



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“FUSIÓN DIRECTA DE CONCENTRADOS DE ORO  
COMO ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACIÓN  
DE ORO EN MINERÍA ARTESANAL, CAJAMARCA  
2021”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

Ysac Chilon Cueva

Asesor:

Ing. Danyer Stewart Girón Palomino

Cajamarca - Perú

2021

## DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mi Esposa G. Jessica F. Yopla, quien me apoyo 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.

Ysac Chilon Cueva.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos más difíciles de mi vida, por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y felicidad.

Gracias a mi padre por apoyarme todo momento y por los valores inculcados desde mi infancia.

Gracias al Ing. Danyer S. Palomino Girón, por todo el apoyo brindado a lo largo de la tesis, por su tiempo, amistad y por los conocimientos que me transmitió.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
1.1. Realidad problemática.....	7
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Objetivos.....	12
1.4. Hipótesis.....	13
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>14</b>
2.1. Tipo de investigación.....	14
2.2. Población y muestra.....	15
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	15
2.4. Procedimiento.....	18
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
3.1. Análisis del proceso de fusión directa y evaluación de cuáles son los.....	20
3.2. Diseñar un prototipo de horno para realizar la fusión directa de concentrados.....	24
3.3. Construir un prototipo de horno para realizar la fusión de concentrados de oro.....	30
3.4. Realizar experiencias de fusión de precipitados de oro.....	32
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>34</b>
4.1. Discusión.....	34
4.2. Conclusiones.....	35
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>37</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>39</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Proporción de mineral y fundentes que se realizó para hacer las pruebas</i> .....	31
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1: Certificado de análisis de muestra mineral</i> .....	16
<i>Ilustración 2: Socavón de donde se extrajo las muestras de mineral para obtener el concentrado</i> . 17	
<i>Ilustración 3: Principales procesos seguidos para la realizar las experiencias de fusión directa de precipitados</i> .....	18
<i>Ilustración 4: Principales pasos del cono y muestreo para tener una porción de muestra representativa</i> .....	19
<i>Ilustración 5: Esquema de la estructura de la sílice pura fundida más viscosa. Chen H. (2017)</i> ....	21
<i>Ilustración 6: Esquema de mezcla de silicatos con óxidos básicos fundidos menos viscoso. Chen H. (2017)</i> .....	21
<i>Ilustración 7: Ley de Fourier para la transferencia de calor en una pared cilíndrica</i> .....	24
<i>Ilustración 8: Transferencia de calor en una pared cilíndrica donde se considera 2 superficies, una para el r1 y otra para el r2</i> .....	25
<i>Ilustración 9: Estimación de la fuerza impulsora en una pared cilíndrica donde se considera 2 superficies, una para el r1 y otra para el r2</i> .....	26
<i>Ilustración 10: Esquema del horno utilizado como referencia para el diseño del horno de fusión directa de concentrados de oro</i> .....	27
<i>Ilustración 11: Diseño preliminar utilizando AutoCAD considerando un cilindro similar al esquema que se encontró en la bibliografía</i> .....	28
<i>Ilustración 12: Planos del prototipo preliminar utilizando AutoCAD considerando un y adecuando a material reciclado</i> .....	28
<i>Ilustración 13: Isométrico del diseño preliminar en AutoCAD</i> .....	29
<i>Ilustración 14: Isométrico preliminar incluyendo la tapa del horno en AutoCAD</i> .....	29
<i>Ilustración 15: Construcción del horno para la fusión de concentrados de oro, se puede apreciar el vidrio molido y los materiales para la construcción</i> .....	30
<i>Ilustración 16: Construcción del horno para la fusión de concentrados de oro, se puede apreciar el vaciado del concreto mezclado con el vidrio molido</i> .....	30
<i>Ilustración 17: Construcción del horno para la fusión de concentrados de oro, se puede apreciar el vaciado del concreto para la fabricación de la tapa</i> .....	31
<i>Ilustración 18: Construcción del horno para la fusión de concentrados de oro, se puede apreciar el horno después de vaciado y fraguado el concreto</i> .....	31
<i>Ilustración 19: Construcción del horno para la fusión de concentrados de oro, se puede apreciar el orificio por donde se inyecta el calor</i> .....	31
<i>Ilustración 20: Operación de horno donde se puede notar el ingreso de la llama de manera tangencial</i> .....	32
<i>Ilustración 21: Operación de horno donde se puede notar el material fundido</i> .....	33

## RESUMEN

La actividad minera a pequeña escala e informal en Perú es muy importante para el sustento de muchas familias y más aún por la emergencia que vivimos, dicha actividad utiliza mercurio para la recuperación de oro, sin embargo, el uso de mercurio es inadecuado y puede liberar al ambiente hasta 25 kg de mercurio para recuperar un kg de oro, dicho mercurio genera una gran contaminación ambiental y se convierte en un problema de salud pública.

Una alternativa para evitar el uso del mercurio es la fusión directa de concentrados, en esta investigación se diseñó, construyó y se operó un horno de fusión directa de concentrados de oro. La investigación se inició con el análisis de del proceso de fusión directa y se evaluó cuáles son los principales fundentes que se utilizan, existe una variedad de fundentes, pero los más accesibles son el bórax, el nitrato de sodio y la sílice que son económicos y los podemos encontrar localmente; seguidamente se diseñó un prototipo de horno para realizar la fusión directa de concentrados de oro, el diseño fue realizado en el software AutoCAD; posteriormente se planteó y ejecutó la construcción del prototipo del horno para realizar la fusión de concentrados de oro, la mayor parte de los materiales para la construcción se utilizaron fueron materiales reciclados y el monto total de la construcción (Materiales y mano de obra) no supero los 400 nuevos soles; el concentrado de oro a fundir se obtuvo a través de concentración gravimétrica del mineral.

Finalmente se realizaron las experiencias de fusión de concentrados de oro, se realizaron 10 experiencias de fusión directa de concentrados de oro, usando distintas proporciones de fundentes, donde se pudo comprobar la operatividad del horno. Se demostró que el diseño y construcción de un horno para la fusión de precipitados de oro no es muy complicada ni costosa, siendo una alternativa viable, real y práctica la cual tiene que seguir siendo investigada como una alternativa para reemplazar el proceso de obtención de oro usando mercurio.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

F. Arista (2020), en los últimos meses, la economía global se ha visto paralizada por una pandemia. El COVID-19 ha impactado en los distintos sectores de la economía nacional, afectando profundamente al sector informal. Según la Organización Internacional del trabajo (OIT), en América Latina y el Caribe la tasa de informalidad es del 53% (140 millones de trabajadores) y en el Perú, según el Instituto Nacional de Estadística (INEI) la informalidad es del 72% (12.5 millones de trabajadores), muchos de estos trabajadores informales son mineros artesanales o informales. Este documento se orienta al sector de la Minería Artesanal y de Pequeña Escala en el Perú. De acuerdo con los estudios anteriores la informalidad tiene un porcentaje elevado en Perú y de acuerdo con información de organismos nacionales, la producción de oro en minería informal utiliza mercurio para recuperar el oro, dicho mercurio utilizado no es manejado ni optima ni responsablemente, por lo que dicho mercurio finalmente contamina el aire, el agua, la tierra, a los comuneros, poblados cercanos, ríos, cuencas, etc; generando grandes problemas sociales, de salud pública en zonas aledañas, ambientales en lugares aledaños y en cuencas cernadas, que aún no está resuelto y están latentes para proponer mejoras y soluciones.

N. Arroyo y K. Malca (2019) indican que 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 y ahora apalancado por el Covid 19. El factor social es importante, debido a que se requiere fuentes de trabajo, más aún con la pandemia que estamos viviendo; sin embargo, la raíz del problema es el uso del mercurio que genera contaminación, por lo tanto, se hace relevante estudiar y proponer alternativas prácticas para eliminar el uso de mercurio en la recuperación de oro. Adicionalmente indican que el uso de Flux (Mezcla de fundentes) demostró ser más eficiente que el mercurio en la recuperación de oro en los minerales tipo óxido y aluvial, recuperando un 15% más en el óxido, mientras que en la aluvial baja un 4%, esto se debe a una pérdida de mineral en el proceso por fundición con bórax. Podemos comentar que la vía mas popular y simple para los mineros artesanales es la recuperación de oro utilizando mercurio, sin tomar en cuenta la contaminación y otros problemas asociados que generan; es de gran importancia generar alternativas prácticas que puedan ser aplicadas de una manera simple, las cuales no utilicen mercurio.

R. León (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”. La minería artesanal se desarrolla especialmente en los países en vías de desarrollo como el Perú, en el cual usan gran cantidad de mercurio para la obtención de oro. La contaminación con mercurio del aire, agua, sedimentos y peces es consecuencia de las prácticas inadecuadas utilizadas por la minería ilegal e informal durante la extracción y beneficio del oro aluvial. Concluyen que el método ecológico es más eficiente al tradicional utilizando mercurio.

O. Eppers (2017) redactó un informe “El uso del bórax para una producción de oro sin mercurio en la minería a pequeña escala”, donde indicó que, en el marco de la implementación del Convenio de Minamata, instituciones nacionales y regionales

buscan caminos para la eliminación gradual del mercurio, utilizado en grandes cantidades en la pequeña minería y minería artesanal. Sin embargo, argumentos sobre los altos riesgos para la salud y el medio ambiente trabajando de forma inadecuada con el mercurio, por sí solos no son suficientes para convencer a los mineros e impulsar un cambio a otras tecnologías más limpias. Una de estas alternativas es la fusión directa del concentrado de minerales auríferos con bórax para la recuperación del oro. El bórax es una sustancia de baja peligrosidad para la salud humana, bajo impacto ambiental en general, de fácil disponibilidad y además de bajo costo. Los resultados de ensayos realizados para comparar la fusión directa con bórax con la metodología clásica de la separación con amalgama demuestran que el método con bórax es superior a la amalgamación en punto de recuperación de oro y además requiere menos tiempo. Una de las ventajas más importantes es que puede ser aplicada con los equipos y maquinaria ya utilizados por la mayoría de los mineros de la pequeña minería y minería artesanal, con solamente pocas modificaciones. La razón por la cual se recupera más oro con el método de la fusión con bórax es porque se puede recuperar tanto el oro grueso como también el oro fino. Además, no se pierden cantidades significativas de oro ni amalgama en los relaves por la prevención de la formación de harina de mercurio.

I. Castillo (2018), redactó 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 un convenio de Minamata en Colombia, 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. Como vemos, el problema del mercurio no solo es en Perú, sino también en países vecinos como Colombia, es importante la iniciativa de erradicar el mercurio de los procesos de producción de oro y es más importante aún dar alternativas prácticas y formular y ejecutar planes que prueben soluciones al alcance de los mineros artesanales.

ARM (2020) Alliance for Responsible Mining, es una organización internacional que promueve la minería responsable, en su reporte “Impact of mercury on the world” indica que como parte de su trabajo para promover las mejores prácticas entre los mineros artesanales y de pequeña escala, están realizando acciones para reducir el impacto del mercurio en la salud y el medio ambiente, así como para promover la eliminación del uso de mercurio en la minería de oro. Si bien Colombia libera 75 toneladas de mercurio por año, que es relativamente menos que otros países, el impacto del mercurio es mucho mayor en proporción a la población del país. En consecuencia, muchas comunidades que viven cerca de sitios mineros son más vulnerables a los efectos de estas emisiones contaminantes. El mercurio se encuentra naturalmente en sus formas naturales y orgánicas. El primero se refiere a su forma elemental, es decir, que ocurre naturalmente en el medio ambiente sin la intervención del hombre. Este último se conoce como mercurio orgánico o metil-mercurio, que produce mayor toxicidad por su reacción con microorganismos como las bacterias. La amalgama, que es la separación del oro de otros minerales utilizando mercurio, todavía se practica ampliamente entre los mineros artesanales debido a su relación de bajo costo y eficiencia. Sin embargo, las consecuencias de verter y liberar moléculas de mercurio en el medio ambiente continúan siendo un problema de salud pública. El mercurio es un elemento altamente tóxico, que en su forma de metil-mercurio puede llegar a los humanos más rápidamente a través de las vías respiratorias, el agua y los alimentos. Una de las afecciones más comunes debido a la contaminación por mercurio es la enfermedad de Minamata, que es una enfermedad neurológica que incluye síntomas como:

- Ataxia
- Daño a la vista y al oído
- Parálisis cerebral

- Enfermedades cardiovasculares

Teniendo en cuenta los graves peligros para la salud de la exposición al mercurio, dicha organización es responsable de informar al sector minero artesanal y de pequeña escala sobre el impacto del mercurio para sugerir alternativas de producción que puedan beneficiar a los mineros sin riesgo para el medio ambiente y las comunidades circundantes. Como pudimos leer en la cita anterior, el problema de mercurio no solo es en Perú, sino en otros países; ahora queda investigar más en las alternativas que tenemos para eliminar su uso, una alternativa es la fusión directa de concentrados de oro, sin embargo solo se tienen investigaciones a nivel laboratorio y no se tienen definidos ni diseñados los equipos para realizar tal proceso a nivel práctico, por lo tanto es necesario probar dichos métodos con equipos que estén al alcance y que sean simples de construir y operar.

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 dicho informe concluyeron 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.

Abbey, C. E., Nartey, R. S., Al-Hassan, S., Amankwah, R. K. (2014), en una investigación realizada en la republica de Ghana, indican que el metodo de extracción

de oro con mercurio es aplicado en mas de 50 paises desarrollados, sin embargo debido al cuidado que requiere su manipulación, el mercurio puede perderse e ir al medio ambiente, principalmente por las etapas ineficientes de amalgamación, destilación y concentración; los efectos negativos del mercurio a la salud y al medio ambiente en paises mineros, hace necesario la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías que no usen mercurio. La investigación se orientó a comparar los metodos de recuperación de oro usando mercurio y usando la fusión directa, concluyeron que el método de fusión directa es mas eficiente y que es potencial para reemplazar al uso de mercurio; en dicha publicación se mostró el esquema de un horno, el cual lo tomamos como referencia para la contrucción de prototipo de horno para la fusión directa de concentrados de oro.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Será posible utilizar la fusión directa de concentrados de oro como alternativa para la recuperación de oro sin el uso de mercurio en la minería artesanal?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Realizar la fusión directa de concentrados de oro como alternativa para la recuperación de oro en la minería artesanal.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Analizar el proceso de fusión directa y evaluar cuales son los principales fundentes que se utilizan.
- Diseñar un prototipo de horno para realizar la fusión directa de concentrados de oro.
- Construir un prototipo de horno para realizar la fusión de concentrados de oro.
- Obtener un concentrado de oro y realizar experiencias de fusión de precipitados de oro.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Con la construcción de un prototipo de horno se podrá realizar la fusión directa de concentrados de oro para la recuperación de oro en la minería artesanal.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- Existe una variedad de fundentes que se pueden utilizar para mejorar la fusión directa de concentrados en la recuperación de oro en la minería artesanal.
- Se podrá construir un horno artesanal para la fusión directa de concentrados de oro.
- Se podrá lograr la fusión de concentrados de oro en el prototipo de horno artesanal para la recuperación de oro sin el uso de mercurio en la minería artesanal.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto de investigación corresponde a una investigación aplicada y es del tipo Experimental, ya que se trabajó realizando pruebas en laboratorio y experiencias de fusión en campo.

(Serrano, Garcia Sanz, Leon rodrigo, Gil Alvarado, & Rios Brea, 2011) indican en su informe “Métodos de investigación de enfoque experimental” En la investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, nosotros modificamos las proporciones de los fundentes y tendremos respuestas para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas, tal como la fusión del precipitado. [...] Un experimento es una situación simulada, en la que el investigador manipula conscientemente las condiciones de una o de diversas situaciones precedentes (variable independiente o condiciones de operación) para comprobar los efectos que causa dicha variable en otra situación consiguiente, variable dependiente.

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.

Según Paella y Martins, (2012) “El diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar

pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa” (p.86). Así mismo es a nivel de laboratorio, ya que las muestras tomadas en campo se analizaron y procesaron mediante pruebas en laboratorio.

## **2.2. Población y muestra**

### **2.2.1. Población**

Todos los concentrados de mineral de oro producidos por gravimetría del mineral de mina Huamachuco.

### **2.2.2. Muestra**

Concentrado de oro de minería artesanal de Huamachuco.

## **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.**

### **2.3.1. Técnica de Observación**

#### **Observación directa**

Se realizó la observación directa en campo, para reconocimiento del mineral, el cual a simple vista es un mineral aurífero oxidado

Para realizar las experiencias, se tomó 2 muestras de mineral oxidado de oro, ambas tomadas de la zona de minería artesanal de Huamachuco.

### **2.3.2. Análisis de leyes de mineral**

Se realizó el análisis de la las leyes de mineral, a continuación el resultado.

  
INGECONSULT & LAB S.R.L.  
INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,  
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.  
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.  
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.  
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA  
RPM: \*696826 CELULAR: 976026950 TELÉFONO: 364793

---

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE UN MINERAL**

SOLICITA: YSAC CHILÓN CUEVA  
PROCEDENCIA: HUAMACHUCO  
MUESTRA: M-1  
FECHA: 30/06/2021

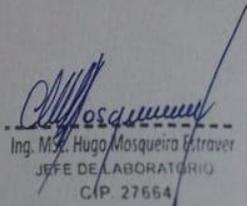
---

**MÉTODO PIROMETALÚRGICO**

RESULTADOS			
	ORO (g/Tn)	PLATA (g/Tn)	COBRE (%)
M-1	6.90	7.10	0.18

---

NOTA: La muestra fue alcanzado a este laboratorio por el interesado para su análisis respectivo.

  
Ing. MSc. Hugo Mosquera Estraver  
JEFE DE LABORATORIO  
C/P 27564

*Ilustración 1:* Certificado de análisis de muestra mineral.

### 2.3.3. Análisis documental

Se investigaron los antecedentes previos de trabajos de investigación relacionados a la fusión de precipitados de concentrados de oro, para lo cual se revisaron los diferentes repositorios de universidades y bibliotecas virtuales, con dicha

información se establecieron antecedentes, los cuales presentan un respaldo al presente trabajo de investigación.

#### 2.3.4. Experimentación

##### Recolección de la muestra.

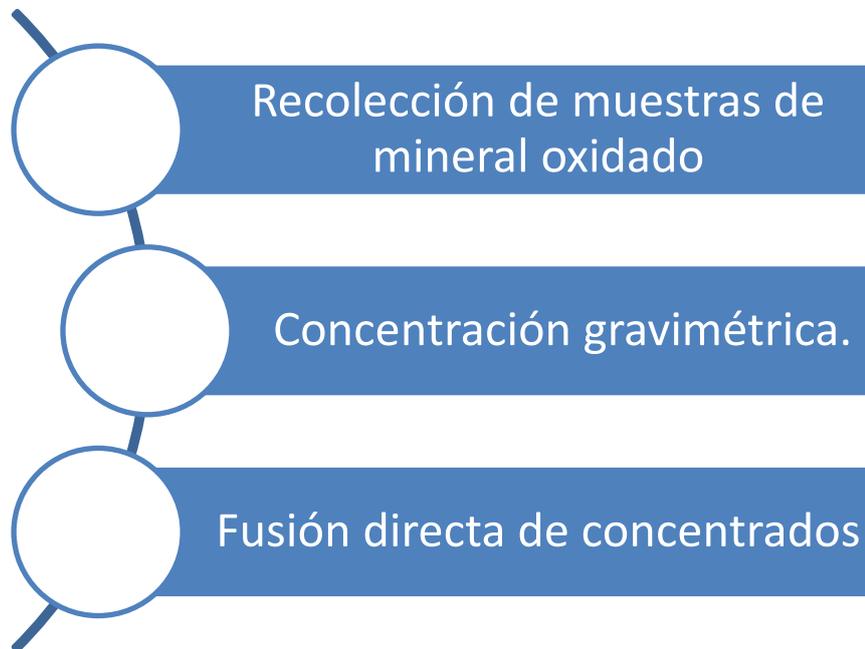
La recolección de la muestra se llevó a cabo después de seleccionar 2 minerales de distintos de distintos socavones de minería artesanal de minera Huamachuco.



*Ilustración 2:* Socavón de donde se extrajo las muestras de mineral para obtener el concentrado.

La finalidad de tomar una muestra de esta zona, se fue a conseguir un mineral oxidado con contenidos de oro, la muestra fue caracterizada y paso por un proceso de concentración gravimétrica.

El procedimiento para este tipo de investigación fue el que se sigue para un trabajo tipo experimental, desde la recolección del mineral, procesos de concentración gravimétrica y finalmente las experiencias de fusión de concentrados variando la proporción de fundentes. Por este motivo se realizaron diversas pruebas en un laboratorio instalado en un lugar seguro para desarrollar el prototipo de horno, dicho procedimiento se basó en:



*Ilustración 3:* Principales procesos seguidos para la realización de las experiencias de fusión directa de precipitados.

Después de realizar el Cono y cuarteo de la muestra, la muestra pasó por un proceso de concentración gravimétrica, posteriormente se calcularon las distintas proporciones de fundentes para determinar la cantidad óptima de fundente que se requiere para lograr la reducción de los puntos de fusión y facilitar la fusión de concentrados de oro.

### 2.4.1. Trabajo de Gabinete

En el trabajo de gabinete se diseñó el horno, en base a balances de energía, la información de tomo de bibliografía y los cálculos se realizaron en hojas de cálculo utilizando el software Excel.

También se realizó el cálculo de las distintas proporciones de fundentes, las cuales fueron calculadas con una hoja de cálculo en Excel.

Utilización del software AutoCAD para realizar e diseño del horno de fusión de precipitados.

### 2.4.2. Trabajo de laboratorio

#### Preparación de las muestras de mineral

En esta etapa se realizó el cono y cuarteo de la muestra, para tomar una muestra representativa



*Ilustración 4:* Principales pasos del cono y muestreo para tener una porción de muestra representativa.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Análisis del proceso de fusión directa y evaluación de cuáles son los principales fundentes que se utilizan.

Según Trainor D. (1986), se tienen dos razones principales para utilizar los fundentes; la primera es reducir los puntos de la fusión de toda la carga así como la viscosidad y volatilización de metales de interés, y la segunda función es que puedan reaccionar químicamente con la carga, con el objeto de reducir compuestos de los metales preciosos (Como los óxidos de plata) al estado metálico, además convertir los metales base y otros elementos dañinos en óxidos, para que todos sean solubles en la escoria. A continuación, una breve descripción de los principales fundentes que se utilizan en los procesos de fusión:

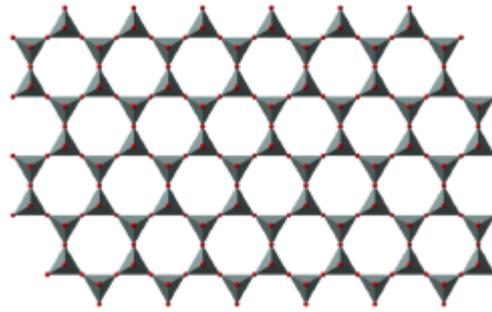
#### 3.1.1. Sílice ( $\text{SiO}_2$ ).

La sílice es el fundente ácido más fuerte, tiene un punto de fusión elevado  $1750^\circ\text{C}$ . Se combina con óxidos metálicos para formar cadenas de silicato estables, en presencia de bórax forman escorias borosilicatadas.

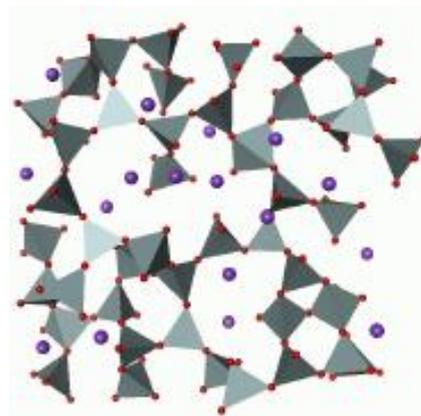
Existen sugerencias en cuanto a las proporciones o ratios de bórax/sílice, por ejemplo 2:1 Candela E. (2005), Trainor D. (1986); sin embargo, las variaciones de los componentes del precipitado, nos sugieren hacer cálculos para hallar las proporciones más precisas de los fundentes.

Se puede encontrar en la bibliografía, que las escorias con alto contenido de sílice son extremadamente viscosas y retienen mecánicamente metales en suspensión, al respecto Ballester A. et al (2000) indica que la viscosidad de la escoria depende de la manera en que los átomos de oxígeno son enlazados en la escoria fundida Chen H. (2017) indica que la  $\text{SiO}_2$  forma una red de tetraedros unitarios que incrementan la

viscosidad (Fig. 3.1) y que los óxidos básicos tienden a romper la red y reducir la viscosidad (Fig. 3.2).



*Ilustración 5: Esquema de la estructura de la sílice pura fundida más viscosa. Chen H. (2017)*



*Ilustración 6: Esquema de mezcla de silicatos con óxidos básicos fundidos menos viscosos. Chen H. (2017).*

Finalmente, Ballester A. et al (2000) indica que estructuralmente, la escorificación de la sílice tiene lugar por la rotura de los enlaces Si-O-Si, cuatro por cada tetraedro de  $\text{SiO}_4^{4-}$ . Cuando por la adición de un óxido básico (modificadores de red) rompemos alguno de los enlaces del tetraedro elemental, se obtiene una estructura laminar.

Es fundamental conocer a priori, la cantidad de sílice y óxidos de metales base que contiene nuestro precipitado, ya que, a través de relaciones estequiométricas entre

ellos, podremos iniciar el diseño estequiométrico de los fundentes para generar una escoria óptima.

### **3.1.2. Borax.**

El bórax o borato de sodio se funde a 742° C, lo cual disminuye el punto de fusión para toda la carga, cuando se funde es muy viscoso, y se hace más fluido cuando se incrementa la temperatura, es un ácido fuerte el cual disuelve y capta prácticamente todos los óxidos metálicos (tanto ácidos como básicos).

Grandes cantidades de bórax pueden ser perjudiciales causando una escoria dura y poco homogénea.

Además un exceso de Bórax puede dificultar la separación de fases debido a la reducción del coeficiente de expansión de la escoria y su acción de impedir cristalización.

### **3.1.3. Nitrato de sodio $\text{Na}_2\text{NO}_3$ .**

El nitrato de sodio  $\text{Na}_2\text{NO}_3$  se añade para oxidar los metales base que forman parte de la carga (Zn, Cu, Fe, etc.), es un agente oxidante muy poderoso cuyo punto de fusión es de 338°C. A bajas temperaturas el nitrato de sodio se funde sin alteraciones; pero a temperaturas entre 500°C y 600°C se descompone produciendo oxígeno, el cual oxida a los sulfuros y metales base, más adelante veremos las reacciones.

Es fundamental controlar la adición de nitrato de sodio, porque al liberar oxígeno ocasiona una reacción vigorosa y puede ocasionar espumas las cuales provocan baja capacidad de los equipos de fusión o el rebose en el crisol.

### **3.1.4. Carbonato de sodio.**

El carbonato de sodio  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , es un fundente básico poderoso que funde a 852°C, en presencia de Sílice, el carbonato de sodio forma silicato de sodio con el desprendimiento de dióxido de carbono. Estos silicatos reaccionan con una variedad

de óxidos básicos para formar silicatos complejos. Además, debido a la facilidad natural para formar sulfatos alcalinos, también actúa como desulfurizante y un agente oxidante. El uso de El  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  proporciona transparencia a la escoria pero en cantidades excesivas origina escorias pegajosas e higroscópicas que son difíciles de remover del Doré.

### 3.1.5. Flúor.

Conocido como Fluorspar ( $\text{CaF}_2$ ), tiene un punto de fusión de  $1380^\circ\text{C}$ ., cuando se funde es muy fluido y es capaz de mantener en suspensión partículas sin fundir, sin afectar la fluidez de la escoria. Reduce la viscosidad porque es un eficiente rompedor de cadenas silicatadas. Aun en pocas cantidades, el Fluoruro de Calcio tiende a atacar el crisol y puede causar pérdida del Bórax por volatilización del  $\text{BF}_3$ .

### 3.1.6. Escorias en el proceso de fusión.

Chen H. (2017), asegura que con un mejor entendimiento y control del comportamiento de la fase escoria se puede mejorar las eficiencias operacionales y económicas en los procesos de fusión refinación.

Ballester A. et al (2000), Szczygiel Z. (1984), indican que una escoria es una mezcla de diferentes óxidos fundidos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ , etc), los cuales pueden formar diferentes compuestos, diversas soluciones líquidas o sólidas y también mezclas eutécticas. Además, las escorias pueden contener sales intencionalmente introducidas como fundentes, como el  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaF}$ , etc.

Las escorias y las sales fundidas se presentan en estado iónico Ammasi A. (2017), bajo una consideración iónica del fundido, el anión mayoritario de la escoria es el oxígeno ( $\text{O}^{2-}$ ).

La capacidad de formar una escoria no la tienen todos los compuestos. El poder escorificante de un óxido metálico, con respecto a otro, radica en la posibilidad de que puedan manifestar afinidades químicas y eutécticas.

Para formar una escoria no solo habrá que tener presente el comportamiento individualizado ácido/base, de cada uno de sus óxidos (mayor o menor energía de enlace metal/oxígeno, Ballester et al (2000)), sino también las posibles afinidades, química y eutéctica, que puedan tener con el resto de integrantes del fundido. Es decir, una cosa es el carácter ácido base de un óxido aislado, que se puede cuantificar mediante la energía del enlace metal/oxígeno, y la otra es la influencia que sobre el carácter ácido/base puedan ejercer los demás óxidos de la escoria.

### 3.2. Diseñar un prototipo de horno para realizar la fusión directa de concentrados de oro.

#### 3.2.1. Balance de transferencia de calor en una superficie cilíndrica.

Utilizamos la teoría de la transferencia de calor en una pared cilíndrica, para eso nos valemos de la Ley de Fourier para la Transferencia de calor en una pared cilíndrica.

#### LEY DE FOURIER PARA LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN UNA PARED CILÍNDRICA

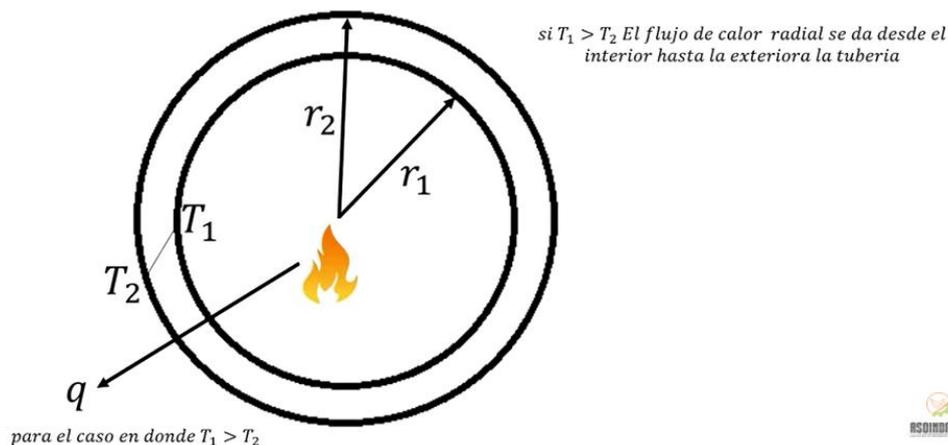
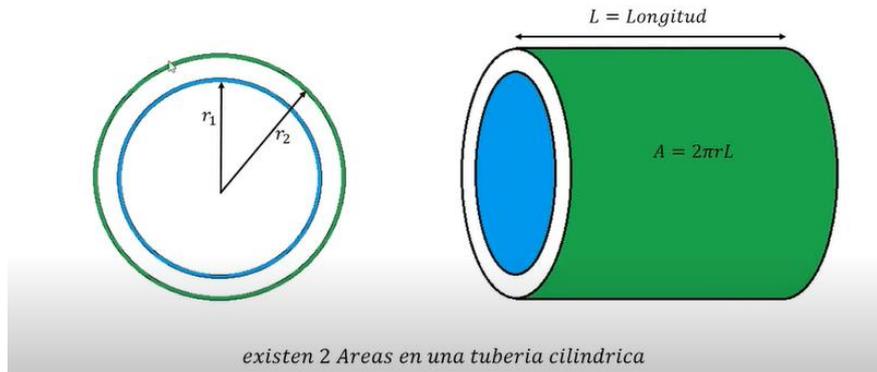


Ilustración 7: Ley de Fourier para la transferencia de calor en una pared cilíndrica.



*Ilustración 8: Transferencia de calor en una pared cilíndrica donde se considera 2 superficies, una para el r1 y otra para el r2.*

A continuación, se presenta el flujo de calor en función de la temperatura y radio del cilindro.

$$q = -AK \frac{dT}{dr}$$

$$q = -(2\pi rL)K \frac{dT}{dr}$$

$$\frac{-q}{2\pi L} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = K \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$\frac{-q}{2\pi L} = (\ln r_2 - \ln r_1) = K(T_2 - T_1)$$

$$\frac{q}{2\pi L} \ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right) = k(T_1 - T_2)$$

$$q = k \frac{2\pi L(T_1 - T_2)}{\ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)}$$

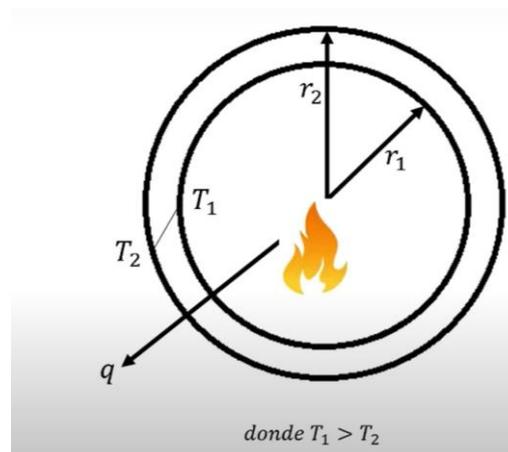
$$q = k \frac{2\pi L(T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} * \frac{(r_2 - r_1)}{(r_2 - r_1)}$$

$$A_{lm} = \frac{2\pi L(r_2 - r_1)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

$$q = kA_{lm} \frac{(T_1 - T_2)}{(r_2 - r_1)}$$

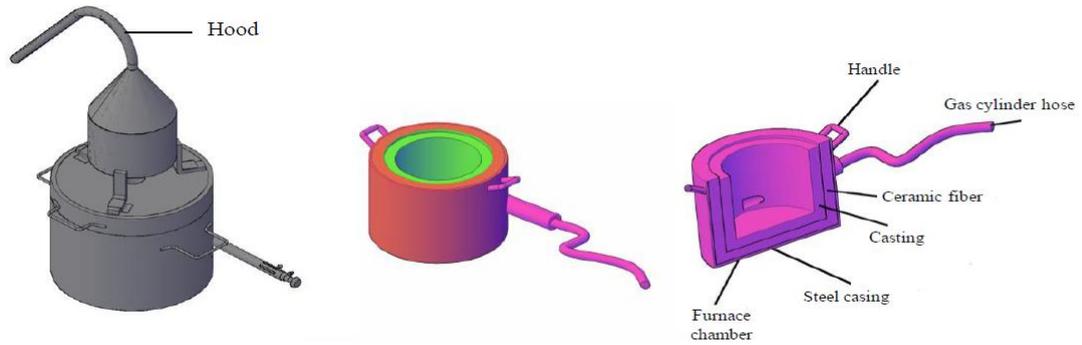
$$q = \frac{(T_1 - T_2)}{\left[\frac{(r_2 - r_1)}{kA_{lm}}\right]} = \frac{FUERZA IMPULSORA}{RESISTENCIA}$$

$$A_{lm} = \frac{2\pi L(r_2 - r_1)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$



*Ilustración 9: Estimación de la fuerza impulsora en una pared cilíndrica donde se considera 2 superficies, una para el r1 y otra para el r2.*

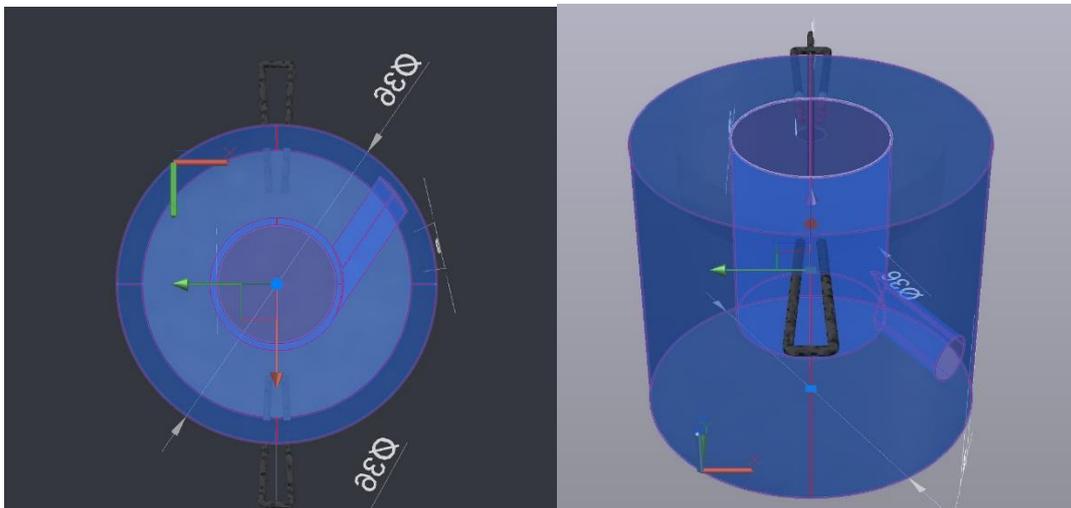
Para el diseño del prototipo se tomó en cuenta el diseño de un horno para la fusión directa (Direct smelting of gold concentrates, a safer alternative to mercury amalgamation in small-scale gold mining operations”

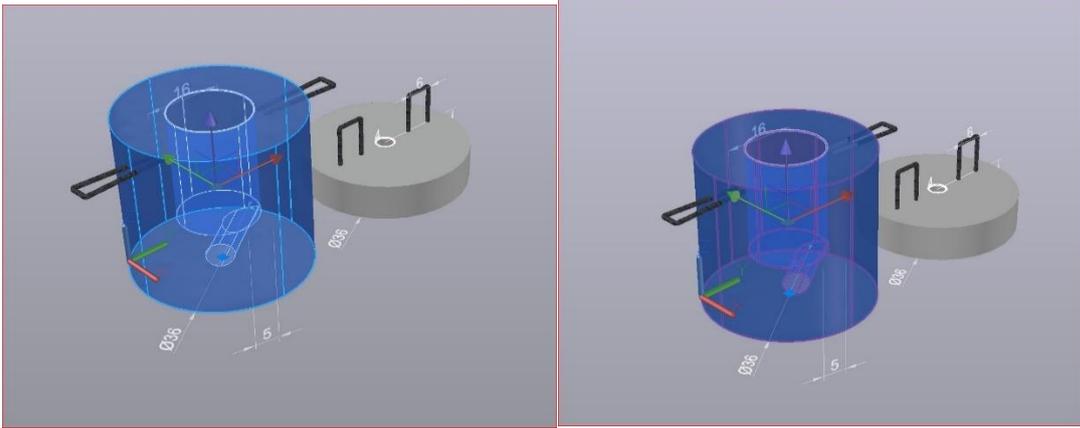


*Ilustración 10: Esquema del horno utilizado como referencia para el diseño del horno de fusión directa de concentrados de oro.*

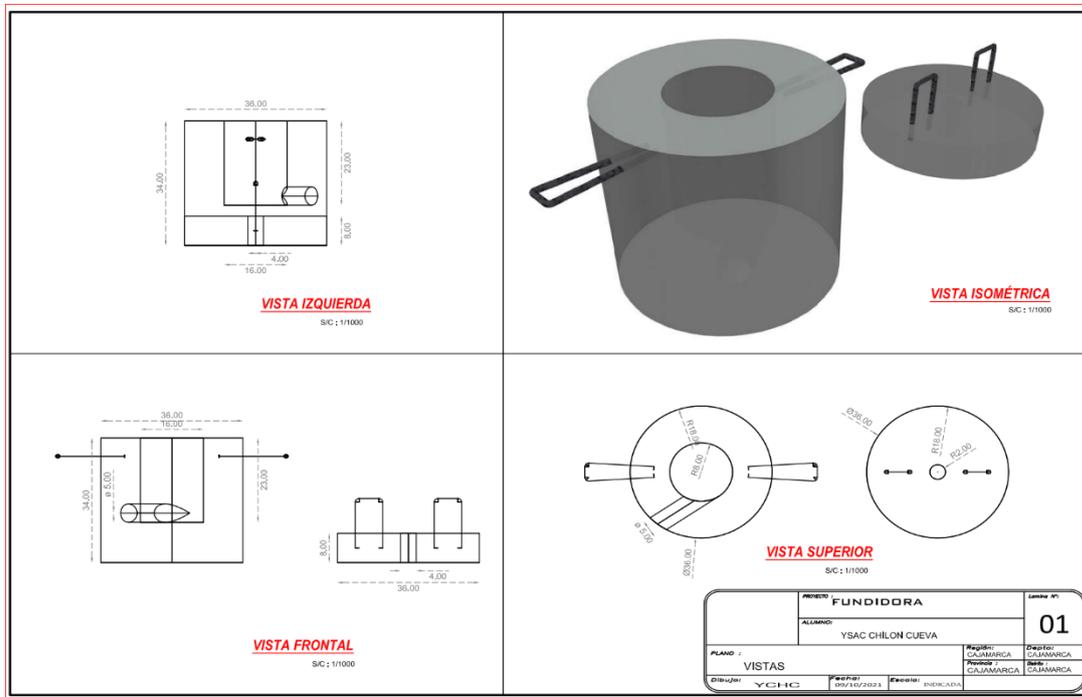
### 3.2.2. Diseño en Autocat.

Tomando en cuenta el esquema de un horno, se realizó el diseño del horno de fusión directa, utilizando Autocat.

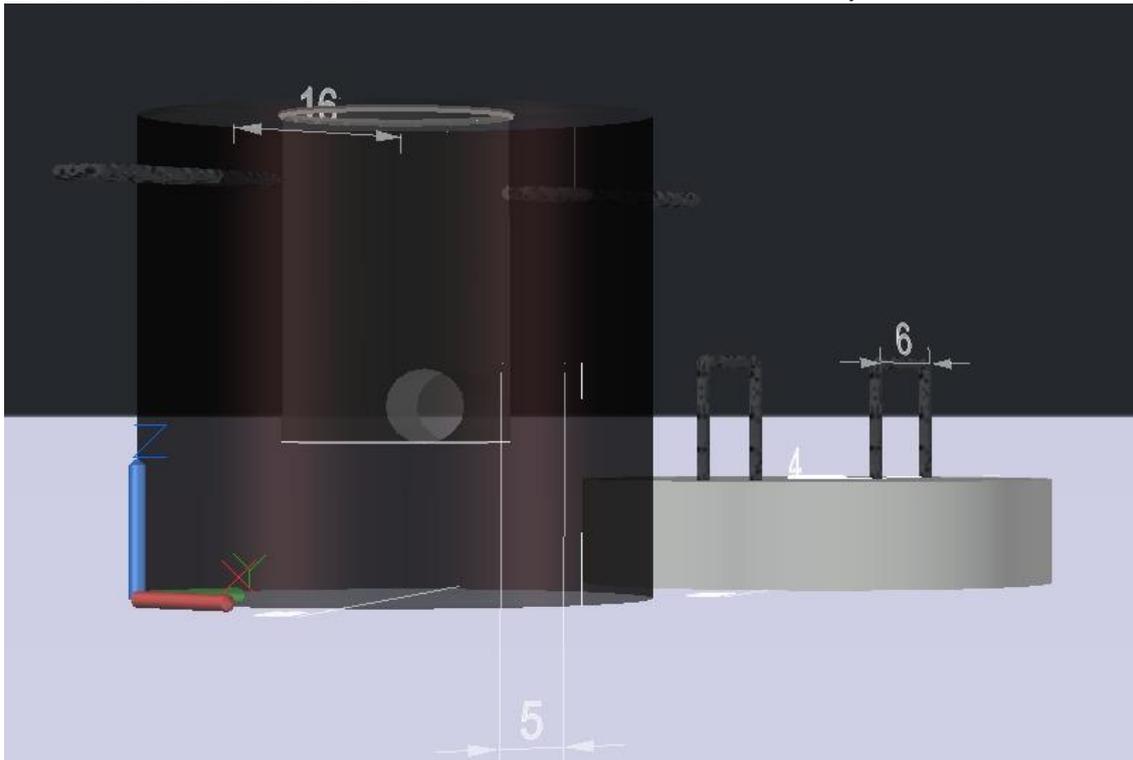




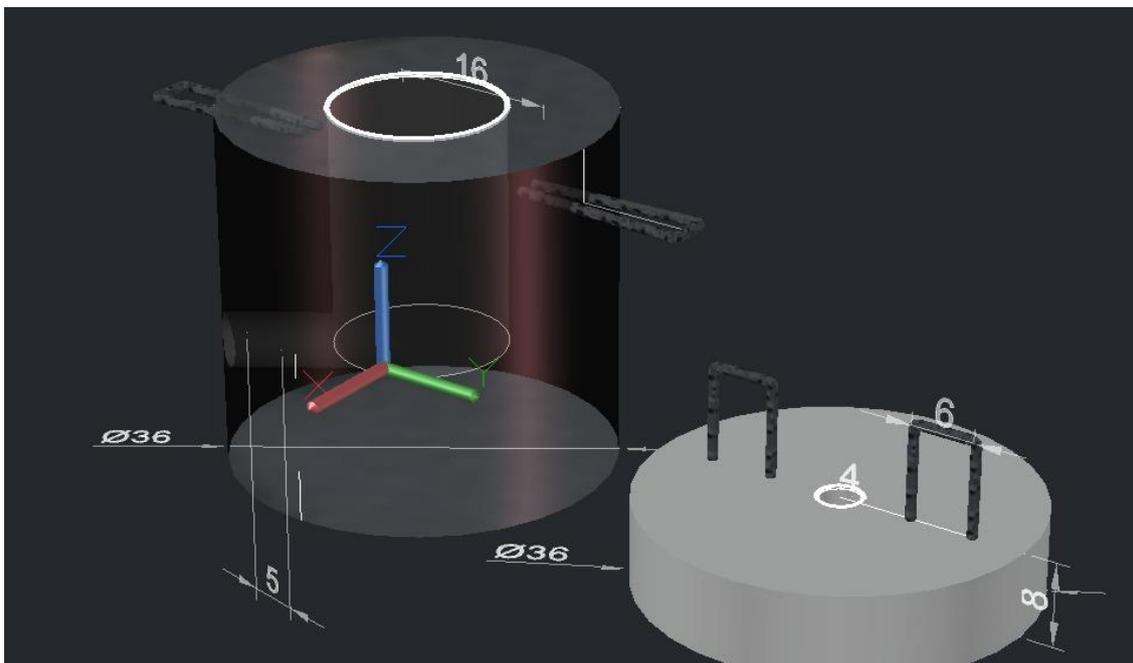
*Ilustración 11: Diseño preliminar utilizando AutoCAD considerando un cilindro similar al esquema que se encontró en la bibliografía.*



*Ilustración 12: Planos del prototipo preliminar utilizando AutoCAD considerando un y adecuando a material reciclado.*



*Ilustración 13: Isométrico del diseño preliminar en AutoCAD.*



*Ilustración 14: Isométrico preliminar incluyendo la tapa del horno en AutoCAD.*

**3.3. Construir un prototipo de horno para realizar la fusión de concentrados de oro.**

La construcción se realizó utilizando materiales reciclados y con mezclas refractarias (Utilizando vidrio molido)



*Ilustración 15: Construcción del horno para la fusión de concentrados de oro, se puede apreciar el vidrio molido y los materiales para la construcción.*



*Ilustración 16: Construcción del horno para la fusión de concentrados de oro, se puede apreciar el vaciado del concreto mezclado con el vidrio molido.*



*Ilustración 17: Construcción del horno para la fusión de concentrados de oro, se puede apreciar el vaciado del concreto para la fabricación de la tapa.*



*Ilustración 18: Construcción del horno para la fusión de concentrados de oro, se puede apreciar el horno después de vaciado y fraguado el concreto.*



*Ilustración 19: Construcción del horno para la fusión de concentrados de oro, se puede apreciar el orificio por donde se inyecta el calor.*

### 3.4. Realizar experiencias de fusión de precipitados de oro.

Para las experiencias de fusión se tomó en cuenta los cálculos de fundentes utilizando un diagrama ternario y un cálculo basado en el trabajo de optimización de fundentes.

Tabla 1

Proporción de mineral y fundentes que se realizó para hacer las pruebas

Item	Mineral (gr)	Nitrato de Sodio (gr)	Silice (gr)	Borax (gr)	Tiempo (h)
Experiencia 1	10	5	5	5	3.2
Experiencia 2	10	5	5	5	3.5
Experiencia 3	10	5	5	8	3.8
Experiencia 4	10	5	5	8	2.8
Experiencia 5	10	5	5	10	2.4
Experiencia 6	10	5	5	10	2.7
Experiencia 7	10	5	5	10	2.4
Experiencia 8	10	5	5	10	2.5



Ilustración 20: Operación de horno donde se puede notar el ingreso de la llama de manera tangencial.



*Ilustración 21: Horno en operación donde se puede apreciar el material fundido.*

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

La informalidad y la minería informal está creciendo debido al Covid 19, F. Arista (2020), en esa proporción también el uso de mercurio, es un problema latente el uso de mercurio para la recuperación de oro, en la visita a campo pudimos comprobar que no existe otro método que puedan utilizar los mineros artesanales, debido a que es el único proceso que esta a su alcance y no se muestran alternativas económicas y fáciles de implementar, todo esto concuerda con N. Arroyo y K. Malca (2019), los cuales indican que “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”.

En el factor medio ambiente y salud pública, son muchas las publicaciones que concuerdan que el uso de mercurio es dañino y que se deben presentar alternativas que puedan reemplazar su uso R. León (2017), O. Eppers (2017); una de la alternativas propuestas es la fusión directa de precipitados.

Como alternativa la fusión directa de precipitados es posible y trae consigo muchas ventajas al cuidado del medio ambiente y la salud pública. Este estudio cobra relevancia porque es parte del camino de viabilizar la fusión directa de concentrados de oro.

La revisión bibliográfica encontramos información que muestra un esquema del horno utilizado, sin embargo, no muestra detalles de la construcción ni de su operación, Fusión de concentrados de oro concuerda con la información de tesis 1

El prototipo guarda concordancia con los resultados de fusión directa

Es una alternativa no tan complicada de realizar y puede ser hecha con materiales reciclados.

## 4.2 Conclusiones

- Tal como indicó el primero objetivo específico, se analizó el proceso de fusión directa y se evaluó cuáles son los principales fundentes que se utilizan. Se encontró que existe una variedad de fundentes, pero los más accesibles son el bórax, el nitrato de sodio y la sílice que la podemos localmente.
- El segundo objetivo que se planteó fue diseñar un prototipo de horno para realizar la fusión directa de concentrados de oro, el diseño fue realizado en el software AutoCAD, en la tesis se mostró los diseños a escala y se tiene el diseño digital para aportar a futuros trabajos, dichos diseños permitieron planificar la construcción del prototipo, el cual fue utilizado para realizar las fundiciones directas de concentrados de mineral de oro.
- Como tercer objetivo se planteó la construcción de un prototipo de horno para realizar la fusión de concentrados de oro, dicho prototipo fue construido de acuerdo con el diseño que resultó del segundo objetivo de la presente tesis. Es importante destacar que los materiales que se utilizaron para la construcción del prototipo fueron materiales reciclados y el monto total de la construcción (Materiales y mano de obra) no superó los 400 nuevos soles.
- Como cuarto objetivo se planificó la obtención de un concentrado de oro para realizar experiencias de fusión de precipitados de oro, para lograr el objetivo se realizó la concentración gravimétrica del mineral para obtener un concentrado de oro.
- Finalmente se realizaron las experiencias de fusión de concentrados de oro, se realizaron 10 experiencias de fusión directa de concentrados de oro, usando distintas proporciones de fundentes, donde se pudo demostrar la operatividad del horno, el uso de gas propano para ejecutar la fusión.

- Se demostró que el diseño y construcción de un horno para la fusión de precipitados de oro no es muy complicada ni costosa, siendo una alternativa real y practica que tienen que seguir siendo investigada para reemplazar el proceso de obtención de oro usando mercurio.
- Los resultados de este trabajo de investigación, tal como el diseño, los planos, las proporciones de fundentes y las experiencias de fusión, servirán de base para las futuras investigaciones que buscan una alternativa más aplicable, ambiental y de salud pública como es la fusión directa de concentrados de oro.

## REFERENCIAS

- Abbey, C. E., Nartey, R. S., Al-Hassan, S., Amankwah, R. K. (2014) 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 and Mathematics.
- Chama, C. A. (2015). *Informe Tecnico Empresa Minera Laytaruma S.A.* Arequipa: Universidad San Agustin De Arequipa.
- Eppers, O. (2017). *EL USO DE BORAX PARA UNA PRODUCCION DE ORO SIN MERCURIO EN LA MINERIA A PEQUEÑA ESCALA.* Arequipa: Cooperacion Alemana Deutsche Zusammenarbeit.
- Eppers, O. (2017), *EL USO DE BORAX PARA UNA PRODUCCIÓN DE ORO SIN MERCURIO EN LA MINERÍA A PEQUEÑA ESCALA.* Cooperación Alemana, Gobierno Regional del Arequipa.
- León Banegas, R. G. (2017). *EFICIENCIA DEL METODO ECOLOGICO SIN MERCURIO RESPECTO AL TRADICIONAL CON MERCURIO EN LA EXTRACCION DEL ORO EN MINERIA 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 accion nacional para reducir y, cuando sea*

*posible, eliminar el uso de mercurio n la extraccion de oro artesanal y en pequea*

*escala. Jordania : UNEP.*

Serrano, A. A., Garcia Sanz, L., Leon rodrigo, I., Gil Alvarado, B., & Rios Brea, L. (2011).

*METODOS DE INVESTIGACION DE ENFOQUE EXPERIMENTAL.*

## ANEXOS

### Anexo 1

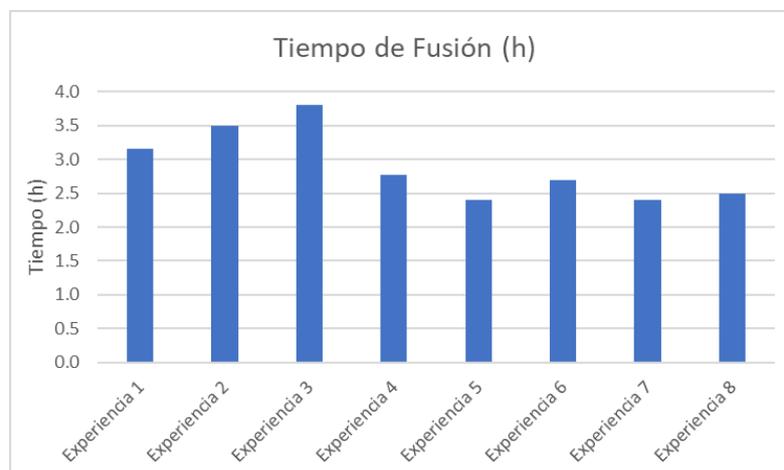
Estimación de los costos para la construcción del horno:

Item	Costo en soles
Agregados para la construcción de horno	50.0
Cemento para la preparación de la mezcla	50.0
Fierro de construcción para horno y tapa	34.0
Alambre de construcción	20.0
Cilindro metalico para la estructura del horno	150.0
Nivel	50.0
Personal (Solo un ayudante por un día)	50.0
Transporte	45.0
Otros	30.0
<b>Total</b>	<b>479.0</b>

### Anexo 2

Tiempo promedio de fusión de concentrados de oro

Item	Tiempo (h)
Experiencia 1	3.2
Experiencia 2	3.5
Experiencia 3	3.8
Experiencia 4	2.8
Experiencia 5	2.4
Experiencia 6	2.7
Experiencia 7	2.4
Experiencia 8	2.5



**Anexo 3  
MSDS del Borax**

**HDSM\_1498**

**HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD**

Nombre del Producto: **BORAX PENTAHIDRATADO**  
Fecha de Revisión: Agosto 2014, Revisión N°3



**SECCION 1: IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑIA**

**PRODUCTO**  
Nombre Químico: BORAX PENTAHIDRATADO - Na2B4O7.5H2O  
Número CAS: 12179-04-3  
Sinónimos: Tetraborato de sodio pentahidratado; Tetraborato de disodio pentahidratado; Borax 5 mol.

**COMPAÑIA:** GTM

**Teléfonos de Emergencia**  
México: +55 5831 7905 - SETIQ 01 800 00 214 00  
Guatemala: +502 66285858  
El Salvador: +503 22517700  
Honduras: +504 2540 2520  
Nicaragua: +505 2269 0361 - Toxicología MINGA: +505 22897395  
Costa Rica: +506 25370010 - Emergencias 9-1-1, Centro Intoxicaciones +506 2223-1028  
Panamá: +507 5126182 - Emergencias 9-1-1  
Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)  
Perú: +511614 65 00  
Ecuador: +593 2382 6250 - Emergencias [ECU] 9-1-1  
Argentina: +54 115031 1774

**SECCION 2: COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES**

BORAX PENTAHIDRATADO	CAS: 12179-04-3	100%
----------------------	-----------------	------

**SECCION 3: IDENTIFICACION DE PELIGROS**

Clasificación ONU: No regulado  
Clasificación NFPA: Salud: 1    Inflamabilidad: 0    Reactividad: 0

**INGESTION:** Si se ingieren grandes cantidades (es decir, más de una cucharadita), dar dos vasos de leche o agua para beber y buscar atención médica.

**Nota a los médicos:** Sólo se requiere observación en pacientes adultos que hayan ingerido menos de 7 gramos de la sustancia. Si se ingieren más de 7 gramos de borax pentahidratado, se debe controlar la función renal y suministrar los líquidos necesarios. El lavado gástrico se recomienda únicamente para pacientes sintomáticos. La hemodiálisis se debe reservar en casos de ingestión aguda masiva o pacientes con insuficiencia renal. El análisis de boro en la orina o en la sangre sólo son útiles para documentar la exposición y no debe ser utilizado para evaluar la gravedad de la intoxicación o para guiar el tratamiento.

**SECCION 5: MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS**

**Peligro general:** Ninguno, ya que el borax pentahidratado no es inflamable, combustibles o explosivo. El producto es en sí mismo un retardante de llama.

**Medios de extinción:** Cualquier medio de extinción de incendios puede ser utilizado.

**SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES**

**Precauciones personales:** Evitar la formación de polvo. En caso de exposición a alto nivel de polvo en el aire, usar un respirador personal aprobado.

**Precauciones ambientales:** El borax pentahidratado es un polvo blanco soluble en agua que puede causar daños a los árboles o vegetación por absorción de la sal.

**Métodos de limpieza:**  
**Derriame en tierra:** Barrer o recoger este producto con pala y colocarlo en contenedores para su posterior eliminación de conformidad con las regulaciones locales aplicables. Evitar la contaminación de fuentes de agua durante la limpieza y eliminación. Usar el equipo de protección personal necesario para limpiar los derrames.  
**Derriame en agua:** Cuando sea posible, retirar los contenedores intactos del agua. Buscar asesoría de la autoridad local. Los aguas contaminadas no deben utilizarse en riegos o en la captación de agua potable hasta que la dilución natural devuelve el valor de boro a un nivel normal en su entorno ambiental.

**SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO**

**Manejo seguro de contenedor y de almacenamiento:** No son necesarias precauciones especiales en la manipulación pero se recomienda el almacenamiento en lugares secos. Para mantener la integridad del empaque y reducir al mínimo la formación de grumos de producto, las bolsas deben ser tratadas en el orden primero en entrar, primero en salir. Son necesarios buenos procedimientos de limpieza para minimizar la generación y acumulación de polvo. Su proveedor puede aconsejarle sobre el manejo seguro, por favor, póngase en contacto con él.

**Uso específico (4):** El producto debe mantenerse alejado de agentes reductores fuertes.

**Resumen de emergencias:** Sólido inodoro. No es inflamable, combustible o explosivo. Tiene baja toxicidad oral y dérmica aguda.

**Los efectos potenciales sobre la salud**  
La inhalación es la vía más importante de la exposición en lugares de trabajo y otros. La exposición cutánea generalmente no es una preocupación porque el borax pentahidratado es mal absorbido por la piel intacta.

**Inhalación:** Se puede presentar una ligera irritación en la nariz y la garganta por la inhalación de polvos de borax pentahidratado a niveles superiores a 10 mg / m<sup>3</sup>.

**Contacto con los ojos:** Irritante ocular leve.

**Contacto con la piel:** No causa irritación en la piel intacta.

**Ingestión:** Los productos que contienen borax pentahidratado no están destinados a la ingestión. Este producto tiene baja toxicidad aguda. Las cantidades pequeñas (por ejemplo, una cucharadita) si se ingieren accidentalmente no es probable que causen efectos; ingerir cantidades más grandes puede causar síntomas gastrointestinales.

**Reproductiva / desarrollo:** Estudios de la ingestión en animales de varias especies, en dosis altas, indican que los boratos causan efectos reproductivos y de desarrollo. Un estudio humano de la exposición ocupacional al polvo de borato no mostró efectos adversos sobre la reproducción.

**Efectos potenciales ecológicos:** Grandes cantidades de borax pentahidratado puede ser perjudicial para las plantas y otras especies. Por lo tanto, las emisiones al medio ambiente deben reducirse al mínimo.

**Signos y síntomas de la exposición:** Los síntomas de la exposición a largo plazo han sido asociados con la ingestión o absorción a través de grandes áreas de piel dañada. Estos pueden incluir náuseas, vómitos y diarrea, con efectos retardados de enrojecimiento y descamación.

**SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS**

**Contacto con la piel:** No es necesario ningún tratamiento ya que la sustancia no es irritante.

**Contacto con los ojos:** Utilice la fuente de lavado ocular de agua dulce para limpiar los ojos. Si la irritación persiste durante más de 30 minutos, busque atención médica.

**Inhalación:** Si se observan síntomas tales como irritación de la nariz o la garganta, trasladar a la víctima al aire libre.

**SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL**

**Controles de exposición:** Use ventilación de escape local para mantener las concentraciones en el aire debajo de los niveles admisibles de exposición.

**Protección respiratoria:** Cuando las concentraciones en el aire excedan los límites de exposición, los respiradores deben ser utilizados.

**Protección de ojos y manos:** Las gafas protectoras y guantes no son necesarios para exposiciones normales en la industria, pero pueden estar justificados si el medio ambiente es excesivamente polvoriento.

**SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS**

**Estado físico:** Sólido cristalino  
**Color:** Blanco  
**Olor:** Inodoro  
**Peso molecular:** 291,35  
**Peso específico:** 1,81  
**Temperatura de fusión:** 200 °C (climatizada en el espacio cerrado)  
**Punto de ebullición:** 1575 °C  
**Punto de inflamación:** No inflamable  
**Peligro de explosión:** No explosivo  
**Solubilidad en el agua:** 3,7% @ 20 °C; 51,2% @ 100 °C  
**Presión de vapor :** Insignificante @ 20 °C  
**pH @ 20 °C:** 9,3 (solución al 3%)

**SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

**General:** El borax pentahidratado es un producto estable, pero cuando se calienta hay pérdida de agua formando borax anhídrido.

**Productos peligrosos de la descomposición o polimerización:** Ninguno

**Materiales incompatibles:** La reacción con agentes reductores fuertes, tales como hidruros metálicos, anhídrido acético y de metales alcalinos genera gas de hidrógeno que podría crear un riesgo de explosión.