidades muy limitadas antes de la Revolución Industrial”. (Uceda, 2016).

- “Los generadores eléctricos, un producto de la revolución industrial, tenían que estar disponibles para producir electricidad en grandes cantidades a un precio razonable antes que la electrodeposición y la electrorefinación pudieran considerarse como operaciones comerciales”. (Uceda, 2016).
- “La reducción de partículas por métodos mecánicos (chancado y molienda), y la separación de pulpas y manipulación de grandes volúmenes de sólidos y líquidos fueron tecnologías poco desarrolladas hasta la última parte del siglo XIX”. (Uceda, 2016).
- “Los conocimientos básicos carecían de los fundamentos de las reacciones químicas necesarias para lixiviar o disolver los minerales y para recuperar metales a partir de soluciones”. (Uceda, 2016).

“El descubrimiento de Elsner en 1846, un químico alemán, de que el oro podría ser disuelto en soluciones acuosas diluidas de cianuro de sodio fue muy significativo para la hidrometalurgia. La primera aplicación comercial del cianuro fue en la Mina Crown en Nueva Zelanda en 1889, esta tecnología que se caracteriza por su rápido desarrollo, particularmente en los Estados Unidos, de gran parte de los equipos necesarios para los procesamientos hidrometalúrgicos. Todos los equipos tales como agitadores, espesadores y filtros en uso en la actualidad se han desarrollado durante este período”. (Uceda, 2016).

“Los procesos hidrometalúrgicos ahora son capaces de extraer y refinar un número casi ilimitado de metales a un alto grado de pureza, y en muchos casos, en solo unos pocos pasos, la economía de la operación y la pureza de los productos obtenidos, son superiores a aquellos que pueden ser obtenidos por la pirometalurgia”. (Uceda, 2016).

“Actualmente, más del 20% del cobre refinado en el mundo se produce utilizando técnicas hidrometalúrgicas que implican disolución de los valores de cobre (de la purificación de minerales) de la solución de lixiviación resultante y por último la deposición como cátodos de cobre mediante electrodeposición”. (Uceda, 2016).

“En los últimos años, la recuperación de cobre a partir de óxidos y sulfuros de baja ley (< 0.3%) ha recibido una gran cantidad de atención. El costo del tratamiento de este mineral usando tecnología pirometalúrgica convencional que incluye la trituración, molienda, flotación, fundición y refinación, es económicamente prohibitivo y la recuperación de cobre es generalmente baja. La combinación de lixiviación, extracción por solventes y electrodeposición (por sus siglas en Inglés: L-SX-EW) ha tenido un impacto significativo en la producción de cobre, ya que permitió a los productores a obtener mejores recuperaciones, cátodos de cobre de alta calidad y lo más importante, costo de producción más bajos. La tecnología de L-SX-EW se aplicó en el Perú en los años setenta en Cerro Verde por la Empresa Minera del Perú, primero con una planta piloto de lixiviación en bateas (vats), extracción por solventes y electrodeposición, luego se construyó lo que sería la primera planta industrial de esta naturaleza en Hispanoamérica y la cuarta a nivel mundial. Para la operación comercial se optó por la lixiviación en pilas”. (Uceda, 2016).

“Actualmente las reservas de metales del grupo del platino (PGM, Platinum Group Metals) han disminuido y las reservas que quedan, tienen bajas concentraciones de estos metales y generalmente se les encuentra en las matrices de los sulfuros de los metales base. La legislación con respecto a las emisiones gaseosas y la falta de mercados locales para el ácido sulfúrico hace que los procesos de las “concentradoras – fundiciones” no sean tan atractivas desde el punto de vista de cumplimiento con la legislación ambiental. En consecuencia, las rutas hidrometalúrgicas se están considerando cada

vez más como alternativas a las rutas tradicionalmente pirometalúrgicas, particularmente para depósitos de baja ley”. (Uceda, 2016).

“Es importante resaltar el rol promotor que tuvo el estado peruano en la actividad minera través de la Empresa Minero Perú, desarrollando operaciones comerciales de gran éxito tecnológico, en Cerro Verde, Arequipa, diseñada para lixiviar óxidos de cobre, purificación por extracción por solventes y producción de cátodos electrodepositados de cobre; en Ilo, Moquegua, con el diseño, construcción y operación de la refinera de cobre para producir cátodos electrorefinados de cobre y la recuperación de selenio, plata y oro de los lodos anódicos; en Cajamarquilla, Lima, con la refinera de zinc; y en Tintaya, Cusco, con la lixiviación de cobre. Posteriormente todas estas operaciones fueron privatizadas durante el periodo de 1991 – 2002”. (Uceda, 2016).

“La extracción de níquel y cobalto a partir de sus depósitos en lateritas que se producen en muchas partes del mundo ha presentado un desafío para el metalurgista. Están apareciendo una serie de nuevos proyectos de lateritas de níquel, la mayoría se basa en la hidrometalurgia, principalmente la tecnología de lixiviación con ácido sulfúrico a presión e inclusive lixiviación en pilas. El papel desempeñado por la hidrometalurgia en la producción de metales en la última parte del siglo XX y el comienzo del siglo XXI ha sido determinado por la cantidad de investigación que se puede realizar, sin embargo, la hidrometalurgia es todavía una ciencia joven y aún queda mucho por descubrir y aplicar antes que su pleno potencial pueda realizarse”. (Uceda, 2016).

“La hidrometalurgia consiste en la disolución selectiva de metales o minerales en soluciones acuosas, incluyendo los procesos posteriores de separación sólido-líquido, purificación de la solución, y recuperación del metal final. Etimológicamente la palabra

hidrometalurgia proviene de la raíz “hidro” por lo que puede decirse que es el arte y la ciencia de la extracción en un ambiente acuoso de los metales a partir de sus minerales y/o materiales que lo contienen. Por consiguiente, la extracción, recuperación y purificación de metales, es a través de procesos en soluciones acuosas. Los metales son primero disueltos y posteriormente recuperados en otras formas como óxidos e hidróxidos. Como parte de los procesos hidrometalúrgicos también se considera el uso de solventes orgánicos para la separación y concentración selectiva de iones metálicos en solución lo mismo que el uso de resinas de intercambio iónico. Aunque la electrometalurgia de soluciones acuosas de por sí es una disciplina independiente, ésta también se le estudia como parte de la hidrometalurgia ya que por ejemplo la lixiviación se puede enfocar como un fenómeno electroquímico. La electrometalurgia no solo es refinación de metales, se define como los procesos que usan electricidad o el efecto de la electricidad. Por consiguiente, son procesos que usan los efectos electroquímicos de consumo de electricidad. No es un proceso espontáneo de consumo de electricidad, se tiene que aplicar un potencial. Hay hornos de arco eléctrico que usan electricidad para fundición. En este texto estaremos restringidos a la electrodeposición (EW) y electrorefinación (ER) en medios acuosos y que están relacionados a la refinación de metales. Los procesos hidrometalúrgicos se usan para los siguientes propósitos”. (Uceda, 2016):

- Producción de soluciones puras a partir de las cuales se obtienen metales de alta pureza. Por ejemplo, cobre, zinc, oro y plata.
- Producción de compuestos puros de los cuales se puede producir metales puros por otros métodos. Por ejemplo, alúmina pura para producir aluminio metálico.

“Sin embargo, los principios hidrometalúrgicos pueden ser aplicados a una variedad de áreas tales como el reciclado de metales a partir de chatarra, polvos metalúrgicos de las fundiciones, escorias, lodos anódicos, residuos y desperdicios de procesos”. (Uceda, 2016).

ALGUNOS ASPECTOS COMUNES DE LOS PROCESOS HIDROMETALÚRGICOS

1. Soluciones acuosas.
2. La lixiviación es selectiva para un mineral específico.
3. La separación se logra también por precipitación a partir de la solución (por ejemplo, electrolisis para formar un metal puro).
4. Generalmente el principal objetivo es recuperar un metal.
5. La purificación de soluciones puede requerir remoción de impurezas no eliminadas durante la lixiviación o precipitación del metal.
6. Productos metálicos comunes son cátodos (electrolisis), polvo metálico y compuestos.
7. Los procesos son diseñados por:
 - a) La química del mineral/propiedades.
 - b) Las especificaciones del producto.
8. Los diagramas de flujo son diseñados para disminuir costos, pero la presencia específica de impurezas, pueden dictar el diseño.

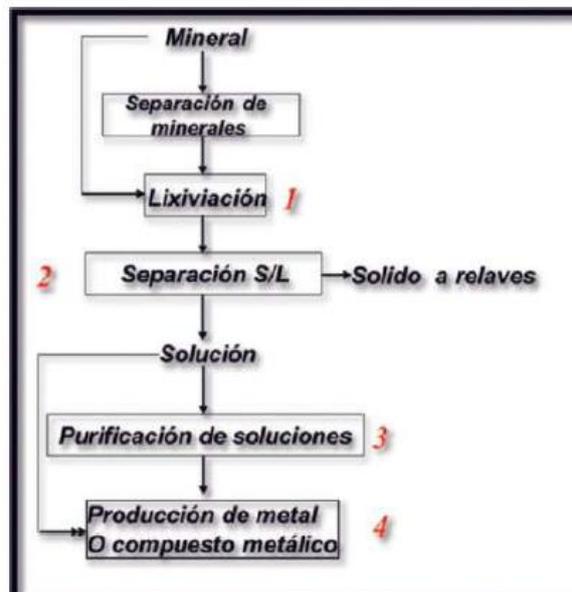


Figura 1: Etapas Básicas de los procesos hidrometalúrgicos. (Uceda, 2016).

BENEFICIO Y TRANSFORMACIÓN DE MINERALES

“Los metales se encuentran en la naturaleza asociados a otros elementos químicos, formando sales y compuestos insolubles. El cobre puede estar presente al estado de sulfuro o de óxido y sólo ocasionalmente al estado de cobre nativo. Cada una de estas formas químicas recibe el nombre de ESPECIE MINERALOGICA. Un mineral, también llamado especie mineralógica, tiene una definición que dice ser -Un compuesto sólido, de ocurrencia natural de origen inorgánico, de composición química definida y con estructura cristalina-, en la naturaleza se han definido cerca de 3500 sustancias con tal característica, pero no más de 200 son los más comunes y solo cerca de 50 a 70 se usan para fines de obtención de metal o con fines de uso industrial. Tan solo 300 son consideradas especies de interés económico. Por razones geológicas estas especies se han concentrado en ciertas zonas del planeta constituyendo los YACIMIENTOS MINERALES. Estos yacimientos pueden contener uno o más metales al estado de diferentes especies mineralógicas, las que, a su vez, se encuentran físicamente asociadas a especies sin valor denominadas GANGA”. (INACAP, 2022).

“Los minerales metálicos o no-metálicos tienen, generalmente, leyes muy bajas que no permiten utilizar directamente las tecnologías establecidas para la obtención de los metales. Es entonces, necesario recurrir a métodos que permitan aumentar el contenido de material útil de las menas. Los métodos de concentración de minerales están constituidos por un conjunto de etapas con objetivos determinados que permitan, en primer lugar, desintegrar la mena, liberar los distintos componentes mineralógicos y luego separarlos obteniendo a lo menos dos productos, uno de alta ley del metal útil denominado CONCENTRADO y otro de muy baja ley denominado RELAVE o COLAS. Se denomina ROCA al material duro que forma la corteza

terrestre y que está compuesta de uno o más minerales”. (INACAP, 2022).

“En la naturaleza son muy escasos los metales puros o nativos por lo que ocasionalmente se hallan concentraciones de ellos. La mayoría de los metales se encuentran asociados químicamente con otros elementos formando compuestos conocidos como minerales. Al proceso que conlleva la extracción propia de la minería metálica se le llama *Metalurgia*”. (Gobierno de Mexico, 2022).

Metalurgia. “Es el arte de extraer metales de sus menas, refinarlos y prepararlos para su uso. El proceso consiste en modificar la naturaleza química de los minerales para separar el metal de sus compuestos sulfúricos, óxidos, silicatos o carbonatos. Estos métodos dependen mucho del tipo de mena y de su composición química”. (Gobierno de Mexico, 2022).

“Los metales obtenidos por los diferentes métodos de la metalurgia extractiva, por lo general contienen impurezas tales como: otros metales, elementos no metálicos, pequeños restos de escoria y gases disueltos, que afectan o favorecen las propiedades del metal o metales de interés. La remoción de tales impurezas es necesaria para permitir que el metal sea trabajado posteriormente. Un estudio metalúrgico tiene como objetivo definir un proceso que obtenga la máxima recuperación del metal al menor costo permitiendo viabilizar un proyecto”. (Gobierno de Mexico, 2022).

“El separar y extraer los metales de las concentraciones de minerales es un trabajo delicado que requiere mucha destreza. Se hace en la actualidad en fundiciones o refinerías e implica o puede implicar el *Beneficio* y la *Transformación*”. (Gobierno de Mexico, 2022).

I. BENEFICIO (refinamiento). “Proceso o conjunto de procesos por el cual o cuales se separan la mena y la ganga”. (Gobierno de Mexico, 2022).

- **Lavado.** “Se elimina el lodo y material orgánico presentes en algunos minerales”. (Gobierno de Mexico, 2022).
- **Trituración.** “Disminución del tamaño de los trozos de roca provenientes de la mina”. (Gobierno de Mexico, 2022).
- **Molienda.** “Reducción del tamaño de partículas relativamente gruesas dejadas por la trituración”. (Gobierno de Mexico, 2022).
- **Homogenización.** “Mezcla de la molienda para compensar las variaciones de la granulometría y composición química”. (Gobierno de Mexico, 2022).
- **Clasificación.** “Separación de una mezcla en dos o más fracciones en base al tamaño”. (Gobierno de Mexico, 2022).
- **Concentración.** “Separación del mineral o metal útil de la ganga”. (Gobierno de Mexico, 2022).
 - Gravimétrica. Aprovecha la diferencia de densidades del material a separar, utiliza una gran cantidad de agua.
 - Flotación. Utiliza un proceso físico-químico complejo (reactivos) para la separación de material.
 - Magnética. Se vale de la atracción de ciertos minerales hacia un campo magnético.

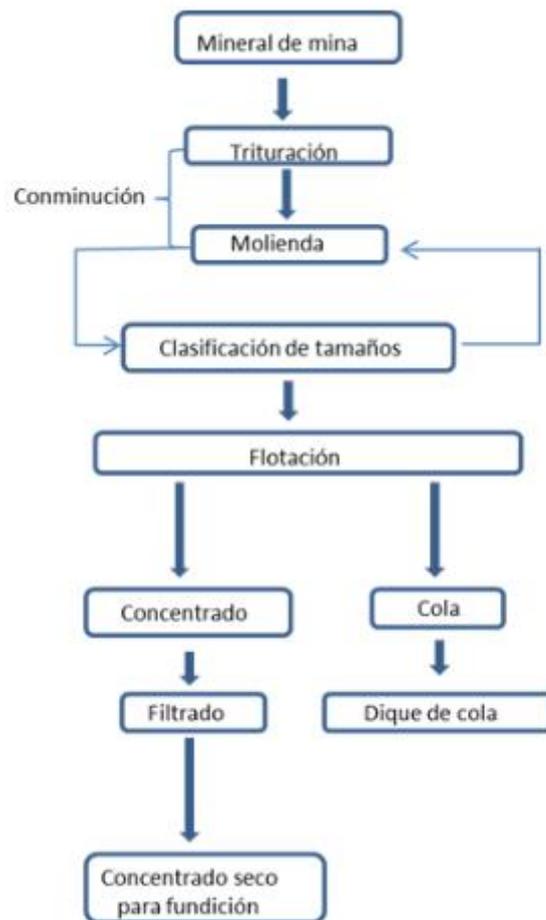


Figura 2: Diagrama de flujos para beneficio de minerales.

II. TRANSFORMACION: “modificación mecánica o química del mineral extraído y beneficiado a través de un proceso industrial, después del cual resulta un producto diferente y no identificable con el mineral en su estado natural”. (Gobierno de Mexico, 2022).

- **Hidrometalurgia.** “Recuperación de los metales de sus menas o de sus concentrados, disolviéndolos mediante algún reactivo para luego precipitarlo (lixiviación)”. (Gobierno de Mexico, 2022).

- **Pirometalurgia.** “Se utiliza calor para la obtención de los metales (tostación, calcinación, coquización, fundición, cocción, secado, refinación, etc.)”. (Gobierno de Mexico, 2022).
- **Biometalurgia.** “Obtención del metal mediante un proceso confiado a la acción de bacterias”. (Gobierno de Mexico, 2022).
- **Electrometalurgia.** “Trata la extracción y refinación de los metales por el uso de la corriente eléctrica (proceso electrolítico o electrólisis)”. (Gobierno de Mexico, 2022).

Otros procesos post-mineros: “El producto minero, tal como sale de cantera o de la planta de beneficio, si no es de carácter metálico, a menudo necesita otros tratamientos antes de ser aprovechable, por ejemplo, el petróleo necesita el refino; las rocas industriales necesitan corte y tratamientos de la superficie de corte; expansión térmica de perlita o vermiculita para obtener áridos ligeros, calcinación de la caliza para obtener cal ($\text{CaCO}_3 + \text{calor} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$), entre muchos otros”. (Gobierno de Mexico, 2022).

BAJOS COSTOS CON LA HIDROMETALURGIA

“Las componentes cíclicas del costo corresponden a aquellas variables que dependen del mercado y que no están relacionadas con las características geológicas del yacimiento, en cambio las componentes estructurales dependen exclusivamente de las características geológicas de la mina”. (Cabrera, D., 2017).

“Para poder identificar el impacto de cada variable que explica el costo de operación de una mina de cobre, fue necesario modelar económicamente las principales variables del costo y los índices geológicos del yacimiento, para luego obtener una función que calcule el costo real de una mina de cobre. Para lograr lo anterior, fue

necesario modelar los datos de las minas con modelos de panel balanceado con efecto fijo. Este tipo de modelamiento permite capturar la heterogeneidad no observable entre las minas, dado que esta heterogeneidad no se puede detectar con estudios de series temporales, ni tampoco con corte transversal”. (Cabrera, D., 2017).

“El período reciente de inflación de los costos (2003 – 2012) fue precedido por un período de 15 años de significativa deflación de los costos a principios de los años 90, este hecho es un ejemplo de lo que podría pasar en la actualidad. En ese momento, la respuesta de la industria a la presión sobre los precios fue enfocarse en la productividad y reducir los costos al mínimo. Hoy en día, el efecto de la baja del precio del cobre en las empresas ha obligado a las firmas a reducir su deuda por la vía de venta de activos, ya que la baja del precio fue muy rápida, y la baja de los costos tuvo un retraso de un año”. (Cabrera, D., 2017).

“En el primer período del análisis (2003 - 2012) el aumento en el costo se explica por las variables cíclicas en un 80%, y el principal efecto es el precio de los insumos, los servicios y la mano de obra. Solamente la ley de mineral tiene un impacto en el costo estructural, las otras variables no son significativas. En el segundo periodo del análisis (2012 - 2015) la disminución en el costo se explica por las variables cíclicas en un 85%, y el efecto principal en el costo son el precio del combustible, los servicios y la energía. Sólo la ley de mineral tiene un impacto estructural. Luego al proyectar los costos desde el año 2016 al 2020 el resultado del modelo indica que los costos tendrían una tendencia plana desde el año 2017 con una baja al año 2020 de 5,1%”. (Cabrera, D., 2017).

“El efecto cíclico tiene un gran impacto en los costos de la industria del cobre. Este efecto deja poco espacio al propietario para gestionar el costo. Por lo anterior, resulta atractivo para el propietario integrarse aguas arriba, para reducir los riesgos de aumentos en los precios de

los insumos, la energía y los servicios especializados de minería. El estudio efectuado es concluyente en que el costo de la industria, en el periodo estudiado, está indexado en al menos un 80% a los vaivenes del precio del cobre”. (Cabrera, D., 2017).

LA SELECCIÓN DE LA HIDROMETALURGIA EN LOS PROCESOS EXTRACTIVOS

“La aplicación de agua en la extracción de metales limitó, inicialmente, su uso a la separación física de los minerales pesados como el oro nativo y óxido de estaño a partir de depósitos aluviales. Así, en comparación con los antiguos procesos pirometalúrgicos de la extracción de metales de refinación al fuego, los métodos hidrometalúrgicos que emplean reactivos en soluciones acuosas y orgánicas para la producción de metales y compuestos metálicos tienen solo una relativa corta historia”. (Uceda, 2016).

“El cobre fue el primer metal en ser aislado comercialmente a partir de soluciones acuosas. En el siglo XV este metal fue recuperado, por cementación con hierro, del agua ácida subterránea que fluía de los yacimientos de minerales en varias partes de Europa. Sin embargo, la hidrometalurgia no se convirtió en un proceso ampliamente aplicado para la producción de metales hasta principios del siglo XX”. (Uceda, 2016).

“Ha habido muchos intentos, para desarrollar procesos hidrometalúrgicos con el fin de reemplazar los procesos de fundición. Sin embargo, a la fecha los procesos aplicados a concentrados no han sido del todo exitosos. Varios procesos han sido evaluados a nivel de planta piloto y pocos han sido construidos a nivel comercial y operados durante periodos largos. Ejemplo de esto, es el proceso de Tostación-Lixiviación-Electrodeposición de cobre (conocido por sus siglas en inglés como RLE, Roasting, Leaching and Electrowinning), el Proceso Arbiter de lixiviación a temperatura ambiente con sulfato

de amonio, el Proceso Duval de lixiviación clorurante, el Proceso Clear también de lixiviación clorurante, y otros procesos evaluados a nivel de planta piloto e industrial pero sin éxito a largo plazo por lo que fueron descontinuados. El proceso RLE para el caso de sulfuros de zinc es la tecnología convencional preferida para la metalurgia del zinc; sin embargo, para los sulfuros de cobre no se ha podido aplicar”. (Uceda, 2016).

“La hidrometalurgia no es un competidor de la pirometalurgia y, de hecho, los procesos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos, muy a menudo, se combinan en la práctica para explotar las mejores características de ambos, la tendencia general de la metalurgia extractiva moderna a menudo utiliza enfoques pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos integrados. Además, la inclusión de la electrometalurgia subraya el carácter multidisciplinario de la hidrometalurgia. Varios factores pueden ser identificados como responsables de este desarrollo tardío en comparación con la pirometalurgia”: (Uceda, 2016).

- “A diferencia de los procesos pirometalúrgicos que sólo requieren alguna forma de carbono como reactivo directo y fuente de energía; la hidrometalurgia utiliza ácidos, álcalis y otros compuestos inorgánicos y orgánicos que eran desconocidos o disponibles sólo en cantidades muy limitadas antes de la Revolución Industrial”. (Uceda, 2016).
- “Los generadores eléctricos, un producto de la revolución industrial, tenían que estar disponibles para producir electricidad en grandes cantidades a un precio razonable antes que la electrodeposición y la electrorefinación pudieran considerarse como operaciones comerciales”. (Uceda, 2016).
- “La reducción de partículas por métodos mecánicos (chancado y molienda), y la separación de pulpas y manipulación de grandes

volúmenes de sólidos y líquidos fueron tecnologías poco desarrolladas hasta la última parte del siglo XIX”. (Uceda, 2016).

- “Los conocimientos básicos carecían de los fundamentos de las reacciones químicas necesarias para lixiviar o disolver los minerales y para recuperar metales a partir de soluciones”. (Uceda, 2016).

“El descubrimiento de Elsner en 1846, un químico alemán, de que el oro podría ser disuelto en soluciones acuosas diluidas de cianuro de sodio fue muy significativo para la hidrometalurgia. La primera aplicación comercial del cianuro fue en la Mina Crown en Nueva Zelanda en 1889, esta tecnología que se caracteriza por su rápido desarrollo, particularmente en los Estados Unidos, de gran parte de los equipos necesarios para los procesamientos hidrometalúrgicos. Todos los equipos tales como agitadores, espesadores y filtros en uso en la actualidad se han desarrollado durante este período”. (Uceda, 2016).

“La primera instalación de un sistema de electrólisis acuosa para la refinación de plomo se hizo en Canadá en Trail BC, en 1902 y fue seguido en el mismo lugar por el desarrollo y la construcción en 1915 de una planta para la producción electrolítica de zinc”. (Uceda, 2016).

“La refinación electrolítica de plomo, zinc, y cobre en el Perú se inició en la Oroya en la Cerro de Pasco Corporation en la década de los años treinta, donde estas refinерías se iniciaron como plantas pilotos y luego se convirtieron en operaciones industriales. En ese entonces, los lodos anódicos de la refinación de los ánodos de cobre ampolloso (la planta de ánodos no hace el poling convencional para producir ánodos), se disponían en el río Mantaro, como si fueran residuos sin valor comercial y sin considerar su impacto negativo en el medio ambiente; posteriormente, se construyó la planta de tratamiento de lodos anódicos para la recuperación de antimonio, selenio, telurio, bismuto, oro y plata”. (Uceda, 2016).

“El equipo y los diagramas de flujo desarrollados en las plantas de cianuro fueron de gran valor en la demanda de uranio desarrollada durante la Segunda Guerra Mundial (proyecto Manhattan), ya que los problemas del procesamiento de minerales de uranio se asemejan a los del tratamiento de minerales de oro, en que debe procesarse grandes cantidades de mineral que contienen pequeñas cantidades del elemento valioso”. (Uceda, 2016).

“El Proyecto Manhattan fue el nombre en clave de un proyecto científico llevado a cabo durante la Segunda Guerra Mundial por los Estados Unidos con ayuda parcial del Reino Unido y Canadá. El objetivo final del proyecto era el desarrollo de la primera bomba atómica antes de que la Alemania nazi la consiguiera. Un gran éxito a finales de 1940 se logró por técnicos estadounidenses y británicos en la aplicación de intercambiadores de iones orgánicos y extracción por solventes con compuestos orgánicos para la recuperación y purificación de uranio”. (Uceda, 2016).

“La extensión de la hidrometalurgia a presión (autoclaves) para la producción de materiales distintos de óxido de aluminio puro por el proceso Bayer logró su gran importancia en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial con el desarrollo por parte de Sherritt Gordon de un proceso para tratar directamente el mineral de sulfuro de cobre – níquel”. (Uceda, 2016).

“La recuperación de cobre y níquel a partir de sus minerales mixtos fue un problema que había desafiado el ingenio de los metalurgistas durante muchos años. Un proceso de tostación - lixiviación fue utilizado por Orford Copper Company de Nueva Jersey en su primer intento de producir cobre y níquel de los depósitos de sulfuros de Sudbury (Canadá) en la última parte del siglo XIX”. (Uceda, 2016).

“La técnica de Sherritt Gordon se basa únicamente en operaciones hidrometalúrgicas y combina la lixiviación directa con oxígeno

presurizado de una suspensión amoniaca de los minerales de sulfuro, con la consiguiente reducción de la solución que contiene níquel purificado con hidrógeno a presión”. (Uceda, 2016).

“Los procesos hidrometalúrgicos ahora son capaces de extraer y refinar un número casi ilimitado de metales a un alto grado de pureza, y en muchos casos, en solo unos pocos pasos, la economía de la operación y la pureza de los productos obtenidos, son superiores a aquellos que pueden ser obtenidos por la pirometalurgia”. (Uceda, 2016).

“Ahora, luego de más de un centenar de años, el proceso Bayer combinado con la electrólisis de sal fundida de la alúmina pura, ha derrotado a todos los competidores y se utiliza prácticamente en la producción total mundial de aproximadamente 44 millones de toneladas anuales de aluminio”. (Uceda, 2016).

“Del mismo modo, la realización del proceso electrolítico acuoso en la producción anual de 12 millones de toneladas de zinc con menos de 100 ppm de impurezas es un hito notable de los procesos hidrometalúrgicos”. (Uceda, 2016).

“Actualmente, más del 20% del cobre refinado en el mundo se produce utilizando técnicas hidrometalúrgicas que implican disolución de los valores de cobre (de la purificación de minerales) de la solución de lixiviación resultante y por último la deposición como cátodos de cobre mediante electrodeposición”. (Uceda, 2016).

“En los últimos años, la recuperación de cobre a partir de óxidos y sulfuros de baja ley (< 0.3%) ha recibido una gran cantidad de atención. El costo del tratamiento de este mineral usando tecnología pirometalúrgica convencional que incluye la trituración, molienda, flotación, fundición y refinación, es económicamente prohibitivo y la recuperación de cobre es generalmente baja. La combinación de

lixiviación, extracción por solventes y electrodeposición (por sus siglas en Inglés: L-SX-EW) ha tenido un impacto significativo en la producción de cobre, ya que permitió a los productores a obtener mejores recuperaciones, cátodos de cobre de alta calidad y lo más importante, costos de producción más bajos. La tecnología de L-SX-EW se aplicó en el Perú en los años setenta en Cerro Verde por la Empresa Minera del Perú, primero con una planta piloto de lixiviación en bateas (vats), extracción por solventes y electrodeposición, luego se construyó lo que sería la primera planta industrial de esta naturaleza en Hispanoamérica y la cuarta a nivel mundial. Para la operación comercial se optó por la lixiviación en pilas”. (Uceda, 2016).

“Actualmente las reservas de metales del grupo del platino (PGM, Platinum Group Metals) han disminuido y las reservas que quedan, tienen bajas concentraciones de estos metales y generalmente se les encuentra en las matrices de los sulfuros de los metales base. La legislación con respecto a las emisiones gaseosas y la falta de mercados locales para el ácido sulfúrico hace que los procesos de las (concentradoras – fundiciones) no sean tan atractivas desde el punto de vista de cumplimiento con la legislación ambiental. En consecuencia, las rutas hidrometalúrgicas se están considerando cada vez más como alternativas a las rutas tradicionalmente pirometalúrgicas, particularmente para depósitos de baja ley”. (Uceda, 2016).

“Es importante resaltar el rol promotor que tuvo el estado peruano en la actividad minera través de la Empresa Minero Perú, desarrollando operaciones comerciales de gran éxito tecnológico, en Cerro Verde, Arequipa, diseñada para lixiviar óxidos de cobre, purificación por extracción por solventes y producción de cátodos electrodepositados de cobre; en Ilo, Moquegua, con el diseño, construcción y operación de la refinería de cobre para producir cátodos electrorefinados de cobre y la recuperación de selenio, plata y oro de los lodos anódicos;

en Cajamarquilla, Lima, con la refinera de zinc; y en Tintaya, Cusco, con la lixiviación de cobre. Posteriormente todas estas operaciones fueron privatizadas durante el periodo de 1991 – 2002”. (Uceda, 2016).

“La extracción de níquel y cobalto a partir de sus depósitos en lateritas que se producen en muchas partes del mundo ha presentado un desafío para el metalurgista. Están apareciendo una serie de nuevos proyectos de lateritas de níquel, la mayoría se basa en la hidrometalurgia, principalmente la tecnología de lixiviación con ácido sulfúrico a presión e inclusive lixiviación en pilas. El papel desempeñado por la hidrometalurgia en la producción de metales en la última parte del siglo XX y el comienzo del siglo XXI ha sido determinado por la cantidad de investigación que se puede realizar, sin embargo, la hidrometalurgia es todavía una ciencia joven y aún queda mucho por descubrir y aplicar antes que su pleno potencial pueda realizarse”. (Uceda, 2016).

AHORRO DE COMBUSTIBLES

“En la actividad minera se utiliza la electricidad como fuente de energía para el proceso de concentración y el combustible para el transporte de mineral de la mina hasta la zona de beneficio. La energía eléctrica es recibida en la subestación de la planta en media tensión, por lo general en 10 kV y en la red interna los equipos eléctricos operan generalmente en 460 VAC- 60 Hz. El consumo de energía en la mina y en la planta de beneficio depende de varios factores: como la capacidad de la planta, a tecnología empleada en los procesos y el nivel de automatización”. (Ministerio de Energía y Minas PERÚ, 2017).

“La energía térmica es básicamente por la combustión interna de los motores de vehículos de transporte de mineral, maquinaria pesada para movimiento de tierra y la movilidad del personal que labora. La

electricidad puede ser suministrada por las empresas eléctricas o puede ser producida por pequeñas centrales hidroeléctricas y/o térmicas de la misma empresa minera. Se consume en los servicios auxiliares de la mina, como la iluminación, la ventilación y los elevadores; y en los diferentes procesos de la planta de concentración y/o lixiviación. También, se utiliza en el transporte interno entre procesos y en la iluminación de las instalaciones”. (Ministerio de Energía y Minas PERÚ, 2017).

“Según el Balance de Energía Útil 2016 del Ministerio de Energía y Minas, la distribución de los consumos de energía neta para este rubro, se agrupa como sector único a la minería y a la metalurgia, cuyo consumo total es de 58 273,1 TJ. El consumo de energía térmica en la minería y metalurgia está en el orden del 33 % y la energía eléctrica en 67 % del total. En la Figura N°3 se muestra la distribución de ambas energías”. (Ministerio de Energía y Minas PERÚ, 2017).

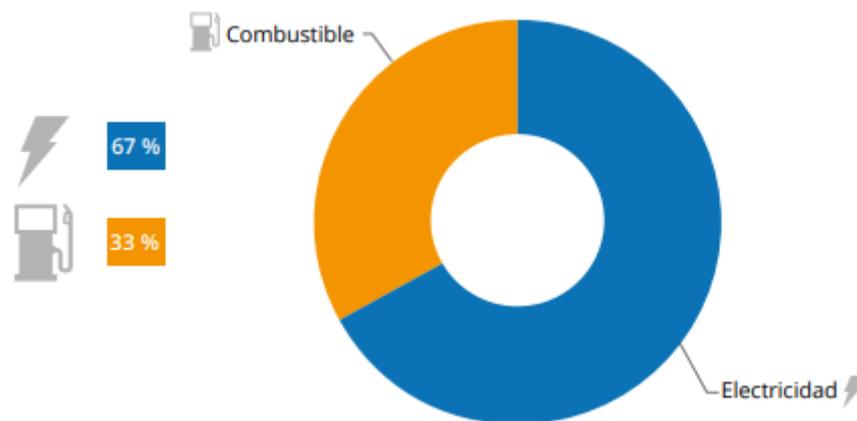


Figura 3: Consumo de energía en minería y metalurgia.

Fuente: Elaboración FONAM 2013 - MINEM

“Los consumos específicos de los recursos utilizados para la producción son indicadores de eficiencia. Tales como: la energía, el agua, la materia prima, etc, todos ellos referidos a la producción de una unidad de producto terminado. La comparación con consumos

específicos estándares de empresas eficientes del mismo rubro en el mundo, permite determinar cuan competitiva es la empresa en el mercado global”. (Ministerio de Energía y Minas PERÚ, 2017).

“Un indicador de eficiencia energética en procesos industriales, es el consumo específico de energía, el cual se define como el uso de la energía por unidad de producto terminado (kWh/tonelada, MJ/ unidad de producto terminado, galones de combustible/tonelada, kcal/tonelada, BTU/unidad de producto terminado, etc.)”. (Ministerio de Energía y Minas PERÚ, 2017).

“Para el caso de las mineras metálicas, el consumo energético en el proceso de concentración, es básicamente de energía eléctrica ya que no es necesario el uso de calor para este proceso, sin embargo, es pertinente mencionar que, si hay consumo de combustible para el movimiento de tierras y materiales, lo que se considera como insumo energético auxiliar, porque no interviene en el mismo proceso de la concentración”. (Ministerio de Energía y Minas PERÚ, 2017).

En las Tablas N° 1 y 2 se muestran los consumos específicos de energía en una empresa minera metálica.

Tabla N° 1.
Consumo de energía en planta minera metálica

| Designación | Capacidad de planta Tonelada | Consumo específico kW/tonelada |
|----------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Pequeña planta | De 50 a 100 | 2,5 a 3,5 |
| Planta mediana | De 600 a 5000 | 1,5 a 2,5 |
| Planta grande | Mayor a 5000 | 1,2 a 1,8 |

Elaboración FONAM: Diagnóstico energético en SILICE INDUSTRIAL COMERCIAL SA, 2015

Tabla N° 2.
Consumo de energía en el proceso de chancado

| Descripción | Roca suave kWh/Tonelada | Roca dura kWh/Tonelada |
|---------------------|----------------------------|---------------------------|
| Chancado primario | 0,3 a 0,6 | 0,7 a 1,2 |
| Chancado secundario | 0,4 a 0,8 | 0,9 a 2,0 |

Fuente: Manual de minería – ESTUDIOS MINEROS DEL PERÚ SAC

“Se mencionó anteriormente que en la minería metálica no interviene directamente la energía térmica en el proceso de concentración, pero sí como energía auxiliar en el proceso de movimientos de tierra y material. En la tabla 3 se muestra algunos equipos y su consumo de petróleo DB5 durante la excavación y transporte de mineral. Resulta muy impreciso calcular ratios de rendimiento y consumo de combustible de forma general, puesto que depende mucho de la distancia, altura, dureza del suelo, presencia de rocas, pendientes, estado de las carreteras, factores climáticos, etc.; lo que hace que cada mina maneje sus propias ratios, sin embargo, a modo de ejemplo en la Tabla N° 3 se muestran algunos valores referenciales”. (Ministerio de Energía y Minas PERÚ, 2017).

Tabla N° 3.
Consumo de petróleo DB5 (diésel) en planta minera metálica

| Equipo | Consumo | Rendimiento |
|---------------------------|-------------|---------------------------------|
| Buldozer D8R - 350 HP | 10 gal/h-m | 100 a 200 m ³ /h |
| Retroexcavadora 330 BL | 8 gal/h-m | 120 a 160 m ³ /h |
| Volquete NL12 | 4 gal/h-m | Depende del terreno y distancia |
| Perforadora IR, DHL | 8 gal/h | |
| Pala 992D | 20,75 gal/h | |
| Camión 330M | 21 gal/h | |
| Cargador frontal - 375 HP | 8,98 gal/h | |
| Compresora - 262 HP | 7,36 gal/h | |

Fuente: Elaboración FONAM - Manual de minería – ESTUDIOS MINEROS DEL PERÚ SAC

La tarifa eléctrica para el sector industrial es aproximadamente 0,016 US\$/kWh como clientes libres, y para el petróleo DB5 es de 9,64 Soles/galón (OSINERGMIN 2016).

2.2.2. LA SEPARACIÓN DE IMPERFECCIONES EN LOS METALES

LIXIVIACIÓN:

“La Lixiviación es la operación unitaria fundamental de la hidrometalurgia y su objetivo es disolver en forma parcial o total un sólido con el fin de recuperar algunas especies metálicas contenidas en él. A continuación, se detallan las ecuaciones químicas correspondientes a diferentes tipos de lixiviación”: (INACAP, 2022).

- Disolución de Sales: “Se aplica principalmente a Sales Minerales que se disuelven fácilmente en agua. En la naturaleza es difícil encontrar yacimientos con minerales de este tipo, pero, la mena puede ser sometida a algún proceso previo que transforme los minerales a sales solubles en agua (Productos de tostación, por ejemplo). Ejemplo: $\text{CuSO}_4(\text{s}) + n \text{H}_2\text{O}(\text{aq}) \Rightarrow \text{CuSO}_4 \cdot n \text{H}_2\text{O}(\text{aq})$ ”. (INACAP, 2022).
- Disolución Ácida: “Se aplica a gran parte de los óxidos metálicos existentes en la naturaleza. Generalmente se utiliza ácido sulfúrico por su bajo costo, disponibilidad, fácil manipulación y características químicas. También se utiliza ácido clorhídrico, ácido nítrico y mezclas entre ellos. Ejemplo: $\text{ZnO} + 2 \text{H}^+(\text{aq}) \Rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{aq})$ ”. (INACAP, 2022).
- Disolución Alcalina: “Se aplica a menas consumidoras de ácido sulfúrico, como por ejemplo menas con carbonatos de calcio. Ejemplo: $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2 \text{OH}^-(\text{aq}) \Rightarrow 2 \text{AlO}_2^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{aq})$ ”. (INACAP, 2022).

- Intercambio Básico: “Este tipo de reacciones produce un nuevo sólido insoluble en los residuos. Ejemplo: $\text{CaWO}_4 + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{aq}) + \text{WO}_4^{2-}(\text{aq})$ ”. (INACAP, 2022).
- Disolución Con Formación de Iones Complejos: “La formación de iones complejos aumenta la solubilidad de sales poco solubles con una gran selectividad. Se aplica industrialmente en la lixiviación de concentrados de cobre sulfurados. Ejemplo: $\text{CuO} + 2\text{NH}_4^+(\text{aq}) + 2\text{NH}_3(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{aq})$ ”. (INACAP, 2022).
- Lixiviación con Oxidación: “Los agentes oxidantes más empleados son Fe^{3+} y O_2 , empleándose para la lixiviación de sulfuros y algunos metales. Ejemplo: $\text{CuS} + 2\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{S}^0$ ”. (INACAP, 2022).
- Lixiviación con Reducción: “Este tipo de lixiviación puede usarse con minerales que son más solubles en sus estados de valencia inferiores. Ejemplo: $\text{MnO}_2 + \text{SO}_2(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ”. (INACAP, 2022).

MÉTODOS DE LIXIVIACIÓN:

“Los métodos de lixiviación corresponden a la forma en que se contactan las soluciones lixiviantes con las menas con contenidos metálicos de interés. Los métodos más conocidos son”: (INACAP, 2022).

- Lixiviación In Situ, lixiviación en botaderos (dump leaching), lixiviación en pilas (heap leaching).
- Lixiviación por percolación o en Bateas (vat leaching).
- Lixiviación por agitación.
- Lixiviación a presión.

“Aunque estos tipos de lixiviación se puede aplicar en forma muy eficiente a la mayoría de los metales que están contenidos en menas apropiadas para este proceso, tales como cobre (minerales sulfurados y oxidados), oro (nativo), plata (nativa), aluminio (óxidos), zinc (óxidos y sulfuros), níquel (sulfuros y óxidos) y las formas minerales de los metales cobalto, zirconio, hafnio, etc; en esta oportunidad se hará referencia solamente al caso del cobre”. (INACAP, 2022).

- LIXIVIACIÓN EN BOTADEROS

“La lixiviación en Botaderos consiste en lixiviar desmontes o sobrecarga de minas de tajo abierto, los que debido a sus bajas leyes (menores de 0.4%) no pueden tratarse por métodos convencionales. Estos materiales se han ido acumulando a través de los años a un ritmo que en algunos casos pueden ser de varios cientos de miles de toneladas al día. La mayoría de los botaderos se construyen en áreas adecuadas cerca de la mina. Este tipo de procesos no requiere inversión en Mina ni tiene costos asociados a transporte, lo que los hace ser proyectos atractivos del punto de vista económico. En el caso del cobre las recuperaciones fluctúan entre 40 a 60% en alrededor de 3 años de operación”. (INACAP, 2022).

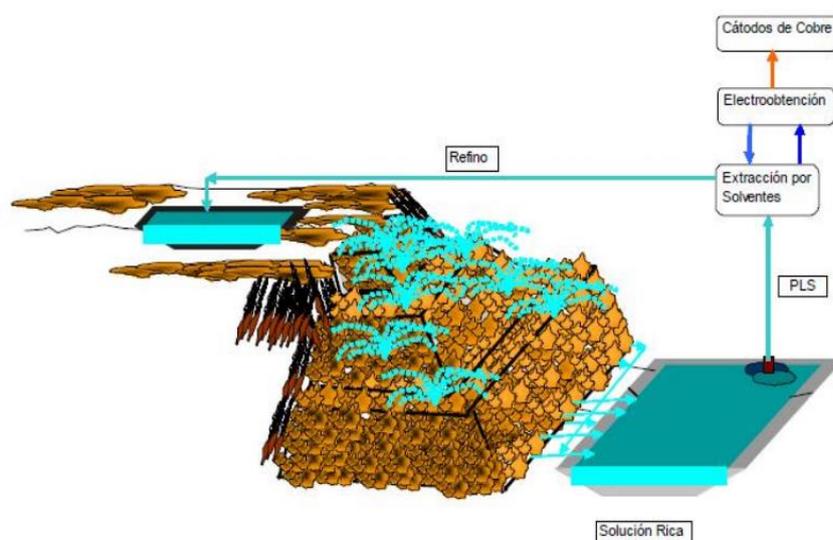


Figura N° 4: Esquema típico de este tipo de procesos.

- **LIXIVIACIÓN EN PILAS**

“Este método se aplica a minerales de cobre oxidados y a minerales mixtos de cobre de baja ley. Desde la década de los ochenta se ha incorporado un proceso de aglomeración y curado con el objetivo de mejorar las cualidades físicas del lecho poroso y producir la sulfatación del cobre presente en la mena. La aglomeración de partículas finas y gruesas con la adición de agua y ácido concentrado pasó a constituir una operación unitaria de gran importancia en la lixiviación en pilas, pues, como pretratamiento previo a la lixiviación en lecho irrigado tiene los siguientes objetivos”: (INACAP, 2022).

- Uniformar el tamaño de partículas, ligando los finos a los gruesos, evitando el comportamiento indeseable de un amplio rango de distribución de tamaños.
- Homogenizar la porosidad de un lecho de partículas e incrementarla.
- Optimizar la permeabilidad de un lecho y la consiguiente operación de lixiviación mediante la aglomeración.
- Facilitar el tratamiento por lixiviación, con los propósitos de disminuir los costos de inversión y operación del proceso extractivo.

CONCENTRACIÓN Y PURIFICACIÓN DE SOLUCIONES

“Una de las técnicas más utilizadas en la actualidad corresponde a la extracción por solventes. La extracción líquido-líquido o extracción por solventes es un proceso que implica el paso de una serie de metales disueltos en forma de iones en una fase acuosa a otra fase líquida, inmisible con ella, conocida como fase orgánica. Durante el contacto líquido-líquido se produce un equilibrio en el cual las especies en solución se distribuyen en las fases acuosas y orgánicas de acuerdo a

sus respectivas solubilidades. Esta técnica se emplea en metalurgia con tres fines fundamentales: concentrar, purificar y separar los elementos o metales disueltos. Normalmente estas funciones son inseparables para el predominio que una ejerce sobre la otra, hace que la extracción con solventes tenga una función específica que se intercala en distinto lugar del diagrama de flujo de un proceso metalúrgico. Por ejemplo, cuando predomina la acción de concentrar, su aplicación está íntimamente ligada con la recuperación de cationes de menas pobres en minerales de interés”. (INACAP, 2022).

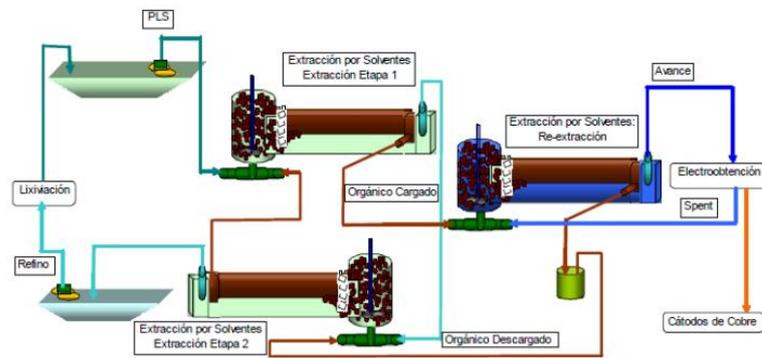


Figura N° 5: Esquema de la extracción por solventes.

“Los procesos de extracción por solventes se llevan a cabo con dos soluciones inmiscible entre sí la fase acuosa y la fase orgánica. La fase acuosa es una solución proveniente de lixiviación, concentrada en cobre y con un alto nivel de impurezas, que imposibilita su tratamiento de precipitación de cobre, sin antes remover las impurezas presentes o separar el cobre de esta solución y de alguna manera, traspasarlo a otra solución acuosa libre de impurezas; que es lo que se realiza en extracción por solventes”. (INACAP, 2022).

La fase orgánica a una solución en la cual generalmente se tienen los siguientes componentes:

- Extractante (también llamado reactivo orgánico o simplemente orgánico), es un compuesto que contiene un grupo funcional que

es capaz de reaccionar químicamente con una especie particular en la fase acuosa.

- Diluyente, es el material orgánico que se usa para diluir el extractante. Originalmente se consideraba inerte, pero últimamente se ha reconocido que tiene importante influencia en el proceso general de extracción, mejorando la velocidad de separación de fases.

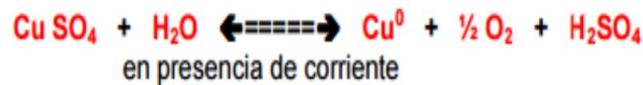
Las propiedades que debe cumplir un extractante ideal, son las siguientes (no necesariamente en orden de importancia):

- ✓ Un elevado coeficiente de distribución, con el fin de extraer el máximo del elemento de interés y minimizar la cantidad a usar.
- ✓ Elevada Capacidad de Saturación, la capacidad de saturación es la máxima concentración de especies valiosas que puede retener.
- ✓ Propiedades físicas adecuadas para la transferencia de masa y separación de fases, tales como: densidad, viscosidad, etc.
- ✓ Selectividad, esta es una propiedad que mide la extracción de determinadas especies en relación con la extracción de otras.
- ✓ Fácil extracción, para que un extractante sea adecuado metalúrgicamente, debe existir un método sencillo y barato para recuperar las especies extraídas. Seguridad (bajo punto de inflamación, baja toxicidad, etc.,).

ELECTRO OBTENCIÓN

“La electroobtención de cobre es un proceso electrolítico de depositación de cobre metálico, desde una solución base de cobre, por el paso de una corriente eléctrica. Se verifica en una celda electrolítica, que está compuesta por una superficie catódica sobre la cual se depositará el cobre contenido en el electrolito y una anódica que debe ser inatacable para evitar su corrosión y contaminación del electrolito.

El cátodo es una placa de acero inoxidable y el ánodo una placa de plomo. Electroobtención de cobre es el proceso unitario mediante el cual es posible recuperar cobre al estado metálico, sólido (Cu⁰), a partir de una solución acuosa que contiene iones de cobre, mediante el paso de una corriente eléctrica. La reacción química global que describe este fenómeno es la siguiente”: (INACAP, 2022).



Donde:

- El cobre se deposita al estado metálico sólido (Cu⁰), sobre un electrodo denominado cátodo.
- Como contrapartida a la reacción química de depositación de cobre en el cátodo, existe una reacción química en el electrodo denominado ánodo, la cual genera ácido sulfúrico y libera oxígeno, por descomposición del agua.
- Finalmente, se observa la disminución del contenido de cobre en la solución acuosa o electrolito, producto de la depositación del cobre sobre el cátodo.

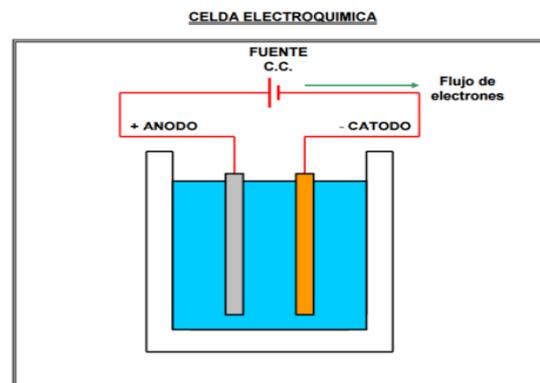


Figura N° 6: Esquema Básico de una celda electroquímica, que corresponde a un reactor de electroobtención.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Ánodo: “Electrodo positivo, que recibe el flujo de electrones desde el rectificador y los entrega nuevamente a la fuente de corriente continua; la superficie de este electrodo se caracteriza por ser deficitaria en electrones, lo que permite la realización de las reacciones anódicas de generación de ácido sulfúrico y + ANODO – CATODO”. (INACAP, 2022).

Balance de agua – “Es la cantidad neta de agua que debe ser descargada, o que tiene un proceso. Es un parámetro crítico con respecto a la descarga de efluentes y la disponibilidad de agua de proceso en lugares áridos”. (Uceda, 2016).

Calcina – “Un producto de óxido metálico, producido a partir de la calcinación o calentamiento de los sulfuros. Por ejemplo, una calcina de zinc es un producto impuro de ZnO obtenido del tostado de un concentrado de ZnS. El óxido cálcico, CaO se obtiene de la calcinación del CaCO₃”. (Uceda, 2016).

Cátodo: “Electrodo negativo, que recibe el flujo de electrones desde el electrolito. La acumulación de electrones sobre la superficie de este electrodo permite la realización de la reacción catódica, es decir, la depositación del cobre metálico”. (INACAP, 2022).

Concentrado – “El mineral de interés en una forma más concentrada de lo que se presente en el mineral”. (Uceda, 2016).

Electrodeposición – “Es la etapa terminal del proceso de beneficio de minerales oxidados y mixtos. Luego de la lixiviación y purificación de las soluciones la electrólisis del metal que contienen las soluciones para producir el metal”. (Uceda, 2016).

Electrolito: “Solución acuosa conductora de la corriente eléctrica (flujo de electrones) que contiene una concentración de cobre al estado iónico, junto

con otras impurezas, a temperatura y viscosidad que maximizan la reacción de depositación de cobre”. (INACAP, 2022).

Electrorefinación – “Es la etapa terminal del proceso de beneficio de minerales sulfurados y mixtos. Transforma los ánodos producidos en el proceso de fundición a cátodos de metal electrolítico de alta pureza en celdas electrolíticas”. (Uceda, 2016).

Iones complejos – “Cualquier ion químico o molécula neutra, que consiste en uno o más iones de metal y uno o más iones o moléculas coordinadas”. (Uceda, 2016).

Ligandos – “Los iones o moléculas que son coordinadas a los iones de metal en los complejos. Moléculas o iones rodeando el ion metálico. Los ligandos simples incluyen el agua, amonio e iones cloruros”. (Uceda, 2016).

Lixiviación – “Proceso químico mediante el cual los minerales se disuelven en una solución generalmente acuosa. Es a menudo, pero no siempre es el caso, que la reacción de lixiviación pueda ser selectiva. Lixiviación también tiene como definición -tratar una sustancia compleja, como un mineral, con un disolvente adecuado para separar sus partes solubles de las insolubles-. Si se sigue la etimología de la palabra lixiviación, se encuentra que viene del latín: -Lixivia, -ae- sustantivo femenino que significa lejía. Los primeros en acuñar esta expresión fueron los romanos, quienes la usaban para referirse a los jugos que destilan las uvas antes de ser pisadas para producir vino, o las aceitunas antes de molerlas”. (Uceda, 2016).

Lodo o pulpa – “Una mezcla combinada de la solución acuosa y sólidos. Este es el estado habitual de un mineral más la solución acuosa después de la lixiviación. Disolución completa es inusual”. (Uceda, 2016).

Mata – “El producto enriquecido en metales en el tratamiento pirometalúrgico de concentrados sulfurosos. La composición de la mata de la fundición de calcopirita (CuFeS_2) es aproximadamente $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{FeS}$. Las matas

de níquel contienen más de 35% de níquel y cobalto combinado”. (Uceda, 2016).

Purificación / concentración – “Se refiere al tratamiento de la solución de lixiviación para convertir el metal de interés en una solución pura, las impurezas pueden ser eliminadas o el metal de interés puede ser transferido a otra solución”. (Uceda, 2016).

Rectificador: “Fuente de corriente continua externa”. (INACAP, 2022).

Relaves – “El residuo sólido que queda después de la lixiviación. Si este tiene un valor adicional puede ser procesado posteriormente. De lo contrario, es un desperdicio. Sólidos de relaves se asocian a menudo con agua de lavado. La mezcla de residuos se almacena o son incautados en pozas de relaves (o colas)”. (Uceda, 2016).

Separación sólido - líquido – “El proceso de eliminación de los sólidos a partir de una solución. Después de la lixiviación este suele ser el siguiente paso necesario. Esta es una etapa crucial en el proceso hidrometalúrgico. Puede ser difícil y costoso. Muchos procesos hidrometalúrgicos en el pasado resultaron demasiado difíciles para lograr la separación”. (Uceda, 2016).

Solución de lixiviación (PLS) – “El producto de solución de lixiviación, por lo general contiene el metal deseado, los metales se disuelven como cationes, por ejemplo, Cu^{2+} , Zn^{2+} , etc., o como iones complejos, tales como CuCl_2^- , $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$, etc”. (Uceda, 2016).

Tostación – “Proceso de calentamiento y descomposición de un mineral a altas temperaturas. El sulfuro tostado forma el SO_2 gas, óxidos metálicos, sulfatos o sulfuros con alto contenido metálico”. (Uceda, 2016).

Precipitación – “Diversos procesos utilizados para formar un sólido de la solución. En este contexto, estamos hablando de la precipitación de un metal en un producto. Este puede ser un compuesto, como un sulfuro o el propio metal”. (Uceda, 2016).

2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis General

La hidrometalurgia en los procesos extractivos se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

2.4.2. Hipótesis Específica

- Los beneficios de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.
- Los costos de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.
- La selección de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.
- El ahorro de combustibles de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES

| VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES |
|---|--|--|--|---|
| 1: LA HIDROMETALURGIA EN LOS PROCESOS EXTRACTIVOS | La hidrometalurgia es la rama de la metalurgia extractiva que cubre la extracción y recuperación de metales usando soluciones líquidas, acuosas y orgánicas. | El punto fuerte de la hidrometalurgia radica en la gran variedad de técnicas y combinaciones que pueden ser usadas para separar metales una vez que han sido disueltos a la forma de iones en solución acuosa. | Beneficios | <ul style="list-style-type: none"> • Lavado • Homogenización • Concentración • Transformación |
| | | | Costos | <ul style="list-style-type: none"> • Cíclicos • Estructurales |
| | | | Selección | <ul style="list-style-type: none"> • Hidrometalúrgicos • Pirometalúrgicos |
| | | | Ahorro de combustibles | <ul style="list-style-type: none"> • Energía • Petróleo |
| 2: LA SEPARACIÓN DE IMPERFECCIONES EN LOS METALES | Es la separación de defectos a las desviaciones que son observadas por métodos experimentales, con referencia a estructuras que no corresponden al metal buscado | Son métodos empleados en la extracción de metales que logra encontrar elementos o defectos que permite la obtención de pureza; ya que se separan las imperfecciones. | Lixiviación | <ul style="list-style-type: none"> • In situ • Percolación • Agitación • Presión |
| | | | Concentración y purificación de soluciones | <ul style="list-style-type: none"> • Concentración • Purificación • Separación |
| | | | Electroobtención | <ul style="list-style-type: none"> • Anódica • Catódica |

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.1. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo no experimental, la misma que es definida como la investigación que se realiza sin maniobrar deliberadamente las variables presentadas; y transaccional o transversal, tomándose los datos a través del tiempo.

3.1.2. Nivel

La investigación es relacional. Se utilizó las teorías desarrolladas para explicar los sucesos que se presentan en el desarrollo de la investigación. Teniendo principalmente como base la hidrometalurgia en los procesos extractivos y la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas, se identificó los problemas y se recolectó información acerca de las posibles alternativas de solución.

3.1.3. Enfoque

Para desarrollar la investigación se sigue el modelo Cualitativo y Cuantitativo debido a las siguientes características:

- Dado que se revisó la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas (lixiviación, concentración y purificación de soluciones y electroobtención), para poder desarrollar la investigación. (cualitativa).
- Y porque se ponderaron los datos del cuestionario que se realizó en la encuesta a involucrados con la investigación en la hidrometalurgia en los procesos extractivos y la separación de imperfecciones en los metales (cuantitativa).

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

Según las estadísticas del Ministerio de Energía y Minas (Minem), a junio del 2019, en el Perú se registraron 141 unidades mineras formales en operación, correspondientes a la mediana y gran minería.

La población se caracteriza especialmente porque engloba a aquellos que tienen participación directa para la presente investigación, tales como: profesionales y operadores de las empresas mineras peruanas.

En cuanto al tamaño de la población es considerada finita con 141 integrantes en las labores de las diversas mineras del Perú y partícipes para nuestra investigación.

3.2.2. Muestra

Para elegir el tamaño de la muestra en la presente investigación, se usó la siguiente fórmula y se aplica en el caso de que Si se conozca con precisión el Tamaño de la Población – N.

$$n = \frac{Z^2 \times P \times Q \times N}{(N - 1) \times E^2 + Z^2 \times P \times Q}$$

Donde

n = Tamaño de muestra

E = Error máximo dispuesto a aceptar en el cálculo. Generalmente se toma el valor de 0,05 o 5%.

P.Q = Variabilidad Positiva P y Variabilidad Negativa Q, ambos son complementarios y suman $P + Q = 1$, sus valores se basan en estudios anteriores, de no existir se asume $P = Q = 0,5 = 50\%$.

Z = Valor de Z de la Distribución Normal Estándar, de acuerdo al Nivel de Confianza o Probabilidad asumida. En la presente investigación la Probabilidad de 0.95 o 95% y corresponde a $Z = 1.96$.

Nota: También para este cálculo los valores de Variabilidad, Error y el Nivel de Confianza, pueden estar expresados en porcentajes, por lo que al momento de someterlos a los cálculos, se debe expresar en valores decimales y así obtener el resultado deseado.

Ajuste del Tamaño de Muestra

Este Modelo es un Ajuste Estadístico y se aplica en los casos en que el Tamaño de Muestra calculado en los Modelos anteriores, resulte Mayor al 10% del Total de la Población.

$$n_0 = \frac{n}{1 + \frac{n}{N}}$$

Donde

n_0 = Tamaño de la Muestra Ajustada

n = Tamaño de la Muestra anterior, mayor al 10% de la Población.

N = Tamaño de la Población Total

Calculamos:

$$n = \frac{1,96^2 \times 0,5 \times 0,5 \times 141}{(141 - 1) \times 0,05^2 + 1,96^2 \times 0,5 \times 0,5}$$

$$n = 103,34 = 103$$

En este caso se necesita ajustes:

$$n_0 = \frac{n}{1 + \frac{n}{N}}$$

$$n_0 = \frac{103}{1 + \frac{103}{141}}$$

Entonces, $n_0 = 59,52 = 60$

3.2.3. Técnicas

Criterios de técnicas de muestreo probabilístico, donde todos (población) tienen la misma probabilidad de ser seleccionados a responder a la encuesta, poblaciones involucradas que participa en la relación entre la hidrometalurgia en los procesos extractivos y la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Técnicas a Emplear

Las técnicas para la obtención de la información que se necesita para el desarrollo de esta investigación son:

- ✓ Observación.
- ✓ Análisis documental
- ✓ Entrevista
- ✓ Encuestas

3.3.2. Descripción de los Instrumentos

Observación: Se aplica para observar lo relacionado con la hidrometalurgia en los procesos extractivos, con el propósito de percibir, examinar, o analizar los eventos que se presentan en la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

Análisis Documental: Con la finalidad de obtener un fundamento del problema de investigación para el presente trabajo de estudio, se revisó las fuentes escritas (textos, tesis, etc.) vinculadas al tema de estudio.

Entrevista: Se entrevistó a los involucrados en general a profesionales y operadores, involucrados en la hidrometalurgia en los procesos extractivos y la separación de imperfecciones en los metales de las mineras del Perú.

Encuesta: Se elaboró un cuestionario de preguntas tipo Likert que fueron respondidas por involucrados sobre la hidrometalurgia en los procesos extractivos y la separación de imperfecciones en los metales de las mineras del Perú.

3.3.3. Validez de los Instrumentos

En el cuestionario se usó la escala de Likert (también denominada método de evaluaciones sumatorias) que es una escala psicotécnica que luego se pudo aplicar la validación y confiabilidad del instrumento. Ver Anexo (Cuestionario N° 1 - Encuesta).

El criterio de validez tiene que ver con la validez del contenido y la validez del conocimiento. La validez establece la relación del instrumento con la variable que se pretende medir y la validez de construcción de relacionar los ítems del cuestionario aplicado.

La confiabilidad se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo sujeto, produce iguales resultados.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

En cuanto al análisis de los datos que salieron de los instrumentos anteriores, se utilizó la estadística descriptiva para el procesamiento de datos, haciendo uso del programa SPSS, que nos llevó a la comprobación de las hipótesis planteadas.

3.5 MATRIZ DE CONSISTENCIA

LA HIDROMETALURGIA EN LOS PROCESOS EXTRACTIVOS Y LA SEPARACIÓN DE IMPERFECCIONES EN LOS METALES DE LAS MINERAS PERUANAS

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES - DIMENSIONES | INDICADORES | METODOLOGÍA |
|--|--|--|---|--|---|
| <p>PROBLEMA GENERAL: ¿De qué manera la hidrometalurgia en los procesos extractivos se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas?</p> | <p>OBJETIVO GENERAL: Determinar si existe relación entre la hidrometalurgia en los procesos extractivos con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.</p> | <p>HIPÓTESIS GENERAL: La hidrometalurgia en los procesos extractivos se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.</p> | <p>Variable: (1) - HIDROMETALURGIA EN LOS PROCESOS EXTRACTIVOS Dimensiones: - Beneficios - Costos - Selección - Ahorro de combustibles</p> | <p><u>Indicadores de Variable 1:</u> Lavado, Homogenización, Concentración y Transformación Cíclicos, estructurales. Hidrometalúrgicos, pirometalúrgicos. Energía, petróleo.</p> | <p>Tipo de Investigación La investigación será de tipo no experimental, y transversal o transversal ya que se tomará los datos a través del tiempo. Nivel La investigación será relacional. Enfoque Para desarrollar la investigación se sigue el modelo cualitativo y cuantitativo.</p> |
| <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿De qué manera los beneficios de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas? • ¿De qué manera los costos de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas? • ¿De qué manera la selección de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas? • ¿De qué manera el ahorro de combustibles de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas? | <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar la relación entre los beneficios de la hidrometalurgia en los procesos extractivos con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. • Analizar la relación entre los costos de la hidrometalurgia en los procesos extractivos con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. • Analizar la relación entre la selección de la hidrometalurgia en los procesos extractivos con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. • Analizar la relación entre el ahorro de combustibles de la hidrometalurgia en los procesos extractivos con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. | <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los beneficios de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. • Los costos de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. • La selección de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. • El ahorro de combustibles de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. | <p>Variable: (2) - SEPARACIÓN DE IMPERFECCIONES EN LOS METALES Dimensiones: - Lixiviación - Concentración y purificación de soluciones - Electroobtención</p> | <p><u>Indicadores de Variable 2:</u> In situ, percolación, agitación, presión. Concentración, purificación y separación. Anódica y Catódica.</p> | <p>Población y Muestra Población: La población está constituida por los profesionales y operadores de la hidrometalurgia en los procesos extractivos y la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. Muestra: El tamaño de la muestra es igual a 60 operadores. Técnicas: Criterios de técnicas de muestreo probabilístico.</p> |

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS TEÓRICOS

Con la aplicación de procesos extractivos como la hidrometalurgia se presentan nuevas opciones de separación de imperfecciones en metales y que es de observar métodos acuosos que permiten purificar, disolver el metal, de tal manera que se obtiene más metales y que se logra separar imperfecciones quedando metales mas puros o refinados que en un momento ya eran de descartes o desuso que es una manera mejor aprovechable y beneficioso para las empresas mineras o para la sociedad en general.

En mi presente tesis de investigación trato de enfocar los diversos procesos tanto hidrometalúrgicos como métodos de nuevas separaciones de más metales que existen en nuestro país como son los casos de lixiviación, concentración y purificación de soluciones; y por último la electroobtención. Que se plantea una buena relación hidrometalúrgica. Además, es de aclarar que también detallamos la aplicación de pirometalurgia como otra alternativa de separación de nuevos o más minerales.

Es de resaltar que, si se ven nuevos beneficios, ahorros de combustibles como procesos de selección dependiendo del metal que queremos tratar.

En nuestro país aún es escaso el conocimiento, el entender de las entes involucradas en el rubro minero que conducen a una apatía de inversiones en lugar de transformar a los productos minerales, de tal forma que el dinero que se invierten mucho es para las empresas mismas que no generan proyectos que maximicen la rentabilidad, consecuentemente no se llega a reutilizar bien los metales que quedan y que los metales refinados permite la industrialización.

4.2. RESULTADOS METODOLÓGICOS

4.2.1. VALIDEZ DEL INSTRUMENTO

En cuanto a la validación (de las preguntas de la encuesta) de la presente investigación, se realizó por medio del juicio de expertos, que realizaron la primera evaluación y análisis de las interrogantes del cuestionario.

NÚMERO ÓPTIMO DE EXPERTOS:

Aunque no hay forma de determinar el número óptimo de expertos para participar en una encuesta Delphi, estudios realizados por investigadores de la Rand Corporation, señalan que si bien parece necesario un mínimo de siete expertos habida cuenta que el error disminuye notablemente por cada experto añadido hasta llegar a los siete expertos. En el presente trabajo de investigación se ha elegido 03 (tres) expertos por la sencilla razón que si 2 expertos pueden tener juicios opuestos, un tercero define o inclina el balance a cualquiera de ellos; además fijar más expertos sufriremos el incremento en costo y trabajo de investigación no compensa la mejora.

CONFECCIÓN DEL LISTADO DE EXPERTOS:

La etapa es importante en cuanto que el término de "experto" es ambiguo. Con independencia de sus títulos, su función o su nivel jerárquico, el experto será elegido por su capacidad de encarar el futuro y posea conocimientos sobre el tema consultado. La falta de independencia de los expertos puede constituir un inconveniente; por esta razón los expertos son aislados y sus opiniones son recogidas por vía postal o electrónica y de forma anónima; así pues se obtiene la opinión real de cada experto y no la opinión más o menos falseada por un proceso de grupo (se trata de eliminar el efecto de los líderes).

En la presente investigación existe 03 expertos de vasta experiencia y enseñan las áreas de Ingeniería.

Los expertos que realizaron fueron los siguientes:

Experto 1: Ing. Julio Muñoz Vilela

Experto 2: Ing. Alfredo López Jiménez

Experto 3: Ing. Antonio Garrido Oyola

Las calificaciones para los criterios de validación, que se mencionan en la hoja de juicio de experto (Juicio de Expertos) con respecto al contenido del instrumento, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 04: Calificación de los Expertos

| N° PREGUNTA Y ALTERNATIVAS | EXPERTOS | | | Punt. |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | E1 | E2 | E3 | |
| Pregunta N° 1 | 5 | 5 | 4 | 14 |
| Pregunta N° 2 | 5 | 5 | 5 | 15 |
| Pregunta N° 3 | 5 | 5 | 4 | 14 |
| Pregunta N° 4 | 3 | 5 | 5 | 13 |
| Pregunta N° 5 | 4 | 4 | 3 | 11 |
| Pregunta N° 6 | 4 | 5 | 5 | 14 |
| Pregunta N° 7 | 4 | 3 | 4 | 11 |
| Pregunta N° 8 | 5 | 4 | 5 | 14 |
| Pregunta N° 9 | 5 | 4 | 4 | 13 |
| Pregunta N° 10 | 4 | 4 | 4 | 12 |
| Pregunta N° 11 | 5 | 5 | 4 | 14 |
| Pregunta N° 12 | 5 | 5 | 5 | 15 |
| Pregunta N° 13 | 5 | 4 | 4 | 13 |
| Pregunta N° 14 | 4 | 5 | 5 | 14 |
| Pregunta N° 15 | 5 | 5 | 4 | 14 |
| Pregunta N° 16 | 5 | 4 | 5 | 14 |
| Pregunta N° 17 | 4 | 4 | 4 | 12 |
| Pregunta N° 18 | 4 | 5 | 4 | 13 |
| Pregunta N° 19 | 5 | 4 | 5 | 14 |
| Puntaje total | 86 | 85 | 83 | 254 |

Donde:

- 1 = Totalmente en Desacuerdo (TD)
- 2 = En Desacuerdo (ED)
- 3 = Ni de Acuerdo ni en Desacuerdo (NA-ND)
- 4 = De Acuerdo (DA)
- 5 = Totalmente de Acuerdo (TA)

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE VALIDEZ:

$$\text{Validez} = \frac{\text{Puntaje obtenido}}{\text{Máxima valoración}}$$

$$\text{Validez} = \frac{254}{285} = 0,891 = 89,1\%$$

Con una validez general de 89,1% según la escala de validez el instrumento tiene muy alta validez; LA HIDROMETALURGIA EN LOS PROCESOS EXTRACTIVOS Y LA SEPARACIÓN DE LAS IMPERFECCIONES EN LOS METALES DE LAS MINERAS PERUANAS (Ver Tabla 05), de acuerdo al criterio de los expertos.

Tabla N° 05: Calificación de los Expertos

| ESCALA | INDICADOR |
|-------------|------------------|
| 0,01 – 0,20 | Muy baja validez |
| 0,21 – 0,40 | Validez baja |
| 0,41 – 0,60 | Moderada validez |
| 0,61 – 0,80 | Alta validez |
| 0,81 – 1,00 | Muy alta validez |

4.2.2. CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO

Se realizó el análisis de fiabilidad en el programa estadístico SPSS Statistics 23.0 al instrumento aplicado a todos los participantes (60 personas entre ellas: integrantes en las labores de las diversas mineras del Perú). Se obtuvo una fiabilidad de 0,832 (ver Tabla 06), este instrumento estuvo conformado por 19 items, distribuidos para la

variable 1: LA HIDROMETALURGIA EN LOS PROCESOS EXTRACTIVOS en 4 dimensiones (beneficios, costos, selección y ahorro de combustibles) y para la **variable 2:** LA SEPARACIÓN DE IMPERFECCIONES EN LOS METALES, en 3 dimensiones (lixiviación, concentración y purificación de soluciones y electroobtención).

Tabla N° 06: Alpha de Cronbach aplicado al Instrumento

| Alpha de Cronbach | N° de elementos |
|-------------------|-----------------|
| 0,832 | 19 |

Fuente: Elaboración propia

Esto quiere decir que el instrumento tiene una valoración de muy alta validez según la escala de expertos, como se muestra a continuación en la tabla 08.

Tabla N° 07: Escala de confiabilidad

| ESCALA | INDICADOR |
|-------------|------------------|
| 0,01 – 0,20 | Muy baja validez |
| 0,21 – 0,40 | Validez baja |
| 0,41 – 0,60 | Moderada validez |
| 0,61 – 0,80 | Alta validez |
| 0,81 – 1,00 | Muy alta validez |

4.2.3. TABLAS Y GRÁFICOS ESTADÍSTICOS

Tabla N° 08:

¿Crees que con el lavado es posible obtener la mena de la ganga en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Casi Nunca | 28 | 45,9 | 46,7 | 46,7 |
| | A Veces | 26 | 42,6 | 43,3 | 90,0 |
| | Casi Siempre | 6 | 9,8 | 10,0 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

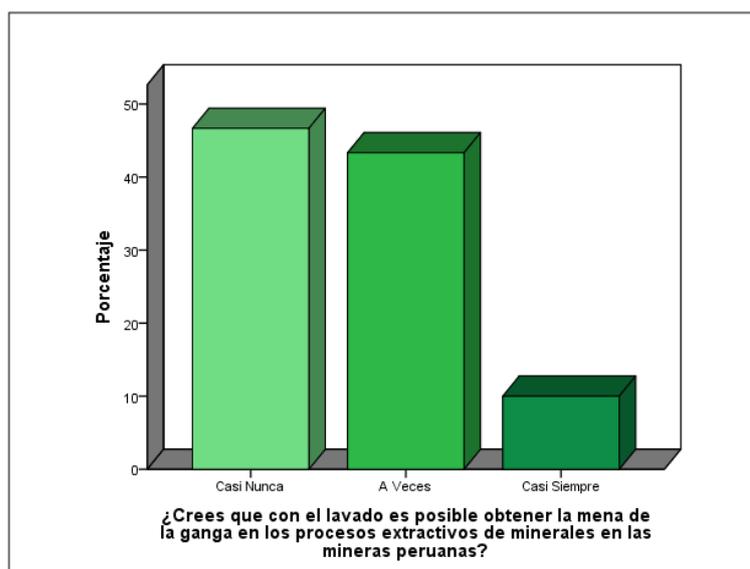


Figura N° 07: Respuesta a que si creen que con el lavado es posible obtener la mena de la ganga en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 46,7% afirmó que Casi Nunca creen que con el lavado es posible obtener la mena de la ganga en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas.

Tabla N° 09:

¿Crees que es beneficioso las homogenizaciones de las moliendas en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | A Veces | 35 | 57,4 | 58,3 | 58,3 |
| | Casi Siempre | 22 | 36,1 | 36,7 | 95,0 |
| | Siempre | 3 | 4,9 | 5,0 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

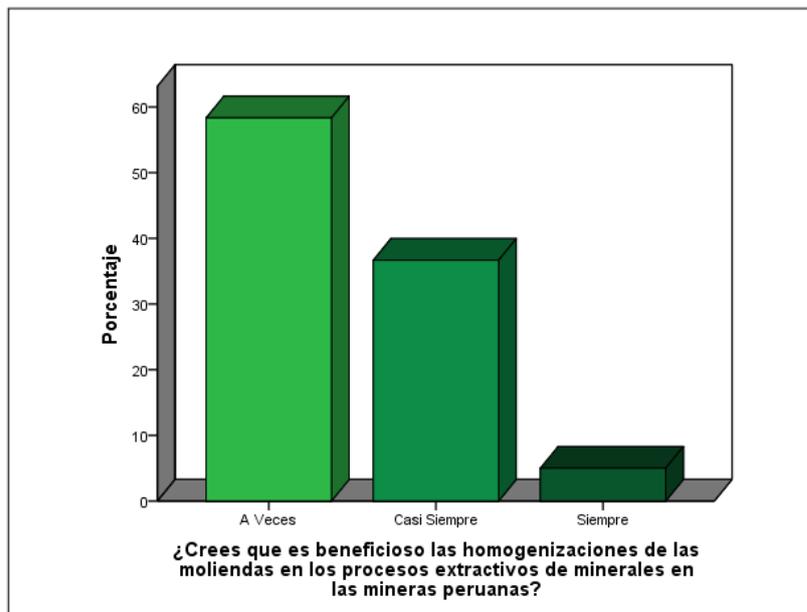


Figura N° 08: Respuesta a que si creen que es beneficioso las homogenizaciones de las moliendas en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 58,3% afirmó que A Veces creen que es beneficioso las homogenizaciones de las moliendas en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas.

Tabla N° 10:

¿Conoces el proceso de concentración o separación del mineral o metal en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Casi Nunca | 13 | 21,3 | 21,7 | 21,7 |
| | A Veces | 38 | 62,3 | 63,3 | 85,0 |
| | Casi Siempre | 9 | 14,8 | 15,0 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

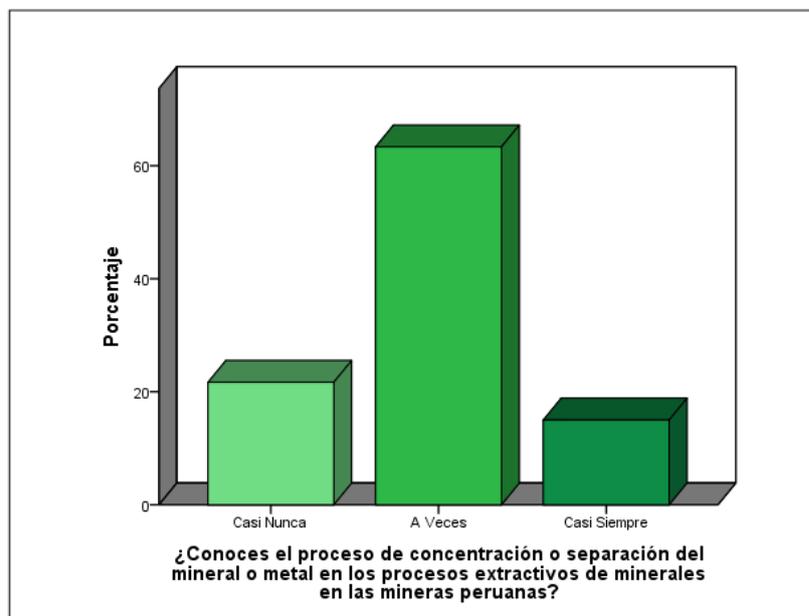


Figura N° 09: Respuesta a que si conoces el proceso de concentración o separación del mineral o metal en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 63,3% afirmó que A Veces conocen el proceso de concentración o separación del mineral o metal en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas.

Tabla N° 11:

¿Es beneficioso transformar las menas en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|--------------|--------------|------------|--------------|-------------------|----------------------|
| Válido | A Veces | 11 | 18,0 | 18,3 | 18,3 |
| | Casi Siempre | 37 | 60,7 | 61,7 | 80,0 |
| | Siempre | 12 | 19,7 | 20,0 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

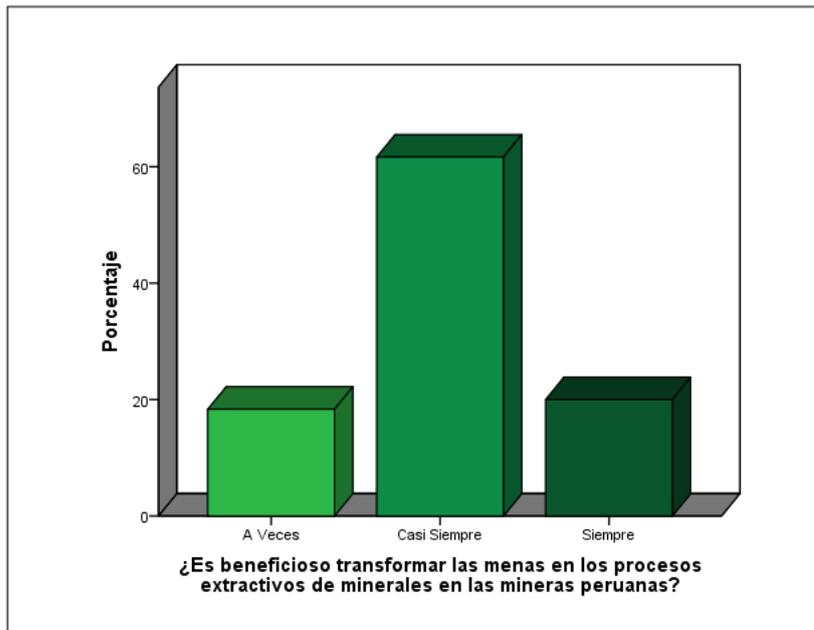


Figura N° 10: Respuesta a que si es beneficioso transformar las menas en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 61,7% afirmó que Casi Siempre es beneficioso transformar las menas en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas.

Tabla N° 12:

¿Cree ud. que los costos que se obtienen externamente son los más representativos en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|--------------|--------------|------------|--------------|-------------------|----------------------|
| Válido | A Veces | 14 | 23,0 | 23,3 | 23,3 |
| | Casi Siempre | 32 | 52,5 | 53,3 | 76,7 |
| | Siempre | 14 | 23,0 | 23,3 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

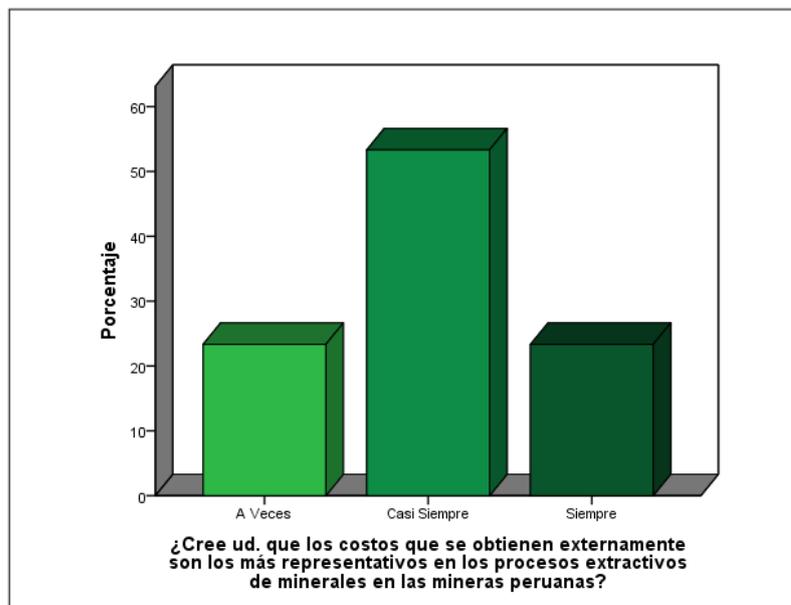


Figura N° 11: Respuesta a que si creen que los costos que se obtienen externamente son los más representativos en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 53,3% afirmó que Casi Siempre creen que los costos que se obtienen externamente son los más representativos en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas.

Tabla N° 13:

¿Cree ud. que los costos de cada mineral en su estructura son los más representativos en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Casi Nunca | 6 | 9,8 | 10,0 | 10,0 |
| | A Veces | 35 | 57,4 | 58,3 | 68,3 |
| | Casi Siempre | 19 | 31,1 | 31,7 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

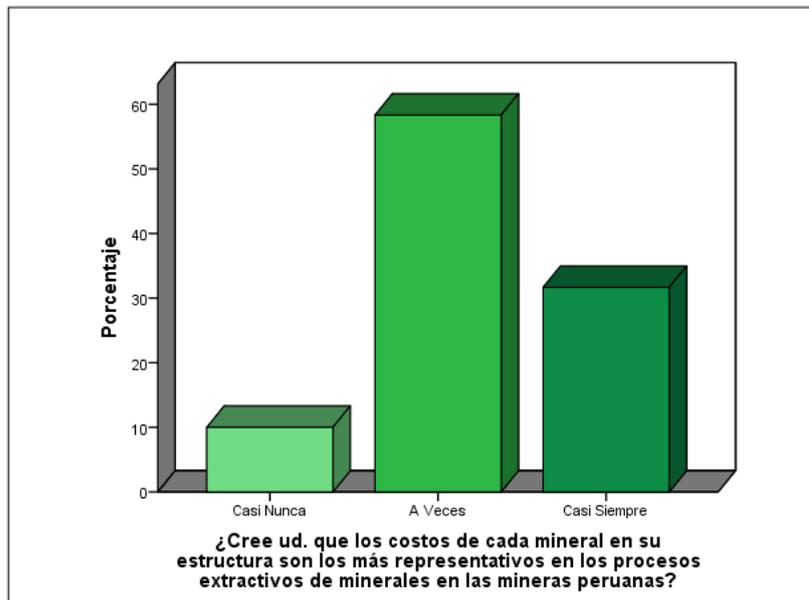


Figura N° 12: Respuesta a que si creen que los costos de cada mineral en su estructura son los más representativos en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 58,3% afirmó que A Veces creen que los costos de cada mineral en su estructura son los más representativos en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas.

Tabla N° 14:

¿Le parece que el proceso hidrometalúrgico es el más empleado en la selección de los metales en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Casi Nunca | 8 | 13,1 | 13,3 | 13,3 |
| | A Veces | 36 | 59,0 | 60,0 | 73,3 |
| | Casi Siempre | 16 | 26,2 | 26,7 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

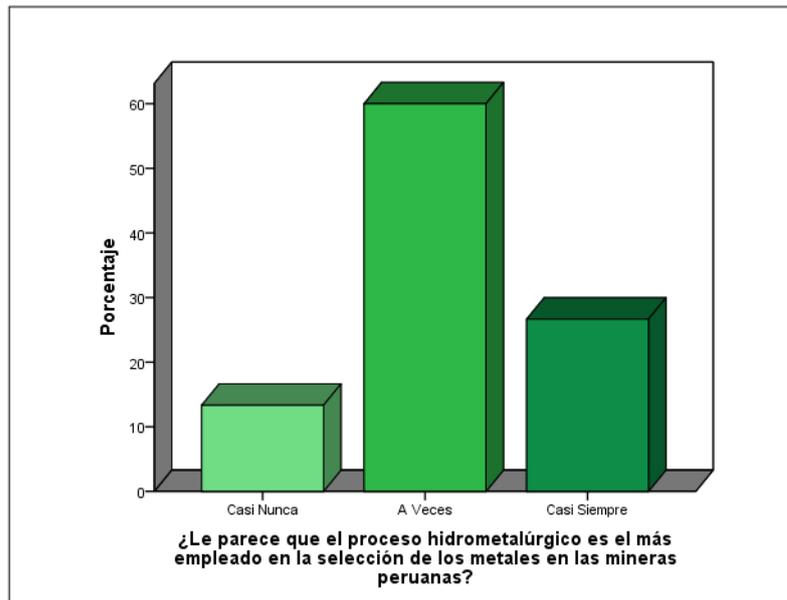


Figura N° 13: Respuesta a que si le parece que el proceso hidrometalúrgico es el más empleado en la selección de los metales en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 60% afirmó que A Veces le parece que el proceso hidrometalúrgico es el más empleado en la selección de los metales en las mineras peruanas.

Tabla N° 15:

¿Le parece que el proceso pirometalúrgico es el más empleado en la selección de los metales en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Casi Nunca | 10 | 16,4 | 16,7 | 16,7 |
| | A Veces | 23 | 37,7 | 38,3 | 55,0 |
| | Casi Siempre | 27 | 44,3 | 45,0 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

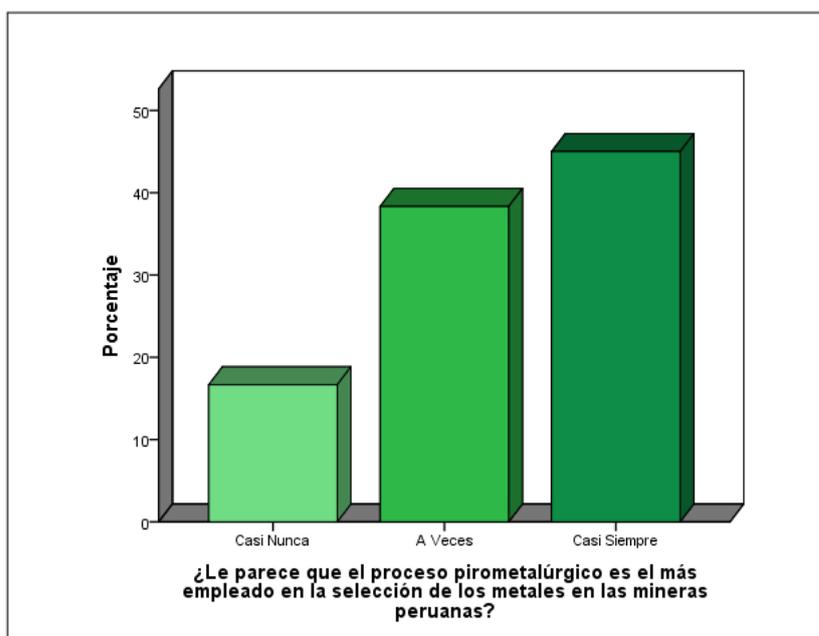


Figura N° 14: Respuesta a que si le parece que el proceso pirometalúrgico es el más empleado en la selección de los metales en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 45% afirmó que Casi Siempre le parece que el proceso pirometalúrgico es el más empleado en la selección de los metales en las mineras peruanas.

Tabla N° 16:

¿En los procesos hidrometalúrgicos de minerales es muy notorio el ahorro de energía en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Casi Nunca | 2 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| | A Veces | 9 | 14,8 | 15,0 | 18,3 |
| | Casi Siempre | 35 | 57,4 | 58,3 | 76,7 |
| | Siempre | 14 | 23,0 | 23,3 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

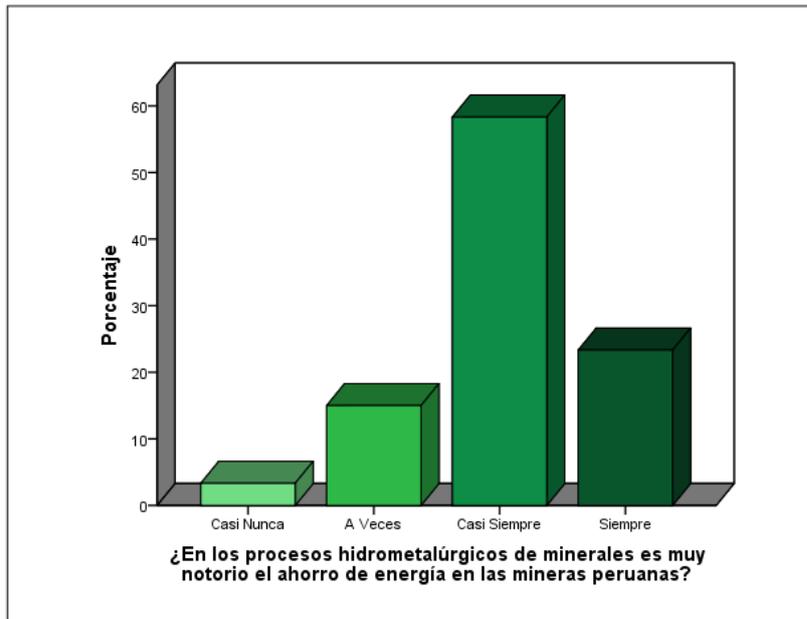


Figura N° 15: Respuesta a que si en los procesos hidrometalúrgicos de minerales es muy notorio el ahorro de energía en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 58,3% afirmó que Casi Siempre en los procesos hidrometalúrgicos de minerales es muy notorio el ahorro de energía en las mineras peruanas.

Tabla N° 17:

¿En los procesos hidrometalúrgicos de minerales es muy notorio el ahorro de petróleo en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Casi Nunca | 9 | 14,8 | 15,0 | 15,0 |
| | A Veces | 41 | 67,2 | 68,3 | 83,3 |
| | Casi Siempre | 10 | 16,4 | 16,7 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

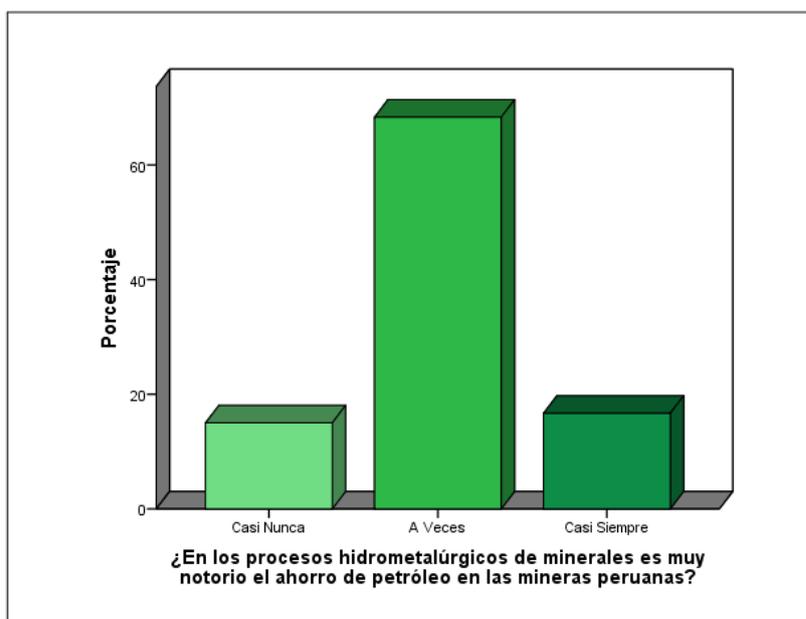


Figura N° 16: Respuesta a que si en los procesos hidrometalúrgicos de minerales es muy notorio el ahorro de petróleo en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 68,3% afirmó que A Veces en los procesos hidrometalúrgicos de minerales es muy notorio el ahorro de petróleo en las mineras peruanas.

Tabla N° 18:

¿Crees que sería útil y/o necesario la disolución de sólidos de minerales para separar los metales en botaderos que aún tienen algún pequeño porcentaje de metales?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Casi Nunca | 2 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| | A Veces | 39 | 63,9 | 65,0 | 68,3 |
| | Casi Siempre | 19 | 31,1 | 31,7 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

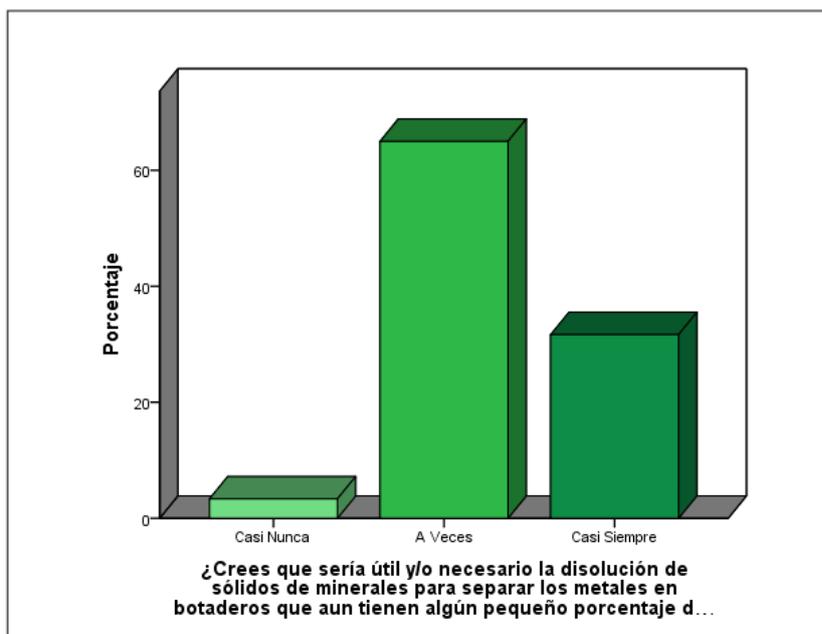


Figura N° 17: Respuesta a que si creen que sería útil y/o necesario la disolución de sólidos de minerales para separar los metales en botaderos que aún tienen algún pequeño porcentaje de metales.

Interpretación:

Un 65% afirmó que A Veces creen que sería útil y/o necesario la disolución de sólidos de minerales para separar los metales en botaderos que aún tienen algún pequeño porcentaje de metales.

Tabla N° 19:

¿Crees que sería útil y/o necesario la percolación después de la disolución de sólidos de minerales para separar los metales en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Casi Nunca | 6 | 9,8 | 10,0 | 10,0 |
| | A Veces | 38 | 62,3 | 63,3 | 73,3 |
| | Casi Siempre | 16 | 26,2 | 26,7 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

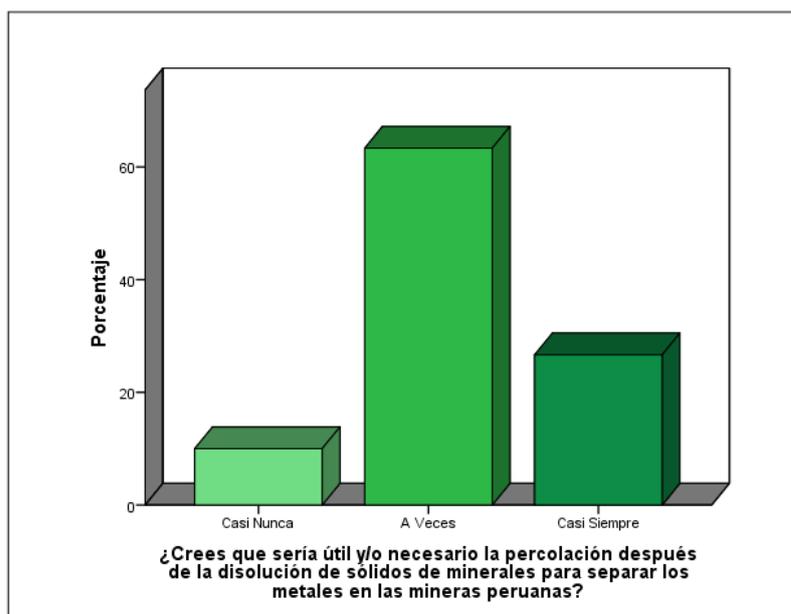


Figura N° 18: Respuesta a que si creen que sería útil y/o necesario la percolación después de la disolución de sólidos de minerales para separar los metales en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 63,3% afirmó que A Veces creen que sería útil y/o necesario la percolación después de la disolución de sólidos de minerales para separar los metales en las mineras peruanas.

Tabla N° 20:

¿Te parece que el método de lixiviación por agitación logra su cometido de extraer más metales en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Casi Nunca | 16 | 26,2 | 26,7 | 26,7 |
| | A Veces | 38 | 62,3 | 63,3 | 90,0 |
| | Casi Siempre | 6 | 9,8 | 10,0 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

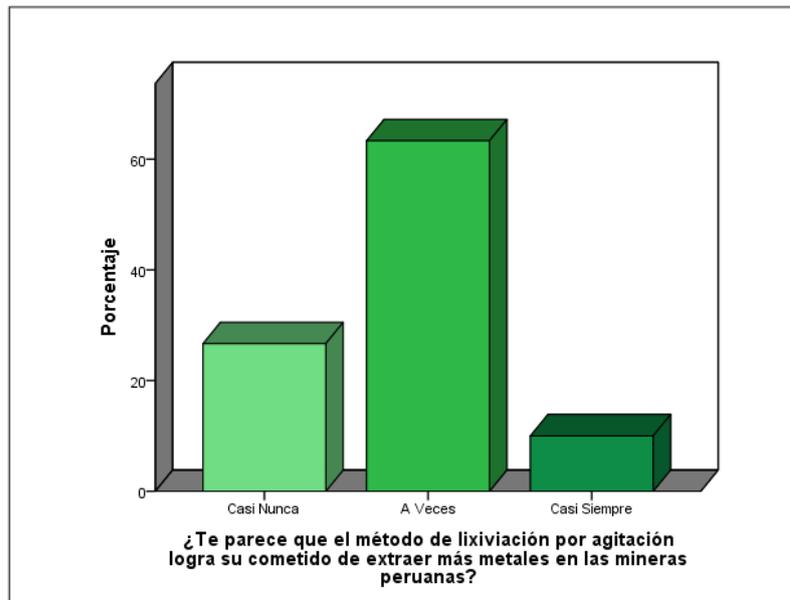


Figura N° 19: Respuesta a que si te parece que el método de lixiviación por agitación logra su cometido de extraer más metales en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 63,3% afirmó que A Veces si te parece que el método de lixiviación por agitación logra su cometido de extraer más metales en las mineras peruanas.

Tabla N° 21:

¿Cree ud. que el método de lixiviación a presión resulte útil en el proceso de extracción de metales en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Nunca | 12 | 19,7 | 20,0 | 20,0 |
| | Casi Nunca | 36 | 59,0 | 60,0 | 80,0 |
| | A Veces | 12 | 19,7 | 20,0 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

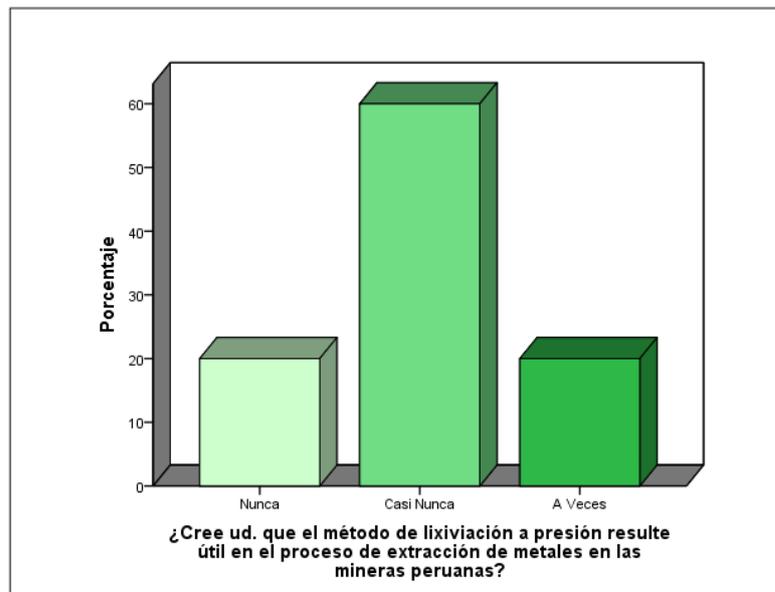


Figura N° 20: Respuesta a que si creen que el método de lixiviación a presión resulte útil en el proceso de extracción de metales en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 60% afirmó que Casi Nunca creen que el método de lixiviación a presión resulte útil en el proceso de extracción de metales en las mineras peruanas.

Tabla N° 22:

¿Existe el proceso de concentración como fin primordial para las soluciones de metales en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | A Veces | 24 | 39,3 | 40,0 | 40,0 |
| | Casi Siempre | 31 | 50,8 | 51,7 | 91,7 |
| | Siempre | 5 | 8,2 | 8,3 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

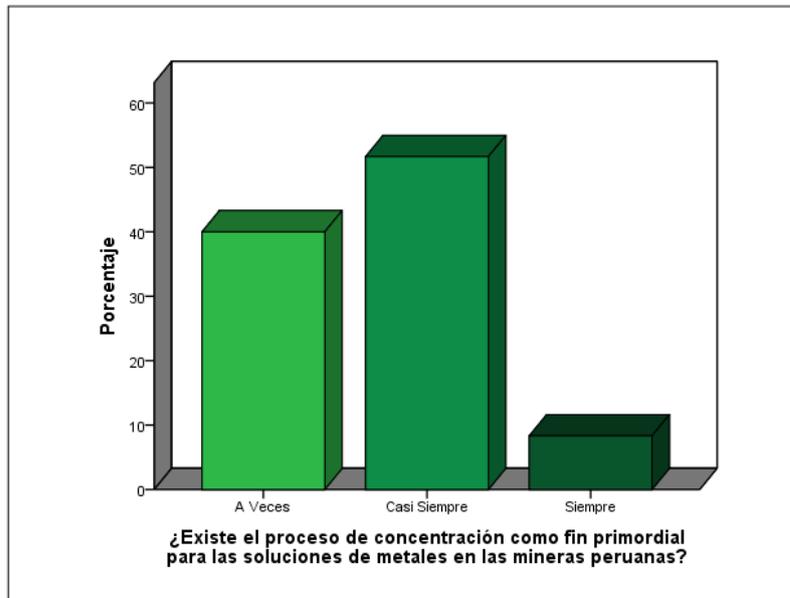


Figura N° 21: Respuesta a que si existe el proceso de concentración como fin primordial para las soluciones de metales en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 51,7% afirmó que Casi Siempre existe el proceso de concentración como fin primordial para las soluciones de metales en las mineras peruanas.

Tabla N° 23:

¿Existe el proceso de purificación como fin primordial para las soluciones de metales en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | A Veces | 6 | 9,8 | 10,0 | 10,0 |
| | Casi Siempre | 32 | 52,5 | 53,3 | 63,3 |
| | Siempre | 22 | 36,1 | 36,7 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

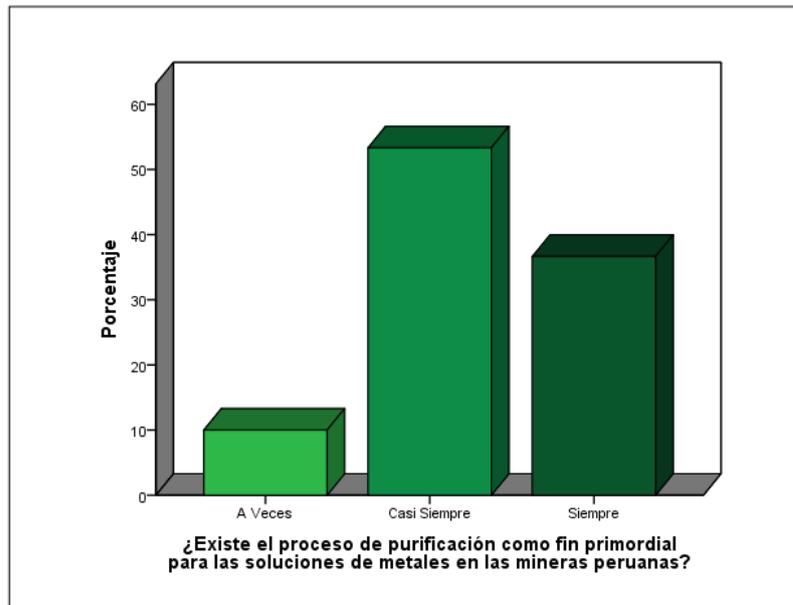


Figura N° 22: Respuesta a que si existe el proceso de purificación como fin primordial para las soluciones de metales en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 53,3% afirmó que Casi Siempre existe el proceso de purificación como fin primordial para las soluciones de metales en las mineras peruanas.

Tabla N° 24:

¿Existe el proceso de separación como fin primordial para las soluciones de metales en las mineras peruanas?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Casi Nunca | 7 | 11,5 | 11,7 | 11,7 |
| | A Veces | 33 | 54,1 | 55,0 | 66,7 |
| | Casi Siempre | 20 | 32,8 | 33,3 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

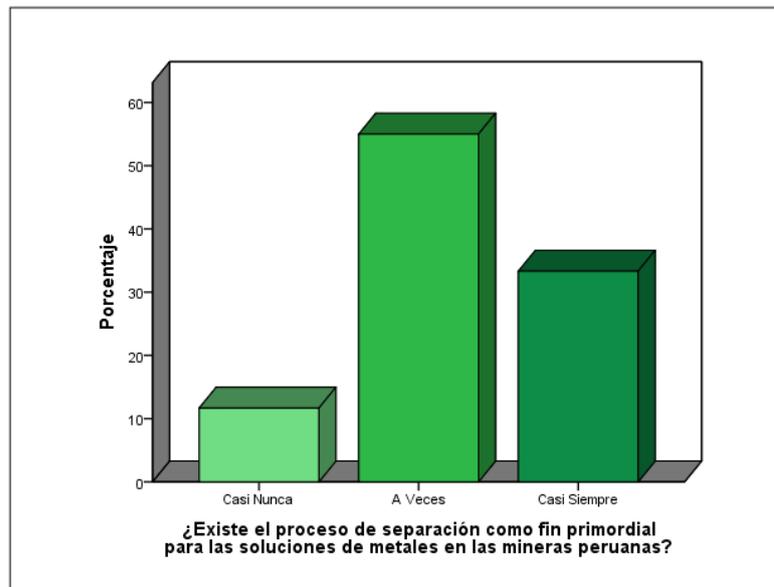


Figura N° 23: Respuesta a que si existe el proceso de separación como fin primordial para las soluciones de metales en las mineras peruanas.

Interpretación:

Un 55% afirmó que A Veces existe el proceso de separación como fin primordial para las soluciones de metales en las mineras peruanas.

Tabla N° 25:

¿Es a través del ánodo la recepción de electrones positivos en la electroobtención de los metales para generar otra reacción negativa y lleve a la obtención de más metal?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | A Veces | 20 | 32,8 | 33,3 | 33,3 |
| | Casi Siempre | 33 | 54,1 | 55,0 | 88,3 |
| | Siempre | 7 | 11,5 | 11,7 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

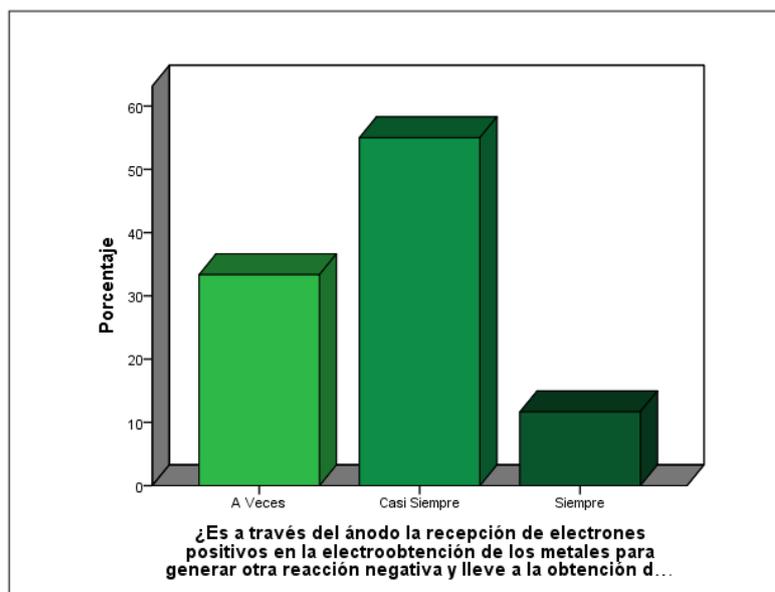


Figura N° 24: Respuesta a que si es a través del ánodo la recepción de electrones positivos en la electroobtención de los metales para generar otra reacción negativa y lleve a la obtención de más metal.

Interpretación:

Un 55% afirmó que Casi Siempre es a través del ánodo la recepción de electrones positivos en la electroobtención de los metales para generar otra reacción negativa y lleve a la obtención de más metal.

Tabla N° 26:

¿Se logra a través de la electroobtención la obtención de más metal a través de reacción negativa (cátodo) más metal?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Casi Nunca | 18 | 29,5 | 30,0 | 30,0 |
| | A Veces | 36 | 59,0 | 60,0 | 90,0 |
| | Casi Siempre | 6 | 9,8 | 10,0 | 100,0 |
| | Total | 60 | 98,4 | 100,0 | |
| Perdidos | Sistema | 1 | 1,6 | | |
| Total | | 61 | 100,0 | | |

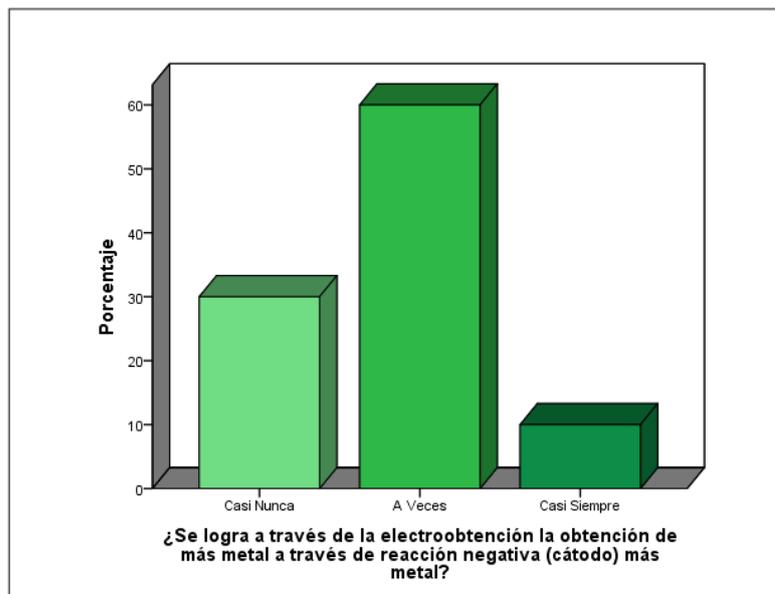


Figura N° 25: Respuesta a que si se logra a través de la electroobtención la obtención de más metal a través de reacción negativa (cátodo) más metal.

Interpretación:

Un 60% afirmó que A Veces si se logra a través de la electroobtención la obtención de más metal a través de reacción negativa (cátodo) más metal.

4.2.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

En la realización de la contrastación de hipótesis se empleó la información obtenida del cuestionario: LA HIDROMETALURGIA EN LOS PROCESOS EXTRACTIVOS Y LA SEPARACIÓN DE IMPERFECCIONES EN LOS METALES DE LAS MINERAS PERUANAS, donde se obtuvo las respuestas a las 19 preguntas planteadas, contestadas según escala de Likert, siendo (1) Nunca (2) Casi nunca (3) A veces (4) Casi siempre y (5) Siempre.

1. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE INDICADORES X1 – Y

H_n: Los beneficios de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, no se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

H_a: Los beneficios de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

Nivel de Significancia: $\alpha = 0,05$

Tabla N° 27: de contingencia X1 (agrupado) * RESUMEN Y (agrupado)

| | | y (agrupado) | | | Total |
|---------------|--------------|--------------|--------------|---------|-------|
| | | A Veces | Casi Siempre | Siempre | |
| x1 (agrupado) | A Veces | 3 | 19 | 1 | 23 |
| | Casi Siempre | 11 | 23 | 0 | 34 |
| | Siempre | 0 | 3 | 0 | 3 |
| Total | | 14 | 45 | 1 | 60 |

Variable 1: X

La Hidrometalurgia en los procesos extractivos

X1:

Valoración de la 1ra. dimensión de la V1 (beneficios)

Variable 2: Y

La separación de imperfecciones en los metales

Y:

Valoración del promedio de las 3 dimensiones de la V1. (Y1, Y2, Y3)

Tabla N° 28: Pruebas de chi-cuadrado

| | Valor | gl | Significación asintótica (bilateral) |
|------------------------------|--------------------|----|--|
| Chi-cuadrado de Pearson | 5,210 ^a | 4 | ,026 |
| Razón de verosimilitud | 6,270 | 4 | ,018 |
| Asociación lineal por lineal | 1,364 | 1 | ,024 |
| N de casos válidos | 60 | | |

a. 5 casillas (55.6%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es .05.

Interpretación:

Como el Nivel de Significación de muestra es **0,026**, menor al **0,05**, se Rechaza la Hipótesis Nula y en su lugar se Acepta la Hipótesis Alternativa, es decir: Los beneficios de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

2. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE INDICADORES X² – Y

H_n: Los costos de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, no se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

H_a: Los costos de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

Nivel de Significancia: $\alpha = 0,05$

Tabla N° 29: de contingencia X2 (agrupado) * RESUMEN Y (agrupado)

| | | y (agrupado) | | | Total |
|---------------|--------------|--------------|--------------|----------|-----------|
| | | A Veces | Casi Siempre | Siempre | |
| x2 (agrupado) | A Veces | 7 | 8 | 0 | 15 |
| | Casi Siempre | 5 | 29 | 1 | 35 |
| | Siempre | 2 | 8 | 0 | 10 |
| Total | | 14 | 45 | 1 | 60 |

Variable 1: X

La Hidrometalurgia en los procesos extractivos

X2:

Valoración de la 2da. dimensión de la V1 (costos)

Variable 2: Y

La separación de imperfecciones en los metales

Y:

Valoración del promedio de las 3 dimensiones de la V1. (Y1, Y2, Y3)

Tabla N° 30: Pruebas de chi-cuadrado

| | Valor | gl | Significación asintótica (bilateral) |
|------------------------------|--------------------|----|--------------------------------------|
| Chi-cuadrado de Pearson | 6,750 ^a | 4 | ,015 |
| Razón de verosimilitud | 6,616 | 4 | ,015 |
| Asociación lineal por lineal | 3,022 | 1 | ,008 |
| N de casos válidos | 60 | | |

a. 5 casillas (55.6%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es .17.

Interpretación:

Como el Nivel de Significación de muestra es **0,015**, menor al **0,05**, se Rechaza la Hipótesis Nula y en su lugar Acepta la Hipótesis Alternativa, es decir: Los costos de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

3. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE INDICADORES X3 – Y

H_n: La selección de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, no se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

H_a: La selección de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

Nivel de Significancia: $\alpha = 0,05$

Tabla N° 31: de contingencia X3 (agrupado) * RESUMEN Y (agrupado)

| | | y (agrupado) | | | Total |
|---------------|--------------|--------------|--------------|---------|-------|
| | | A Veces | Casi Siempre | Siempre | |
| x3 (agrupado) | Casi Nunca | 3 | 3 | 0 | 6 |
| | A Veces | 4 | 18 | 0 | 22 |
| | Casi Siempre | 7 | 24 | 1 | 32 |
| Total | | 14 | 45 | 1 | 60 |

Variable 1: X

La Hidrometalurgia en los procesos extractivos

X3:

Valoración de la 3ra. dimensión de la V1 (selección)

Variable 2: Y

La separación de imperfecciones en los metales

Y:

Valoración del promedio de las 3 dimensiones de la V1. (Y1, Y2, Y3)

Tabla N° 32: Pruebas de chi-cuadrado

| | Valor | gl | Significación asintótica (bilateral) |
|------------------------------|--------------------|----|--------------------------------------|
| Chi-cuadrado de Pearson | 3,619 ^a | 4 | ,046 |
| Razón de verosimilitud | 3,630 | 4 | ,045 |
| Asociación lineal por lineal | 1,256 | 1 | ,026 |
| N de casos válidos | 60 | | |

a. 5 casillas (55.6%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es .10.

Interpretación:

Como el Nivel de Significación de muestra es **0,046**, menor al **0,05**, se Rechaza la Hipótesis Nula y en su lugar se Acepta la Hipótesis Alternativa, es decir: La selección de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

4. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE INDICADORES X4 – Y

Hn: El ahorro de combustibles de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, no se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

Ha: El ahorro de combustibles de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

Nivel de Significancia: $\alpha = 0,05$

Tabla N° 33: de contingencia X4 (agrupado) * RESUMEN Y (agrupado)

| | | y (agrupado) | | | Total |
|---------------|--------------|--------------|--------------|---------|-------|
| | | A Veces | Casi Siempre | Siempre | |
| x4 (agrupado) | Casi Nunca | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | A Veces | 4 | 9 | 0 | 13 |
| | Casi Siempre | 9 | 30 | 0 | 39 |
| | Siempre | 0 | 6 | 1 | 7 |
| Total | | 14 | 45 | 1 | 60 |

Variable 1: X

La Hidrometalurgia en los procesos extractivos

X4:

Valoración de la 4ta. dimensión de la V1 (ahorro de combustible)

Variable 2: Y

La separación de imperfecciones en los metales

Y:

Valoración del promedio de las 3 dimensiones de la V1. (Y1, Y2, Y3)

Tabla N° 34: Pruebas de chi-cuadrado

| | Valor | gl | Significación asintótica (bilateral) |
|------------------------------|---------------------|----|--|
| Chi-cuadrado de Pearson | 12,967 ^a | 6 | ,044 |
| Razón de verosimilitud | 10,902 | 6 | ,091 |
| Asociación lineal por lineal | 5,857 | 1 | ,016 |
| N de casos válidos | 60 | | |

a. 8 casillas (66.7%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es .02.

Interpretación:

Como el Nivel de Significación de muestra es **0,044**, menor al **0,05**, se Rechaza la Hipótesis Nula y en su lugar se Acepta la Hipótesis Alternativa, es decir: El ahorro de combustibles de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

5. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE INDICADORES X – Y

H_n: La hidrometalurgia en los procesos extractivos no se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

H_a: La hidrometalurgia en los procesos extractivos se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

Nivel de Significancia: $\alpha = 0,05$

Tabla N° 35: de contingencia RESUMEN_X (agrupado) * RESUMEN_Y (agrupado)

| | | y (agrupado) | | | Total |
|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|-------|
| | | A Veces | Casi Siempre | Siempre | |
| x (agrupado) | A Veces | 3 | 10 | 0 | 13 |
| | Casi Siempre | 10 | 33 | 1 | 44 |
| | Siempre | 1 | 2 | 0 | 3 |
| Total | | 14 | 45 | 1 | 60 |

Variable 1: X

La Hidrometalurgia en los procesos extractivos

X:

Valoración del promedio de las 4 dimensiones de la V1. (X1, X2, X3, X4)

Variable 2: Y

La separación de imperfecciones en los metales

Y:

Valoración del promedio de las 3 dimensiones de la V2. (Y1, Y2, Y3)

Tabla N° 36: Pruebas de chi-cuadrado

| | Valor | gl | Significación asintótica (bilateral) |
|------------------------------|-------------------|----|--------------------------------------|
| Chi-cuadrado de Pearson | ,534 ^a | 4 | ,019 |
| Razón de verosimilitud | ,776 | 4 | ,029 |
| Asociación lineal por lineal | ,009 | 1 | ,009 |
| N de casos válidos | 60 | | |

a. 6 casillas (66.7%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es .05.

Interpretación:

Como el Nivel de Significación de muestra es **0,019**, menor al **0,05**, se Rechaza la Hipótesis Nula y en su lugar Acepta la Hipótesis Alternativa, es decir: La hidrometalurgia en los procesos extractivos se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas.

Tabla N° 37: RESUMEN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

| CONTRASTACIONES | DECISIÓN | |
|--|----------|----------------|
| | H. NULA | H. ALTERNATIVA |
| Los beneficios de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. | | Se Acepta |
| Los costos de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. | | Se Acepta |
| La selección de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. | | Se Acepta |
| El ahorro de combustibles de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas | | Se Acepta |

Sobre los Indicadores establecidos en nuestra Investigación, se encuentra que entre ellos si existe **Relación**, es decir con una Probabilidad del **95%**, de las cuatro pruebas de hipótesis, en todas se Acepta la hipótesis alternativa, lo que nos conduce a una Aceptación de relación entre variables.

POR LO TANTO:

En las cuatro pruebas de hipótesis, se encuentra que se Acepta la Hipótesis Alternativa, dando paso al Rechazo de la Hipótesis Nula (Ver Tabla 37), con lo que se confirma la **ACEPTACIÓN DE LA HIPÓTESIS PRINCIPAL**, es decir que: La hidrometalurgia en los procesos extractivos se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas (ver Tabla 36).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se analizó que, Los beneficios de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas; como se observa en la tabla 28 del chi cuadrado encontrando un p valor de significancia de 0,026 la cual es menor que 0,05 por lo siguiente se aceptó la hipótesis alternativa.
- Se analizó que, Los costos de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas; como se observa en la tabla 30 del chi cuadrado encontrando un p valor de significancia de 0,015 la cual es menor que 0,05 por lo siguiente se aceptó la hipótesis alternativa.
- Se analizó que, La selección de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas; como se observa en la tabla 32 del chi cuadrado encontrando un p valor de significancia de 0,046 la cual es menor que 0,05 por lo siguiente se aceptó la hipótesis alternativa.
- Se analizó que, El ahorro de combustibles de la hidrometalurgia en los procesos extractivos, se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas; como se observa en la tabla 34 del chi cuadrado encontrando un p valor de significancia de 0,044 la cual es menor que 0,05 por lo siguiente se aceptó la hipótesis alternativa.
- Se determinó que, La hidrometalurgia en los procesos extractivos se relaciona con la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas; como se observa en la tabla 36 del chi cuadrado encontrando un p valor de significancia de 0,019 la cual es menor que 0,05 por lo siguiente se aceptó la hipótesis alternativa.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para lixiviar un mineral es necesario conocer el tamaño adecuado de partículas y densidad de pulpa para lograr una mejor eficiencia de extracción al menor costo posible. Algunas veces es necesario cambiar la estructura química para hacer una lixiviación preferencial.
- En cuanto a la selección del reactivo para la lixiviación está controlada mayormente por los factores de selectividad y costo. Aunque las condiciones para lixiviar un mineral son determinadas por experimentación, ciertos factores son comunes en la lixiviación bajo condiciones normales de presión, como son el tamaño de partícula, composición y concentración del solvente, tiempo de contacto, temperatura, agitación, etc.
- En muchos casos la solución madre, ya separada de los sólidos, que son en mayor parte relaves o ganga, no están todavía en condiciones de ir a la etapa final de recuperación de valores, por la sencilla razón que la solución madre contiene muchas impurezas que pueden precipitarse juntos con el producto final deseado, impurificándolo y afectando su calidad. Por eso la solución tiene que pasar por una etapa de purificación, que en la mayoría de los casos consiste en: Cambio de pH, Agregado de reactivos, Uso del Intercambio Iónico, Extracción por Solventes y Membradas permeables.
- El empleo de la corriente eléctrica permite obtener el metal con una pureza del 99.999%. La electro-refinación de ánodos solubles de un metal a partir de una solución acuosa que lo contiene al estado de Tones disueltos. Para que un proceso de electro-refinación sea económico, se debe obtener de un depósito catódico de buena calidad mediante una operación con eficiencia de corriente lo más alta posible.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS

6.1 FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

Arrieta, L. tesis titulada: “Biosorción de metales pesados por hongos filamentosos, aislados de cuerpos de agua altoandinos contaminados con relaves mineros de la sierra central del Perú”- Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Facultad de Ciencias Biológicas – Escuela Profesional de Microbiología y Parasitología. Lima – Perú. (2019).

Cáceres, S. tesis titulada: “Influencia del modelo geometalúrgico para la optimización de los procesos de explotación y beneficio del Au en el yacimiento Don Marcelo de la provincia de Recuay, Ancash - 2017” – Universidad Nacional de Huancavelica – Escuela de Posgrado. Huancavelica – Perú. (2018).

Cadierno, D. tesis titulada: “Estudio de Impacto Ambiental de recuperación de estaño, niobio y tantalio de Mina Penouta (Ourense) Experimento hidrometalurgia” – Universidad Rey Juan Carlos. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Madrid - España. (2020).

Castañeda, J. tesis titulada: “Evaluación de los métodos de hidrometalurgia, pirometalurgia y estabilización solidificación en el tratamiento de lodos procedentes de plantas de aguas residuales de procesos de cromado” – Universidad Nacional de Colombia – Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Maestría en Materiales y Procesos. Bogotá - Colombia. (2015).

Castro, H. tesis titulada: “Evaluación y optimización del método hidrometalúrgico de recuperación de zinc a partir de los desperdicios

de pilas alcalinas a nivel laboratorio” – Universidad de San Carlos de Guatemala – Facultad de Ingeniería, Guatemala. (2017).

Gonzales, L & Salazar, C. tesis titulada: “Influencia de los colectores Xantato Amilico de Potasio y Xantato Isopropilico de sodio en la flotación de Cu - Ag en la planta concentradora Emotsa, Compañía Minera Otapara S.A. Acari - Arequipa” – Universidad Nacional del Centro del Perú – Facultad de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales – Escuela de Ingeniería Comercial. (2020).

Guillen, B. tesis titulada: “Modelo de comportamiento de variables que afectan a la corrosión y protección catódica de estructuras de acero: Aplicación práctica a las conducciones enterradas y a los sistemas de captación continua de agua en desaladoras” – Universidad Politécnica de Madrid – Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. España. (2015).

Hess, J. tesis titulada: “Documento sobre Inclusiones Fluidas VIII: exploración de metales preciosos en la veta Don Leopoldo, distrito minero de Alhué, región metropolitana, Chile” – Universidad de Chile – Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas – Departamento de Geología. Chile. (2019).

Huaraya, N. tesis titulada “Evaluación de los parámetros de operación de un pad de lixiviación de cobre” Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa – Facultad de Ingeniería de Procesos – Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica. Arequipa – Perú. (2020).

Mamani, A. tesis titulada: “Lixiviación de minerales finos oxidados de Cobre” – Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Facultad de Ingeniería – Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales. Tacna - Perú. (2019).

6.2. FUENTES ELECTRÓNICAS

https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html

<https://iimp.org.pe/archivos/publicaciones/a621-20210824-062743-1552.pdf>

http://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Mineria-y-Geomatica/AAI_OPIM01_Introduccion_a_la_mineria_y_metalurgia_Capitulo_3.pdf

https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGEE/eficiencia%20energetica/publicaciones/guias/1_%20guia%20mineria%20metalica%20DGEE-1.pdf

ANEXOS

Anexo N° 1

Cuestionario N° 01 - ENCUESTA

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

CUESTIONARIO DE ENCUESTA PARA MEDIR LA HIDROMETALURGIA EN LOS PROCESOS EXTRACTIVOS Y LA SEPARACIÓN DE IMPERFECCIONES EN LOS METALES DE LAS MINERAS PERUANAS.

A.- Presentación:

Estimado (a) señor (a), el presente cuestionario es parte de una investigación que tiene por finalidad obtener información, acerca de La Hidrometalurgia en los procesos extractivos y la separación de imperfecciones en los metales de las mineras peruanas. Respuestas personales que solamente, son de gran importancia para nuestra investigación y que serán procesadas con toda confidencialidad, respetando el anonimato en la presentación de los resultados.

B.- Indicaciones:

- ✓ Este cuestionario es anónimo. Por favor responda con sinceridad.
- ✓ Lea detenidamente cada ítem. Cada uno tiene cinco respuestas, de las cuales sólo seleccione una.
- ✓ Conteste a las preguntas marcando con una “X” en un solo recuadro que, según su opinión. La escala de calificación es la siguiente:
1 = Nunca, 2 = Casi Nunca, 3 = A Veces, 4 = Casi Siempre, 5 = Siempre

| Ítem | LA HIDROMETALURGIA EN LOS PROCESOS EXTRACTIVOS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ¿Crees que con el lavado es posible obtener la mena de la ganga en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas? | | | | | |
| 2 | ¿Crees que es beneficioso las homogenizaciones de las moliendas en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas? | | | | | |
| 3 | ¿Conoces el proceso de concentración o separación del mineral o metal en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas? | | | | | |
| 4 | ¿Es beneficioso transformar las menas en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas? | | | | | |
| 5 | ¿Cree ud. que los costos que se obtienen externamente son los más representativos en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas? | | | | | |
| 6 | ¿Cree ud. que los costos de cada mineral en su estructura son los más representativos en los procesos extractivos de minerales en las mineras peruanas? | | | | | |
| 7 | ¿Le parece que el proceso hidrometalúrgico es el más empleado en la selección de los metales en las mineras peruanas? | | | | | |
| 8 | ¿Le parece que el proceso pirometalúrgico es el más empleado en la selección de los metales en las mineras peruanas? | | | | | |

| | | | | | | |
|-------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| 9 | ¿En los procesos hidrometalúrgicos de minerales es muy notorio el ahorro de energía en las mineras peruanas? | | | | | |
| 10 | ¿En los procesos hidrometalúrgicos de minerales es muy notorio el ahorro de petróleo en las mineras peruanas? | | | | | |
| Ítem | SEPARACIÓN DE IMPERFECCIONES EN LOS METALES | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 11 | ¿Crees que sería útil y/o necesario la disolución de sólidos de minerales para separar los metales en botaderos que aun tienen algún pequeño porcentaje de metales? | | | | | |
| 12 | ¿Crees que sería útil y/o necesario la percolación después de la disolución de sólidos de minerales para separar los metales en las mineras peruanas? | | | | | |
| 13 | ¿Te parece que el método de lixiviación por agitación logra su cometido de extraer más metales en las mineras peruanas? | | | | | |
| 14 | ¿Cree ud. que el método de lixiviación a presión resulte útil en el proceso de extracción de metales en las mineras peruanas? | | | | | |
| 15 | ¿Existe el proceso de concentración como fin primordial para las soluciones de metales en las mineras peruanas? | | | | | |
| 16 | ¿Existe el proceso de purificación como fin primordial para las soluciones de metales en las mineras peruanas? | | | | | |
| 17 | ¿Existe el proceso de separación como fin primordial para las soluciones de metales en las mineras peruanas? | | | | | |
| 18 | ¿Es a través del ánodo la recepción de electrones positivos en la electroobtención de los metales para generar otra reacción negativa y lleve a la obtención de más metal? | | | | | |
| 19 | ¿Se logra a través de la electroobtención la obtención de más metal a través de reacción negativa (cátodo) más metal? | | | | | |

Gracias por tu colaboración