



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y
METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALÚRGICA



**RECUPERACIÓN DE PLATA REFINADA A PARTIR DE UNA
SOLUCIÓN DE ÁCIDOS DE PURIFICACIÓN DE ORO EN
LABORATORIO QUÍMICO DE LA EMPRESA MINALCOR SAC.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ROMARIO HUGO COARICONA CATACTORA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis está dedicado el que me ha dado fortaleza para continuar cuando he estado a punto de caer; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente a Dios por darme la vida y por ser la luz que me ha guiado mi camino.

A mis queridos padres Hugo Coaricona Ccama, Carmen Catacora Jahuirra, no tengo palabras para expresarme mi amor y mi gratitud por mi madre quien ha luchado por hacerme persona de bien a mí y a mis hermanos, que con paciencia e inmenso amor nos ha sabido impulsar para que sigamos adelante, gracias a ella he llegado a culminar un peldaño más de mi vida y buscar el sendero del camino deseando por ella.

A mi compañera de toda mi vida Karina Mendoza Chura. Por ser la persona muy especial para mí, por brindarme su apoyo incondicional quien ha puesto toda su confianza, y a mi hija Abigail A. Coaricona Mendoza que es mi motor y mi inspiración para lograr mis objetivos más en mi vida.

De igual forma dedico a Pedro Coaricona Mendoza y a mi familia en general que han brindado su apoyo, y a las personas que han contribuido en mi desarrollo profesional y personal. Por eso y todo lo demás les dedico este trabajo académico.

El tesista



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias a Dios por acompañarme todos los días y haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

A mi padre a pesar de todas las dificultades, lo llevo siempre en mi corazón y mente lo he tenido siempre presente en mi vida. Sé que está orgulloso de la persona en la cual me he convertido.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mis suegros Jorge Mendoza, Adela Chura por demostrarme la gran fe que tienen en mí.

A mis tíos Leónidas Quispe, Lourdes Coaricona han sido parte fundamental en el transcurso de mi carrera universitaria que siempre con sus consejos me han ayudado a afrontar los retos que se me ha presentado a lo largo de mi vida

Agradezco a mi querida Universidad Nacional del Altiplano, a la Escuela Profesional de Ing. Metalúrgica a los docentes que fueron parte de mi formación como profesional y en especial a mis jurados de tesis quienes participaron activamente en la elaboración de este trabajo, a mis compañeros a todos los que estuvieron durante mi etapa de formación profesional.

Un agradecimiento especial al Ing. Hipólito Cordova Gutierrez, director de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento durante la elaboración de este proyecto.

Agradezco también al Laboratorio Químico de la empresa minera MINAS ALTA CORDILLERA SAC. Especialmente al Ing. Roberto Gutiérrez Pinto superintendente de planta, Ing. Wolmer Cuno Rodriguez. Por su confianza y permitirme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación les quedo agradecido profundamente.

El tesista.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN 9

ABSTRACT..... 10

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 FUNDAMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 11

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 12

1.3 JUSTIFICACIÓN 13

1.4 OBJETIVOS..... 13

1.4.1 Objetivo general..... 13

1.4.2 Objetivos específicos 14

1.5 HIPÓTESIS 14

1.5.1 Hipótesis específicas 14

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO 15

2.1.1. Extracción de metales. 15

2.1.2. La extracción de metales por piro metalurgia..... 16

2.1.3. Extracción de metales por hidrometalurgia 20

2.1.4. Extracción de oro 22

2.1.4.1. El oro..... 24

2.1.4.2. Naturaleza del oro 24

2.1.4.3. Características del oro 25

2.1.4.4. Usos del oro..... 25

2.1.5. Extracción de plata..... 26

2.1.5.1. La plata..... 27

2.1.5.2. Naturaleza de la Plata..... 27

2.1.5.3. Características de la Plata..... 27



2.1.5.4. Usos y aplicaciones	28
2.1.6. El dore	29
2.1.6.1. Fundición del dore.....	29
2.1.7. Procesos metalúrgicos en el Perú.....	30
2.1.7.1. Lixiviación	30
2.1.7.2. Purificación	30
2.1.7.3. Electrodeposición.....	30
2.1.7.4. Flotación diferencial.....	31
2.1.7.5. Fundición.....	31
2.1.7.6. Espectrofotometría	31
2.1.7.7. Fluorometría.....	31
2.1.7.8. Espectrometría de absorción atómica (AAS).....	32
2.1.7.9. Espectrometría de absorción atómica de llama (faas).....	32
2.1.7.10. Espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros (HGAAS).....	33
2.1.7.11. Espectrometría de absorción atómica de horno de grafito (GFAAS)	33
2.1.7.12. Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES).....	34
2.1.8. Soluciones químicas en la metalurgia.....	34
2.1.8.1. Cianuro.....	35
2.1.8.2. Ácido nítrico.....	36
2.1.8.3. Ácido clorhídrico.....	37
2.1.8.4. Cloruro de sodio.....	37
2.1.8.5. Tratamiento	38
2.1.8.6. Prevención.....	38
2.1.8.7. Almacenamiento de sustancias químicas	39
2.2. ANTECEDENTES	39

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE ESTUDIO	45
3.2. DISEÑO DE ESTUDIO	45
3.3. POBLACIÓN	45
3.4. MUESTRA.....	46



3.5. INSTRUMENTOS	46
3.6. PROCEDIMIENTO PARA LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES SEGÚN LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS	47
3.6.1. Análisis químico por vía seca.	49
3.6.2. Determinación de oro y plata para muestras de mina, planta y concentrados.....	49
3.6.3. Determinación de oro y plata para muestras de carbón activado.....	51
3.6.3.1. Determinación de la plata en la fusión.....	51
3.6.4. Análisis químico por absorción atómica para determinar los procesos experimentales y manejo de equipo	53
3.6.5. Manejo del equipo de absorción atómica.....	53
3.6.5.1. Recomendaciones antes del encendido del equipo:	53
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. INFLUENCIA DE CLORURO DE SODIO (NaCl) EN LA PRECIPITACIÓN DE LA PLATA.....	58
4.2. CLORURO DE PLATA	62
4.2.1. Pasos para obtener cloruro de plata:.....	62
4.2.2. Resultados de la influencia de los fundentes en la obtención de plata refinada.....	64
4.2.2.1. Experimento con cloruro de plata	65
4.2.2.2. Descarga o colado de muestras:	66
4.2.2.3. Porcentaje de recuperación de la plata	69
4.2.2.4. Discusión del Experimento de corroboración:	73
4.2.3. Costos.....	74
V. CONCLUSIONES.....	77
VI. RECOMENDACIONES	78
VII. REFERENCIAS	79
ANEXOS.....	85

Área : Metalurgia Extractiva

Tema : Refinación de la Plata

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 17 DE JUNIO DE 2021.



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Experimentos variados la cantidad de cloruro de sodio en la precipitación de la plata	48
Tabla 2	Experimentos variados el tipo de fundente en obtención de la plata refinada (plata piña).....	49
Tabla 3	Referencia para curva de calibración en minerales MINALCOR SAC.....	55
Tabla 4	Resultados de la influencia del cloruro de sodio.....	57
Tabla 5	Resultado de pruebas con cloruro de plata.....	66
Tabla 6	Resultado consolidado de pesos y porcentajes.....	74
Tabla 7	Costos de materiales.....	74
Tabla 8	Costo de materiales del experimento de mayor recuperación de plata	75



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama de flujo del procesamiento de los materiales metálicos por piro metalurgia	18
Figura 2	Diagrama de flujo del procesamiento de los materiales metálicos por hidrometalurgia.....	20
Figura 3.	Diagrama Binario de Ag-Au.....	29
Figura 4.	Muestra con cloruro de sodio	47
Figura 5.	Prueba 1 con 5g de cloruro de sodio.....	58
Figura 6.	Prueba 2 con 10 g de cloruro de sodio.....	59
Figura 7.	Prueba 3 con 15g de cloruro de sodio.....	60
Figura 8.	Prueba 4 con 20g de cloruro de sodio.....	61
Figura 9.	Prueba 5 con 25g de cloruro de sodio.....	62
Figura 10.	Lectura por absorción atómica a la solución barren	63
Figura 11.	Proceso de ligoteado de la Plata	64
Figura 12.	Pesado de la plata	65
Figura 13.	Pesado de muestras para el porcentaje de recuperación	65
Figura 14.	Escoria de la muestra 1	67
Figura 15.	Escoria de la muestra 2	67
Figura 16.	Escoria de la muestra 3	68
Figura 17.	Escoria de la muestra 4.....	68
Figura 19.	Muestra antes del Copelado.....	69
Figura 20.	Muestra después del copelado	70
Figura 21.	Pesado final muestra 1	70
Figura 22.	Pesado final muestra 2	71
Figura 23.	Pesado final muestra 3	72
Figura 24.	Pesado final muestra 4	72
Figura 25.	Pesado final muestra 5	73



RESUMEN

La empresa Minas Alta Cordillera Sociedad Anónima Cerrada MINALCOR S.A.C. está ubicada en la comunidad campesina de Arirahua, distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyos y departamento de Arequipa, se dedica al acopio y procesamiento de minerales auríferos sulfurados y oxidados. En el laboratorio Químico–Metalúrgico se realizaron varias pruebas utilizando una solución de ácidos de purificación de oro cuya ley es de 15,590 mg/l de plata, con el objetivo de determinar la recuperación de plata refinada a partir de la misma; los resultados de dicha experimentación muestran que al incrementar la cantidad de cloruro de sodio para la precipitación de plata en la solución ácido remanente, se obtiene mayor recuperación de plata 98.05% que precipita como cloruro de plata ; así mismo en la experimentación del uso de diferentes fundentes (plomo, bórax, harina) para la recuperación de plata refinada se obtiene 97.64% de plata granallada para su comercialización habiéndose utilizado para ello 100 gramos de compuesto de plomo, 25 gramos de bórax y 1.5 de harina.

Palabras Clave: cloruro de sodio, oro, plata, purificación, recuperación.



ABSTRACT

The company Minas Alta Cordillera Sociedad Anónima Cerrada (MINALCOR S.A.C.), is located in the Arirahua section, Yanaquihua district, Condesuyos province, Arequipa department is dedicated to the collection and processing of sulfurized and oxidized gold minerals. In the Chemical - Metallurgical laboratory, the quantitative analysis of gold and silver is carried out using the dry method (Fire Assay) and instrumentation (Atomic Absorption). The dry method of samples is carried out by dry processes in order to obtain the browning (Au-Ag button) through the cupellation process, the browning is chemically attacked using dilute nitric acid. The laboratory generates a gold refining solution with silver content, which is the study material for this thesis. The development has begun with the experimental tests of precipitation with sodium chloride and then the fusion of fluxes to obtain refined silver, 96.34% shot-blasted silver for commercialization, likewise it is intended to evaluate the optimal recovery parameters and establish the optimal model in silver recovery.

Key Words: sodium chloride, gold, silver, purification, recovery



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 FUNDAMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La industria minera es el motor del desarrollo en América Latina que se ha magnificado en las últimas décadas. Este asunto puede ubicarse como uno de los emblemas paradigmáticos de la querrela que existe sobre la construcción de proyectos mineros como en el Perú. En esta disputa se expresa nítidamente la confrontación de diferentes perspectivas teóricas y epistémicas para la significación de la idea de desarrollo, progreso, democracia, justicia y en particular de la sustentabilidad.(Azamar y Ponce, 2014; Fuente y Barkin, 2012)

Perú es un líder mundial en la industria minera, lo que lo convierte en una opción natural para los inversores internacionales. Es uno de los mayores productores mundiales de metales básicos y preciosos. Actualmente, es el segundo mayor productor de cobre del mundo y se encuentra entre los cuatro principales productores de plata, plomo, zinc, estaño y molibdeno.(Acosta, Boza, Oliveros, Rosado, y Zambrano, 2019)

En el Perú la minería, ha tenido y tiene una importancia vital en la sociedad peruana aún más en el desarrollo económico, debido a la gran riqueza mineral que posee, es un país de 32.8 millones de personas, una de las economías de más rápido crecimiento en América Latina; así mismo tiene ricos depósitos de cobre, oro, plata, plomo, zinc, gas natural y petróleo; también es un país muy diverso debido a las variaciones climáticas, naturales y culturales de sus regiones. La economía peruana refleja su variada geografía, una región costera árida, los andes más hacia el interior y las tierras tropicales que bordean Colombia y Brasil; abundantes recursos minerales



se encuentran principalmente en las zonas montañosas, y las aguas costeras del Perú proporcionan excelentes zonas de pesca. (Acosta et al., 2020)

El aprovechamiento de los recursos naturales, por medio de la recuperación y el reciclaje de materiales y productos energéticos. (Parga y Carrillo, 1996), hoy en día toma real importancia, por ello se desarrolló el presente estudio a fin de que la empresa minera MINALCOR SAC que desecha las soluciones acidas remanentes con valores de plata cuya ley se encuentra en 15,590 mg/l de plata que no se están sometiendo el proceso de recuperación de plata. Mediante el uso racional de diseños experimentales y de una estrategia adecuada obtenemos las condiciones óptimas de una manera rápida eficiente y confiable para determinar experimentalmente una óptima condición de proceso de recuperación de plata a partir de la solución química que emana de la purificación de oro y al mismo tiempo obtener una mayor recuperación de plata a partir de soluciones remanentes y mejorar la sustentabilidad de trabajo en la empresa Minas Alta Cordillera SAC, en vista que en muchos casos estas soluciones son desechadas pero pueden ser reutilizadas para estas pruebas que nos ayudarán a comprobar la sustentabilidad de este procedimiento. Además a nivel mundial la tendencia de las tecnologías existentes y de las nuevas es encontrar procesos no contaminantes, que puedan producir beneficios económicos, acorde con las reglamentaciones ambientales.(Gagliuf, Angélica, Mera, Albildo, y Cabezas, 2012)

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Minas Alta Cordillera S.A.C. es una empresa de pequeña minería de prestigio a nivel nacional la cual tiene una producción de entre 100 a 150 tm/día de minerales de (oro y plata). El problema del proceso de purificación de oro es donde



el dore es disgregado mediante el ácido nítrico y causa una separación de oro y la plata diluida como nitrato de plata, una vez disuelta toda la plata, se separa el oro lavando con agua desionizada varias veces, donde la solución remanente de la plata diluida es desechada, esto trae consigo eliminación de plata en los residuos que no son utilizados adecuadamente, es necesario optimizar los procesos de extracción de metales generados por estos residuos.

De acuerdo a lo manifestado nos planteamos la siguiente interrogante:

¿Será posible determinar la recuperación de plata refinada a partir de una solución de ácidos de purificación de oro en laboratorio químico de la empresa MINALCOR SAC?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Al optimizar un proceso de recuperación de plata mediante el uso de experimentos y de una estrategia adecuada obtenemos las condiciones óptimas de una manera rápida eficiente y confiable para determinar una óptima condición de proceso de recuperación de plata a partir de la solución química que emana de la purificación de oro y al mismo tiempo obtener una mayor recuperación de plata a partir de soluciones remanentes y a si seguir mejorando la sustentabilidad de trabajo en la empresa Minas Alta Cordillera SAC, envista de que en muchos casos estas soluciones son desechadas pero pueden ser reutilizadas para estas pruebas que nos ayudarán a comprobar la sustentabilidad de este procedimiento.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general.

Determinar la recuperación de plata refinada a partir de una solución de ácidos de purificación de oro en el laboratorio químico MINALCOR S.A.C.



1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar cómo influye el cloruro de sodio en la recuperación de la plata refinada a partir de una solución de ácidos de purificación de oro en el laboratorio químico de la empresa MINALCOR SAC.
- Determinar cómo influyen los fundentes en la recuperación de la plata refinada a partir de una solución de ácidos de purificación de oro en el laboratorio químico de la empresa MINALCOR SAC.

1.5 HIPÓTESIS

- Es posible recuperar plata refinada a partir de una solución de ácidos de purificación de oro en el laboratorio químico de la empresa MINALCOR SAC.

1.5.1 Hipótesis específicas

- El cloruro de sodio determina la recuperación de la plata refinada a partir de una solución de ácidos de purificación de oro en el laboratorio químico de la empresa MINALCOR SAC.
- Los fundentes determinan el proceso de la recuperación de la plata refinada a partir de una solución de ácidos de purificación de oro en el laboratorio químico de la empresa MINALCOR SAC.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Extracción de metales.

Los materiales metálicos (metales y aleaciones metálicas) son sustancias inorgánicas que están compuestas de uno o más elementos metálicos, pudiendo contener también algunos elementos no metálicos. Los materiales metálicos tienen una estructura cristalina en la que los átomos están dispuestos de manera ordenada. Tienen un gran número de electrones deslocalizados, que no pertenecen a ningún átomo en concreto, constituyendo el enlace metálico. La mayoría de las propiedades de los materiales metálicos se atribuyen a estos electrones como, por ejemplo, la buena conductividad eléctrica y térmica. Ejemplos de materiales metálicos son el acero, la fundición de hierro, el aluminio, el cobre, el cinc, el titanio, el níquel, etc.(William D . C allister, 2000)

Es misión de la metalurgia extractiva separar los metales de mayor interés, hasta producirlos en un estado de relativa pureza para poderlos utilizar. La industria minera, en particular la asociada a la explotación de los metales preciosos, indiscutiblemente ha tenido un peso importante en el desarrollo de la economía mundial a lo largo de la historia. Desde antes de la llegada de los españoles, en Colombia se han explotado minas que contienen metales preciosos, y más recientemente se han buscado mejoras en los procesos de extracción y se han impuesto regulaciones mineras que tratan de limitar el uso de ciertos agentes.

La minería, a través de los siglos, ha formado Parte de la historia y del desarrollo económico de Perú y países de la zona, siendo generadora y soporte de la



expansión regional en diferentes épocas. Dentro de la industria minero metalúrgica peruana, la extracción de valores metálicos no férricos (oro, plata, plomo y cinc) tienen vital importancia, debido a la creciente demanda de metales en el mercado, por ser la segunda fuente generadora de divisas para el país. (Parga & Carrillo, 1996)

La metalurgia extractiva separar los metales de mayor interés, hasta producirlos en un estado de relativa pureza para poderlos utilizar. La industria minera, en particular la asociada a la explotación de los metales preciosos, indiscutiblemente ha tenido un peso importante en el desarrollo de la economía mundial a lo largo de la historia. Desde antes de la llegada de los españoles, en Colombia se han explotado minas que contienen metales preciosos, y más recientemente se han buscado mejoras en los procesos de extracción y se han impuesto regulaciones mineras que tratan de limitar el uso de ciertos agentes. El proceso de lixiviación con cianuro se ha empleado con “éxito” desde finales del siglo XIX en la obtención de oro y plata, pero debido a los efectos negativos sobre el medio ambiente de este agente y a las subsecuentes restricciones establecidas, se buscan nuevas alternativas, que generen excelentes porcentajes de extracción y una mejor aceptación ante las entidades mineras de control ambiental; por esta razón, el presente estudio busca implementar la tiourea, haciendo lixiviaciones de oro con ambos métodos, para comparar el rendimiento en la recuperación de oro y generar procesos alternativos en la industria minera nacional. (Santamaría Roncancio et al., 2013).

2.1.2. La extracción de metales por piro metalurgia

La extracción de metales por pirometalurgia se lleva a cabo mediante operaciones por vía seca que se realizan a altas temperaturas entre productos en estado sólido, líquido o gaseoso. (Ballester et al., 2000)



Debido a que la mayoría de los metales son excelentes reductores, normalmente los metales están en la naturaleza combinados químicamente con otros elementos, formando compuestos de diversas clases, que es preciso tratar convenientemente para poder obtener el metal. Estas combinaciones no se encuentran con frecuencia puras, sino mezcladas con otras materias formando los minerales. Por tanto, los minerales estarán formados por dos componentes: la mena, que es el mineral propiamente dicho y la ganga, que son las materias estériles. (Ballester et al., 2000)

La secuencia del procesamiento de los materiales metálicos por pirometalurgia incluye las siguientes etapas, tal como puedes ver en la Figura 1:

a) Preparación de los minerales. Las principales operaciones de preparación de los minerales son:

- **Trituración y molienda:** tienen por objeto reducir el tamaño de los minerales, siendo más pequeño el tamaño de las partículas obtenidas tras la operación de molienda. La trituración se realiza con materiales secos, mientras que la molienda puede hacerse con materiales secos o húmedos. (Ballester et al., 2000)
- **Clasificación:** tiene por objeto clasificar las partículas de los minerales por tamaño tras la trituración o molienda. La clasificación puede realizarse con materiales secos (clasificadores mecánicos) o húmedos (clasificadores hidrodinámicos). (Ballester et al., 2000)
- **Concentración:** tiene por objeto separar de un mineral la mayor parte de la ganga, de forma que el mineral quedará enriquecido o concentrado. Algunas de las operaciones de concentración más empleadas son la flotación y la separación magnética. (Ballester et al., 2000)

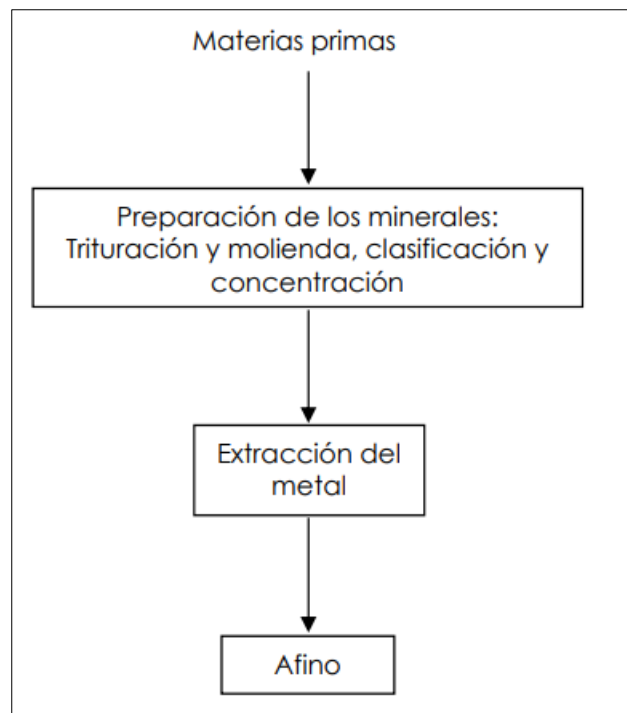


Figura 1. Diagrama de flujo del procesamiento de los materiales metálicos por piro metalurgia

Fuente : (Ballester et al., 2000).

b) Extracción del metal.

Los procedimientos de extracción del metal se dividen básicamente en tres grupos:

1) métodos de reducción óxidos metálicos, 2) métodos de reducción de haluros metálicos y 3) métodos reducción de sulfuros metálicos. (Ballester et al., 2000)

A continuación, vamos a ver las principales operaciones que se utilizan en el proceso de extracción del metal por pirometalurgia. Un metal se puede extraer por piro metalurgia sin necesidad de utilizar todas y cada una de estas operaciones:

- **Calcinación:** tiene por objeto descomponer un compuesto (carbonato, sulfato, hidróxido, etc.) en sus óxidos formadores haciendo uso del calor. (Ballester et al., 2000)
- **Tostación:** operación mediante la cual un sulfuro, al reaccionar con el oxígeno del aire, se transforma en un óxido. Por ejemplo, la tostación de los minerales sulfurados de cobre para producir óxido de cobre o la tostación de los minerales



sulfurados de cinc para producir óxido de cinc. Normalmente es una operación previa a la de fusión. (Ballester et al., 2000)

- **Fusión:** operación en la que se obtienen, en un horno adecuado, varias fases fundidas: metal, escoria o mata. Es una de las operaciones más utilizadas en metalurgia extractiva. Por ejemplo, se usa para extraer el hierro (fusión reductora) o como paso previo en la obtención del cobre (fusión neutra: fusión a mata). La escoria se forma al reaccionar la ganga contenida en el mineral con un fundente (ácido o básico). Preparación de los minerales: Trituración y molienda, clasificación y concentración Extracción del metal Afino. (Ballester et al., 2000)
 - **Volatilización:** operación que conduce a un metal (reductora), un compuesto (oxidante), un haluro (de haluros) o un carbonilo metálico (de carbonilos) en forma gaseosa. Por ejemplo, en la metalurgia del cinc por vía seca, el metal se obtiene como un gas por reducción del óxido. (Ballester et al., 2000)
 - **Electrólisis de sales fundidas:** tiene por objeto la obtención de un metal a partir de uno de sus compuestos disuelto en un electrólito fundido y utilizando la corriente eléctrica como agente reductor. Por ejemplo, se usa en la obtención del aluminio por electrólisis de la alúmina disuelta en un baño de criolita fundida. (Ballester et al., 2000)
 - **Metalotermia:** operación en la que un metal desplaza a otro de sus compuestos al ser más reactivo. Por ejemplo, en la obtención del titanio se utiliza magnesio para reducir el tetracloruro. (Ballester et al., 2000)
- c) **Afino:** Tiene por objeto la separación del metal principal de otros elementos, considerados como impurezas, que pueden o no aprovecharse. Las principales

operaciones de purificación o afino del metal son: 1) electrólisis en disolución acuosa, 2) descomposición térmica y 3) fusión por zonas. (Ballester et al., 2000)

2.1.3. Extracción de metales por hidrometalurgia

La extracción de metales por hidrometalurgia se lleva a cabo mediante operaciones por vía húmeda que se realizan a través de reacciones en fase acuosa y a bajas temperaturas. (Ballester et al., 2000)

En general los minerales que se extraen de la naturaleza no son puros, sino que están mezclados con materias estériles, que constituyen la ganga del mineral. Estas materias se encuentran en la naturaleza rodeando al mineral propiamente dicho (mena) y no se pueden separar al arrancar el mineral en condiciones económicas y ventajosas. (Ballester et al., 2000)

La secuencia del procesamiento de los materiales metálicos por hidrometalurgia incluye las siguientes etapas, tal como puedes ver en la Figura 2:

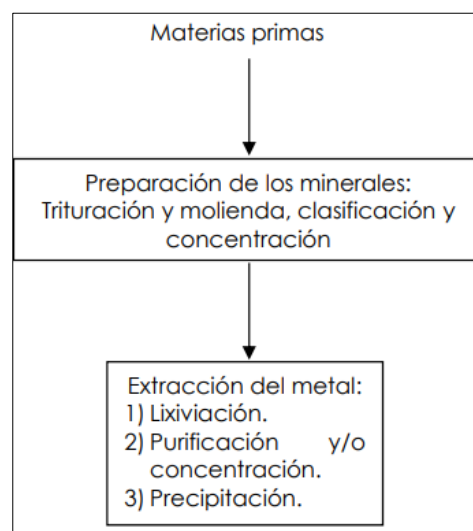


Figura 2 Diagrama de flujo del procesamiento de los materiales metálicos por hidrometalurgia

Fuente : (Ballester et al., 2000)

a) Preparación de los minerales.

Las principales operaciones de preparación de los minerales son:



- Trituración y molienda: tienen por objeto reducir el tamaño de los minerales, siendo más pequeño el tamaño de las partículas obtenidas tras la operación de molienda. La trituración se realiza con materiales secos, mientras que la molienda puede hacerse con materiales secos o húmedos. (Ballester et al., 2000)
- Concentración: tiene por objeto separar de un mineral la mayor parte de la ganga, de forma que el mineral quedará enriquecido o concentrado. La flotación es la operación más empleada para la concentración de las menas utilizadas en hidrometalurgia. (Ballester et al., 2000)

b) Extracción del metal.

La extracción del metal por hidrometalurgia se realiza mediante las siguientes operaciones, una a continuación de la otra:

- Lixiviación: operación en la que tiene lugar el ataque químico, en fase acuosa, del metal valioso contenido en la mena mineral. Puede ser ácida, básica o neutra dependiendo del carácter del reactivo químico utilizado, que a su vez es función de la ganga del mineral. (Ballester et al., 2000)
- Purificación y/o concentración: operación que se realiza sobre la disolución obtenida en la etapa anterior de lixiviación. El objetivo de esta operación es retirar determinadas impurezas de la disolución antes de que ésta sea sometida a la etapa siguiente de precipitación. Se suele realizar mediante los siguientes métodos(Ballester et al., 2000):
 - Métodos químicos de precipitación.
 - Cementación (reacción de desplazamiento similar a la Metalotermia, pero en fase acuosa).



- Utilizando cualquiera de las reacciones de la química convencional que sirven para retirar un metal de una fase acuosa.
- Extracción con disolventes (en el caso de disoluciones muy diluidas).
- Separación con resinas de intercambio iónico (en el caso de disoluciones muy diluidas).
- Precipitación: el objetivo de esta operación es separar el metal valioso de la disolución, en forma elemental (casi siempre) o en forma oxidada (en raras ocasiones). Se suele realizar mediante los siguientes métodos (Ballester et al., 2000):
 - Electrólisis (como es el caso del cobre).
 - Cementación (como es el caso de las disoluciones cianuradas de oro).
 - Métodos convencionales de química, como, por ejemplo, la precipitación de metales con hidrógeno gaseoso a presión y temperaturas altas (como es el caso del níquel y el cobre).

2.1.4. Extracción de oro

La explotación minera en el Perú, se remonta a la época pre inca, se han encontrado piezas de oro expresadas en coronas, adornos, máscaras de esta época como las prendas del señor de Sipan; en Cajamarca, en la provincia de San Pablo, en las ruinas de Cuntur Huasi. El legado de las civilizaciones andinas evidencia el gran desarrollo que alcanzaron en metalurgia y el arte exquisito de sus orfebres. La abundancia de oro y plata que encontraron los españoles permitió que se desarrollaran diferentes mitos y leyendas. La historia registra que el último inca del Tahuantinsuyo, Atahualpa ofreció a los españoles por su rescate y liberación llenar un cuarto de oro y dos de plata, como testimonio de ello hoy en Cajamarca, existe un lugar de visita de los turistas al cuarto del rescate que se ha convertido, en un



patrimonio arqueológico y turístico.(Reyes, Gonzales, y Oropeza, 2003; Rivera Briceño, 2009)

El oro es un elemento químico metálico de número atómico 79 y de color amarillo brillante. Es considerado un metal especial, debido a su escasa presencia en la corteza terrestre. Como consecuencia, la cantidad ofertada de oro en comparación con la de otros metales es pequeña(Bustamante Rúa, Gaviria Cartagena, y Restrepo Baena, 2008).

A nivel mundial, el oro es demandado como insumo y como bien final. La demanda como insumo es una demanda derivada. El empleo del oro como insumo se remonta a 600 A.C., cuando era utilizado en aplicaciones dentales. Posteriormente, en 1981, se empezó a usar en la elaboración de fármacos para la artritis reumatoide y, para 2001, su uso se extendió a la fabricación de componentes para las intervenciones quirúrgicas al corazón debido a su resistencia a la corrosión. Debido a que el oro es un buen conductor del calor y la electricidad, su utilización en la industria tecnológica es significativa; infinidad de microchips y circuitos de aparatos eléctricos contienen hilos conectores basados en oro. También se usa en la elaboración de productos espaciales; por ejemplo, en 1981, se estimaba que la construcción de un transbordador espacial requería 41 kilos de oro. A la fecha, se utiliza, sobre todo, en joyería, debido a sus propiedades de maleabilidad y brillo (en el capítulo 2 se analiza su demanda mundial). Asimismo, cuando el oro es mezclado con otros metales se crea una variedad de colores (oro amarillo, rosa, rojo, gris, verde), lo que incrementa su empleo.(Tamayo, Jácome, Vásquez, y Zurita, 2017; Vásquez Cordano, 2012)

El Manejo del Cianuro en la Extracción de Oro ofrece un panorama general sobre los usos y riesgos de esta sustancia química, con especial énfasis en su uso para



la recuperación de oro. La publicación comienza describiendo las propiedades del cianuro y sus usos generales en la industria, luego continúa tratando más específicamente el ciclo de vida del cianuro en el ambiente minero, su producción, uso en la extracción de minerales y su química general y ambiental. Después de presentar esta información, la publicación explica cómo los principios de evaluación de riesgos, el manejo de riesgos y la información de riesgos contribuyen al uso seguro del cianuro en la recuperación de oro. (Logsdon J., Hagelstein, y Midder I., 2001)

El oro, afronta un déficit, pues apenas cubre la demanda interna, ya que el oro se ha obtenido típicamente como un subproducto de la producción de plata, cobre y plomo. Por ello, es necesario llevar a cabo mejoras e innovaciones en los actuales métodos de extracción de metales preciosos para aprovechar mejor los recursos naturales disponibles. (Parga y Carrillo, 1996)

2.1.4.1. *El oro*

Elemento químico, símbolo Au, número atómico 79 y peso atómico 196.967; es un metal muy denso, blando y de color amarillo intenso. El oro se clasifica como metal pesado y noble; en el comercio es el más común de los metales preciosos. El cobre, la plata y el oro están en el mismo grupo en la tabla periódica. La fuente del símbolo químico, Au, es su nombre en latín aurum (amanecer radiante). Hay sólo un isótopo estable del oro, con número de masa 197 (YÁNEZ TRASLAVIÑA, GARCÍA PÁEZ, PEDRAZA ROSAS, y LAVERDE CATAÑO, 2005).

2.1.4.2. *Naturaleza del oro*

Se encuentra libre en la naturaleza en venas de cuarzo (o filones) y, como pepitas, en las gravas aluviales de las que se separa mecánicamente. En menor proporción puede encontrarse también aleado naturalmente con la plata, amalgamado



con el mercurio, en minerales como la silvinita, un telururo de plata y oro, (Au,Ag) (“Oro (Au) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente,” n.d.).

En cuanto se encuentra en Colorado y, a veces, acompaña en cantidades estimables a la galena y algunas piritas. Se estima que en los océanos pueden encontrarse unos 9.000 millones de toneladas pero su recuperación es más costosa que el propio valor del oro ya que la concentración es del orden de 5 a 250 partes en peso por cada 100 millones de partes de agua (“Oro (Au) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente,” n.d.; Orozco, Bazan, y Brandaleze, 2018).

2.1.4.3. *Características del oro*

El oro es un elemento metálico que exhibe un color amarillo en bruto, pero que puede mostrarse negro, rubí o morado en divisiones finas, así mismo se pueden adherir las siguientes características según (“Oro - Propiedades del Oro,” n.d.; “Oro (Au) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente,” n.d.) :

- Es el metal más maleable y dúctil.
- Es un metal muy denso, con un alto punto de fusión, ebullición y una alta afinidad electrónica.
- Es un el mejor conductor del calor y de la electricidad, no le afecta el aire ni la mayoría de agentes químicos.
- Alta resistencia a la alteración química por parte del calor, la humedad y la mayoría de los agentes corrosivos.

2.1.4.4. *Usos del oro*

El oro ejerce funciones críticas en ordenadores, comunicaciones, naves espaciales, motores de aviones a reacción, y otros muchos productos. Su alta conductividad eléctrica y resistencia a la oxidación ha permitido un amplio uso como



capas delgadas electro depositadas sobre la superficie de conexiones eléctricas para asegurar una conexión buena, a prueba del tiempo y de baja resistencia. Como la plata, el oro puede formar fuertes amalgamas con el mercurio que a veces se emplea en empastes dentales. El oro coloidal (nano partículas de oro) es una solución intensamente coloreada que se está estudiando en muchos laboratorios con fines médicos y biológicos. También es la forma empleada como pintura dorada en cerámicas y para dar un intenso color rojo al vidrio(Lopez Fernandez, n.d.). El ácido cloroaúrico se emplea en fotografía(Lopez Fernandez, n.d.). El isótopo de oro (Au), de una vida media de 2,7 días, se emplea en algunos tratamientos de cáncer y otras enfermedades(Lopez Fernandez, n.d.)("Oro - Propiedades del Oro," n.d.; "Oro (Au) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente," n.d.) .

2.1.5. Extracción de plata

Metal precioso que se puede alea con todos los metales de bajo punto de fusión, como el zinc, estaño, iridio, etc. Realmente la aleación más común es la de plata/cobre. Esta aleación de cobre y plata fina es llamada plata sterling¹ si las proporciones consisten en 925 partes de plata fina y 75 partes de cobre por mil partes. Otros metales pueden ser usados, esta cantidad de cobre se ha encontrado que da a la plata la dureza necesaria sin reducir su ductilidad ni su maleabilidad mucho. Además, el cobre permite a la plata ser coloreado de manera controlada, un proceso que a menudo enriquece la calidad de la superficie de los objetos de plata. Hay muchas otras aleaciones de plata, algunas de las cuales son usadas hoy en día, considerando que otras son encontradas únicamente en trabajos antiguos. Las monedas de plata contienen 90 partes de plata fina y 10 partes de cobre. Mucha joyería vieja usa una aleación de 80 partes de plata fina y 20 de cobre (Barrientos Rojas, 2003; loyola saavedra y maldonado espinoza, 2010).



La rapidez de disolución de la plata se incrementa linealmente con el aumento en la concentración de cianuro hasta que se alcanza un máximo, más allá del cual un incremento en la concentración no proporciona una disolución del oro y de la plata, sino por el contrario tiene un efecto retardante (Cambi, 1958)

2.1.5.1. *La plata*

Es un metal de color blanco característico. La plata es el más blando de todos los metales y el de mayor conductividad térmica y eléctrica. Como elemento químico tiene número atómico 47, situado en el grupo 11 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Ag (procede del latín: argentum, "blanco" o "brillante"). Es un metal de transición blanco, brillante, blando, dúctil y maleable. Su resistencia a los agentes corrosivos la hace idónea para la fabricación de algunos recipientes especiales o como recubrimiento de otros metales (Gallo Ramirez y Ossa Orozco, 2019; Morones Ramirez, 2010).

2.1.5.2. *Naturaleza de la Plata*

La plata se encuentra nativa, combinada con azufre (argentita, Ag_2S) arsénico, antimonio o cloro (plata córnea, AgCl). El metal se obtiene principalmente de minas de cobre, cobre-níquel, oro, plomo y plomo- cinc de Canadá, México, Perú y los EE. UU. La pureza de la plata de mejor grado contiene al menos 99,9% de plata pudiéndose alcanzar purezas del 99,999%. El mayor productor mundial es México; según su Secretaría Económica produjo 6000 toneladas el año 2014 (José y Ortiz, 2019; Morones Ramirez, 2010)

2.1.5.3. *Características de la Plata*

- La plata presenta un brillo blanco metálico susceptible al pulimento("Plata - Propiedades de la Plata," n.d.).



- Se mantiene en agua y aire, si bien su superficie se empaña en presencia de ozono, sulfuro de hidrógeno o aire con azufre(“Plata - Propiedades de la Plata,” n.d.).
- Químicamente la plata no es muy activa. (“Plata - Propiedades de la Plata,” n.d.).
- Es resistente a la corrosión por el aire, el agua, las bases y los ácidos diluidos pero se disuelve en nítrico concentrado y en sulfúrico concentrado y caliente(“Plata - Propiedades de la Plata,” n.d.).
- La plata pura también presenta el color más blanco y el mayor índice de reflexión (aunque refleja mal la radiación ultravioleta) de todos los metales (“Plata - Propiedades de la Plata,” n.d.).

2.1.5.4. Usos y aplicaciones

Todos conocemos el uso de la plata en joyería, en la decoración y como moneda. Su resistencia a los agentes corrosivos la hace idónea para el recubrimiento de otros metales(Contrato, 2018). La plata se usa también para fabricar componentes electrónicos y eléctricos y para cable de semiconductores de alta velocidad por su buena conductividad (Contrato, 2018). Armas blancas o cuerpo a cuerpo, tales como espadas, lanzas, puñales o puntas de flecha (Contrato, 2018). Otro uso importante es como catalizador en reacciones de oxidación. Ejemplo: Producción de formaldehído a partir de metanol y aire (Contrato, 2018). En algunos usos tradicionales como incrustaciones decorativas o recubrimiento del vidrio para la fabricación de espejos ha sido sustituida por el aluminio(Contrato, 2018). Fotografía, por su sensibilidad a la luz (especialmente el bromuro y el yoduro, así como el fosfato). El yoduro de plata se ha utilizado también para producir lluvia artificial(Contrato, 2018). Medicina, por su elevado índice de toxicidad, sólo es aplicable en uso externo. Un ejemplo es el nitrato de plata, utilizado para eliminar las verrugas (Contrato, 2018). Electricidad, los contactos de generadores eléctricos (Contrato, 2018).

2.1.6. El dore

El oro que se encuentra en la naturaleza no es puro. Es una mezcla de oro e impurezas. Las impurezas más comunes son la plata y el cobre. A una barra con pureza producida naturalmente se le llama doré de oro. (Reyes et al., 2003)

2.1.6.1. Fundición del dore

El Doré es una aleación de Au y Ag. El objetivo del proceso de fundición o fusión de precipitados de Oro y Plata es obtener metal Doré en presencia de fundentes formadores de escoria a temperaturas que excedan el punto de fusión de todos los componentes de la carga típicamente entre 1200 y 1300°C. El tiempo que se demora en fundir completamente la carga no solo depende de la calidad de la escoria que se forma sino también de la composición química de la aleación Oro Plata. El punto de fusión del Oro es de 1064°C, mientras que la Plata funde a 962°C. La siguiente Fig muestra el diagrama binario Ag-Au y se puede apreciar que el punto de fusión de la aleación se incrementa si aumenta el contenido de Oro. (Hilari, 2018)

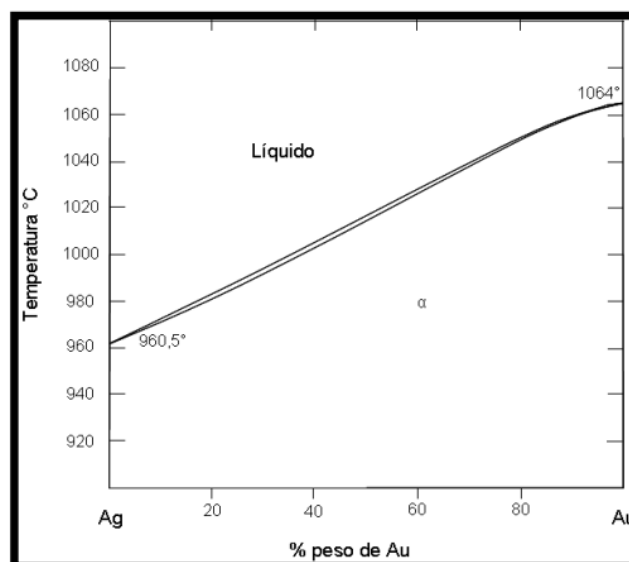


Figura 3. Diagrama Binario de Ag-Au.
Fuente: (Hilari, 2018)



2.1.7. Procesos metalúrgicos en el Perú

Según el MINEM, los principales metales que se extraen en Perú son el cobre, zinc, plomo, oro, hierro, bismuto, cadmio, indio, selenio, antimonio y el molibdeno. En este apartado veremos cuáles son los procesos metalúrgicos que se siguen en el país, en base a estos metales. (“¿Qué tipos de procesos metalúrgicos se aplican en Perú? - HLC,” n.d.)

2.1.7.1. Lixiviación

Es el proceso metalúrgico para la concentración de metales, mediante el cual se rocía ácido sulfúrico al montículo de mineral con el objetivo de obtener una solución rica o preñada. Usualmente es la primera etapa en el proceso de extracción de minerales como el cobre. (“¿Qué tipos de procesos metalúrgicos se aplican en Perú? - HLC,” n.d.; Londoño et al., 2010)

2.1.7.2. Purificación

El procedimiento se aplica a soluciones preñadas. Para aquel se usan solventes orgánicos que permiten obtener mineral de alta pureza. (“¿Qué tipos de procesos metalúrgicos se aplican en Perú? - HLC,” n.d.)

2.1.7.3. Electrodeposición

Este proceso metalúrgico sigue al de purificación, pero solo en el caso de algunos metales, como el Zinc. Mediante este procedimiento se suministra corriente a la materia purificada. En el caso del Zinc, los iones de zinc se adhieren a una plancha de acero inoxidable, lo que permite la formación de láminas de zinc de alta pureza. (“¿Qué tipos de procesos metalúrgicos se aplican en Perú? - HLC,” n.d.)



2.1.7.4. *Flotación diferencial*

Es un proceso para la concentración de metales que se usa en materiales como el plomo. Mediante la flotación diferencial se separa la mena del mineral. (“¿Qué tipos de procesos metalúrgicos se aplican en Perú? - HLC,” n.d.)

2.1.7.5. *Fundición*

Se hace uso de un horno de fundición para, a través del uso de calor, obtener el mineral mediante procesos de tostado o similares (“¿Qué tipos de procesos metalúrgicos se aplican en Perú? - HLC,” n.d.)

2.1.7.6. *Espectrofotometría*

Hace tres décadas era la técnica más común para el análisis de metales en los alimentos. Sin embargo, ha perdido importancia en años recientes debido al desarrollo de nuevas técnicas tales como la espectrometría de absorción atómica. Se basa en la relación entre la absorción de la radiación visible o ultravioleta cercana de una solución y la concentración de las especies coloreadas en la solución. Los analitos tienen que ser convertidos a un complejo coloreado antes del análisis. Marczenko entrega una buena revisión de la literatura reciente (Azooz, Jawad, & Kadhim, 2018; Zea Álvarez et al., 2019)

2.1.7.7. *Fluorimetría*

Ciertos metales pueden ser transformados en complejos orgánicos asociados con iones o quelatos fluorescentes que tienen la característica de absorber luz de una longitud de onda y en su lugar emitir luz de otra longitud de onda. La luz emitida o fluorescencia es proporcional a la concentración del analito. El método es relativamente barato y es muy sensible, varios órdenes de magnitud mejor que la espectrofotometría. Se utiliza frecuentemente para la determinación de elementos



traza en muestras biológicas y en alimentos que son más difíciles de analizar con otras técnicas (Azooz et al., 2018).

2.1.7.8. *Espectrometría de absorción atómica (AAS)*

Los átomos libres producidos en un atomizador a partir de una muestra (llama u horno de grafito calentado eléctricamente) pueden absorber radiación de su longitud de onda específica de resonancia generada por una fuente externa (por ejemplo, un cátodo hueco o una lámpara de descarga sin electrodos. Si la luz de esta longitud de onda específica pasa a través del atomizador que contiene el vapor atómico del elemento, parte de la luz será absorbida, y el grado de absorción será proporcional a la densidad de átomos en el paso de la luz. Más de 60 elementos metálicos pueden determinarse, en un amplio rango de concentraciones mediante este método con una buena sensibilidad y precisión. Diferentes formas de introducción de la muestra y atomización han sido desarrolladas para esta técnica la cual puede automatizarse fácilmente para el análisis rutinario. (Santamaría Roncancio et al., 2013; Vandecasteele y Block, 1997)

2.1.7.9. *Espectrometría de absorción atómica de llama (faas)*

La llama se utilizó exclusivamente como fuente de atomización en los primeros años del desarrollo de la AAS. La solución de la muestra se aspira vía un nebulizador dentro de la llama de aire/acetileno o N₂O/acetileno donde se evapora el solvente y los sólidos remanentes se separan en átomos. La FAAS no es muy susceptible a los efectos de la matriz, aunque pueden encontrarse interferencias. Las interferencias físicas pueden ocurrir debido a cambios en la viscosidad de la solución, lo que influye en su velocidad de aspiración dentro de la llama y, por lo tanto, en la cantidad de analitos en la llama. (Vandecasteele y Block, 1997)



2.1.7.10. Espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros (HGAAS)

La HGAAS puede determinar elementos que forman hidruros volátiles como por ejemplo As, Bi, Sn y Te. En esta técnica, el analito es reducido a su hidruro volátil, transferido mediante un chorro de gas a una célula de cuarzo caliente, descompuesto y atomizado. La separación del analito reduce en gran medida las interferencias de la matriz de tal modo que pueden determinarse niveles de concentración de $\mu\text{g}/\text{kg}$. Si el tamaño de la muestra es un problema, puede emplearse inyección de flujo que permite analizar volúmenes de muestra tan pequeños como 100 μl . Sin embargo, el método tiene sus desventajas. Se requiere de un tratamiento especial después de la digestión de la muestra para generar un estado de oxidación específico (e.g. Se^{+4}) para la formación del hidruro y ciertos metales (por ejemplo, Cu, Fe) pueden interferir con la formación del hidruro. (Vandecasteele y Block, 1997)

2.1.7.11. Espectrometría de absorción atómica de horno de grafito (GFAAS)

El desarrollo de atomizadores de grafito en barras amplió el poder de detección de la AAS para un amplio rango de elementos dentro del rango de $\mu\text{g}/\text{kg}$. La solución de la muestra, típicamente 5-100 (μl), es inyectada dentro de un tubo de grafito de 3-5 cm de longitud, el cual es luego calentado eléctricamente en etapas para producir vapor atómico del analito. Por lo general el programa de calentamiento, comprende una etapa de secado para evaporar el solvente (70-120°C); una etapa de "quemado" (o calcinación) para remover la materia orgánica o los componentes volátiles de la matriz (350-1250°C); una etapa de atomización (2000-3000°C) y, un ciclo de limpieza a temperatura máxima a fin de quemar el analito remanente. Se requiere de una optimización cuidadosa de todos los parámetros del



calentamiento durante el desarrollo de un método para obtener resultados reproducibles y exactos. (Vandecasteele y Block, 1997)

2.1.7.12. *Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES)*

La ICP-AES a diferencia de la espectrometría, Fluorimetría y AAS es una técnica multielemento que permite el análisis simultáneo de un gran número de elementos. Se basa en la medición de la radiación de la línea espectral emitida por átomos excitados en un plasma de Ar generado por calentamiento inductivo con un campo electromagnético de alta frecuencia. Los principales componentes de un instrumento ICP-AES son la antorcha plasmática, el nebulizador y el policromador. La antorcha consiste en 3 tubos concéntricos de cuarzo rodeados por una bobina de inducción enfriada por agua conectada a un generador de alta frecuencia. El plasma es creado al hacer que el Ar sea conductivo al exponerlo a una descarga eléctrica que crea electrones e iones. Bajo la influencia del campo electromagnético de alta frecuencia, las partículas cargadas calientan el argón hasta que el plasma alcanza una temperatura de 5500-8000 °K. Esto lleva a una vaporización casi completa del analitos y a una alta eficiencia de atomización (Vandecasteele & Block, 1997).

2.1.8. **Soluciones químicas en la metalurgia**

Las sustancias químicas usadas en la minería y en el procesamiento de minerales contaminan la tierra, agua y aire, causando problemas de salud a los trabajadores y a la gente que vive cerca de las minas. Los químicos tóxicos utilizados en la minería incluyen (“Sustancias químicas usadas en la minería - Hesperian Health Guides,” n.d.):

- Cianuro, mercurio, ácido sulfúrico y disolventes para separar los minerales de la mena.



- Ácido nítrico.
- Nitrato de amonio y petróleo combustible (anfo) utilizado para la voladura de túneles.
- Metales pesados tales como el mercurio, uranio y plomo.
- Gasolina, diésel y humos de escape de los vehículos y el equipo.
- Acetileno para forjar y soldar.

2.1.8.1. *Cianuro*

Se usa el cianuro para separar el oro de la mena. En su forma pura el cianuro no tiene color y huele como almendras amargas. Puede perder su olor cuando se combina con otras sustancias químicas. Se puede usar en forma de polvo, líquido o gas (“Sustancias químicas usadas en la minería - Hesperian Health Guides,” n.d.).

El cianuro es mortal cuando se traga. Una cantidad del tamaño de un grano de arroz puede matar a una persona. La exposición a dosis bajas por un largo tiempo puede causar hinchazón del cuello (bocio), un problema de salud que también puede ser causado por desnutrición (“Sustancias químicas usadas en la minería - Hesperian Health Guides,” n.d.).

El cianuro es frecuentemente regado en los acueductos durante la explotación de oro, y cuando las lagunas llenas de desechos de la mina rebalsan. Las empresas mineras dicen que el cianuro en el agua es inofensivo, pero esto es cierto sólo cuando hay mucha luz solar y oxígeno e incluso entonces deja otros químicos dañinos. Si el cianuro se filtra bajo tierra o si el clima está nublado o lluvioso, puede permanecer dañino por mucho tiempo, matando peces y plantas en los ríos y haciendo que el agua sea peligrosa para tomar y bañarse. El cianuro es tan peligroso que su uso ha sido prohibido por varios gobiernos (Ascuña et al., 2018; Santamaría Roncancio et al., 2013; “Sustancias químicas usadas en la minería - Hesperian Health Guides,” n.d.).



2.1.8.2. *Ácido nítrico*

El ácido nítrico es un líquido cuyo color varía de incoloro a amarillo pálido, de olor sofocante. Se utiliza en la síntesis de otros productos químicos como colorantes, fertilizantes, fibras, plásticos y explosivos, entre otros. Es soluble en agua, generándose calor. No es combustible, pero puede acelerar el quemado de materiales combustibles y causar ignición. Es corrosivo de metales y tejidos. Si, además, contiene NO₂ disuelto, entonces se conoce como ácido nítrico fumante y su color es café-rojizo. Actualmente, se obtiene por oxidación catalítica de amoníaco.(Fierro, 2009)

El Ácido Nítrico concentrado es un agente oxidante muy fuerte y ataca metales nobles como el Cobre y la Plata, aunque no el oro y ni el Platino; no obstante, estas propiedades oxidantes desaparecen cuando se encuentra en forma diluida. De esta manera, el Ácido Nítrico interviene de dos formas diferentes en las reacciones dependiendo de su concentración(Universidad Autonoma de Barcelona, 2010)

Nombre Comercial: **ÁCIDO NÍTRICO** (Información, Producto, Compañía, Comercial, y Nítrico, 2008)

Nombre Químico: **ÁCIDO NÍTRICO**(Información et al., 2008)

Corrosivo cutáneo (Categoría 1A) - Líquido comburente (Categoría 3) (Información et al., 2008)

Incompatibilidades

El Ácido Nítrico concentrado es una sustancia oxidante muy fuerte y reacciona de forma violenta con materiales combustibles y reductores. Es un ácido fuerte y como tal reacciona violentamente con las sustancias básicas. Reacciona violentamente con sustancias orgánicas como Acetona, Ácido Acético, Anhídrido Acético, Alcoholes, Trementina, causando riesgo de fuego y explosión. En presencia de Polvos



Metálicos, Carburos y Sulfuro de Hidrógeno da lugar a reacciones explosivas.
(Universidad Autonoma de Barcelona, 2010)

2.1.8.3. *Ácido clorhídrico*

Uso de la sustancia o preparado para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina (Contek, 2013). El Gas Anhidro no es generalmente activo, pero sus soluciones acuosas son uno de los ácidos más fuertes y activos. Al entrar en contacto con Óxidos Metálicos y con Hidróxidos forma Cloruros. Descompone las zeolitas, escorias y muchos otros materiales silíceos para formar Acido Silícico. Reacciona con los carbonatos básicos liberando Dióxido de Carbono y Agua. Se oxida en presencia de oxígeno y catalizador o por electrólisis o por medio de agentes oxidantes fuertes para producir Cloro (Usos et al., 1997)

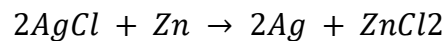
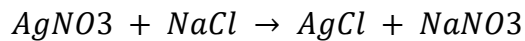
El ácido clorhídrico se usa en una variedad de aplicaciones diferentes, como: Acidificación de salmuera para usar en la producción de cloro y soda cáustica La regeneración de resinas de intercambio iónico usadas en el tratamiento de aguas residuales, El control del pH, Acidificación de pozos de petróleo, Alimentos, Tratamiento de minerales, Producción de cloruro de calcio, Decapado del acero, La recuperación de metales semipreciosos de catalizadores usados, El uso como catalizador en la síntesis, La fabricación de tintes y pigmentos, la purificación de arena y arcilla. (facultad de quimica, 2016; Seguridad, 2020; Usos et al., 1997)

2.1.8.4. *Cloruro de sodio*

La dosificación del cloruro de sodio es con la finalidad de producir cloruro de nitrosilo y cloro naciente in situ, los experimentos se llevaron a cabo manteniendo constante la temperatura, el tiempo de lixiviación así como la agitación (En y El, 2012)



El nitrato de plata obtenido es tratado por el cloruro de sodio para la recuperación de la plata, luego de lavar su cloruro y reducirlo por el cinc en presencia de agua acidulada con ácido sulfúrico, esto se resume en las siguientes reacciones(Alejandro Chizaiza, 2015):



Fuente : (Chizaiza, 2015)

2.1.8.5. *Tratamiento*

Las sustancias químicas usadas en la mina pueden regarse en la piel y la ropa, salpicar a los ojos o respirarse como gas o humo. Si alguien se accidenta, obtenga atención médica de inmediato. (Vea cómo tratar derrames y quemaduras químicas mientras espera ayuda) (“Sustancias químicas usadas en la minería - Hesperian Health Guides,” n.d.).

2.1.8.6. *Prevención*

La mejor manera de prevenir el daño de químicos tóxicos, incluyendo metales pesados, es no usarlos, pero hay maneras de prevenir y reducir el daño si es que usan sustancias tóxicas (“Sustancias químicas usadas en la minería - Hesperian Health Guides,” n.d.).

- Utilice equipo de protección siempre que pueda.
- Lávese las manos varias veces al día. Lávese las manos antes de tocar su cara, fumar o tocar a otras personas si trabaja con o cerca de las sustancias tóxicas.
- Exija que los operadores de la mina reduzcan el polvo y la contaminación del agua.
- Nunca coma donde los químicos tóxicos se usan, mezclan o se guardan.
- Almacene los químicos tóxicos en sitios bien seguros.



2.1.8.7. Almacenamiento de sustancias químicas

Muchas sustancias químicas pueden causar fuegos, explosiones o emitir gases tóxicos, el almacenamiento seguro de sustancias químicas puede ayudar a prevenir accidentes y reducir el daño en las minas. Por lo que es necesario tomar en cuenta las siguientes recomendaciones sobre las sustancias químicas según (“Sustancias químicas usadas en la minería - Hesperian Health Guides,” n.d.) :

- Siempre lejos de los explosivos, fuentes de energía eléctrica, fuentes de agua y vehículos motorizados.
- Lejos de donde la gente come.
- En recipientes con etiquetas claras. Si mueve las sustancias químicas de un recipiente a otro, identifique el nuevo envase. Nunca coloque sustancias químicas en recipientes usados para comida o bebida – alguien puede accidentalmente comer o beber los químicos tóxicos. Después de que el recipiente de las sustancias químicas esté vacío, nunca lo use para comida o bebida, aunque lo haya lavado.
- En armarios sólidos con cerradura, identificados con una etiqueta y diseñados para almacenamiento químico (“Sustancias químicas usadas en la minería - Hesperian Health Guides,” n.d.).

2.2. ANTECEDENTES

Vidal Sixto en el 2000 tuvo el interés de recuperar los relaves de flotación que contienen plata, se ha manifestado desde muchos años atrás, básicamente por los grandes volúmenes y los significativos tenores de plata que estos metales involucran. Estudios metalúrgicos orientados a encontrar un esquema de tratamiento adecuado para estos relaves se han realizado, evaluándose alternativas piro e hidrometalúrgicos a nivel de Laboratorio. Como conclusión de estos trabajos, se seleccionó el proceso



hidrometalúrgicos de lixiviación ácido clorurante, por su mejor performance metalúrgica y mayor flexibilidad. En este trabajo cubre básicamente los resultados obtenidos a nivel de laboratorio, donde se evalúan las principales variables del proceso. Tales como: tamaño de partícula, concentración y pH del lixivante. En este estudio los resultados a nivel de laboratorio, mostraron que con soluciones de NaCl al 25% acidificados con ácido sulfúrico, es posible extraer alrededor de 40% de la plata contenida, valor que estaría limitado por la composición compleja mineralógica del relave, porque la plata está finamente diseminada en la pirita y posiblemente debido a la presencia de compuestos secundarios insolubles (argento jarosita). Los elementos presentes en las soluciones de lixiviación, tales como Ag., Cu, son recuperados mediante el proceso de cementación con chatarra de fierro, obteniéndose precipitados cuya composición varían entre: 2 á 6% de Ag, 10 a 30 % de Cu. Este producto puede ser integrado sin problema en los circuitos de tratamientos de la fundición. (Aramburú Rojas, 2000)

De la Cruz Bustamante Edgar Alexander para realizó una investigación en los negativos de impresión tienen depositada sal de plata en forma coloidal, se propuso, y se decidió ejecutar un proyecto experimental, consistente en realizar la recuperación de plata contenidos en las placas radiográficas siguiendo de 3 métodos comparativos, y ver que metodología tiene la mayor extracción, evaluados y comparados En el primer método, las sales de plata de las placas fueron atacadas con una solución acuosa de hidróxido de sodio, dejándose que reaccionaran, y después se neutraliza con una solución de ácido clorhídrico, formando cloruro de plata que se separa En el segundo método, las sales de plata de las placas fueron atacadas con hipoclorito de sodio (blanqueador comercial), donde se dejó que reaccionaran y las sales de plata fueron transformadas a cloruro de plata que se precipito lográndose



separarse En el tercer método, las placas fueron atacadas con dicromato de potasio, dejándose que reaccionaran y añadiendo ácido nítrico, donde las sales de plata fueron transformadas a cromato de plata. La siguiente actividad experimental para los 3 métodos, consistió en efectuar una filtración para que el cloruro de plata (AgCl) y el cromato de plata (Ag_2CrO_4) se queden en el papel cualitativo. Y así añadiendo las muestras en crisoles para secar la muestra en una estufa, luego se colocó en un crisol y se adicione una mezcla fundente o flux (litargirio, bórax, harina común y bicarbonato de sodio) para proceder a fundirlo a aproximadamente 960°C , quedando el regulo (botón de plomo y plata), para después realizar el proceso de copelación a 980°C aproximadamente por una hora, obteniendo así un bullón de plata pura. Finalmente se analizó si había plata pura en las soluciones residuales, añadiendo plomo en polvo y ácido clorhídrico diluido, para calentarlo, y seguir a los procesos de filtración, secado, fundición y copelación. Al terminar el procedimiento experimental fue el 1er método de hidróxido de sodio (solución de hidróxido de sodio 4 M y una solución de ácido clorhídrico con un 80% de pureza) por tener mayor % de recuperación de plata (98.3879 %) con una ley de plata de 5.4113 gr plata / kg placas radiográficas y con un tiempo de 260 min. Se obtuvo también plata pura, en las soluciones residuales, en donde la solución del 3er método (5 % ácido nítrico y 5 % dicromato de potasio) fue la de mejor ley (0.0876 gr / litros de solución), respecto a las demás con un tiempo de 195 min. (De la Cruz Bustamante, 27AD)

El mineral estudiado corresponde a la Mina Koricolqui S.A.C. ubicada en la provincia de Otuzco, departamento de La Libertad. La caracterización de la muestra se realizó en el microscopio óptico polarizado de la Escuela Académico - Profesional de Ingeniería Geológica de la UNMSM. Observamos la presencia de esfalerita, calcopirita, pirita, electrum, marcasita, arsenopirita, goetita, calcosita, tetraedrita y



gangas, siendo las leyes de la muestra de cabeza de 6.63 gr. de Au /TM y 11.22 oz. De Ag /TM. La primera prueba de flotación convencional de la muestra se realizó a una granulometría de 55% -200 mallas, cuyo balance metalúrgico global nos indica una recuperación de Au = 56.85% y Ag = 44.71%. En vista de que los resultados obtenidos no fueron muy satisfactorios y teniendo en cuenta el estudio microscópico de las especies mineralizadas, se realizó una etapa de pre concentración al mineral utilizando el concentrador centrífugo Falcon previo a la etapa de flotación a una granulometría de 55% -200 mallas, y se obtuvo una recuperación de Au = 42.68% y Ag = 30.08%. En la etapa de Flotación del relave del concentrador centrífugo Falcón, los resultados nos muestran una recuperación de Au = 24.57% y Ag = 28.19%. Finalmente, la recuperación total del proceso Concentrador centrífugo Falcón más Flotación del relave Falcón es de Au = 67.25% y Ag= 58.27%. Es aquí donde se observó que con la etapa de pre concentración las recuperaciones en Au y Ag se incrementaron en 10.40% y 13.56% respectivamente. En la segunda prueba de Flotación Convencional del mineral inicial, realizado con una granulometría de 66% -200 mallas, los resultados nos indican una recuperación de Au = 62.63% y Ag = 49.36%. La segunda prueba de pre concentración con el concentrador centrífugo Falcón previo a la etapa de Flotación, los resultados nos indican una recuperación de Au = 64.87% y Ag = 16.42%. En la segunda prueba de Flotación del relave del concentrador centrífugo Falcón, nos muestran una recuperación de Au = 27.82% y Ag = 38.60%. Entonces se obtuvo una recuperación total del proceso concentrador centrífugo Falcón más Flotación del relave falcón de Au = 92.69% y Ag = 55.02%. En esta segunda etapa las recuperaciones mejoran sustancialmente incrementándose en 30.06% y 5.66% para el Au y Ag respectivamente, por lo que se toma estos valores como resultado óptimo del proceso. Paralelamente se realizaron pruebas de



cianuración del mineral de cabeza dichas pruebas fueron hechas en diferentes tiempos de agitación. Obteniéndose a 36 horas de cianuración una recuperación de Au = 81.21% y Ag de 52.20%.(Palomino Hidalgo & Ramos Lendesma, 2008)

En el 2010 Loyola Savedra, Patty Gina y Maldonado Espinoza, Zoila Mercedes para botar el título de Ingeniero Químico en el Laboratorio Químico de la Empresa Minera Century Mining S.A.C. de la Unidad San Juan está ubicado en el Campamento Minero San Juan de Chorunga, Distrito Río Grande, Provincia de Condesuyos, Departamento de Arequipa. Esta empresa se dedica al procesamiento de minerales auríferos sulfurados y minerales auríferos oxidados. El laboratorio químico se encarga del análisis cuantitativo de oro y plata empleando el método por vía seca y parte vía húmeda, directamente Ensaye al Fuego (Fire Assay). Utilizando un método para determinar el contenido metálico (oro) en muestras de operación y desarrollo: planta, mina-geología y ensaye barra Au- Ag. El ensaye de estas muestras se realiza por procesos piro-metalúrgicos mediante escorificación y cope llación para obtener un doré, seguido de un proceso posterior de disgregación por ataque químico con solución de ácido nítrico a una concentración de 17,125%, en este último proceso de ataque químico se obtiene Au metálico y solución de nitrato de plata. Estos productos se lavan con agua destilada, la solución final diluida de nitrato de plata (remanente) en su mayoría de veces es eliminada o se almacena en un frasco para obtener cloruro de plata. El laboratorio químico en el análisis de oro emplea diferentes reactivos en la etapa de escorificación (fusión), cada reactivo tiene un comportamiento diferente. Los cristales de nitrato de plata se emplean para coleccionar el oro cuando tiene bajo contenido o no contiene plata a fin de obtener el doré (aleación de oro y plata con un exceso de este último metal) para poder separar el oro de la plata en el ataque químico, laboratorio químico consume al mes un promedio



de 0,70-0,85 kg. Por ello surge .la necesidad de recuperar la solución de nitrato de plata producto del ataque químico, acumulando como mínimo 55,8 litros por mes Para solucionar este problema, el objetivo principal del trabajo es evaluar la recuperación de nitrato de plata por cristalización a partir del efluente de disgregación del doré del laboratorio químico de Century Mining Perú S.A.C Para evaluar la recuperación de nitrato de plata por cristalización a partir del efluente de disgregación del doré del laboratorio químico de Century Mining Perú S.A.C, se diseñó un cristizador del tipo cristizador evaporador con una capacidad de 2,28 litros de material INOX 306, para así poder determinar las condiciones de cristalización, la pureza del producto y el rendimiento de cristalización. De los resultados de la corrida de pruebas se determinaron las siguientes condiciones de cristalización: temperatura de sobresaturación está en un rango de 120 -125°C (formación de núcleos) y el crecimiento de los cristales se alcanza con un descenso de la temperatura de 40 - 65 oc. El tiempo de operación para alcanzar la sobresaturación y el crecimiento de los cristales se da en un tiempo de 50 - 60 minutos la pureza del producto es de 99., 75% y el rendimiento de cristalización es 7,33% (Loyola, y Maldonado, 2010).



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE ESTUDIO

4. En la presente tesis se realizó una investigación experimental, de una solución de ácidos remanentes de purificación de oro lo cual ha tenido una consideración, en este trabajo ya que se realiza experimental al nivel de laboratorio para posteriormente aplicar en el proceso de extracción de oro y plata.

3.2. DISEÑO DE ESTUDIO

En la investigación se estudió la influencia de las variables independientes: Cloruro de Sodio y la variación de fundentes que determinaron la recuperación de plata. Mediante este estudio, se determinó la influencia de los parámetros de operación. Asimismo, se establecerán los rangos operacionales más adecuados de cloruro de sodio y de cantidad de la plata líquida que se desecha, lo que permitirán definir las condiciones idóneas de recuperación de plata en este trabajo de investigación

3.3. POBLACIÓN

La población en el presente trabajo de investigación estuvo constituida por el número promedio de muestras de solución de ácidos de purificación de oro (20Lt/mes). El área de interés cubre una serie de rocas volcánicas del complejo Bella Unión representado por Andesitas cuya estructura física almacena los agentes mineralizados con valores de oro y plata, también la presencia de calcopirita y pirita. A enero de 2006 las reservas totales probadas y probables, incluyendo reservas potenciales, fueron estimadas en 256 967 MT.



Latitud Sur	: 14° 36´ 6"
Longitud Oeste	: Entre meridianos 71° 59´ 39" y 75° 5´ 52".
Densidad Demográfica	: 17 hab /km ²
Altitud de la Capital	: 2.335 msnm
Clima	: Templado y relativamente seco. Su temperatura varía entre los 21°C y los 10°C
Actividad Económica	: Extracción de minerales metalíferos no ferrosos

3.4. MUESTRA

Se ha considerado 20 L de solución ácido remanente de refinación de oro para realizar 21 pruebas de laboratorio de las cuales se obtuvieron 14 pruebas fallidas debido a las condiciones en las que se recibió la materia prima, y al mismo tiempo por las condiciones climatológicas, por lo que para la presente investigación se tomaron en cuenta las 05 muestras cuyos resultados se explican en el siguiente capítulo. Así mismo se tuvo en cuenta los criterios de muestreo utilizado en el laboratorio químico.

3.5. INSTRUMENTOS

Para desarrollar este trabajo de investigación se hizo uso de los siguientes materiales de laboratorio, los cuales estuvieron debidamente calibrados, y el uso regular en la empresa MINALCOR, para sus ensayos, pruebas a diario.

- Vasos de precipitado
- Probetas
- Buretas
- Pipetas
- Fiolas
- Pizetas

- Embudo
- pH-metro
- Cubas de plástico

3.6. PROCEDIMIENTO PARA LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES SEGÚN LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Influencia del cloruro de sodio

En las soluciones provenientes de disgregación del dore (ácido nítrico) de muestras analizadas de refinación de oro, por lo tanto, se realiza 5 pruebas con cloruro de sodio y se usa 5 vasos precipitado de 200 ml se obtiene 200 ml de muestra de solución acida (AgNO_3) con diferentes pesos de cloruro de sodio (NaCl).



Figura 4. Muestra con cloruro de sodio

Fuente: Experimento de la investigación



Tabla 1

Experimentos variados la cantidad de cloruro de sodio en la precipitación de la plata.

Numero experimentos	1	2	3	4	5
Cloruro de sodio (g)	5	10	15	20	25

Fuente: Propia.

- **Influencia de los fundentes**

Para tener resultados óptimos del producto de plata refinada se ha considerado la influencia de los fundentes.



Tabla 2

Experimentos variados el tipo de fundente en obtención de la plata refinada (plata piña)

Numero de experimentos	Tipo de fundentes			
	Compuesto de plomo (g)	Bicarbonato de sodio (g)	Bórax (g)	Harina (g)
6	100		25	1.5
7		1.5	20	1
8	100		20	
9		10	20	
10			25	1

Fuente: Propia.

3.6.1. Análisis químico por vía seca.

Los elementos que se determinan con este método son principalmente: Oro, plata; tanto para concentrados, muestras de planta, mina y carbón activado.

3.6.2. Determinación de oro y plata para muestras de mina, planta y concentrados.

Procedimientos y sus de fundentes

1. Enumerar los crisoles de 30 g del 1 hasta 50 y agregar 110 g de fundente y una tapa de bórax. Trasladar a la sala de pesado de muestra.
2. Pesar en forma ordenada, 20 g de muestra (canchas y especiales), 15 g para geología, mina, y exploraciones.
3. Llevar los crisoles a fundición conservando el orden y numeración.
4. Encender el horno de fundición, esperar que llegue a 950°C.
5. Adicionar oxidante (nitrato de potasio) si la muestra es sulfurada y un poco de reductor (harina).



6. Para muestras oxidadas añadir sólo harina. Las cantidades en ambos casos varían de acuerdo a la característica del mineral.
7. Proceder a mezcla todos los contenidos en el crisol con la ayuda de la espátula hasta quedar uniforme.
8. Cargar los crisoles al horno de fundición en forma ordenada, y fundir por espacio de una hora.
9. Encender el horno de copelación hasta una temperatura de 920°C.
10. Terminada la fundición, descargar los crisoles uno por uno, colar en las lingoteras y dejar enfriar por 10 minutos.
11. Separar la escoria del régulo con la ayuda de un martillo y pinza, colocar los régulos en la porta régulos en forma ordenada.
12. En el yunque, moldear el regulo haciendo un cubo. El peso del régulo debe ser de 25 g aprox.
13. Cargar los régulos al horno de copelación a una temperatura de 920° C por 40 minutos aprox.
14. Termina la copelación descargar las copelas y dejar enfriar. Si la muestra se analiza por plata, pesar el doré luego encuartar, si solo se analiza por oro antes de fundir se agrega nitrato de plata.
15. Colocar el doré en los crisoles de porcelana guardando el orden y numeración. Encender la plancha de ataque químico y extractor.
16. Anadir 10 cc. De ácido nítrico 1:3, atacar en la plancha a temperatura de 150°C. Aproximadamente hasta que toda la plata sea disuelta.
17. Retirar la bandeja de la plancha, enfriar. Añadir agua desionizada para recuperar la solución de nitrato de plata.
18. Lavar los botoncitos de oro (color marrón oscuro) tres veces con abundante agua.



19. Secar los botones de los crisoles en sus bandejas a 150° C.
20. Calcinar a 500°C, hasta que los botoncitos tomen un color amarillo doré. Retirar de la plancha y enfriar. Llevar a la sala de pesado
21. Pesar en la micro balanza conservando el orden y numeración
22. Anotar los pesos en su respectivo cuaderno y calcular.
23. Reportar la ley correspondiente a la sección de interés.
24. Culminado el procedimiento dejar limpio todos los equipos y herramientas utilizadas.
25. Reportar cualquier incidente.

3.6.3. Determinación de oro y plata para muestras de carbón activado.

3.6.3.1. Determinación de la plata en la fusión.

1. En un crisol de 30g pesar 5g de muestras seca y bien caliente, así evitamos que absorba humedad del ambiente.
2. Calcinar en el horno de copelación durante 1 hora a una temperatura de 980 °C.
3. Descargar la muestra, dejar enfriar.
4. Agregar 1g de harina, mezclar bien.
5. Tapar la muestra con bórax.
6. Fundir a una temperatura de 1050 °C por 40min aproximadamente.
7. Terminada la fundición, descargar los crisoles uno por uno, colar en las lingoteras y dejar enfriar por 10 minutos.
8. Separar la escoria del régulo con la ayuda de un martillo y pinza, colocar los régulos en la porta régulos en forma ordenada.
9. En el yunque, moldear el regulo haciendo un cubo. El peso del régulo debe ser de 25 g aprox.



10. Cargar los régulos al horno de copelación a una temperatura de 920°C por 40 minutos aprox.
11. Termina la copelación descargar las copelas y dejar enfriar. Si la muestra se analiza por plata, pesar el doré luego encuartar, si solo se analiza por oro antes de fundir se agrega nitrato de plata.
12. Colocar el doré en los crisoles de porcelana guardando el orden y numeración. Encender la plancha de ataque químico y extractor.
13. Anadir 10 cc. De ácido nítrico 1:3, atacar en la plancha a temperatura de 150°C . Aproximadamente hasta que toda la plata sea disuelta.
14. Retirar la bandeja de la plancha, enfriar. Añadir agua desionizada para recuperar la solución de nitrato de plata.
15. Lavar los botoncitos de oro (color marrón oscuro) tres veces con abundante agua.
16. Secar los botones de los crisoles en sus bandejas a 150°C .
17. Calcinar a 500°C , hasta que los botoncitos tomen un color amarillo doré. Retirar de la plancha y enfriar. Llevar a la sala de pesado
18. Pesar en la micro balanza conservando el orden y numeración
19. Anotar los pesos en su respectivo cuaderno y calcular.
20. Reportar la ley correspondiente a la sección de interés.
21. Culminado el procedimiento dejar limpio todos los equipos y herramientas utilizadas.

Nota: El ataque después de la copelación se hacen en una campana extractora de gases y usando los respectivos equipos de seguridad.



3.6.4. Análisis químico por absorción atómica para determinar los procesos experimentales y manejo de equipo

Los elementos que se determinan por el método presente son: Cobre, plata, plomo, zinc, arsénico y antimonio.

El equipo empleado es un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer 400) con sus respectivas lámparas de cátodo hueco y de deuterio también se emplean soluciones estándar y soluciones patrón para cada elemento

- El origen de la luz que emiten el espectro del elemento en interés (cátodos de zinc emiten espectros de zinc).
- Una utilizando una lima la muestra es reducida al estado atómico, los átomos son procesados.
- Un monocromador para la dispersión de la luz (para separar las líneas de absorción emitidas por el cátodo).
- Un detector, el que mide la intensidad de la luz (energía liberada) y amplía la señal.
- Un display que muestra la lectura.

3.6.5. Manejo del equipo de absorción atómica.

3.6.5.1. Recomendaciones antes del encendido del equipo:

- a) Tener todo el banco de muestras en orden, con su respectiva dilución y cerca del equipo.
- b) Verificar que el suministro de aire este encendido.
- c) Verificar que la presión de Aire y Acetileno estén correctas para el uso del equipo (aire 64 psi y acetileno entre 250 max Y 120 psi min).
- d) Encender el equipo, abrir el software, y esperar a que se realice la conexión entre el equipo de AA y la computadora.



- e) Abrir la hoja de trabajo (work space).
- f) Escoger el método, de la muestra que se desea analizar.
- g) En la ventana de control de análisis escoger la opción san info, que nos permitirá ingresar el nombre, peso, volumen, alícuota, volumen de dilución y unidades de las muestras, esta opción permite que se guarden los resultados emitidos por el equipo.
- h) Ingresar a la ventana del gráfico de continuidad haciendo click en el botón que se encuentra en la barra de herramientas continuous Graphics. Esperar unos minutos para que se active la lámpara correspondiente al método elegido.
- i) Prender la campana extractora.
- j) Encender la flama, haciendo click en el botón que se encuentra en la parte inferior de la ventana de control de flama.
- k) Abrir nuevamente la ventana del gráfico de continuidad y ver si la absorbancia del blanco (HCL 25%) es 0,000, de no ser así, hacer click en la opción auto cero, de ahí buscar la máxima absorbancia del estándar de 5 ppm de cobre al 10% de HCl, valor que debe estar entre 0,280 – 0,320, la limpieza del quemador, se realiza cuando baja la absorbancia del cobre o cuando el equipo muestra inestabilidad en las lecturas.
- l) Proceder a realizar la curva de calibración siguiendo los siguientes pasos:



Tabla 3

Referencia para curva de calibración en minerales MINALCOR SAC.

ELEMENTO	ESTANDAR de concentrados (ppm)	ESTANDAR de cianuradas (ppm)	UNIDADES	
			Acidas	Cianuradas
Au		0,5-1,0-2,5-5,0	-	mg / l
Ag	0,25-0,5-1,0-2,5-5,0	0,5-1,0-2,5-5,0	ppm	mg / l
Pb	2,5-5,0-10,0-20,0	-	% (W)	-
Cu	10,0-20,0-50,0-100,0	-	% (W)	-
Zn	2,5-5,0-10,0-20,0	-	% (W)	-
Fe	10,0-20,0-50,0-100,0	-	% (W)	-
As	2,5-5,0-10,0-20,0-50,0	-	% (W)	-
Sb	2,5-5,0-10,0-20,0-50,0	-	% (W)	-

Fuente: Laboratorio MINALCOR.

- Realizar las lecturas según:
- Blanco-Patrón-5 muestras, para muestras de plata de geología, cancha, laboratorio metalúrgico y planta.
- Blanco-Patrón-20 muestras, para muestras de cobre de geología, cancha, laboratorio metalúrgico y planta.
- Blanco-Patrón-5 muestras, para muestras de hierro de geología, cancha, laboratorio metalúrgico y planta.
- Blanco-Patrón-5 muestras, para muestras de zinc de geología, cancha, laboratorio metalúrgico y planta.
- Blanco-Patrón-5 muestras, para muestras de plomo de geología, cancha, laboratorio metalúrgico y planta.
- Blanco-Patrón-5 muestras, para muestras de arsénico solo de concentrado de plata o cobre(despacho)



- h) Blanco-Patrón-5 muestras, para muestras de antimonio solo de concentrado de plata o cobre(despacho)
- i) Si se requiere leer más elementos, se comenzará nuevamente con las indicaciones del punto c.
- j) Al finalizar con las lecturas de las muestras, lavar el sistema de llama con agua desionizada
- k) Ir al menú file, opción data manager, y extraer al disco C, los datos de concentración, incluyendo fecha y elemento determinado.
- l) Salir del software, apagar los equipos y la campana extractora.
- m) Dejar el área limpia y ordenada.
- n) Proceder a reportar leyes.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del presente trabajo son del efecto del cloruro de sodio en la precipitación de la plata de solución acida de refinación de oro y la influencia de los fundentes en la obtención de la plata piña.

En el laboratorio químico metalúrgico de la empresa Minas Alta Cordillera SAC. se realiza análisis por vía seca, vía húmeda y lecturas de absorción atómica. Diariamente se analiza 40 a 50 muestras y acumulando 675 ml por día y 20.250 litros al mes de nitrato de plata diluida. Para determinar su ley de Ag acumulado en un mes, se obtiene 100 ml de muestra para su lectura de absorción atómica en método de Ag en una curva de 3 ppm en medio acido, en la cual el equipo de absorción atómica sobre paso el punto más alto de la curva. Entonces en una fiola se ha diluido la muestra de Ag en 4000 X en una curva de 5 ppm en medio acido en método de Ag, dando como resultado

$$\text{Ley de la Ag} = 15.590 \text{ mg/l}$$

Tabla 4

Resultados de la influencia del cloruro de sodio.

N° Ensayo	Solución Remanente (ml)	Cloruro de Sodio (g)	Cantidad de plata en la muestra (mg/l)	Residuo de la plata en la muestra (mg/l)
1	200	5	15.590	6.155
2	200	10	15.590	5.668
3	200	15	15.590	3.997
4	200	20	15.590	2.542
5	200	25	15.590	1.385

Fuente: Propia.

4.1. INFLUENCIA DE CLORURO DE SODIO (NaCl) EN LA PRECIPITACIÓN DE LA PLATA

Discusiones de acuerdo de tabla 4

- a) **Resultados del ensayo 1:** En una muestra de 200 ml de solución ácida (AgNO_3), y 5 gr de cloruro de sodio en una luna de reloj. Agregada el cloruro de sodio, empieza la reacción cambiando de color blanco y forma la precipitación de cloruro de plata, una vez terminado de precipitar, se filtra el cloruro de plata y luego se llevó al área de fundición para su porcentaje de recuperación de plata.
- Peso de cloruro de plata = 1.849 g
 - Peso de la plata metálica = 1.134 g
 - % de recuperación = 61.33 %
 - Lectura de AA = 6.155 mg/l

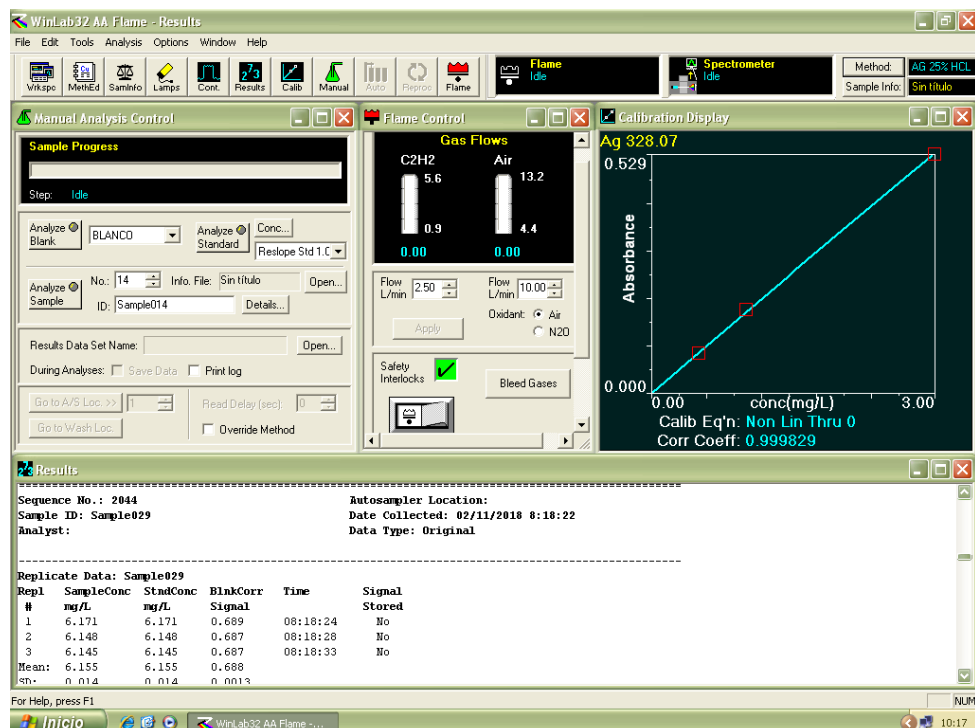


Figura 4. Prueba 1 con 5g de cloruro de sodio

Fuente: Software WinLab para Absorción Atómica

Licencia Minas Alta Cordillera SAC

- b) **Resultados del ensayo 2:** En una muestra de 200 ml de solución ácida (AgNO_3), se agrega 10 gr de cloruro de sodio en una luna de reloj, luego se agrega a la solución ácida donde empieza la reacción cambiando de color blanco y forma la precipitación de cloruro de plata, una vez terminado de precipitar, se filtra el cloruro de plata y luego se lleva al área de fundición para el porcentaje de recuperación de plata.
- Peso de cloruro de plata = 3.131 g
 - Peso de la plata metálica = 2.347 g
 - % de recuperación = 74.96 %
 - Lectura de AA = 5.668 mg/L

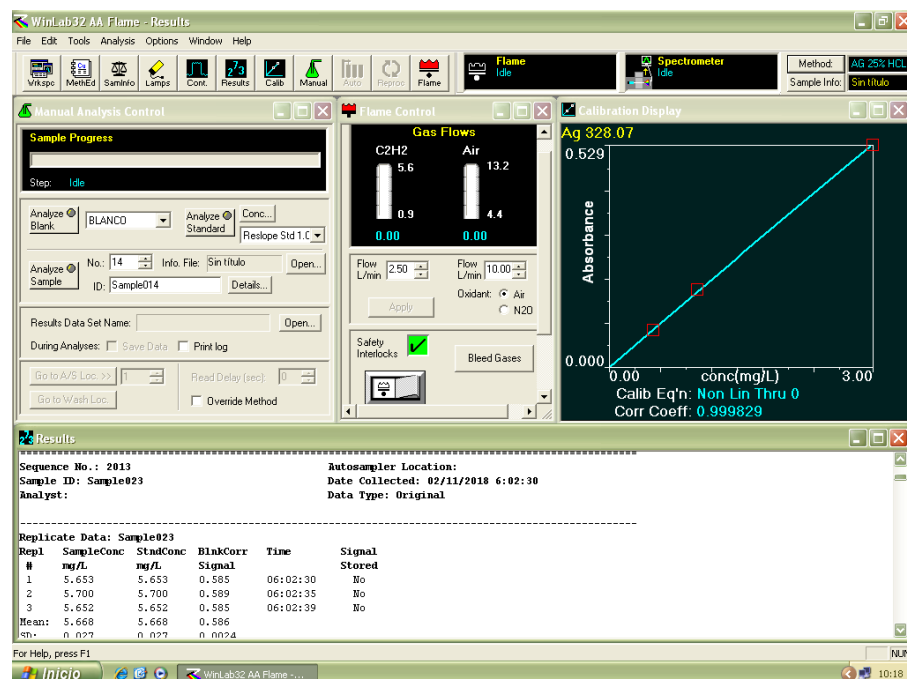


Figura 5. Prueba 2 con 10 g de cloruro de sodio

Fuente: Software WinLab para Absorción Atómica

Licencia Minas Alta Cordillera SAC

- c) **Resultados del ensayo 3:** Se tomó 200 ml de muestra solución ácida (AgNO_3), y 15 g de cloruro de sodio en una luna de reloj, luego se agrega el cloruro de sodio donde empieza la reacción cambiando de color blanco y forma la

precipitación de cloruro de plata, una vez terminado de precipitar, se filtra el cloruro de plata y luego se lleva al área de fundición para el porcentaje de recuperación de plata.

- Peso de cloruro de plata = 4.013 g
- Peso de la plata metálica = 3.525 g
- % de recuperación = 87.83 %
- Lectura de AA = 3.997 mg/l

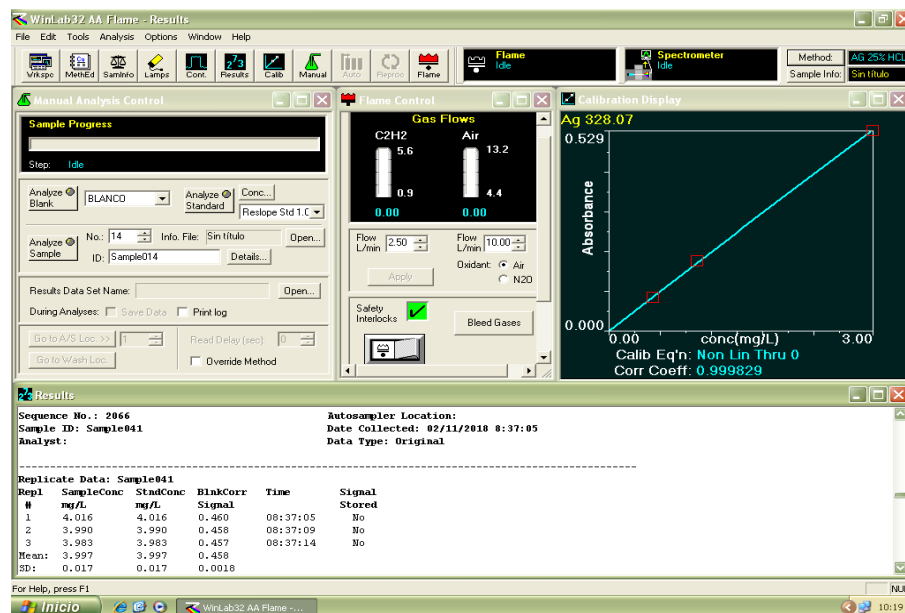


Figura 6. Prueba 3 con 15g de cloruro de sodio

Fuente: Software WinLab para Absorción Atómica

Licencia Minas Alta Cordillera SAC

d) **Resultados del ensayo 4:** Se tomo 200 ml de muestra solución acida (AgNO_3), y 20 g de sal en una luna de reloj, luego se agregó el cloruro de sodio donde empieza la reacción cambiando de color blanco y forma la precipitación de cloruro de plata, una vez terminado de precipitar, se filtra el cloruro de plata y luego se lleva al área de fundición para determinar el porcentaje de recuperación de plata.

- Peso de cloruro de plata = 4.302 g

- Peso de la plata metálica = 3.909 g
- % de recuperación = 90.86 %
- Lectura de AA = 2.542 mg/l

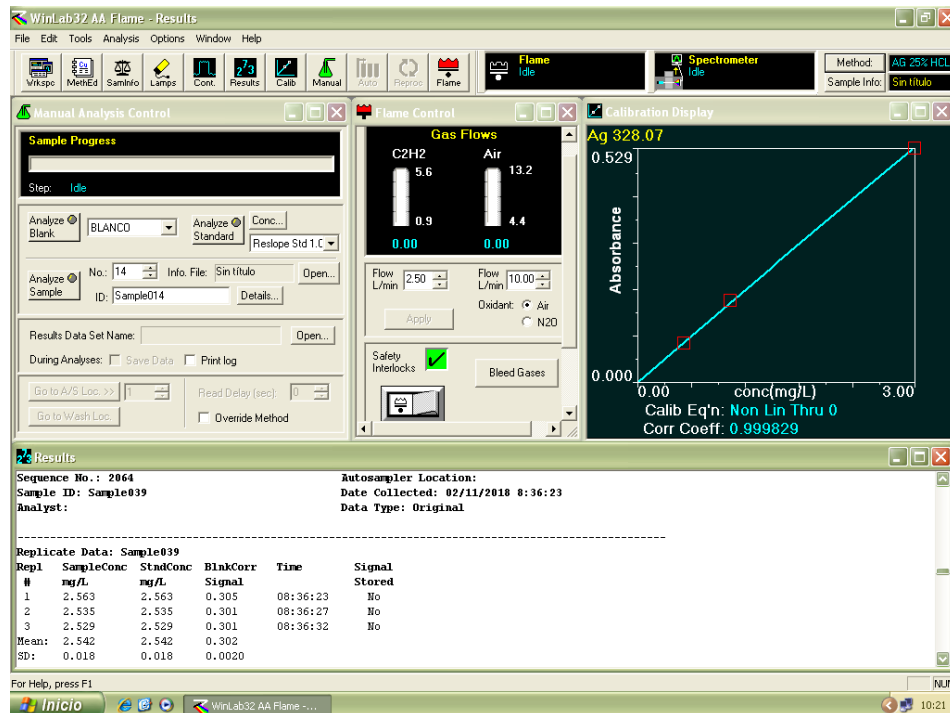


Figura 7. Prueba 4 con 20g de cloruro de sodio

Fuente: Software WinLab para Absorción Atómica, Licencia Minas Alta Cordillera SAC

- e) **Resultados del ensayo 5:** Se tomó 200 ml de muestra solución acida (AgNO_3), y 25 g de cloruro de sodio en una luna de reloj, luego se agrega a la solución acida en el vaso precipitado donde empieza la reacción cambiando de color blanco y forma el precipitado de cloruro de plata, una vez terminado la precipitación de analitos de plata, se filtró el cloruro de plata y luego es llevado al área de fundición para determinar el porcentaje de recuperación de plata.

- Peso de cloruro de plata = 4.341 g
- Peso de la plata metálica = 4.139 g
- % de recuperación = 95.34 %
- Lectura de AA = 1.385 mg/l

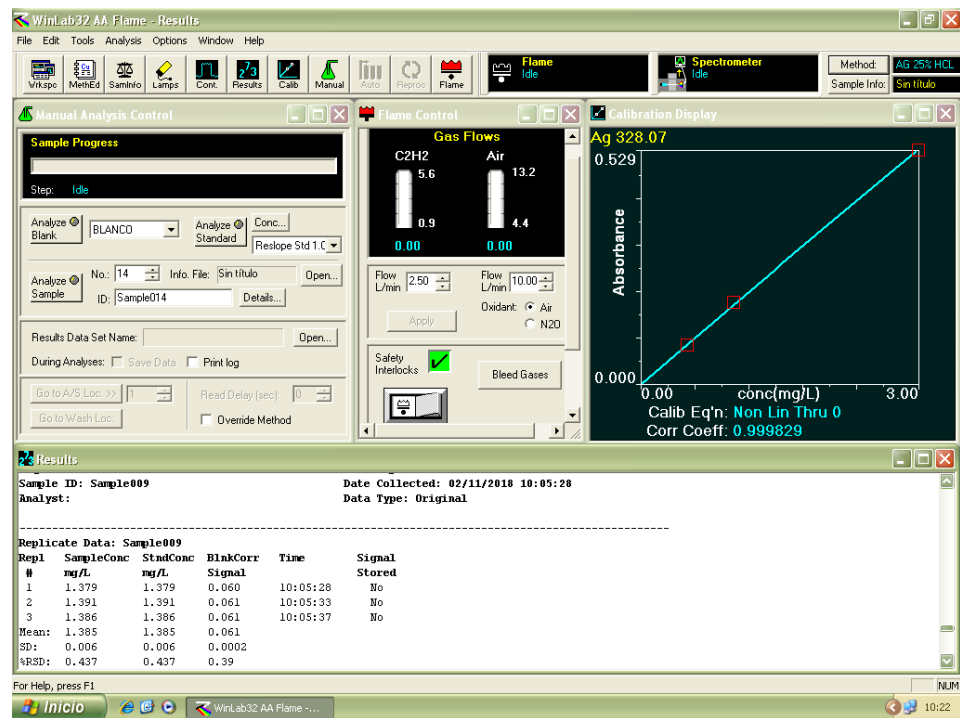


Figura 8. Prueba 5 con 25g de cloruro de sodio

Fuente: Software WinLab para Absorción Atómica, Licencia Minas Alta Cordillera SAC

Nota: si en lectura de absorción atómica da una ley de mayor a 500 ppm se recomienda el análisis por vía seca.

4.2. CLORURO DE PLATA

4.2.1. Pasos para obtener cloruro de plata:

Se agregó cloruro de sodio (Sal de cocina mesa) al recipiente de solución de nitrato de plata.

Y se agito en forma circular con una varilla de vidrio para diluir la sal, y el color de solución acida va cambiando de color blanco y forma el precipitado de cloruro de plata.

Una vez terminado de agitar con varilla de vidrio se espera 24 horas para que termine de precipitar en cloruro de plata.

Después la solución barren se lleva al equipo de absorción atómica para su lectura en método de plata para saber cuanto de plata contiene en la solución barren.

$$\text{Solucion barren} = 0.042 \text{ gm/l}$$

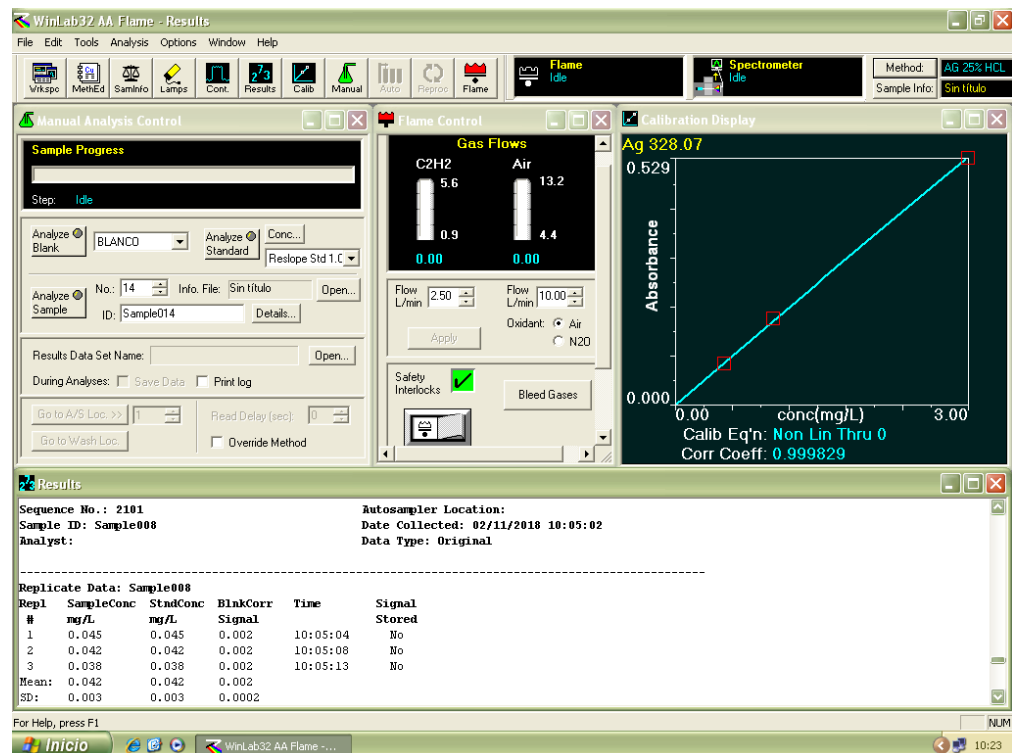


Figura 9. Lectura por absorción atómica a la solución barren

Fuente: Software WinLab para Absorción Atómica

Licencia Minas Alta Cordillera SAC

Después de 24 horas se lleva al área de filtrado de muestra, donde se lava con bastante agua para liberar la solución acida. Luego el contenido del recipiente (cloruro de plata) se filtra en una presión de olla y se libera toda la solución acida. Una vez terminado de filtrar se retira en una bandeja donde se obtiene cloruro de plata en sólido, tiene un peso húmedo de 585.5 gr y Luego se llevó al horno de secado (estufa). donde se obtuvo un peso de total 258.964 de cloruro de plata.

Luego el cloruro plata con un rodillo de metal se libera los gromos y disminuir la granulometría, seguidamente es tamizado con una malla N° 150 y una vez terminado de tamizar, se obtiene cloruro de plata en polvo posteriormente se homogeniza en una bolsa en varias veces para su muestra representativa para sus dichas pruebas corridas.

4.2.2. Resultados de la influencia de los fundentes en la obtención de plata refinada

Para obtener la plata refinada se hace los siguientes pasos, se prepara en un crisol de 50 g y se agrega 208.964 g de cloruro de plata pulverizado también se agregó bórax 130 g y es llevado al horno de fundición a una temperatura de 1060 C° en un tiempo de 1 hora y media, una vez de haber llegado a su punto de fusión de la plata es colado en una lingotera, girando el crisol en forma circular.



Figura 10. Proceso de ligoteado de la Plata

Fuente: Experimento de la Investigación.

En seguida con una pinza y martillo es liberado toda la escoria que presenta en la barra de la plata y es llevado al área de balanza para preparar su análisis de pureza de plata pura metálica.



Figura 11. Pesado de la plata

Fuente: Experimento de la Investigación.

4.2.2.1. *Experimento con cloruro de plata*

Se procede al corrido de 4 pruebas con cloruro de plata para cada vaso de crisol se obtiene 10 g de cloruro de plata para experimentar las variaciones de tipos de fundentes y obtener los resultados de porcentaje de recuperación y porcentaje de pureza de plata metálica, y una prueba en blanco compuestos de plomo (fúndete) para conocer si contiene plata en el fundente.

En el área de pesado de muestras se prepara las muestras en un crisol de 30 gr.



Figura 12. Pesado de muestras para el porcentaje de recuperación

Fuente: Propia

Tabla 5*Resultado de pruebas con cloruro de plata*

N° de experimento	Variaciones de fundentes			Peso de la plata piña	% de recuperación	
Exp 6	Muestra AgCl 10 g	Fundente 100 g	Harina 1,5 g	Bórax 25 g	9.805	98.05
Exp 7	Muestra AgCl 10 g	Bicarbonato de sodio 15 g	Bórax 20 g	Harina 1g	9.322	93.22
Exp 8	Muestra AgCl 10 g	Fundente 100g	Bórax 20 g		8.502	85.02
Exp 9	Muestra AgCl 10 g	Bicarbonato de sodio 10 g	Bórax 20 g		7.493	74.93

Fuente: Propia.

4.2.2.2. Descarga o colado de muestras:

Una vez concluido la fundición en el tiempo y temperatura requerido las muestras son descargadas o coladas en una lingotera.

Después de haber terminado de colar las muestras en lingoteras se observó los tipos de escoria y de cada muestra que fueron preparados en área de pesado de muestra.

Discusiones de acuerdo de la tabla 5

a) Resultados para experimento 6:

- Muestra 10 g
- Fundente 100 g
- Harina 1.5 g
- Bórax 25 g

Su tipo de escoria es transparente de color café y el regulo forma una aleación de plomo y plata



Figura 13. Escoria de la muestra 1

Fuente: Experimento de la Investigación.

b) Resultados para experimento 7:

- Muestra 10 g
- Bicarbonato de sodio 15 g
- Bórax 20 g
- Harina 1 g

Su color de escoria es transparente brillante limpio y forma un dore de plata metálica pura



Figura 14. Escoria de la muestra 2

Fuente: Experimento de la Investigación.

c) Resultados para experimento 18:

- Muestra 10 g
- Fundente 100 g
- Bórax 20 g

Su color de escoria es amarillo brillante transparente limpio y forma regulo de plomo y plata metálica pura.



Figura 15. Escoria de la muestra 3

Fuente: Experimento de la Investigación.

d) Resultados para experimento 9:

- Muestra 10 g
- Bicarbonato de sodio 10 g
- Bórax 20 g

Su color de escoria es de color blanco y formo un dore de plata metálica

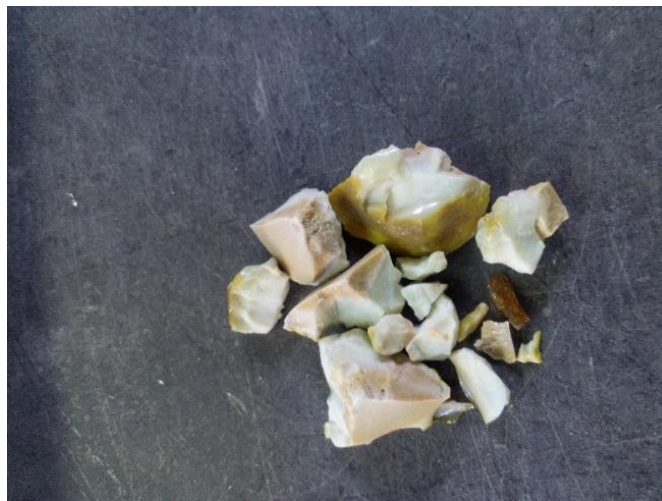


Figura 16. Escoria de la muestra 4.

Fuente: Experimento de la Investigación.

4.2.2.3. Porcentaje de recuperación de la plata

En el siguiente trabajo se obtiene el cloruro de plata pulverizado y homogenizado durante todo el mes para analizar las pruebas de variaciones de tipos de fundentes, también se realizará cuanto es la recuperación de la plata piña con variaciones de fundente de cada prueba corrida.

Después de haber terminado toda la fundición y obtenido el regulo de plomo y plata se ha pesado a cada regulo y luego ha sido copelado para examinar cuánto es la diferencia o haber liberado otros compuestos que contiene el regulo, para la copelación es encuartado con lamina de plomo a cada regulo de plata para evitar la pérdida de muestra.

Se realizó el copelado a un tiempo de 45 minutos a una temperatura de 850 C°.



Figura 17. Muestra antes del Copelado

Fuente: Experimento de la Investigación.



Figura 18. Muestra después del copelado

Fuente: Experimento de la Investigación.

e) Resultados y discusiones del experimento 6:

- **Peso inicial:** 10 g
- **Peso final:** 9.805 g
- **% de recuperación de plata =98.05%**
- **Peso viruta:** 0.102968 mg
- **Peso final:** 0.100531 mg
- **% de pureza = 97.63%**



Figura 19. Pesado final muestra 1

Fuente: Experimento de la Investigación.

f) Resultados y discusiones del experimento 7:

- **Peso inicial:** 10 g
- **Peso final:** 7.322 g

- **% de recuperación de plata =93.22%**
- **Peso de viruta: 0.101613 mg**
- **Peso final: 0.098798 mg**
- **% de pureza = 97.23%**



Figura 20. Pesado final muestra 2

Fuente: Experimento de la Investigación.

g) Resultados y discusiones del experimento 8:

- **Peso inicial: 10 g**
- **Peso final: 7.2024 g**
- **% de recuperación de plata =85.02%**
- **Peso inicial: 0.101070 mg**
- **Peso final: 0.098372 mg**
- **% de pureza = 97.33%**



Figura 21. Pesado final muestra 3

Fuente: Experimento de la Investigación.

h) Resultados y discusiones del experimento 9:

- **Peso inicial:** 10 g
- **Peso final:** 6.493 g
- **% de recuperación de plata = 74.93%**
- **Peso viruta:** 0.101645 mg
- **Peso final:** 0.099006 mg
- **% de pureza = 97.40%**



Figura 22. Pesado final muestra 4

Fuente: Experimento de la Investigación.

i) **Resultados y discusiones del experimento de la barrita de plata metalica que se obtuvo durante el mes:**

- **Peso de viruta:** 0.101373 mg
- **Peso final:** 0.098263 mg
- **% de pureza = 96.93%**

4.2.2.4. *Discusión del Experimento de corroboración:*

Esta prueba es plata electrolítica al 99.99% para corroborar

- **Peso viruta:** 0.106198 mg
- **Peso final:** 0.103689 mg
- **% de pureza = 97.64%**



Figura 23. Pesado final muestra 5

Fuente: Experimento de la Investigación.

Tabla 6*Resultado consolidado de pesos y porcentajes.*

	Peso viruta	Peso final	% de pureza	% de recuperación
muestra 1	0.102968	0.100531	97.63%	98.05%
muestra 2	0.101613	0.098798	97.23%	93.22%
muestra 3	0.10107	0.098372	97.33%	85.02%
muestra 4	0.101645	0.099006	97.40%	74.93%
muestra 5	0.101373	0.098263	96.93%	-
muestra 6	0.106198	0.103689	97.64%	-

Fuente: Propia.

4.2.3. Costos**a. Gastos****Tabla 7***Costos de materiales*

Costos de producto en material e insumo				
Descripción	Unidad	Kg	P.u. S/	Total S/
Cloruro de sodio		0,075	1.20	0.09
Litargirio		985	6.48	6.38
Bórax		300	4.32	1.29
Bicarbonato de sodio		60	1.44	0.086
Harina de trigo		500	2.52	1.26
Plomo laminado		500	43.2	21.60
Crisol 50 g	25		1.51	37.75
Copela N°7	25		1.44	36.00
Análisis fyrr Assay	14		70.00	980.00
Análisis A A	7		16.00	112.00
Total de costo en material e insumos				1,196.459

Fuente: Propia.



- b. Costo de materiales para la obtención de plata refinada con el experimento de mayor recuperación
- Gasto de cloruro de sodio para obtener 10 g de cloruro de plata, se utilizaron 6 litros de solución acida de refinación de oro en la que se ha gastado 200 g cloruro de sodio, de esto se ha obtenido 10 g cloruro de plata
 - Para refinar 10 g cloruro de plata de acuerdo al experimento 16 se ha gastado los siguientes materiales.

Tabla 8

Costo de materiales del experimento de mayor recuperación de plata

Fundentes	Kg	Costos S/	Total
Litargirio	0.10	7.10	0.71
Bórax	0.0015	4.74	0.007
Copela		1.32	1.32
Crisoles		1.85	1.85
Total			3.887

Fuente: Propia.

Se gasta 3.887 soles para obtener 9.805 g según el experimento 16

- c. La empresa recolectaba 24 litros de solución acida de refinación de oro por mes, de acuerdo al experimento 10 se gasta 200 g para 6 litros y 24 litros se gastará 800 g de cloruro de sodio asiendo un costo total S/ 0.96 y para refinar 10 g de cloruro de plata se ha gastado S/ 3.887 esto es el producto de 6 litros y para 24 de solución se ha gastado S/ 15.548.

Haciendo un total de gastos de materiales de: S/ 0.96 en cloruro de sodio y S/ 15.548 en fundentes igual a S/ 16.508

- d. Si 6 litros de solución acida refinación de oro me ha producido 10 g de cloruro de plata y esto ha generado 9.805 g de plata refinada y 24 litros de solución



muestra genera 39.22 g de plata que multiplicado por el costo de la onza (S/ 98.354 Bulion Rates 30-01-21) es igual a S/ 128.581.

Ganancia para la refinancian de la solución que la empresa recolecta en un mes

= vente total de plata S/ - gastos en materiales, remplazando se tiene

= S/ 128.581- S/ 16.508

= S/112.073



V. CONCLUSIONES

- La metodología empleada para el presente estudio ha permitido llegar a una pureza de 97.64 % de plata refinada.
- El cloruro de sodio ha influido directamente en la recuperación de la plata a partir de la solución de purificación de oro, formando cloruro de plata.
- Los fundentes han influido directamente en la recuperación de la plata a partir de una solución de refinación de oro en su etapa final hasta la obtención de la plata refinada a 97.64% de pureza.



VI. RECOMENDACIONES

- Debido a su recuperación de la plata refinada se recomienda el control de solución de cada semana y realizar análisis de plata tanto en vía seca y en instrumentación de equipo de Absorción Atómica en soluciones acidas, para determinar qué cantidad de plata analitos contiene en un mes. Y una vez obtenida la plata piña se puede utilizar para el proceso de análisis de oro y plata en laboratorio químico en empresa MINALCOR SAC.
- Investigar los factores de tiempo de precipitación con la influencia de cloruro de sodio con reacción en soluciones acidas (nitrato de plata).
- Realizar investigaciones en fundentes como el litargirio (compuesto de plomo) y vasos de crisoles si contiene plata.



VII. REFERENCIAS

- Acosta, J., Boza, B., Oliveros, E., Rosado, E., & Zambrano, M. (2019). *Peru's mining y metals investment guide*. Editorial.
- Alguacil, F., & Martínez, S. (1995). *Extracción de Ag(I) en medio cloruro sódico con sulfuro de tri-isobutil fosfina*. Retrieved from Revista de Metalurgia:
<https://doi.org/10.3989/revmetalm.1995.v31.i5.943>
- Anonimo. (n.d.). *Minera, Metalurgica y Geográfica. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica*, 5(9), 22–31.
- Ascuña, V., Javier, Z., Bolaños, H., Mamani, P., Huamaní, R., & Huanca, P. (2018). Tratamiento de soluciones de cianuro y precipitación de metales cianicidas por reacción con peróxido de hidrógeno y soda caústica, El método Perso, Obtención de lodos económicamente útiles,. 35(5), 161–167.
- Azamar, A., & Ponce, J. (2014). *Extractivism and development: Mineral resources in Mexico. Problemas Del Desarrollo*,. Retrieved from
<https://doi.org/10.1016/S0301->
- Azooz, E., Jawad, S., & Kadhim, M. (2018). *Separation and Spectrophotometric Determination of Iron (III) and Mercury (II) via Cloud Point Extraction with New Azo-Derivative. Eurasian Journal of Analytical Chemistry*,. Retrieved from
<https://doi.org/10.29333/ejac/94973>
- Ballester, A., Verdeja, L., & Sancho, J. (2000). *Metalurgia Extractiva. Volumen I. II : Fundamentos*.
- Bustamante Rúa, M., Gaviria Cartagena, A., & Restrepo Baena, J. (2008). *Concentracion De Minerales*.



- Cambi, L. (1958). *Cyanidation of gold and analogous metals by hydrocyanic acid and oxyge. Rend. Classes Sci.*
- Chizaiza, A. (2015). *PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO A PARTIR DE LOS RESIDUOS GENERADOS POR LA JOYERÍA “ESMERALDA” TRABAJO. TRABAJO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA*. Retrieved from UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR:
<https://doi.org/10.5897/ERR2015>
- Contek. (2003). *Hoja De Datos De Seguridad Acido Clorhidrico.*
- Contrato, C. (2018). *Plata: Caracterización y análisis de mercado internacional de minerales en el corto, mediano, y largo plazo con vigencia al año 2035.*
- De la Cruz Bustamante, E. (2018). *Estudio Comparatico de Recuperacion de Plata, mediante Hidroxido de Sodio, Hipoclorito de Sodio y dicromat de Potasio a partir de Placas Radiograficas*. Universidad Nacional de Trujillo.
- En, X., & El, E. (2012). Lixiviación De Menas Auríferas Con Sales Oxidantes En Medio Ácido Mediante El Proceso Severo. *Revista Del Instituto de Investigación de La.*
- Fierro, F. (2009). *Acido Nitrico- Hoja de seguridad.*
- Fuente, M., & Barkin, D. (2012). *La minería como factor de desarrollo en la Sierra Juárez de Oaxaca. Una valoración ética*. Retrieved from
[https://doi.org/10.1016/s0301-7036\(13\)71865-0](https://doi.org/10.1016/s0301-7036(13)71865-0)
- Gagliuf, P., Angélica, P., Mera, A., Albildo, E., & Cabezas, H. (2012). Recuperación de oro y plata de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera,*



- Metalurgica y Geográfica*, 10(19), 28–37. Retrieved from Recuperación de oro y plata de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo.
- Gallo Ramirez, J., & Ossa Orozco, C. (2019). *Fabricación y caracterización de nanopartículas de plata con potencial uso en el tratamiento del cáncer de piel. Ingeniería y Desarrollo*,. Retrieved from <https://doi.org/10.14482/inde.37.1.6201>
- Hilari, J. (n.d.). *Análisis y desarrollo del laboratorio Químico-Metalúrgico en la planta Golden Valley S.A. AREQUIPA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA*. Retrieved from Análisis y desarrollo del laboratorio Químico-Metalúrgico en la planta Golden Valley S.A.
- Hoja de datos de seguridad de sustancias químicas.Ácido clorhídrico. (2016). *Facultad de química*.
- Información, S. I., Producto, D. E. L., Compañía, Y. D. E. L. A., Comercial, N., y Nítrico, Á. (2008). *Ficha De Datos De Seguridad De Materiales Ácido Nítrico Sección I-Información Del Producto Y De La Compañía*.
- José, A., & Ortiz, C. (2019). Heavy metal analysis at the Cerrillos de Ponce Reservoir , Puerto Rico. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 15, 2–13.
- Logsdon , J., Hagelstein, K., & Midder, I. (2001.). EL MANEJO DEL EN LA EXTRACCIÓN CIANURO DE ORO.
- Londoño, J., Mojica, J., Cañón, R., Mosquera, S., & Ruiz, S. (2010). Técnicas mineralógicas químicas y metalúrgicas. Ingeominas. Instituto colombiano de geología y minería. *INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA Y MINERÍA*.
- Lopez Fernandez, A. (n.d.). Metales preciosos: el oro. In Metales preciosos. 345–353.



- LOYOLA SAAVEDRA, P., & MALDONADO ESPINOZA, Z. (2010). Recuperacion de Nittrato de Plata por Cristalizacion a partir del efluente de Disgregacion del dore en el Laboratorio Quimico de Century Mining Perú S.A.C.
- Morones Ramirez, R. (2010). Historia de la plata : su impacto en las antiguas civilizaciones y la sociedad moderna. 11(7), 1–9.
- Oro Au. (2013). Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente.
- Orozco, I., Bazan, V., & Brandaleze, E. (2018). Use of pyrometallurgical processes for obtaining rhenium. *Materia*,, <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180002.0344>.
- Palomino Hidalgo, A., & Ramos Lendesma, O. (2008). EVALUACIÓN EN LA RECUPERACIÓN DEL ORO Y PLATA A PARTIR DE MINERALES SULFURADOS EN UNA MATRIZ DE CUARZO MINERA KORICOLQUI.
- Parga, J., & Carrillo, F. (1996). Avances en los métodos de recuperación de oro y plata. *Revista de Metalurgia (Madrid)*, 32(4), 254–261.
<https://doi.org/10.3989/revmetalm.1996.v32.i4.907>.
- Proteccion CC. (2016). HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE SUSTANCIAS ÁCIDO SULFÚRICO.
- Reyes, V., Gonzales, I., & Oropeza, M. (n.d.). Recuperación Selectiva de “Doré” (Au-Ag) de Disoluciones Provenientes de la Lixiviación de Minerales, Utilizando un Reactor Electroquímico FM01-LC. XVIII Congreso SMEQ. 8, 8–13.
- Rivera Briceño, L. (2009). RECUPERACIÓN DE ORO REFRACTARIO APLICANDO LIXIVIACION CON THIOSULFATO Y RESINA EN PULPA



EN LA UEA CONDESTABLE. *Universidad Nacional Del Centro Del Centro De Posgrado. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU.*

- Rojas, A. (2000). Recuperación De Plata a Partir De Relaves De Flotación, Mediante Lixiviación Acido - Clorurante. *Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica,,* 3(06), 65–70.
- Rojas, B. (2003). *Evaluación de dos métodos de recuperación y refinación de los metales preciosos a nivel laboratorio a partir de los desperdicios con alto contenido de oro.*
- Santamaría Roncancio, J., & Torres Gómez, R. (2013). Comparación de cianuro y tiourea como agentes lixiviantes de un mineral aurífero colombiano. *Revista Facultad De Ingeniería,* 22(34), 97. <https://doi.org/10.19053/01211129.2222>.
- Seguridad, H. D. E. D. D. E. (n.d.). Ácido clorhídrico. 01(55), 1–18.
- Tamayo, J., Jácome, J. S, J., & Vásquez, A. (2017). La industria de la minería en el Perú - 20 años de contribución al crecimiento y desarrollo económico del país.
- Universidad Autonoma de Barcelona. (2010). Acido nítrico, 65–78.
- Usos, A., Usos, A., Sobre, E., Accidentes, R., Auxilios, P., & Derrames, C. D. E., C. (1997). Ácido clorhídrico: Usos, Aplicaciones Y Sobre, Efectos Salud.
- Vandecasteele, C., Block, C., & Chantal, B. (1997). Modern methods for trace element determination. Wiley.
- Vásquez Cordano, A. (2012). The Regulation of Oil Spills and Mineral Pollution: Policy lessons for the U.S.A. and Peru from the Deep Water Horizon blowout and other accidents. *LAP LAMBERT Academic Publishing.*



William, D., & Callister, J. (2000). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. The University of Utah.*

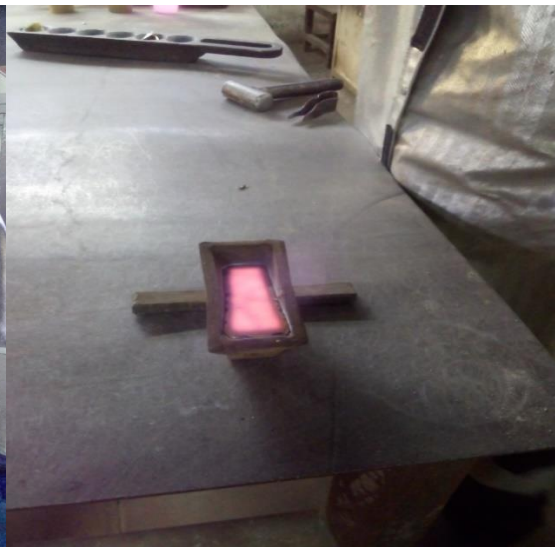
YÁNEZ TRASLAVIÑA, J., GARCÍA PÁEZ, I., PEDRAZA ROSAS, J., & LAVERDE CATAÑO, D. (2005). Characterization of Auriferous Ores From the Mining Zone of San Pedro Frio (Bolívar- Colombia) To Selection the Extractive Processes. *Dyna*,. 72(145), 23–35.

Zea Álvarez, J., Talavera Núñez, M., Arenas Chávez, C., Pacheco Salazar, D., Osorio Anaya, A., & Vera Gonzales, C. (2019). *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL NANOCOMPOSITO: NANOPARTÍCULAS DE PLATA Y CARBOXIMETILQUITOSANO*. Retrieved from *Revista de La Sociedad Química Del Perú*,: <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i1.232>

ANEXOS

Muestro de planta





Flowsheet planta - 100 tmsd – minalcor

