



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“COMPARACIÓN DEL MÉTODO DE AMALGAMACIÓN CON MERCURIO FRENTE AL MÉTODO DE FUNDICIÓN DIRECTA CON BÓRAX – FLUX PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO EN MINERÍA ARTESANAL 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autores:

Bach. Néstor Alejandro Arroyo Velásquez

Bach. Kevin Arnold Malca Roque

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Alvarez León

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mis padres Alejandro Alberto Arroyo Castañeda y Patricia Velásquez Chávez que siempre me apoyaron incondicionalmente y por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros los debo a ustedes entre los que se incluye este, para poder llegar a ser un profesional.

A mis hermanos, a mis abuelitos y demás familiares en general por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera Universitaria.

Néstor Arroyo

Este proyecto está dedicado a mis padres y hermanos quienes me apoyaron a lo largo de mi carrera profesional permitiéndome llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, gracias por sus consejos y palabras de aliento que hicieron de mí una mejor persona cada día.

A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Kevin Malca

AGRADECIMIENTO

Le agradecemos a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestras carreras, por ser nuestra fortaleza en los momentos más difíciles de nuestras vidas, por brindarnos una vida llena de aprendizajes, experiencias y felicidad.

Le damos gracias a nuestros padres por apoyarnos en todo momento, por los valores inculcados, y por habernos dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de nuestras vidas.

Gracias Ingeniero Juan Antonio Vega Gonzales y todo el cuerpo técnico de la Universidad Nacional de Trujillo por creer en nosotros, y habernos brindado la oportunidad de desarrollar nuestra tesis profesional en el laboratorio de metalurgia PROCESMIN, por todo el apoyo y facilidades que nos fueron otorgadas por el laboratorio, por darnos la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas.

A nuestro asesor el Ingeniero Víctor Eduardo Alvarez León, por todo el apoyo brindado a lo largo de la tesis, por su tiempo, amistad y por los conocimientos que nos transmitió.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema	14
1.3. Objetivos.....	14
1.4. Hipótesis	14
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	15
2.1. Tipo de investigación.....	15
2.2. Población y muestra.....	16
2.3. Técnicas e Instrumentos de recolección y análisis de datos.....	16
2.4. Procedimiento	18
CAPÍTULO III. RESULTADOS	31
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	36
REFERENCIAS	40
ANEXOS	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Muestras	16
Tabla 2: Determinacion de ley Newmont para la muestra de Sulfuro.....	19
Tabla 3: Determinacion de ley Newmont para la muestra de Óxido.....	19
Tabla 4: Determinacion de ley Newmont para la muestra del Río Marañón	19
Tabla 5: Determinacion de ley Newmont para la muestra de Escoria.....	19
Tabla 6: Propiedades del Mercurio.....	20
Tabla 7: Uso de Mercurio por Kg de mineral para la presente Investigación	20
Tabla 8: Componentes en 100 gramos de flux usado en la presente Investigación	21
Tabla 9: Determinacion de los pesos de cada muestra a utilizar	25
Tabla 10: Recuperaion de oro con el método tradicional con mercurio.....	31
Tabla 11: Resultados con el método fundicion directa con bórax - flux.....	32
Tabla 12: Recuperacion de oro con el método fundicion directa bórax - flux	33
Tabla 13: Comparación de resultados de los metodos tratados en la Investigación.....	34
Tabla 14: Ventajas y desventajas del uso del mercurio.....	35
Tabla 15: Ventajas y desventajas del uso del flux.....	35
Tabla 16: Ficha técnica para la preparacion del mineral con flux.....	45
Tabla 17: Ficha técnica para la fundición / copelación y refinación con flux.....	45
Tabla 18: Ficha técnica para la preparación del mineral con mercurio.....	46
Tabla 19: Ficha técnica para la amalgamación / refinación con mercurio	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Separación de muestras	23
Ilustración 2: Secado del mineral	23
Ilustración 3: Pulverizado en molino de bolas.....	24
Ilustración 4: Canaletas para la concentración gravimétrica	25
Ilustración 5: Chullado del mercurio	27
Ilustración 6: Mercurio limpio y amalgama para fundición	27
Ilustración 7: Fundición de amalgama.....	28
Ilustración 8: Lavado del mineral para el método de fundición directa	29
Ilustración 9: Observación de laminas de oro en el estereoscopio	29

RESUMEN

La presente investigación se realizó debido a la creciente contaminación de suelos y ríos por la minería artesanal e informal presente en gran cantidad en la sierra de La Libertad, por este motivo se planteó evaluar un método alternativo de recuperación de oro frente al método tradicional de amalgamación con mercurio utilizado en estas zonas.

Se evaluaron 4 muestras de tres diferentes zonas, de la sierra de La Libertad, dos muestras de la zona de Patáz (óxido y sulfuro), una del Río Marañón (aluvial) y otra muestra de Salpo (escoria); para esto se compararon los dos métodos y se determinó la eficiencia de cada uno; así mismo las muestras fueron sometidas al mismo tratamiento de preparación mecánica y fundición.

Los resultados de la investigación muestran que para el mineral sulfuro de la zona de Patáz el mayor porcentaje de recuperación de oro es 78% con el método por amalgamación con mercurio, para el mineral de óxido de la zona de Patáz el mayor porcentaje de recuperación de oro es 71% con el método de fundición directa con flux, para el mineral del Río Marañón el mayor porcentaje de recuperación de oro es 84% con el método de fundición directa con flux y para el mineral escoria de la zona de Salpo el mayor porcentaje de recuperación de oro es 33% con el método por amalgamación con mercurio. Estos resultados indican que el método alternativo de fundición directa con bórax y flux (fundente) es el método que logra una mayor recuperación de oro fino y grueso pero bajo ciertas condiciones, como el tipo de mineral (óxido y aluvial); también es importante tener en cuenta la granulometría del mineral, el porcentaje de oro grueso del concentrado, así como los materiales necesarios para este proceso.

Se concluye que el método por amalgamación con mercurio logra mayor recuperación de oro grueso en los minerales de sulfuro y escoria, pero la recuperación disminuye cuando se trata de oro fino.

Palabras claves: Flux, Bórax, Amalgamación con Mercurio, Escoria, Fundición directa.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Tanto en el Perú como en muchos otros países mineros, en las actividades de la pequeña minería y minería artesanal se utiliza el mercurio de forma rutinaria para separar el oro de los minerales auríferos, esta forma de extracción representa una fuente importante de ingresos en comunidades rurales que carecen de otras fuentes de ingresos económicos; en consecuencia, en el Perú existe un crecimiento de la minería informal generada por mineros motivados por la pobreza.

La minería de oro artesanal en Pataz en este sentido representa por si sola la mayor fuente de liberación intencional de mercurio, lo que está generando que sus trabajadores estén en un riesgo constante por la exposición de este metal, además de que crea riesgo de contaminación al medio ambiente y riesgo a los habitantes de las comunidades aledañas a la zona de producción. La exposición a estos riesgos puede reducirse considerablemente si se aplican métodos más eficientes para la recuperación de oro, que además ayude a sus costos de tratamiento.

Banegas (2017) nos presenta en su tesis “Eficiencia del método ecológico sin mercurio respecto al tradicional con mercurio en la extracción del oro en minería artesanal en Ollachea – Puno”. Sobre las comparaciones de la eficiencia sobre el método ecológico con bórax y sobre el método tradicional con mercurio, tanto en lo económico, ambiental y social; también nos comenta sobre el indicador Oro obtenido que no obtuvo diferencias significativas en las comparaciones según la prueba Tukey

con media de $X= 3.17$ gramos con el método ecológico y media $X= 3.36$ gramos con el método tradicional con Mercurio. Llegando a la conclusión que al evaluar los Indicadores Específicos del 0 – 100 (caudal, tiempo, recurso humano, uso de mercurio, uso de bórax, oro obtenido, costos), la valorización de los Indicadores Específicos es un 85% en el método ecológico y 42% en el método tradicional.

Eppers (2017) en su informe “El uso del bórax para una producción de oro sin mercurio en la minería a pequeña escala”. Habla del convenio de Minamata sobre el Mercurio, para proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos del mercurio. El Perú es uno de los 128 países que ha suscrito el convenio, además nos habla sobre un estudio realizado en el centro minero de Mollehuaca (provincia de Caraveli en Arequipa) por las Autoridad Regional de Arequipa (ARMA) con apoyo de la Cooperación Alemana al Desarrollo, implementado por la GIZ en el Perú, reveló que los relaves provenientes de la amalgamación en quimbaletes en gran parte deben ser clasificados como residuos peligrosos por su alto contenido de mercurio residual.

Eppers (2017) nos dice que en el año 2014 la producción de oro informal o ilegal en Perú fue estimada en 20.2 toneladas. No existen datos confiables sobre la producción informal e ilegal de oro en la región de Arequipa, pero algunas fuentes estiman que ésta se aproxima a 2.6 toneladas anuales. Considerando que se pierden entre 5 y 10 kg de mercurio (en casos extremos hasta 25 kg) para recuperar 1 kg de oro, las actividades de la pequeña minería y minería artesanal en Arequipa liberan por año

entre unas 13 y 26 toneladas de mercurio al medio ambiente, en su mayoría en forma de vapores y relaves contaminados. Mientras la formación de vapores tóxicos de mercurio es considerada el problema más importante para la salud humana, la contaminación de los relaves con mercurio también tiene un alto impacto ambiental. En este informe llegaron a la conclusión que una buena alternativa de solución a la amalgamación con mercurio es la fusión directa con bórax, ya que este es una sustancia de baja peligrosidad, bajo impacto ambiental, además de que implica un bajo costo; demostraron que la recuperación de oro con bórax es superior al tradicional con mercurio, con la ventaja de que puede ser aplicado con las máquinas y materiales que los mineros artesanales ya cuentan además de que es un método fácil de aplicar sin grandes esfuerzos económicos ni entrenamiento complicado para los trabajadores.

Sánchez (2018) en su informe “Técnicas alternativas para la extracción de oro sin el uso de mercurio y su potencial aplicación a pequeña escala y minería artesanal en Colombia”. Muestra el convenio de Minamata en Colombia, el cual reglamentó a través de la Ley 1658 de 2013, en el cual se propuso la meta de erradicar el mercurio de la minería en un plazo de 5 años y de todo proceso industrial en un plazo de 10 años. También nos documenta diferentes técnicas exitosas alrededor del mundo en las que se reemplazó el mercurio como agente primario para la extracción de oro, por ejemplo:

Técnicas Químicas: Bórax, Tiourea, Solventes Orgánicos.

Técnicas Físicas: Concentración Gravimétrica.

Técnicas Biológicas: Bacterias (Biolixiviación y Biooxidación).

También indica que la consideración de variables socioculturales y económicas, la información recopilada servirá de apoyo técnico en la industria de la Minería Artesanal y Pequeña Escala (MAPE) para dar cumplimiento con los programas y proyectos de minería sin mercurio.

En el Programa de las Naciones Unidas (2015), en su informe “Proyecto de orientación sobre la elaboración de un plan de acción nacional para reducir y, cuando sea posible, eliminar el uso del mercurio en la extracción de oro artesanal y en pequeña escala” nos presenta métodos alternativos para la extracción de oro sin mercurio, las técnicas si mercurio son las siguientes:

Lixiviación química.

Separación magnética.

Flotación.

Concentración únicamente por gravedad con fundación directa.

Esta última nos habla que la concentración por gravedad puede ser suficiente para crear una mena alta de concentración de oro sin emplear mercurio, a fin de que esta pueda fundirse directamente (con bórax o con otro fundente). Para poder fundir la directamente la mena de oro usando bórax, la concentración de oro debe ser aproximadamente el 25% o más.

Nartey, Hassan y Amankwah (2013), en su informe “Direct smelting of gold concentrates, a safer alternative to mercury amalgamation in small – scale gold mining operations” Aseguran que el método de amalgamación con mercurio se encuentra aplicándose en más de 50 países en desarrollo, pero que, sin embargo, debido al mal manejo de este, se pierden en el medio ambiente. Por otro lado, nos presentan la técnica de fundición directa, que se desarrolló como un método con el potencial de reemplazar la amalgama. La combinación de concentrados de oro y fundentes para realizar la fundición directa tiene la ventaja de recuperar partículas de oro recubiertas / ocluidas que informan no puede ser recogido por el mercurio. Este método comienza con el concentrado de oro que se prepara para la malgama, la técnica se ha probado en concentrados obtenidos de todos los principales tipos de oro, fresado libre, material aluvial y sulfuros refractarios. Los concentrados de sulfuros refractarios requieren un pretratamiento debido a la mineralogía, dependiendo de la fuente de material concentrado y del tipo de proceso de cominucion realizado, el concentrado puede contener componentes de acero abrasados que deben ser retirados por una etapa de pretratamiento que consta en la oxidación de sulfuros antes del proceso de fundición. También concluyeron que la fundición directa al usar una combinación correcta de bórax, carbonato de sodio y sílice, las arenas negras con contenido de oro se fundieron con relativamente altos niveles de recuperación y mencionan que la fundición directa es superior al 95%, además de tomar menos tiempo.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la comparación entre el método de amalgamación con mercurio frente al método de fundición directa con bórax – flux para la recuperación de oro en minería artesanal 2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Comparar la recuperación de oro entre el método de amalgamación con mercurio frente al método de fundición directa con bórax - flux en la minería artesanal.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la recuperación de oro con el método de amalgamación con mercurio y fundición directa bórax - flux.
- Comparar los resultados en la recuperación de oro entre los dos métodos tratados en la investigación.
- Describir las ventajas y desventajas de los dos métodos de recuperación de oro tratados en esta investigación.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El método de fundición directa con el uso de Bórax y Flux representa una alternativa de solución eficiente frente al método tradicional de amalgamación con mercurio para la recuperación de oro.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación Aplicada, del tipo Experimental a nivel de laboratorio, ya que las pruebas metalúrgicas se realizaron en el laboratorio PROCESMIN de la Universidad Nacional de Trujillo, realizándose la preparación mecánica de 10 muestra de mineral para las pruebas con los cuatro tipos de mineral (óxido, sulfuro, aluvial y escoria), cuatro pruebas realizadas para el óxido, una prueba realizada para sulfuro, cuatro pruebas realizadas par aluvial y una prueba realizada para escoria.

Vargas (2009), nos indica que el tipo de investigación Aplicada es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver, se centra en el análisis y solución de problemas de varias índoles de la vida real, así como también se nutre de avances científicos y se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos.

Serrano, García, León, Gil & Ríos, 2011 indica que los en la investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. [...] Un experimento es una situación simulada, en la que el investigador manipula conscientemente las condiciones de una o de diversas situaciones precedentes (variable independiente) para comprobar los efectos que causa dicha variable en otra situación consiguiente, variable dependiente.

2.2. Población y muestra

Población: Mineral con oro de la zona de Pataz, Rio Marañón y Salpo.

Muestra: Mineral promocionado por mineros artesanales de la zona de Pataz, Rio Marañón y Salpo.

Tabla 1

Tipo de muestras utilizadas en las pruebas

Mineral	N° de análisis
Oxido	4
Sulfuro	1
Río Marañón	4
Escoria	1

Fuente: PROCESMIN.

Las muestras que se tomaron en cuenta en la siguiente investigación son 10 análisis que son: 4 por amalgamación con mercurio y 6 por fundición directa con bórax – flux.

2.3. Técnicas e Instrumentos de recolección y análisis de datos.

2.3.1. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.

Se utilizo la técnica de observación directa en campo, para identificar las muestras obtenidas de la zona de Patáz, Rio Marañón y Salpo; donde también se pudo observar una gran incidencia de minería ilegal. Las muestras identificadas para realizar el estudio fueron cuatro en total: mineral formado a partir de sulfuros y minerales formados a partir de óxidos de la zona de Pataz, concentrado de mineral formado a partir de forma aluvial del rio marañón y escoria de la zona de Salpo, todas perteneciente a la Región de La Libertad.

La otra técnica aplicada fue el análisis documental que nos sirvió para recolectar información de fuentes primarias usando fichas técnicas.

Los Instrumentos de recolección de datos fueron los siguientes:

- Ficha técnica para la preparación de mineral con flux.
- Ficha técnica para la fundición / copelación y refinación con flux.
- Ficha técnica para la preparación del mineral con mercurio.
- Ficha técnica para la amalgamación / refinación con mercurio.

En los anexos 03 y 04 se muestran el instrumento consistente que permitirá plasmar los datos obtenidos en la fundición directa con flux para la recuperación de oro.

En los anexos 05 y 06 muestran el instrumento consistente que permitirá plasmar los datos obtenidos en el proceso por amalgamación con mercurio para la recuperación de oro.

En el anexo (07 y 08) se puede observar fotos relacionadas al proceso por amalgamación con mercurio y también los pesos de amalgama, dore, oro refogado de cada mineral.

En el anexo (09, 10, 11 y 12) se puede observar fotos relacionadas a la preparación de la fundición directa con flux, pesos de la preparación, peso del dore y oro refogado en cada mineral.

Por último, se utilizó la técnica de experimentación en la cual se realizó un total de 10 pruebas en laboratorio, utilizando dos métodos de recuperación de oro para cada una de las cuatro muestras, la comparación se realizó usando

exactamente la misma cantidad de muestra en peso para cada tipo de mineral, uno mediante la recuperación de oro por amalgamación y el otro por el método de sedimentación directa con uso de Bórax y Flux.

2.3.2. Técnicas e instrumentos de análisis de datos:

Los resultados obtenidos de las pruebas metalúrgicas se tabularon usando los formatos de herramientas digitales en Excel, esto con la finalidad de plasmar su interpretación en gráficos, que permitieron analizar de forma más concisa los porcentajes de recuperación de oro.

Para el análisis de resultados se compararon los porcentajes de recuperación de oro obtenido de los métodos tratados en la investigación.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Trabajo de Gabinete

Inicialmente se realizó la revisión de antecedentes, estudios similares respecto a los métodos de recuperación de oro, en el ámbito local, regional y nacional, para esto se recurrieron a repositorios virtuales de algunas universidades, se seleccionó la información más acertada de los diferentes métodos.

Antes de realizar las pruebas de laboratorio, se realizó la recolección de información correspondiente al tipo de mineral, materiales, reactivos, y equipos a utilizar. Así mismo se tuvo que realizar la preparación mecánica de las muestras, realizar la cotización de los insumos para las pruebas.

Se envió 4 muestras de mineral al laboratorio PROCESMIN de la Universidad Nacional de Trujillo, para realizar el análisis de oro los cuales se muestran desde la tabla 1 hasta la tabla 4.

Tabla 2

Determinación de ley Newmont para la muestra de Sulfuro

Características	Especificación
Au (g/TM)	56.29
Au (Oz/TC)	1.64
Distribución Au%	16.88

Fuente: Laboratorio PROCESMIN.

Tabla 3

Determinación de ley Newmont para la muestra de Óxido

Características	Especificación
Au (g/TM)	61.67
Au (Oz/TC)	1.80
Distribución Au%	18.34

Fuente: Laboratorio PROCESMIN.

Tabla 4

Determinación de ley Newmont para la muestra del Rio Marañón

Características	Especificación
Au (g/TM)	61.67
Au (Oz/TC)	1.80
Distribución Au%	18.34

Fuente: Laboratorio PROCESMIN.

Tabla 5

Determinación de ley Newmont para la muestra de Escoria

Características	Especificación
Au (g/TM)	68.14
Au (Oz/TC)	1.99
Distribución Au%	85.00

Fuente: Laboratorio PROCESMIN.

2.4.1.1. Caracterización del mercurio.

El mercurio es un metal líquido, inodoro, de color plateado y ligeramente volátil a temperatura de ambiente. Se encuentra en la naturaleza principalmente formando compuestos con el azufre o como mercurio metálico. Tanto el mercurio como sus compuestos tienen una gran resistencia a la biodegradación, por lo que muy fácilmente se acumulan creando graves problemas de contaminación ambiental.

Tabla 6

Propiedades del Mercurio

Características	Especificación
Punto de fusión	-38.87°C
Punto de ebullición	357.72°C
Densidad	13.546 kg/litro
Evaporación	20°C

Fuente: Ministerio de Energía y Minas – Julio 2005

Tabla 7

Uso de Mercurio por Kg de mineral para la presente Investigación

Mineral	Kg	Mercurio (Hg)
Sulfuro	1	100 gr
Oxido	1	100 gr
Rio Marañón	1	100 gr
Escoria	1	100 gr

Fuente: Mineros artesanales de la zona de Pataz.

2.4.1.2. Caracterización del Bórax

El tetraborato de sodio, borato de sodio o Bórax, es un cristal incoloro soluble en agua y de estructura cristalina y es el borato más abundante en la tierra, formado a partir de la evaporación de aguas con altos contenidos de sales. Debido a su capacidad de disolver óxidos metálicos, es usado ampliamente en la industria de la metalurgia como material fundente, desoxidante y en aleaciones con materiales ferrosos (Hurlbul & Klain, 1997).

2.4.1.3. Caracterización del flux

El objetivo de la carga fundente (Flux) es producir una escoria con las siguientes propiedades:

- Bajo punto de fusión
- Baja viscosidad
- Baja densidad
- Alta solubilidad de los óxidos de los metales básicos
- No solubilidad de los metales preciosos
- Mínima acción sobre los refractarios (corrosión / abrasión)
- Fácil de romper para volver a ser tratado (Vidrioso y frágil)

Tabla 8

Componentes en 100 gramos de flux usado en la presente Investigación

Características	Especificación	Especificación
Litargirio	60%	60g
Bicarbonato	25%	25g
Bórax	12%	12g
Sílice	3%	3g
Harina		4g

Fuente: Laboratorio PROCESMIN

Como se puede observar en la tabla 8 estos son los componentes para nuestro flux, este flux es usado para realizar ensayo a fuego en laboratorios.

- El Litargirio es el reactivo más importante en la fundición a nivel de laboratorio, desempeña el papel de colector de oro y plata contenido en el mineral.
- El Bicarbonato produce grandes cantidades de gases, por cuya razón la mezcla fundente tiene a subirse, proyectando partículas de la masa fundida sobre las paredes del crisol o fuera de él.
- El Bórax fundido disuelve un gran número de óxidos metálicos y además disuelve grandes cantidades de sílice.
- La Sílice actúa como un escorificador del fierro principalmente.
- La Harina cumple la función de reductor, va a reducir el óxido de plomo (litargirio), también reemplaza al carbón vegetal sin producir efectos secundarios

Fuente: Fundentes y Escorias - TECSUP (2008)

2.4.2. Trabajo de laboratorio

2.4.2.1. Preparación de las muestras de mineral

Al iniciar el trabajo de laboratorio se separaron 4 tipos de muestras que contienen oro, estas muestras fueron trituradas y molidas para obtener el tamaño adecuado, este material pulverizado posteriormente fue pesado en iguales cantidades para cada tipo de mineral.

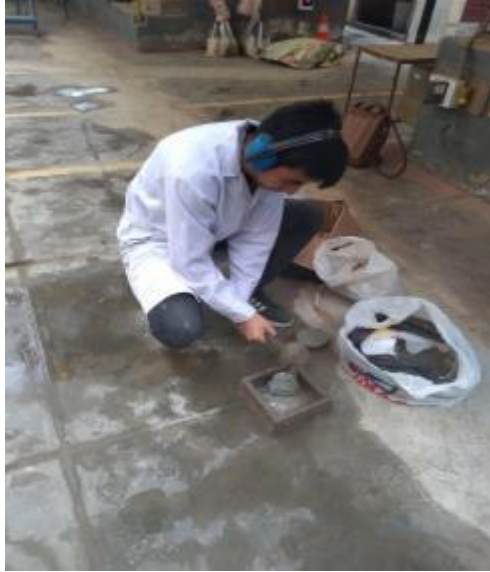


Ilustración 1: Separación de muestras

Fuente: Elaboración propia

En el proceso de reducción de granulometría y pulverizado se realizó en la chancadora secundaria, posteriormente este material pasó al horno para obtener un material con una humedad mínima.



Ilustración 2: Secado del mineral

Fuente: Elaboración propia

En el proceso de pulverización se utilizó el molino de bolas, este molino utiliza el principio de impacto y atrición, con esto se logró reducir el tamaño de las partículas, esta parte del preparado del mineral implica una gran importancia para poder separar las partículas de oro, ya que estas no siempre se encuentran separadas o de forma libre sino que están asociadas o encapsuladas en sulfuros polimetálicos o en óxidos complejos, por este motivo las muestras fueron trituradas hasta obtener una granulometría muy fina y así lograr separar estas partículas de oro.



Ilustración 3: Pulverizado en molino de bolas

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en la preparación del mineral se tomaron los mismos pesos para su análisis de la siguiente forma:

Tabla 9

Determinación de los pesos de cada muestra a utilizar

Características	Especificación
Sulfuro	6.00 Kg
Óxido	3.00 Kg
Escoria	1.00 Kg
Río Maraión	1.00 Kg

Fuente: Laboratorio PROCESMIN

2.4.2.2. Concentración gravimétrica

Después de la pulverización del mineral se realizó la concentración gravimétrica, esto se refiere a acumular las partículas de oro con una filtración selectiva de partículas más ligeras, las cuales se van eliminando mediante el paso del mineral con agua en canaletas previamente preparadas.

Las canaletas tienen la función de filtrar las diferentes partículas de oro con las de menor peso para formar un concentrado húmedo (pulpa)



Ilustración 4: Canaletas para la concentración gravimétrica

Fuente: Elaboración propia

A pesar de que este método tiene buenos resultados de concentración para cantidades con mayor porcentaje de oro grueso, el concentrado no las contiene como para realizar una fusión directa con Bórax y Flux, por lo que es necesario someter al concentrado a un tratamiento más, mediante bateas o en casos de grandes cantidades a mesas de concentración.

2.4.2.3. Método de amalgamación con mercurio

Una vez realizado el procedimiento de preparación del mineral, se procedió a realizar el primer método de recuperación del oro, amalgamación con mercurio.

El proceso de amalgamación implica recuperar el oro y plata presente en el concentrado mediante la capacidad que tienen estos a alearse con el mercurio, en este trabajo se realizó este proceso con la ayuda del molino.

Se vertió el concentrado de mineral en el molino con una proporción 1:1 de agua, adicionalmente agregamos el mercurio y dejamos en el proceso de molienda aproximadamente una hora y media.

A continuación, se procedió al lavado del mineral para separar el mercurio en un depósito y luego al chullado del mercurio, para este proceso se utilizó un trapo sintético el cual se le da una forma de cono en donde es vertido el mercurio, que luego es presionado hasta hacer que el mercurio salga por los costados del cono, quedando en el interior de este la amalgama conteniendo el oro y plata.



Ilustración 5: Chullado del mercurio

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 6: Mercurio limpio y amalgama para fundición

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenida la amalgama se procedió a realizar la fundición, en esta etapa se colocó la amalgama en un crisol de piedra para luego quemarla con la ayuda de un soplete, posteriormente refinamos el dore obtenido con la ayuda de ácido nítrico, para finalmente obtener oro refogado que fue pesado y codificado de acuerdo con el tipo de muestra que se utilizó.



Ilustración 7: Fundición de amalgama

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2.4. Método de fundición directa con Bórax y Flux

En este método se platearon los cuatro tipos de mineral, en este proceso determinamos que para las muestras de sulfuro y escoria no se encontró oro grueso ya que tiene un bajo porcentaje de este y además se encuentra encapsulado en las partículas de pirita, caso contrario en las muestras de óxido y rio marañón los cuales al tener un porcentaje alto de oro grueso se logró realizar el procedimiento con normalidad.

Con los mismos pesos de mineral utilizados en el método anterior se realizó el lavado del mineral



Ilustración 8: Lavado del mineral para el método de fundición directa

Fuente: elaboración propia

En el plateado del mineral se encontraron láminas de oro las cuales se pusieron en pequeñas bolsas separadas de acuerdo con el tipo de mineral, para la fundición también se utilizó un soplete.



Ilustración 9: Observación de láminas de oro en el estereoscopio

Fuente: elaboración propia

La relación entre el mineral y el bórax es de 1:1 para la preparación de fundición directa, en esta primera etapa al no presentar un alto porcentaje de oro grueso se convirtió en escoria en la cual se procedió a separar el oro mediante el uso de flux. (ver anexo 10).

Para la separación de escoria en la fundición se facturó y pulverizo los crisoles, luego de realizar esto se codifico cada muestra A1, A2, A3 para la escoria formada del mineral oxido, A4, A5, A6 para la escoria formada del mineral del Río Marañón, a continuación, se colocó el flux, las cantidades utilizadas están estandarizadas. (ver anexo 11)

Una vez preparado el mineral se procedió a llevar al horno de fundición a una temperatura de 950 °C por un tiempo aproximado de 1 hora, pasado este tiempo obtuvimos régulos, a los cuales se les colocó plata electrolítica en una relación de 3:1 para su refinación, se copeló por 40 minutos para finalmente obtener nuestro doré, se pesaron los resultados para finalmente comparar los dos métodos utilizados. (ver anexo 11)

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Recuperación de oro con el método tradicional por amalgamación con mercurio vs fundición directa bórax - flux

Tabla 10

Recuperación de oro con el método tradicional con mercurio

MINERAL	PESO DEL MINERAL (kg)	PESO DE LA AMALGAMA (gr)	PESO DEL DORÉ (gr)	ORO REFOGADO EN (gr)	RECUPERACION DE ORO %
Sulfuro	6	0.4154	0.1810	0.142594	78.78
Óxido	3	0.1455	0.0695	0.038961	56.06
Río Marañón	1	0.1406	0.0588	0.052710	89.64
Escoria	1	0.6437	0.2012	0.067847	33.72

Fuente: Laboratorio PROCESMIN

Como podemos observar en la tabla 10; los resultados por amalgamación con mercurio, se ha logrado recuperar oro en los 4 tipos de mineral.

En el sulfuro se obtuvo un 78.78% de recuperación, aquí el sulfuro tenía mucha presencia de pirita, gracias a la propiedad del mercurio que, a la hora de la molienda, este se disperse por todos lados del molino logrando capturar al oro libre.

En el óxido se obtuvo un 56.06% de recuperación, con este mineral no tuvimos ningún problema a la hora de la molienda, ya que no presentaba presencia de pirita.

En el mineral de Río Marañón (aluvial) se obtuvo un 89.64% de recuperación, aquí tampoco tuvimos problemas a la hora de la molienda, ya que el oro se encuentra prácticamente libre.

En la escoria obtuvimos un 33.72% de recuperación, aquí el mineral presentaba bastante presencia de pirita, cobre, zinc, ya que esta escoria es obtenida de los crisoles de los hornos de fundición de la zona de Salpo, y está mezclado con todo tipo de mineral (óxidos, sulfuros).

Tabla 11

Resultados con el método fundición directa con bórax - flux

MINERAL	CODIGO	PESO DEL MINERAL (gr)	PESO DEL FLUX (gr)	PESO DEL DORÉ (gr)	ORO REFOGADO EN (gr)
Óxido	A1	33.05	120.14	0.0633	0.0256
Óxido	A2	33.12	120.04	0.0634	0.0265
Óxido	A3	44.98	110.27	0.0733	0.0357
Río Marañón	A4	36.33	120.71	0.0455	0.0176
Río Marañón	A5	36.67	120.44	0.0468	0.0173
Río Marañón	A6	37.92	120.74	0.0484	0.0177

Fuente: Laboratorio PROCESMIN

En este proceso hemos usado flux para ensayo a fuego, también usando litargirio para recuperar tanto el oro fino como oro grueso de la escoria que se produjo mediante el proceso de fundición con bórax, aquí el litargirio actúa como colector del oro contenido en el mineral (en este caso la escoria), el resto del litargirio actúa en parte oxidando las impurezas metálicas, esto se deja aproximadamente una 1 hora en el horno a 950°C.

En la tabla 12 tendremos la suma de los pesos de los códigos, flux, dore y oro refogado para proceder a sacar el porcentaje de recuperación.

Tabla 12

Recuperación de oro con el método fundición directa bórax - flux

MINERAL	PESO DEL MINERAL (kg)	SUMA DE PESOS DE LOS CODIGOS (gr)	SUMA DE LOS PESOS DEL FLUX (gr)	SUMA DE LOS PESOS DEL DORÉ (gr)	SUMA DE ORO REFOGADO (gr)	RECUPERACION DE ORO %
Sulfuro	6	-	-	-	-	-
Óxido	3	111.15	350.45	0.1221	0.0878	71.91
Río Marañón	1	110.92	361.89	0.0621	0.0526	84.70
Escoria	1	-	-	-	-	-

Fuente: Laboratorio PROCESMIN

Como se puede observar en la tabla 12, el flux recupera un 71.91% y 84.70% en los minerales de óxido y aluvial, en caso en los minerales de sulfuro y escoria no tenemos ningún porcentaje de recuperación, esto se debe a que en el proceso de platear el mineral (en forma artesanal) no pudimos encontrar oro grueso a simple vista, ya que en ambos casos se encuentra encapsulado en la pirita, de lo contrario pasó con el óxido y aluvial, que a la hora de platear si se pudo encontrar oro fino y grueso a simple vista.

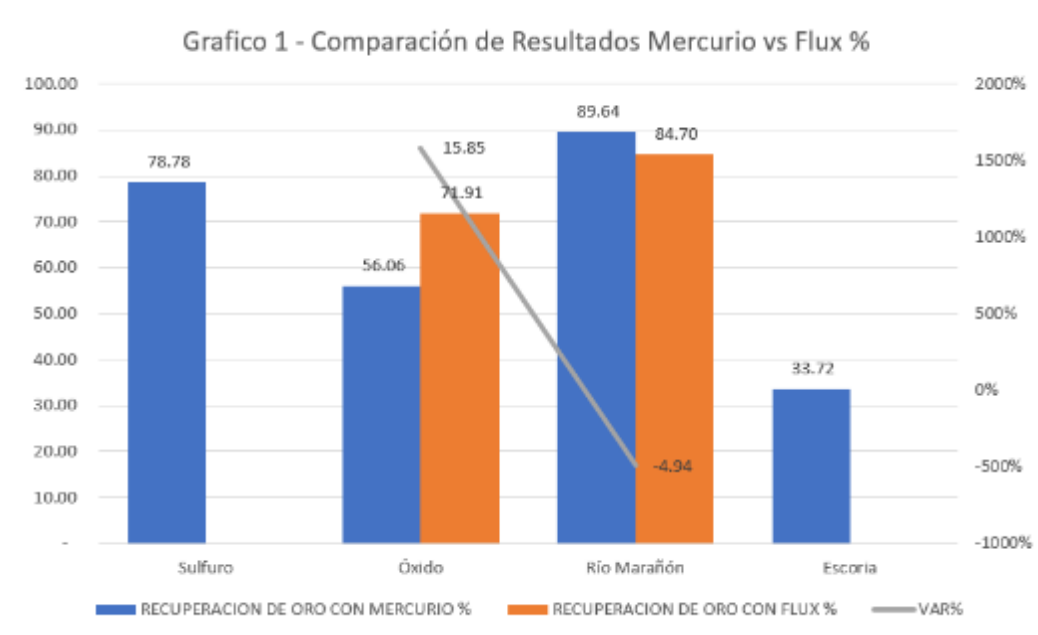
3.2. Comparación de los resultados de oro entre los métodos tratados en la investigación.

Tabla 13

Comparación de resultados de los métodos tratados en la Investigación

MINERAL	RECUPERACION DE ORO CON MERCURIO %	RECUPERACION DE ORO CON FLUX %
Sulfuro	78.78	-
Óxido	56.06	71.91
Río Marañón	89.64	84.70
Escoria	33.72	-

Fuente: Laboratorio PROCESMIN



Como se puede observar en la tabla 13 y en el grafico 1, al comparar los dos métodos de recuperación de oro por fundición directa con flux y amalgamación con mercurio, nos indica que el mercurio recupera más para los minerales de sulfuro y escoria, logrando un 78.78% y 33.72% de oro; para la fundición directa no hay recuperación de oro.

Mientras que la fundición directa por flux, la recuperación de oro es más alta en los minerales alcanzando un 71.91% de oro, es decir se logra un 15.85% más que el método de amalgamación.

Con la muestra del mineral del Río Marañón, los resultados por el método de amalgamación con mercurio, se logra una recuperación de 89.64%; mientras que, por fundición directa con flux, se recupera un 84.70%; aquí por fundición directa con flux se recuperaría más si no hubiera pérdida de mineral al romper el crisol y la escoria en el proceso con bórax, en este caso el método más eficiente sería por fundición directa de flux.

3.3. Ventajas y desventajas de los dos métodos de recuperación de oro.

Tabla 14

Ventajas y desventajas del uso del Mercurio

Ventajas	Desventajas
Se adhiere con facilidad al oro grueso.	No se adhiere al oro fino. Tiene un impacto ambiental alto, que afectan directamente a la salud y al ecosistema La comercialización del mercurio es fiscalizada. El costo es muy elevado.

Fuente: Resultados de la Investigación

Tabla 15

Ventajas y desventajas del uso del Flux

Ventajas	Desventajas
Colecta con facilidad el oro fino y grueso del concentrado. Es un método ecológico de bajo impacto ambiental, que no afectan a la salud y al ecosistema. La comercialización del flux no es fiscalizada. El costo no es muy elevado.	

Fuente: Resultados de la Investigación

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Luego de realizar los análisis de oro en el mineral y la ejecución de las pruebas metalúrgicas como se muestra en la tabla número 10 y 13, los resultados obtenidos nos indican que con el método de amalgamación con mercurio se logró la recuperación de oro en los cuatro tipos de minerales, obteniendo unos resultados de 78.78% de recuperación de oro para el mineral de sulfuro, 56.06% de recuperación de oro para el mineral óxido, 89.64% de recuperación de oro para el mineral del río marañón y 33.72% de recuperación de oro para el mineral de escoria.

Los resultados de las tablas 12 y 13 nos indican que por el método de fundición directa con bórax – flux se logra un mayor porcentaje de recuperación de oro en los minerales de óxido y río marañón a comparación del método por amalgamación con mercurio, obteniendo unos resultados de 71.91% de recuperación de oro (0.0878 gramos de oro en Óxidos) y 84.70% de recuperación de oro (0.0526 gramos de oro en Río Marañón); a comparación del método tradicional por amalgama que se obtuvieron 56.06% de recuperación de oro (0.038961 gramos de oro Óxidos) y 89.64% de recuperación de oro (0.0527 gramos de oro Río Marañón), la diferencia del mineral de Río Marañón no es significativa (0.0001 gramos de oro). Estos resultados obtenidos nos permiten reafirmar lo señalado por Banegas (2017), en su tesis “Eficiencia del método ecológico sin mercurio respecto al tradicional con mercurio en la extracción del oro en minería artesanal en Ollachea – Puno”, el menciona sobre las comparaciones de la eficiencia sobre el método ecológico con bórax y sobre el método tradicional con mercurio, tanto en lo económico, ambiental

y social; también nos comenta sobre el indicador de Oro obtenido que no obtuvo diferencias significativas en las comparaciones según la prueba Tukey con media de $X= 3.17$ gramos con el método ecológico y media $X= 3.36$ gramos con el método tradicional con Mercurio. Llegando a la conclusión que al evaluar sus indicadores (caudal, tiempo, recurso humano, uso de mercurio, uso de bórax, oro obtenido, costos), la valorización de los Indicadores específicos es un 85% en el método ecológico y un 42% en el método tradicional.

En las tablas 12 y 13 también se muestran que en los minerales de sulfuros y escorias no se logró porcentaje de recuperación de oro por el método de fundición directa bórax - flux, esto debido a que a la hora de platear el mineral en la forma artesanal no se encontraba el oro a simple vista en los dos tipos de mineral, los minerales tenían mucha presencia de pirita. Este último análisis de los minerales de sulfuros y escorias nos permite indicar que es necesario realizar un pretratamiento de estos minerales tal y como lo señala Nartey, Hassan y Amankwah (2013), en su informe “Direct smelting of gold concentrates, a safer alternative to mercury amalgamation in small – scale gold mining operations” nos comenta sobre la técnica de fundición directa, que se desarrolló como un método con el potencial de reemplazar la amalgama. Este método comienza con el concentrado de oro que se prepara para la malgama, la técnica se ha probado en concentrados obtenidos de todos los principales tipos de oro, fresado libre, material aluvial y sulfuros refractarios. Los concentrados de sulfuros refractarios requieren un pretratamiento debido a la mineralogía, dependiendo de la fuente de material concentrado y del tipo de proceso de cominucion realizado, el concentrado puede contener componentes de aceros –

abrasados que deben ser retirados por una etapa de pretratamiento. El pretratamiento consta en la oxidación de sulfuros antes del proceso de fundición.

4.2 Conclusiones

- Se concluye que, al comparar la recuperación de oro del método por fundición directa con flux, frente al método por amalgamación con mercurio, el primero demostró un mayor porcentaje de recuperación en los minerales de óxido y aluvial, recuperando un 15.85% más en el óxido, mientras que en la aluvial baja un 4.94%, esto se debe a una pérdida de mineral en el proceso por fundición con bórax, pero la diferencia no es significativa.
- El mercurio demostró que obtiene mayor porcentaje de recuperación de oro en los minerales tipo sulfuro y escoria. El mercurio recupera solo cuando tenemos un gran porcentaje de oro grueso en los minerales, ya que este solo capta el oro grueso.
- Se concluye que la fundición directa con flux obtiene mejores resultados cuando tenemos oro grueso y oro fino a la vez, el litargirio que es un componente del flux a la hora de la fundición, se encarga de captar a los dos tipos de oro. También se concluye que el método por fundición directa con bórax flux, representa una alternativa de solución frente al método tradicional de amalgamación con mercurio para la recuperación de oro.

REFERENCIAS

- Abbey, C., Nartey, R., AL Hassan, S., & Amankwah, R. (2013). Direct smelting of gold concentrates, a safer alternative to mercury amalgamation in small-scale gold mining operations. *American International Journal of Research in Science, Technology, Engineering & Mathematics*, 174 - 179.
- Sánchez, I. (2018). *Técnicas Alternativas Para La Extracción De Oro Sin El Uso De Mercurio Y Su Potencial Aplicación A Pequeña Escala Y Minería Artesanal En Colombia*. Bogota: Universidad Nacional Abierta Y A Distancia Unad Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias Y Del Medio Ambiente.
- Chama, C. (2015). *Informe Tecnico Empresa Minera Laytaruma S.A*. Arequipa: Universidad San Agustín De Arequipa.
- Eppers, O. (2017). *El Uso De Borax Para Una Produccion De Oro Sin Mercurio En La Minería A Pequeña Escala*. Arequipa: Cooperación Alemana Deutsche Zusammenarbeit.
- Eppers, O. (2017). *El Uso Del Bórax Para Una Produccion De Oro Sin Mercurio En Minería A Pequeña Escala*. Arequipa: ResearchGate.

Banegas, R. (2017). *Eficiencia Del Metodo Ecologico Sin Mercurio Respecto Al Tradicional Con Mercurio En La Extraccion Del Oro En Minería Artesanal En Ollachea- Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2016). *Proyecto de orientación sobre la elaboración de un plan de acción nacional para reducir y, cuando sea posible, eliminar el uso de mercurio en la extracción de oro artesanal y en pequeña escala*. Jordania : UNEP.

Serrano, A., Garcia, L., Leon I., Gil, B., & Rios, L. (2011). *Métodos De Investigacion De Enfoque Experimental*.

ANEXOS

ANEXO N° 01: Equivalencias empleadas para las leyes de los minerales.

1 TM = 1000 kg

1 TC = 907.2 kg

1 Oz = 31.1035 gr

TM = Tonelada Métrica

TC = Tonelada Corta

Oz = onza

gr = gramos

ANEXO N° 02: Formulas empleadas en los métodos para la determinación de plata.

- Fórmula empleada para calcular el peso de la plata en el proceso por amalgama con mercurio.

Peso de la plata = Peso del doré – Peso del oro refogado

- Fórmula empleada para calcular el peso de la plata en el proceso por fundición directa con flux.

Peso de la plata = Peso del doré – Peso del oro refogado – Peso de la plata electrolítica

ANEXO N° 03: Ficha técnica para la preparación del mineral con Flux.

Tabla 16

Ficha técnica para la preparación del mineral con Flux

Fecha	Hora	Tipo de mineral	Código	Cantidad de muestra (gr)	Cantidad de Flux (gr)
-------	------	-----------------	--------	--------------------------	-----------------------

Fuente: Laboratorio PROCESMIN

ANEXO N° 04: Ficha técnica para la fundición / copelación y refinación con Flux.

Tabla 17

Ficha técnica para la fundición / copelación y refinación con Flux

Fecha	Hora	Código	Peso de la Plata electrolítica (gr)	Peso del Doré (gr)	Oro Refogado (gr)
-------	------	--------	-------------------------------------	--------------------	-------------------

Fuente: Laboratorio PROCESMIN

ANEXO N° 05: Ficha técnica para la preparación del mineral con Mercurio.

Tabla 18

Ficha técnica para la preparación del mineral con Mercurio

Fecha	Hora	Tipo de mineral	Cantidad de muestra (gr)	Cantidad de Mercurio (gr)
-------	------	-----------------	--------------------------	---------------------------

Fuente: Laboratorio PROCESMIN

ANEXO N° 06: Ficha técnica para la amalgamación / refinación con Mercurio.

Tabla 19

Ficha técnica para la amalgamación / refinación con Mercurio

Fecha	Hora	Tipo de mineral	Peso de la Amalgama (gr)	Peso del Doré (gr)	Oro Refogado (gr)
-------	------	-----------------	--------------------------	--------------------	-------------------

Fuente: Laboratorio PROCESMIN

ANEXO N° 07: Fotos relacionados al proceso por amalgama con mercurio.



Foto 1. Batea y mercurio utilizado en la prueba.



Foto 2. Lavado del mineral con mercurio.



Foto 3. Lavado del mineral con mercurio.

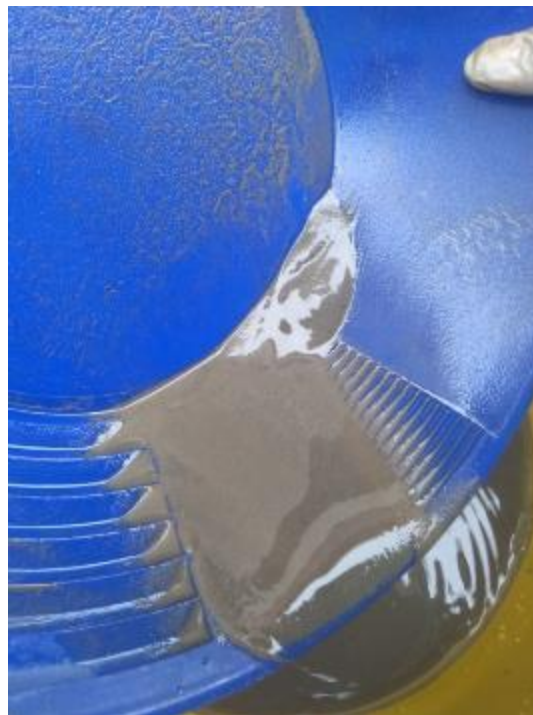


Foto 4. Mineral con mercurio.



Foto 5. Amalgama con oro.



Foto 6. Amalgama con oro obtenido después de lavar el mineral.



Foto 7. Chullado de la amalgama (filtración).



Foto 8. Obtención de la amalgama con mercurio.



Foto 9. Mercurio limpio después de obtener la amalgama.



Foto 10. Fundición de la Amalgama para la obtención del doré.



Foto 11. Fundición de la Amalgama para la obtención del doré.

ANEXO N° 08: Fotos relacionados con los pesos de la amalgama, doré y oro refogado de cada mineral usado en el proceso por amalgama con mercurio.



Foto 12. Peso de la amalgama del mineral sulfuro.

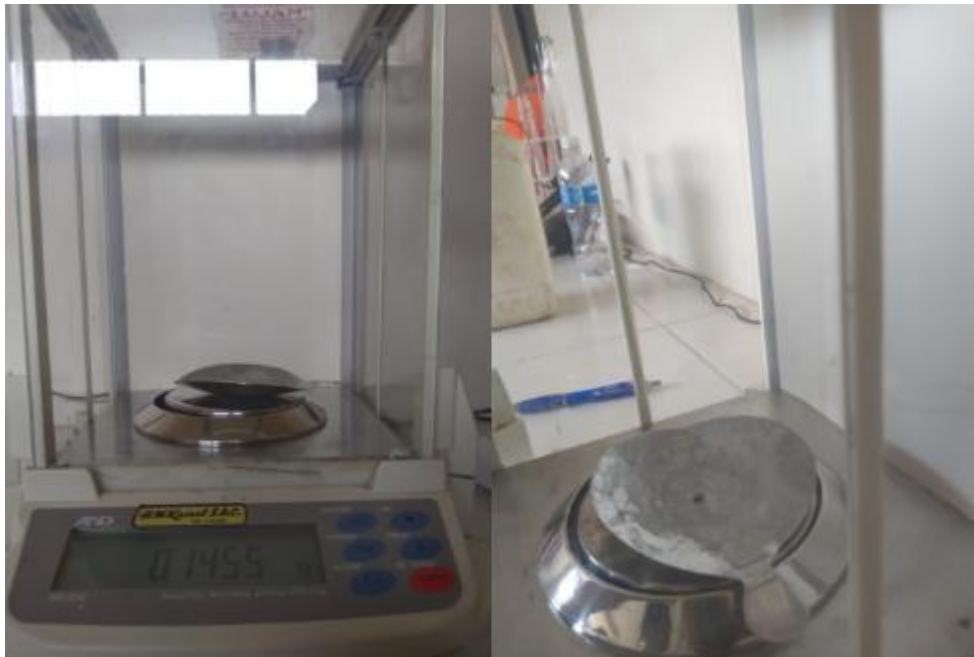


Foto 13. Peso de la amalgama del mineral óxido.



Foto 14. Peso de la amalgama del mineral del río marañón.

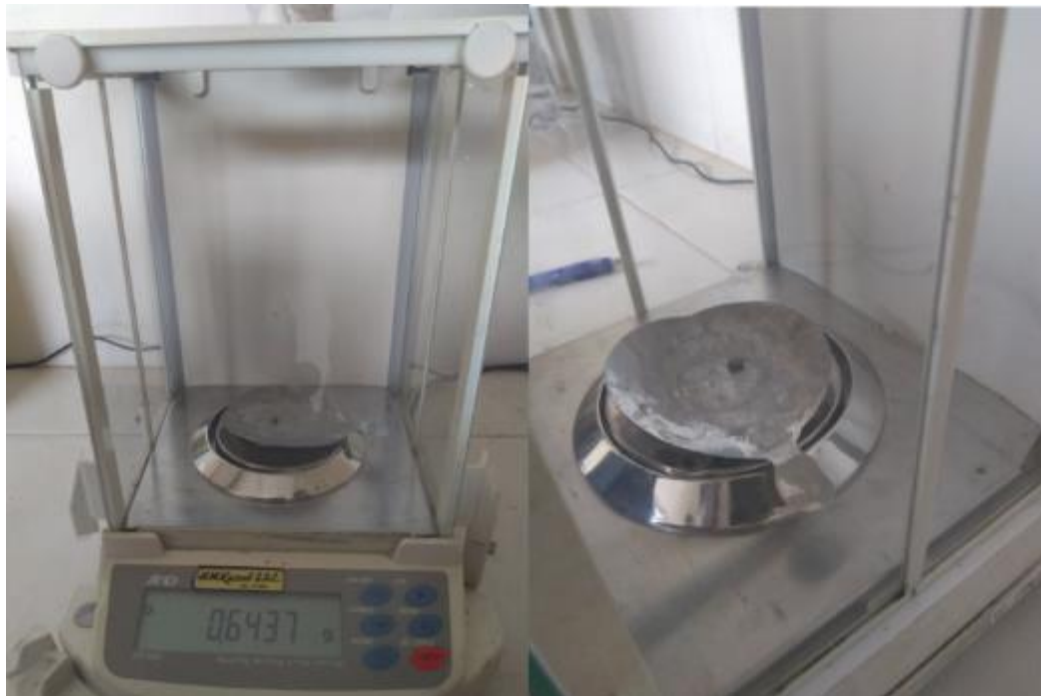


Foto 15. Peso de la amalgama del mineral escoria.



Foto 16. Peso del doré del mineral sulfuro.



Foto 17. Peso del doré del mineral óxido.



Foto 18. Peso del doré del mineral del río marañón.



Foto 19. Peso del doré del mineral escoria.



Foto 20. Peso del oro refogado del mineral sulfuro.



Foto 21. Peso del oro refogado del mineral óxido.



Foto 22. Peso del oro refogado del mineral del río marañón.



Foto 23. Peso del oro refogado del mineral escoria.

ANEXO N° 09: Fotos relacionados al proceso con bórax.



Foto 24. Agua con jabón de manos con bastante espuma para el lavado del mineral.



Foto 25. Lavado del mineral.



Foto 26. Lavado del mineral se puede observar pequeñas láminas de oro.



Foto 27. Plateado del mineral.

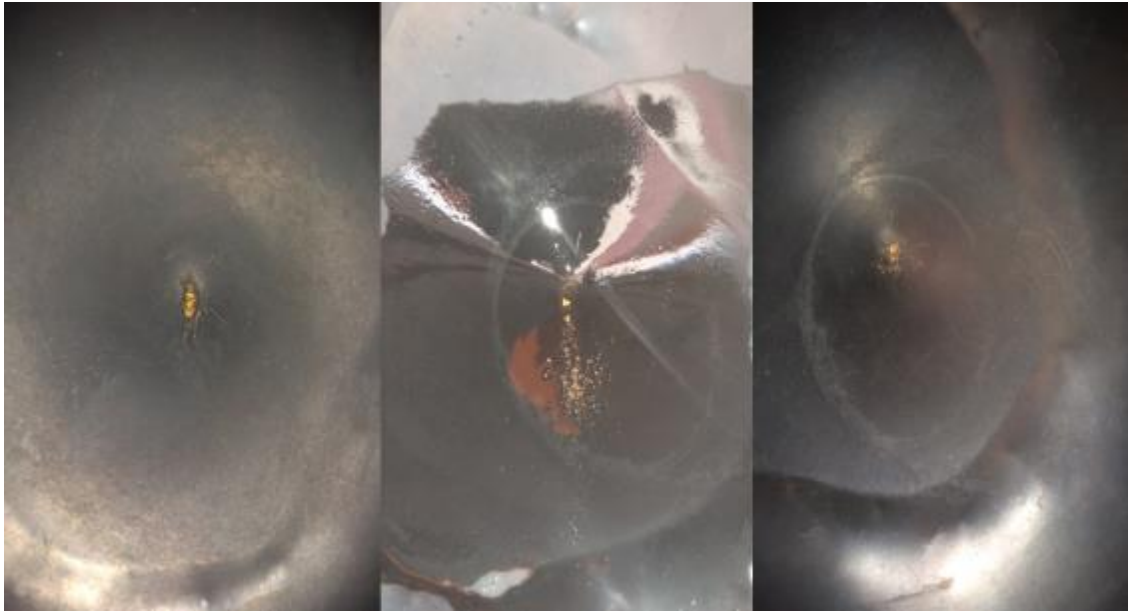


Foto 28. Oro obtenido después del lavado y plateado del mineral.

ANEXO N° 10: Fotos relacionados con los pesos para la preparación de la fundición del mineral usando bórax.



Foto 29. Peso del mineral óxido plateado / Peso del bórax / relación 1:1.



Foto 30. Peso del mineral del río marañón / Peso del bórax / relación 1:1.



Foto 31. Fundición del mineral óxido con bórax.



Foto 32. Colada y escoria del mineral óxido.



Foto 33. Fundición del mineral del río marañón con bórax



Foto 34. Escoria obtenida del mineral del río marañón.

ANEXO N° 11: Fotos relacionados con los pesos para la preparación de la fundición directa del mineral usando flux.



Foto 35. Peso del mineral óxido / peso flux / código A1 (COD A1).



Foto 36. Peso del mineral óxido / peso flux / código A2 (COD A2).



Foto 37. Peso del mineral óxido / peso flux / código A3 (COD A3).



Foto 38. Peso del mineral del río marañón / peso flux / código A4 (COD A4).



Foto 39. Peso del mineral del río marañón / peso del flux / código A5 (COD A5).



Foto 40. Peso del mineral del río marañón / peso del flux / código A6 (COD A6).



Foto 41. Crisoles para la fundición directa con flux con cada código del mineral.



Foto 42. Crisoles dentro del horno de fundición.



Foto 43. Régulos obtenidos de los dos tipos de minerales (COD A1 – A6).



Foto 44. Régulos codificados A1 A2 A3 A4 A5 A6.



Foto 45. Régulos con encuarte (plata electrolítica) para tener una relación de 3:1 y poder refinar.



Foto 46. Dorés obtenidos por copelación de los régulos.



Foto 47. Ácido Nítrico usado para la refinación de los dorés.



Foto 48. Refinación de los dorés para la obtención del oro refogado.



Foto 49. Refinación de los dorés.



Foto 50. Oro refogado.

ANEXO N° 12: Fotos relacionados con los pesos del doré y oro refogado de cada mineral usado en el proceso por fundición directa con flux.



Foto 51. Peso del doré del mineral óxido COD A1



Foto 52. Peso del doré del mineral óxido COD A2



Foto 53. Peso del doré del mineral óxido COD A3



Foto 54. Peso del doré del mineral del río marañón COD A4



Foto 55. Peso del doré del mineral del río marañón COD A5



Foto 56. Peso del doré del mineral del río marañón COD A6



Foto 57. Peso del oro refogado del mineral óxido COD A1



Foto 58. Peso del oro refogado del mineral óxido COD A2



Foto 59. Peso del oro refogado del mineral óxido COD A3



Foto 60. Peso del oro refogado del mineral del río marañón COD A4



Foto 61. Peso del oro refogado del mineral del río marañón COD A5



Foto 62. Peso del oro refogado del mineral del río marañón COD A6