



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Reducción de mercurio en la etapa de calcinación del proceso metalúrgico artesanal optimizando los principales parámetros de operación, Pucará – Canta, 2017”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniera Ambiental**

**AUTORA:**

JOSELIN MERCEDES RIOS CAMIZAN

**ASESOR:**

Dr. CARLOS CABRERA CARRANZA

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS  
RECURSOS NATURALES

LIMA- PERÚ

2017 - I

**PÁGINA DEL JURADO**  
**APROBADO POR:**

---

Dr. Elmer Benites Alfaro  
Presidente del Jurado

---

Dr. Jhonny Valverde Flores  
Secretario del Jurado

---

Dr. Carlos Cabrera Carranza  
Vocal del Jurado

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis en primer lugar a Dios por darme sus bendiciones y haberme permitido llegar hasta esta instancia, a mis padres por su apoyo incondicional, quienes con su esfuerzo, amor, paciencia y dedicación me inculcaron desde pequeña los valores y el estudio para lograr convertirme en todo lo que soy en la actualidad.

A mis abuelitos Florencio y Fernandina que aunque ya partieron, sé que me cuidan y guían desde el cielo, a mi hermano por darme el motivo de superarme día a día para dejarle un buen ejemplo de vida; y finalmente a toda mi familia en general que de alguna u otra manera me han llenado de energía y sabiduría para terminar la tesis y poder realizarme profesionalmente.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco principalmente a Dios quien me ha guiado y dado la fuerza para seguir adelante, a mis padres por brindarme su apoyo moral y económico para la realización de la tesis.

Agradezco a la Universidad César Vallejo por ser mi alma mater y casa de estudios. A mi asesor el Dr. Carlos Cabrera por su apoyo y orientación profesional. Al Dr. Elmer Benites, por su valioso tiempo y aporte de conocimientos.

Al Ing. Alejandro Suarez por su apoyo en la estructuración y guía durante el desarrollo de la investigación, gracias por su paciencia y dedicación.

A Don Felipe Molina propietario de la planta de beneficio en “Pucará” por haber aceptado que realice mi investigación en este lugar.

Y para finalizar, a todos los que aportaron un granito de arena para la realización de la presente tesis y colaboraron con mi formación profesional. Gracias por todo.

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo Joselin Mercedes Rios Camizan con DNI N° 72214960 a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de *Ingeniería*, Escuela de *Ingeniería Ambiental*, declaro bajo fundamento que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto en los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Lima, 18 de Julio del 2017

---

**Joselin Mercedes Rios Camizan**

**DNI N° 72214960**

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada: “REDUCCIÓN DE LA EMISIÓN DE MERCURIO EN LA ETAPA DE CALCINACIÓN DEL PROCESO METALÚRGICO ARTESANAL OPTIMIZANDO LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE OPERACIÓN, PUCARÁ – CANTA, 2017”. La misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de INGENIERA AMBIENTAL.

Joselin Mercedes Rios Camizan

## ÍNDICE

PÁGINA DEL JURADO .....	2
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD .....	5
PRESENTACIÓN.....	6
ÍNDICE .....	7
RESUMEN .....	12
ABSTRACT .....	13
I. INTRODUCCION .....	14
1.1. Realidad Problemática .....	15
1.2. Trabajos previos.....	16
1.3. Teorías relacionadas al tema .....	20
1.3.1. Mercurio .....	20
1.3.2. Minería artesanal .....	21
1.3.3. Uso del mercurio en la minería artesanal.....	21
1.3.4. Procesos de la minería artesanal.....	22
1.3.5. Amalgamación de todo el mineral.....	22
1.3.6. Quemado de la amalgama.....	23
1.3.7. Impactos en la salud humana y medio ambiente .....	24
1.3.8. Medidas de reducir el uso de mercurio .....	24
1.3.9. Determinación de mercurio en aire .....	26
1.3.10. Descripción del Área de Estudio.....	26
1.3.11. Diagnóstico Proceso de Extracción Artesanal de Oro en Pucará .....	27
1.3.12. Marco Legal.....	28
1.4. Formulación del Problema .....	29
1.4.1. Problema General.....	29
1.4.2. Problemas Específicos:.....	29
1.5. Justificación del estudio .....	30
1.6. Hipótesis .....	30
1.6.1. Hipótesis General .....	30
1.6.2. Hipótesis Específicas:.....	31

1.7.	Objetivos: .....	31
1.7.1.	Objetivo General .....	31
1.7.2.	Objetivos Específicos.....	31
II.	MÉTODO.....	32
2.1.	Diseño de investigación .....	33
2.1.1.	Por su tipo de estudio .....	33
2.1.2.	Por su diseño .....	33
2.2.	Variables y operacionalización .....	33
2.3.	Población y muestra.....	36
2.3.1.	Población .....	36
2.3.2.	Muestra .....	36
2.3.3.	Marco muestral .....	38
2.3.4.	Muestreo .....	38
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	38
2.4.1.	Técnicas.....	38
2.4.2.	Instrumentos .....	46
2.4.3.	Validación y confiabilidad del instrumento .....	46
2.5.	Métodos de análisis de datos.....	47
2.6.	Aspectos éticos .....	48
III.	RESULTADOS .....	49
IV.	DISCUSIÓN.....	62
V.	CONCLUSIÓN.....	63
VI.	RECOMENDACIONES .....	64
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
	ANEXOS .....	69

## ANEXOS

Anexo 01: Ficha de recopilación de información de masa y temperatura.....	69
Anexo 02: Validación de datos recopilados en campo.....	70
Anexo 03: Ficha de recopilación de datos.....	71
Anexo 04: Validación de Instrumentos.....	72
Anexo 05: Matriz de consistencia.....	75
Anexo 06: Preparación del equipo de seguridad.....	76
Anexo 07: Informe de ensayo de amalgama de mercurio.....	77
Anexo 08: Acta de aprobación de originalidad de tesis.....	78

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Valores de Mercurio (Hg), propuestos como ECA (ug/m3).....	29
Tabla N° 02: Operacionalización de variables.....	35
Tabla N°3: Programación de experimentos.....	38
Tabla N°4: Tabla de análisis de datos.....	44
Tabla N° 05: Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	47
Tabla N°6 Medición del mercurio emitido antes del proyecto.....	50
Tabla N°7: Análisis de los datos experimentales.....	50
Tabla N° 8 Análisis de varianza factorial.....	59

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Proceso de Extracción Artesanal de Oro en Pucará.....	28
Figura N° 02: Área de Estudio.....	36
Figura N° 3: Representando un diseño factorial $2^k$ con 5 repeticiones en la región central.....	37
Figura N° 4: Monitoreo Visual.....	39
Figura N°5: Tubo de escape.....	40
Figura N°6: Trabajo artesanal.....	40
Figura N°7: Pesado de la masa de amalgama antes de la calcinación.....	41
Figura N°8: Toma de temperatura en la etapa de calcinación.....	41
Figura N°9: Medidor de altas temperaturas.....	42
Figura N°10: Balanza Analítica.....	42
Figura N°11: Regiones de experimentación con intervalos fijos de emisión.....	60
Figura N°12: Puntos de más baja emisión respecto a masa de mercurio y amalgama.....	60
Figura N°13: Puntos de más baja emisión respecto a masa de mercurio y temperatura.....	61

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo primordial reducir el mercurio en el proceso metalúrgico artesanal en el distrito de Pucará, Santa Rosa de Quives, optimizando los principales parámetros de operación que fueron la masa de amalgama y la temperatura, de modo que el impacto al medio ambiente sea mínimo y contribuir a su cuidado.

Se trabajó con el diseño experimental que utiliza el método factorial con 9 muestras procesadas aleatoriamente.

Se utilizaron métodos numéricos para el desarrollo de los diferentes modelos matemáticos apoyado con el programa de computadoras MathcadTM, el análisis de varianza (ANOVA) es el complemento de los cálculos y son desarrollados para los resultados de los diseños de experimentos.

Posteriormente se evaluó los resultados experimentales del trabajo que indicaron que la temperatura de 800 °C. Para procesar amalgama de mercurio y oro provoca la más baja emisión de mercurio en forma de vapor.

Los resultados experimentales demuestran consistencia para diferentes masas procesadas, las cuales se incluían en un rango de 80g. y 122g, la menor emisión de mercurio que se obtuvo fue de 52g.

Este trabajo finalmente es una contribución para el diseño de equipos compactos que procesen amalgamas con baja emisión de mercurio.

Palabras Claves: emisiones, proceso metalúrgico artesanal, mercurio, impacto, medio ambiente, ANOVA.

## ABSTRACT

The main objective of this research was to reduce mercury emissions in the metallurgical process in the district of Pucará, Santa Rosa de Quives, optimizing the main parameters of operation that were the amalgam mass and the temperature, so that the Impact on the environment is minimal and contribute to their care.

We worked with the experimental design using the factorial method with 9 samples randomly processed.

We used numerical methods for the development of different mathematical models supported with the Mathcad™ computer program, the analysis of variance (ANOVA) is the complement of the calculations and are developed for the results of the experimental designs.

Subsequently we evaluated the experimental results of the work which indicated that the temperature of 800 ° C. To process amalgam of mercury and gold causes the lowest mercury emission in the form of vapor.

The experimental results show consistency for different processed masses, which were included in a range of 80g. And 122g, the lowest mercury emission was obtained when the process was 52g.

This work is finally a contribution to the design of compact equipment that process amalgams with low mercury emission.

Keywords: emissions, artisanal metallurgical process, mercury, impact, environment, ANOVA.

## **I. INTRODUCCION**

## **1.1. Realidad Problemática**

En el Perú a causa de la falta de información, gestión desorganizada y una inexistencia de la preocupación por la conservación ambiental, se ve afectado por contaminación con mercurio que es un metal altamente tóxico utilizado para la extracción de oro en el proceso metalúrgico artesanal (SPDA, 2015); es por esto que la inhalación de vapor de mercurio viene a ser muy perjudicial para el cuerpo humano, especialmente para el sistema nervioso, el aparato digestivo, los pulmones y riñones, que pueden traer consecuencias en ocasiones, fatales (OMS, 2016).

Por tanto, el poblado de Pucara situado en Santa Rosa de Quives, Lima que se encuentra a unos 1500 msnm, con una población alrededor de 150 habitantes, tiene dentro de sus principales actividades económicas la minería artesanal, siendo esta una de las principales fuentes de ingresos. Sin embargo, está actividad mantiene una minería artesanal de la que vive toda la población.

La explotación artesanal de oro no cuenta con el proceso adecuado de tratamiento de sus desechos tanto químicos como físicos, perjudicando el medio ambiente y los ecosistemas que se encuentran cercanos como es el caso de las lomas cactáceas que está justo en la zona donde están los quimbaletes.

En la minería del oro artesanal y en pequeña escala se utilizan normalmente grandes cantidades de mercurio para procesar el mineral, a menudo en condiciones de gran inseguridad y peligrosas para el medio ambiente, la demanda de mercurio en los países donde se realiza esta actividad continúa aumentando, sobre todo debido al aumento del precio del oro. Además, el uso de mercurio es generalmente el método dominante y preferido de extracción de oro en este sector, ya que se considera bastante fácil de utilizar y no es costoso. (IGE, 2010).

En este proceso se añade 2 kilos de mercurio por piedra (quimbalete), a todo el mineral durante la trituración, molienda y lavado, en cada quimbalete entran dos sacos y medio de mineral y cada saco pesa alrededor de 70 y 80 kilos. Éste es el uso más contaminante del mercurio.

Los mineros artesanales desarrollan este tipo de actividades para el procesamiento del mineral, para ello utilizan mercurio en las diferentes actividades, donde en la etapa de la separación del mercurio de la amalgama para obtener oro comercial se pone a temperaturas superiores a 360°C. La secuencia a seguir; es la quema de la masa de amalgama con el contacto directo de esta con una antorcha, aquí los vapores de mercurio se emiten al ambiente, varias veces en viviendas de los mismos trabajadores, generando impactos perjudiciales para la salud humana y producen severos daños medioambientales (OMS, 2016).

El balance de masa en el proceso de separación de oro usando mercurio muestra que existen perdidas de mercurio en cantidades elevadas y una de las etapas críticas es el proceso de calcinación, donde podría estar ocurriendo la mayor emisión por lo que requiere validarse la actividad del proceso para fijar la cantidad de mercurio emitida.

Este proyecto de investigación consiste en analizar el proceso metalúrgico artesanal para evaluar el nivel de mercurio de emisión hacia el aire en la etapa de calcinación, buscar alternativas para optimizar los principales parámetros de operación como la masa y temperatura para poder reducir la emisión del mercurio y mejorar el proceso.

## **1.2. Trabajos previos**

**COSTA, M. (2006)** Sostiene que la población de Misky del departamento de Arequipa, que cuenta con mil habitantes, en donde una de las principales actividades que realizan para sobrevivir es la minería artesanal del oro. Por ello,

se habla de las características del yacimiento que hace importante esto para el desarrollo de la minería artesanal. El mineral del oro extraído de la mina es procesado mediante la utilización de mercurio. En este proceso la obtención del mineral que contiene oro es molido por medio de quimbaletes, que además concentran el oro por medio de la producción de una amalgama con el mercurio. Después esta amalgama es procesada en una retorta para obtener el oro. Por medio de este sistema se recupera una cantidad de mercurio hasta los 80% del total, la diferencia es emitida al ambiente, lo cual genera severos deterioros medio ambiental y daños a la salud humana. Lo cual se propone la concentración óptima del mineral de oro previamente con el uso de los quimbaletes para disminuir la cantidad de mercurio utilizado. Mismo modo se sugiere realizar modificaciones en la retorta.

**PINZÓN, J. (2001)** Sostiene que los resultados obtenidos para reducir la contaminación producida en el distrito minero de Vetas en Colombia, por los métodos que se realizó para la recuperación del oro por amalgamación, para esto se diagnosticó los orígenes y se cuantifico las descargas y emisiones del mercurio, que son los responsables del deterioro, convirtiéndose en principal contaminante. La técnica que se utilizó para tener parámetros correctos para el proceso, tanto en la operación de recuperación de oro que fue mediante los cilindros rotatorios como también en la operación de recuperación de mercurio. Así las operaciones que se realizaron para tener los parámetros óptimos del proceso y la entrada de dispositivos apropiados para la operación. Para ello se generalizó el uso de un sistema para la destilación de amalgamas adecuándolo en la minería artesanal.

De alcanzar a acoger las medidas adecuadas y el ingreso de los dispositivos apropiados para la amalgamación, se lograra disminuir a menores de 90% el vapor de mercurio emitido al medio ambiente e incluso un 50 % de mercurio agrupado con las colas.

**CAICEDO, L. (2012)** Sostiene que para el presente trabajo la metodología se realizó considerando bibliografía con la finalidad de obtener la información de la situación actual de la minería en Colombia, encontrándose una gran problemática porque genera diferentes conflictos sociales y principalmente impactos negativos al ambiente y sus recursos. La entidad pública del Ministerio del Ambiente determina la extensión de lo ilegal en esta área del territorio. El objetivo general de la investigación es plantear la utilización de un método limpio en la actividad de obtención del oro, mediante mecanismos para reducción de mercurio, que radica en la intervención de manera eficaz en las siguientes actividades de separación, molienda, purificación, cianuración, fundición a las que se introduce el material que se extrajo, de esta manera reducir el elevado uso de metales tóxicos principalmente el mercurio.

**PERU SUPPORT GROUP (2012).** Sostiene el alto precio que se paga por el mineral del oro, la situación de necesidad de la población es permanente y el déficit de oportunidades de trabajo en el estado peruano ha aportado al auge que la minería artesanal ha experimentado en la actualidad. El incremento del sector ha llamado la atención del sector de las actividades de la minería artesanal.

Los términos de artesanal, ilegal e informal a menudo se han incrementado de manera exponencial para denominar todas las explotaciones mineras que son de mineros del local, que no pertenecen a las empresas extranjeras.

Por tanto, existen algunos mineros artesanales sin voluntad alguna de cumplir con los requerimientos que establece el estado peruano, como ocurre también en algunas explotaciones de mineras, aunque por otra parte también los hay que cumplen los requerimientos de la normativa legal vigente. Para llevar las mineras artesanales de la mejor manera deben de emplear los mejores tratamientos del oro, como se realiza por medio de las técnicas limpias que minimizan significativamente el impacto ambiental. En algunos casos de las

mineras entran a interesarse a la formalización de su actividad pero son incapaces de suplir los inconvenientes que se puede presentar.

**OLIVERO VERBEL, J. (2010)** Sostiene cuales son las consecuencias de la minería en Colombia en la salud humana. En este documento relata la descripción general de los efectos nocivos en la salud del ser humano que se asocian con la extracción de oro, así como también minerales de más relevancia económica en este país, y también nos muestra un informe de minería del metal níquel y otros minerales.

**DÍAZ TOBAR J. C. (2013).** Propone la ejecución de una estrategia, en 5 fases; diagnóstico, regularización, estabilización, emprendimiento y seguimiento) en este se detalla una técnica estratégica con procedimientos de intervención que se basan en el desarrollo del capital humano para el proceso metalúrgico artesanal. También propone proyectos a nivel estratégico que se relacionan con los recursos, conceptos de aplazamiento y alcance a nivel operativo, orientados al ordenamiento y utilización de los recursos para examinar la factibilidad de la ejecución.

**MANZANEDO DURAN, L. B. (2005).** Analiza las condiciones en las que se desarrolla el proceso metalúrgico artesanal, identifica también los diversos tipos de plantas mineras, sus fortalezas y debilidades, y resuelve la pregunta de que si las organizaciones de trabajadores artesanales y el marco de la institución que las dirige cuenta con la capacidad de cambiar el proceso minero artesanal en pos de ser viable y sostenible como también ambientalmente responsable.

**UPME, (2007).** Sostiene en este documento que la mala práctica de las comunidades mineras ocasionan muchos daños a la salud y al medio ambiente por ello buscan una elaboración limpia en el proceso minero de oro en Colombia, en donde retoma unos de los aportes que la UPME ha realizado y también que ha participado con una política de desarrollo sostenible, de esta

manera ayudar con algunas orientaciones para diseñar programas en los que se encaminen a la mejora de las condiciones; sociales, ambientales y salud de los pobladores asentados en áreas cercanas a los centros mineros de oro en Colombia, también se propicien al máximo el progreso técnico y cultural, en pos de reducir o mitigar el uso de mercurio, el cianuro y demás elementos tóxicos en las plantas de beneficio de oro, eliminando en lo que se puede los vertimientos y los daños causados al ambiente y la salud de los pobladores y así contribuir al desarrollo de la sostenibilidad ambiental.

**PNUMA, (2008).** Sostiene que el proceso metalúrgico de oro artesanal y de pequeña escala (MAPE) es una buena oportunidad para el progreso y favorece al remedio de la pobreza y al desarrollo de las regiones pero las dificultades sociales y ambientales también son muy habituales en esta sección y que existe la oportunidad de cambiar el patrimonio mineral en el desarrollo local sostenible por ello realizan esta guía práctica para la reducción del uso de mercurio en la minería de oro artesanal y de pequeña escala.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1. Mercurio**

El mercurio es una toxina nerviosa potente y pueden afectar al cerebro y sistema nervioso. Las mujeres embarazadas y niños pequeños son más susceptibles a la intoxicación por mercurio. También puede afectar el desarrollo del feto, causando defectos de nacimiento.

El mercurio liberado en el medio ambiente se transporta por vía aérea, la lluvia, la nieve o el escurrimiento y depositado en nuestros arroyos y la Bahía. Las bacterias se convierten en una forma que es fácilmente absorbida por animales microscópicos y plantas, que a su vez son consumidos por animales más grandes. Una persona puede exponerse al mercurio al consumir pescado contaminado con mercurio. (OMS, 2016).

### **1.3.2. Minería artesanal**

Es la extracción de minerales principalmente el oro, que realizan los mineros que trabajan en explotaciones, usando técnicas básicas. Normalmente se llega emplear prácticas rápidas, con inversiones de dinero mínimos que son necesarios para realizar la actividad. Por ello a menudo se usa el mercurio con la finalidad de separar el metal del mineral, y normalmente lo realizan personas cuya conciencia de los riesgos que están expuestas, capacitación para reducir de los efectos negativos que traería a corto, mediano y largo plazo y la falta de equipos de seguridad. (PNUMA, 2008).

La minería artesanal del oro es una fuente importante de generación de ingresos para las personas que realizan la actividad de la minería, principales en poblaciones y comunidades rurales donde las alternativas de ingreso económicas son sumamente limitadas.

### **1.3.3. Uso del mercurio en la minería artesanal**

El uso del mercurio es para separar y extraer el oro de las rocas o piedras en la forma que se podrían encontrar. Normalmente el mercurio se adhiere al oro, formando una masa de amalgama que ayuda a su separación de la roca, arena u otro material donde se podría encontrar el mineral del oro. Luego se pone a una determinada temperatura la amalgama para que se evapore el mercurio con la finalidad de solo quedarse con el mineral del oro. Para ellos se hay diversas técnicas para liberar o quitar el mercurio del mineral del oro. (PNUMA, 2008).

En la minería artesanal del oro se usan normalmente en elevadas cantidades de mercurio para procesar el mineral del oro, generando condiciones de inseguridad y peligrosas para el medio ambiente y salud

humana. En varios países se intimida o incluso se prohíbe el uso de mercurio para la obtención del oro. Sin embargo, el incremento uso de mercurio en los países donde se realiza la minería sigue incrementándose, debido al incremento del precio del oro. Además, el uso de mercurio es principalmente el método dominante y el más usado en el proceso de extracción de oro en este sector, ya que se considera bastante fácil de utilizar y no es costoso (PNUMA, 2008).

#### **1.3.4. Procesos de la minería artesanal**

El proceso de la extracción del mineral valioso del oro se realiza iniciando con el proceso de trituración (normalmente es manual) y para la molienda se utilizan molinos de pisones o, en algunos casos, de timbaletes. Por ello para recuperar el oro grueso el material, se pasa por medio de una canaleta; posteriormente la pulpa se pasa hacia la concentradora, posterior son llevados a procesos de amalgamación en contenedores. La amalgama de calienta a una temperatura determinada a campo abierto sin ningún control de protección hacia sus receptores (Caicedo, L. 2012).

#### **1.3.5. Amalgamación de todo el mineral**

En este proceso se agrega el mercurio a todo el mineral en los diferentes procesos como la trituración, molienda y lavado. Ésta es la parte del uso que genera como contaminante del mercurio. En muchos casos sólo el 10% del mercurio se añade a un contenedor o a un recipiente, pero en el caso de la amalgamación manual, se combina con el oro para producir la masa de amalgama. El resto del 90% es lo que sobra o se recicle, o normalmente esto se libera hacia el entorno. (PNUMA, 2008).

Cuando el mercurio se encuentra en la amalgama de todo el mineral, aparecen elevados niveles de mercurio que se liberan al medio ambiente y generan graves daños hacia la salud humana por la exposición de los mineros como para otras personas. Los estudios realizados en zonas donde se realiza la amalgamación de cualquier el mineral se encuentran los niveles más elevados de mercurio en diferentes partes como en el suelo, los sedimentos y los peces (PNUMA, 2008).

#### **1.3.6. Quemado de la amalgama**

El minero normalmente adicional una cierta temperatura para calentar la amalgama con la finalidad de recuperar el valioso mineral del oro. La amalgama se coloca en un recipiente de metal oxidable o inoxidable y posterior se quema encima del fuego, a campo abierto. Cuando no se hace una retorta, los vapores de mercurio de liberan al aire y al mismo tiempo son inhalados por los mineros, sus familias y demás personas que se encuentren cerca de la quema de la amalgama, aunque normalmente se realiza en sus viviendas. Según el estudio esta práctica se genera emisiones atmosféricas de mercurio de aproximadamente de 300 toneladas métricas anuales a nivel del mundo (GMP, 2006).

Según Programa de Naciones Unidas de medio Ambiente (2008). Las retortas tienen la capacidad de capturar el vapor de mercurio, Controlando que esto se libere al aire y de la misma forma reduciendo los riesgos que podría generar en la salud de los mineros y demás personas que estén expuestas al vapor de mercurio. Por ello, las retortas vienen a ser tecnologías factibles y fáciles que permite recuperar un nivel elevado de mercurio que se podría ser evaporado en la etapa de calcinación de la amalgama.

### **1.3.7. Impactos en la salud humana y medio ambiente**

#### **Salud humana**

Según Chaucayanqui, B. (2012). Los estudios de salud que se realizaron en los diferentes partes del mundo en los que se practica la minería artesanal del valioso mineral del oro indican elevados niveles de mercurio en los trabajadores de la minería. Casos están expuestos a niveles de mercurio 50 veces superiores al límite máximo permisible de la exposición de las personas establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

Por ello, la inhalación de vapor de mercurio puede generar daños y es perjudicial para la salud humana afectando a los pulmones y riñones, el aparato digestivo, sistema nervioso e inmunitario, con consecuencias a veces fatales (OMS, 2016).

#### **Medio ambiente**

En la minería artesanal del oro se usan generalmente elevadas cantidades de mercurio en los diferentes procesos del mineral, donde en todas se liberan cierta cantidad del mercurio, pero en el proceso de calentamiento del al amalgama, para separar el oro se emiten gran cantidad de vapores de mercurio generando efectos adversos hacia el medio ambiente en su diferentes componentes ambientales. (PNUMA, 2008).

### **1.3.8. Medidas de reducir el uso de mercurio**

Según PNUMA (2008). Si bien el uso de mercurio es en general una forma fácil y de bajo costo de extraer el oro en la minería artesanal y en pequeña escala, existen otros métodos eficaces en función de los

costos que pueden eliminar o reducir en gran medida la cantidad de mercurio utilizado, disminuyendo los riesgos para la salud y el medio ambiente y ahorrando el costo adicional de usar cantidades excesivas de mercurio.

### **Métodos sustitutivos de la amalgamación de todo el mineral**

La amalgamación de todo el mineral trae un nivel de explosión del vapor de mercurio, pero se usa siempre, ya que para los mineros es una manera más sencilla y de bajo costo de obtener el oro inmediatamente. La medida más significativa que se puede adoptar en el lugar de la minera es disminuir el uso de mercurio. Para ello se realiza con los siguientes triturando y moliendo el mineral con la finalidad de obtener partículas chicas, y utilizando técnicas de concentración gravimétrica como vienen a ser el cribado o el centrifugado. Estos son los mecanismos para capturar más oro, para así usar menos mercurio y recuperar casi todo el mercurio que se usó en todo los procesos. (PNUMA, 2008).

### **Medidas de protección**

Las medidas de protección vienen a ser el uso de retortas, para ello, cuando se quema a una determinada temperatura la amalgama que tenga la capacidad de conservar el mercurio y permite reciclarlo y reutilizarlo, del mismo modo también proteja a los mineros y a las personas expuestas, posteriormente dar énfasis en el uso de equipos de protección personal para el proceso de la amalgama. (PNUMA, 2008).

## **Alternativas al uso de mercurio**

La sustitución de uso del mercurio en el proceso de extracción es una opción factible para muchos mineros, ya que esto puede requerir una inversión económica más significativa y conocimientos técnicos. Los minerales deben pasar por el proceso de molienda para ayudar tener las partículas de oro. Lo cual, los mineros requieren saber cuál es el nivel de molienda apropiado, y si se requerirá otro tratamiento, para eliminar el uso del mercurio.

### **1.3.9. Determinación de mercurio en aire**

Según MINEM (2009). La determinación de los efectos de las actividades mineras y metalúrgicas en la calidad del aire ambiental del área circundante depende de un cálculo preciso de las concentraciones de agentes contaminantes específicos en puntos donde puedan perjudicar la salud o el bienestar de las personas. Por lo general, este cálculo resulta de la ejecución de un plan de monitoreo complementado con la elaboración de modelos numéricos sobre la dispersión de los agentes contaminantes en la atmósfera.

### **1.3.10. Descripción del Área de Estudio**

#### **Topografía y fisiografía (geomorfología)**

Según Galindo, J. (2012). El área tiene un relieve fisiográfico dendrítico, formado por los lechos sin agua de sus torrenteras, característicos de las formaciones rocosas volcánicas y graníticas.

Las quebradas han acumulado en cotas inferiores (río Seco, quebrada Pucará) material morrénico de granulometría heterométrica, el conjunto integra los aventaderos recortados por las torrenteras recientes,

ocurridas en épocas de lluvias, originando escarpas profundas, que dan relieve superficial irregular, de pendientes suaves a agrestes, van desde 1200 a 3286 msnm.

### **Cuerpos de Agua**

Según Galindo, J. (2012). El río Chillón es el cuerpo de agua que se encuentra en la zona de estudio. Va de Norte a Sur.

Desde la provincia de Canta hasta Pucará y desde allí a 45 km se encuentra la empresa SEDAPAL que trata las aguas que capta del río, para consumo humano.

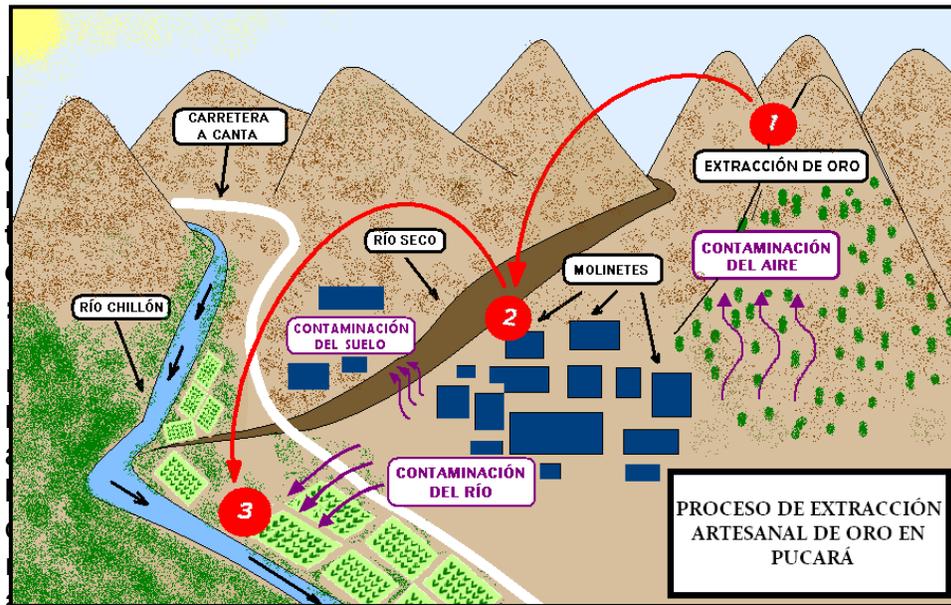
#### **1.3.11. Diagnóstico Proceso de Extracción Artesanal de Oro en Pucará**

Según Caicedo, L. (2012)

- a) La actividad se inicia extrayendo el oro de pequeñas vetas que se encuentran alrededor de las cumbres de los cerros adyacentes a 4 horas de caminata desde Pucará, Los equipos e insumos para la extracción del mineral son puntas y combas utilizándose explosivos (dinamita). Luego de extraído el mineral en sacos lo proceden a bajarlo en burros.
- b) En las faldas de los cerros en el valle del río Chillón en donde se encuentran ubicadas pequeñas empresas que brindan servicio gratuito de proceso de molinete para extraer el oro de las bolsas con material que acarrear los artesanos, estas empresas no cobran con el fin de quedarse el relave sobrante de todo el proceso de quimbalete.
- c) Por último los desechos son eliminados sin control sanitario alguno, entre ellos el uso de mercurio que se volatiliza en el momento de la recuperación de material (contaminación del aire); luego el agua sobrante de proceso de molinete es desechada como si fuera agua

servida y regada por cualquier lugar cercano, debido al calor se evapora rápidamente (contaminación del suelo), luego se infiltra y llega hasta las orillas del Río (contaminación del Río Chillón).

### Proceso de Extracción artesanal de oro en Pucará



ción propia a partir de: Caicedo, L. 2012

**Figura N° 01:** Proceso de Extracción Artesanal de Oro en Pucará

### 1.3.12. Marco Legal

En el año 2014, el Reglamento de Estándares Nacionales de calidad Ambiental para aire, a través de R.M. 041-2014-minam. – Ministerio del Ambiente que tiene como medida establecer el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no represente riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas; así como referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Bajo ese contexto legal, el Ministerio del Ambiente propone que es necesario contar con dos estándares de calidad ambiental del aire para el mercurio, uno de corto plazo (24 horas) y uno anual o de largo plazo, lo que se señalan en la siguiente tabla:

**Tabla Nº 01: Valores de Mercurio (Hg), propuestos como ECA (Microgramos / Metro cúbico ug/m3).**

CONTAMINANTE	PERIODO	FORMA ESTÁNDAR	TÉCNICA DE ANÁLISIS
		VALOR FORMATO	
Mercurio (Hg inorgánico)	Anual	1	Método para PM10 Espectrometría de fluorescencia atómica
Mercurio (Hg inorgánico)	24 horas	2	Método automático para vapores Absorción atónica

**Fuente:** Reglamento de Estándares Nacionales de calidad Ambiental para aire.

#### 1.4. Formulación del Problema

##### 1.4.1. Problema General

¿En cuánto se reduce la cantidad de mercurio en la etapa de calcinación del proceso metalúrgico artesanal optimizando los principales parámetros de operación, Pucará – Canta, 2017?

##### 1.4.2. Problemas Específicos:

- ¿Cuáles son las condiciones de masa óptima de amalgama que provocan una mínima cantidad de mercurio en el proceso metalúrgico artesanal, Pucará – Canta, 2017?
- ¿Cuál es la temperatura óptima para una mínima cantidad de mercurio en el proceso, metalúrgico artesanal, Pucará – Canta, 2017?

## **1.5. Justificación del estudio**

El medio ambiente del poblado de Pucará está siendo contaminado debido a la actividad minera de oro artesanal, así mismo esta se manifiesta en una baja calidad de vida de la población aledaña que es necesario corregir. En la actualidad no existe ningún tipo de diagnóstico de la calidad ambiental del aire, ni propuesta para mitigar la contaminación causa del vapor de Mercurio producido por la actividad minera artesanal de extracción de oro.

Todas las personas que invierten en minería es para obtener beneficios y no les importa emitir mercurio al ambiente, por tanto mientras más oro, más mercurio.

Es por ello que el presente estudio de investigación es importante porque se pretende resolver el problema de emisión de mercurio y mejorando los ingresos económicos de la minería artesanal dedicada a la producción de oro aplicando los parámetros óptimos de operación en la etapa de calcinación. Existe un efecto combinado que relaciona la transferencia de masa y la transferencia de calor en la emisión del mercurio por lo tanto se fijan 2 variables que controlan el proceso que son masa de amalgama y la temperatura de calcinación.

Este método no ha sido aplicado en ninguna actividad minera en el Perú ni en Sudamérica, por lo tanto el reto que envuelve este proyecto será resuelto con la colaboración de la planta de beneficio de Pucará y la Universidad César Vallejo.

## **1.6. Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis General**

**Ho:** La masa óptima y la temperatura óptima del proceso no reduce la cantidad de Mercurio.

**H1:** La masa óptima y la temperatura óptima del proceso reducen la cantidad de Mercurio.

## **1.6.2. Hipótesis Específicas:**

### **Específica 1**

- Ho: No hay masa de amalgama que permite la mínima cantidad de mercurio.
- H1: Existe una masa óptima que permite una mínima cantidad de mercurio.

### **Específica 2**

- Ho: No hay una temperatura óptima que permita una mínima cantidad de mercurio.
- H1: Existe una temperatura óptima que permite una mínima cantidad de mercurio.

## **1.7. Objetivos:**

### **1.7.1. Objetivo General**

Reducir la cantidad de mercurio al aire, en la etapa de calcinación del proceso metalúrgico artesanal optimizando los principales parámetros de operación, Pucará - Canta, 2017.

### **1.7.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la masa óptima para una mínima emisión de mercurio en el proceso de calcinación, 2017.
- Determinar la temperatura óptima para una mínima emisión de mercurio en el proceso calcinación, 2017.

## II. MÉTODO

## **2.1. Diseño de investigación**

### **2.1.1. Por su tipo de estudio**

**Aplicada:** Se realizará la siguiente investigación en función a metodologías y conocimientos anteriores de estudios realizados que permita reducir mercurio en el aire producido por minería artesanal.

**Experimental:** Se van a utilizar equipos actualmente en operación que se irán modificando sus parámetros, para ello se utilizarán datos recogidos en campo, que servirán para evaluar las otras variables establecidas.

### **2.1.2. Por su diseño**

La investigación tiene un diseño experimental que utiliza el método factorial  $2^2$  con 9 muestras que busca minimizar las emisiones de mercurio, basado en cantidades óptimas de masas y temperaturas adecuadas en el proceso de la calcinación.

## **2.2. Variables y operacionalización**

- **Variable Independiente:**

**Optimización de parámetros:**

Es una técnica que se aproxima a través de un método de superficies de respuesta y consiste de técnicas matemáticas y estadísticas para modelar la respuesta de interés influenciada por varias variables y el objetivo es optimizar esta respuesta. Los parámetros a optimizar son la masa de amalgama y la temperatura. **Montgomery, D. (2014).**

- **Variable Dependiente:**

**Reducción de Mercurio:**

La reducción se obtiene numéricamente a través de una razón de medición de sistemas en términos de masa o volumen y resulta comparativa, la masa original de mezclas y la masa final de la mezcla procesada en una razón proporcional indican la eficiencia del proceso de transformación. **Turton. R. (2012)**

**Tabla N° 02:** Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente: Optimización de parámetros	Es una técnica que se aproxima a través de un método de superficies de respuesta y consiste de técnicas matemáticas y estadísticas para modelar la respuesta de interés influenciada por varias variables y el objetivo es optimizar esta respuesta. Los parámetros a optimizar son la masa de amalgama y la temperatura. <b>Montgomery, D. (2014)</b>	La Optimización de parámetros, será desarrollado a través de la identificación de la cantidad de masa de amalgama y la temperatura adecuada que permita la máxima reducción de mercurio.	Parámetros Físicos	-La masa de la amalgama:  -Temperatura de calcinación.	Cuantitativa continua.
Variable dependiente: Reducción de emisión de Hg	La reducción se obtiene numéricamente a través de una razón de medición de sistemas en términos de masa o volumen y resulta comparativa, la masa original de mezclas y la masa final de la mezcla procesada en una razón proporcional indican la eficiencia del proceso de transformación. <b>Turton. R. (2012)</b>	La reducción de emisión de mercurio, se obtiene de un balance de masa, el cual se obtiene de la masa de mercurio en la entrada menos la masa de mercurio recuperada.  Esa masa emitida entre la masa original del mercurio en la amalgama antes de procesar indican la fracción de mercurio emitida.	Balance de masa de mercurio	-Cantidad de Hg alimentado. -Cantidad de mercurio recuperado. -Cantidad de mercurio emitido (obtenido por balance de masa)	Cuantitativa continua.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.3. Población y muestra

### 2.3.1. Población

La población está dada por todas las emisiones de mercurio en la etapa de calcinación de la planta de beneficio en Pucará, distrito de Santa Rosa de Quives, provincia de Canta, departamento de Lima.



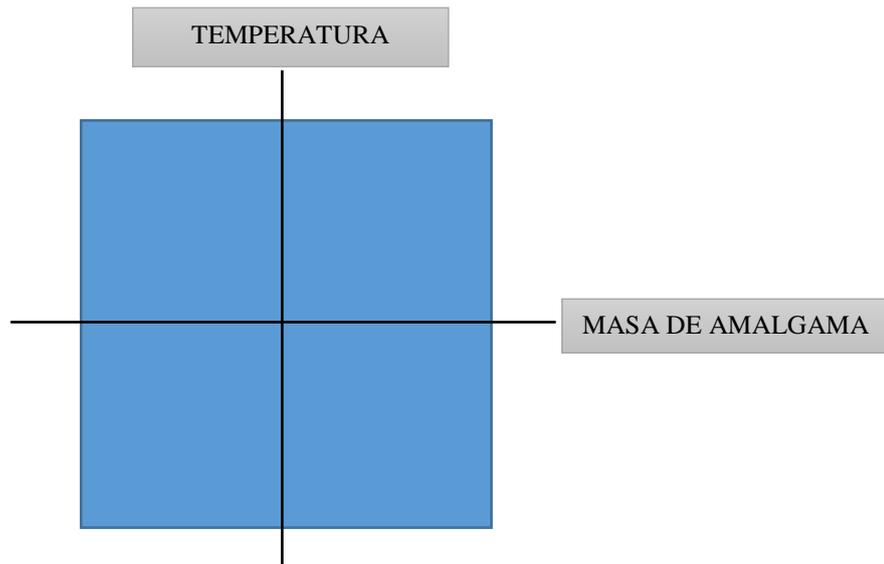
**Fuente:** Elaboración propia, 2017

**Figura N° 02:** Área de Estudio

### 2.3.2. Muestra

La muestra de datos está definida por la técnica de diseño factorial  $2^k$  donde “k” indica los niveles a los cuales se van a evaluar las variables independientes. Los datos se determinan fijando un valor para “k”, preliminarmente “k” va a adoptar un valor igual a 2 de modo que el diseño experimental requiere  $2^2 = 4$  datos como parte de la población.

En este método factorial se requiere 5 datos adicionales con los valores intermedios de las variables independientes lo cual indica que en este método se requiere una población de 9 datos según el siguiente diagrama.



**Fuente: Montgomery, D. (2014).**

**Figura N° 3:** Representando un diseño factorial  $2^k$  con 5 repeticiones en la región central.

En este método se comparan dos valores promedio en valor promedio del centro respecto al valor promedio de los vértices. Si los valores promedio son similares entonces existe una relación lineal entre las variables independientes y la variable dependiente dado por la siguiente ecuación.

$Y = A_0 + A_1 * X_1 + A_2 * X_2 + \text{Error}$	<b>(1)</b>
--	------------

Dónde:

Y: Emisión de mercurio medido experimentalmente; y el lado derecho de la ecuación representa la emisión de mercurio estimado con el modelo.

$A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ , son parámetros del modelo, se estiman usando la herramienta estadística de mínimos cuadrados.

El esquema de distribución de muestra está basado en un diseño factorial que requiere 9 mediciones.

De acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla N°3:** Programación de experimentos

Masa de Amalgama	Temperatura (C°)	% Emisión de mercurio
80 g.	800 C°	Y1
120 g.	1200 C°	Y2
80 g.	800 C°	Y3
120 g.	1200 C°	Y4
100 g.	1000 C°	Y5
100 g.	1000 C°	Y6
100 g.	1000 C°	Y7
100 g.	1000 C°	Y8
100 g.	1000 C°	Y9

**Fuente:** Montgomery (2013)

- **Unidad de análisis:** La emisión de mercurio en el horno.

### **2.3.3. Marco muestral**

La planta de beneficio de oro en Pucará, se dedica a los servicios de obtención de oro, mediante el método de quimbaletes, en donde el proceso de calcinación es la principal fuente de generación de emisiones de mercurio.

### **2.3.4. Muestreo**

El método de muestreo a realizar está basado en el diseño factorial donde las variables independientes adoptan valores a dos niveles (alto y bajo).

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **2.4.1. Técnicas**

La técnica a emplear en la presente investigación es observación directa en vista que los datos se recopilarán directamente en el campo a través del acopio de informaciones de fuente primaria y el análisis de los resultados que permitan confrontar la teoría con la

práctica en la búsqueda de la verdad objetiva. Por ello, la metodología utilizada para la medición se menciona lo siguiente:

**Monitoreo Visual e Identificación de la principal fuente de emisión:**



**Fuente:** Elaboración propia, 2017

**Figura N° 4:** Monitoreo Visual

Se observó mercurio en toda la zona afectada y las personas trabajan sin ningún tipo de protección, la principal fuente de contaminación fue el tubo de escape por donde afloraban todas las emisiones de mercurio, la tubería externa muestra presencia de mercurio (**Figura N°5**), esta es una justificación válida para que se pueda evaluar las emisiones de mercurio buscando reducir estas emisiones al mínimo.



**Figura N°5:** Tubo de escape

**Fuente:** Elaboración propia, 2017

Actualmente como se aprecia en la **figura N°6** el trabajo es puramente artesanal y en esto contribuye la enorme demanda de materiales valiosos como es el oro y, el bajo nivel de educación de los operadores que por búsqueda de un beneficio rápido se exponen peligrosamente a vapores. Hay tanta irresponsabilidad y el riesgo ambiental de contaminación por mercurio es una realidad



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Figura N°6:** Trabajo artesanal

La emisión de mercurio es el resultado de una actividad de un proceso no controlado y requiere de mejores diseños de aparatos compactos de fácil transportación y por control computarizado de modo que la temperatura y la masa debe ser cuidadosamente monitoreada.

- **Recopilación de datos de la zona de estudio:** Se registró toda la información necesaria en la que se encontró la zona de estudio antes del proyecto para el presente estudio de investigación.



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Figura N°7:** Pesado de la masa de amalgama antes de la calcinación.



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Figura N°8:** Toma de temperatura en la etapa de calcinación

- **Determinar la temperatura:** La temperatura se midió utilizando un termómetro medidor de temperatura que tiene una termocupla con una capacidad para medir hasta 2000 C°, de la marca PRECISION. **(Figura N°9)** se caracteriza a través de una descripción cuantitativa.



**Fuente:** Elaboración propia, 2017

**Figura N°9:** Medidor de altas temperaturas

- **Determinar la masa de la amalgama:** La masa de la amalgama se midió usando una balanza que tiene una sensibilidad hasta 0.001 gr. se caracteriza a través de una descripción cuantitativa. El instrumento requerido es el uso de una balanza analítica con medidas de alta precisión de la marca HWA-S cuya capacidad es de  $300 \pm 0.001$  g. **(Figura N°10)**



**Fuente:** Elaboración propia, 2017

**Figura N°10:** Balanza Analítica

- **Se utilizó hojas de custodio para llevar los datos obtenidos.**
- **Análisis de los datos:** Se utilizó método el método gravimétrico, el cual se basa en la conservación de masa.

**Balance De Masa De Mercurio (Alimentado / Emitido):**

Un balance de masa para mercurio en la amalgama y en el mercurio líquido extraído permite determinar la magnitud de mercurio emitido.

**Ecuación N° 1:**

$$\textit{masa de amalgama} - \textit{masa de oro} = \textit{masa de Hg en la amalgama}$$

**Ecuación N°2:**

$$\textit{masa de Hg en la amalgama} - \textit{masa de Hg recuperado} \\ = \textit{masa de Hg emitido}$$

**Métodos de optimización:** Utiliza la comparación de varianzas que ayudan a determinar la validez de los modelos desarrollados basados en resultados experimentales.

- **Se utilizaron herramientas matemáticas y estadísticas:** Para validar los resultados de las mediciones con un 95% de confiabilidad.

**Utilización Del Programa Math Cad:**

La cantidad de experimentos es limitada por el método de superficie de respuesta y son 9 experimentos que permiten manipular dos variables independientes y medir su efecto en una variable dependiente.

**El programa ayudará a desarrollar los cálculos del análisis de varianza usando la prueba de Fisher.**

- **Análisis de las informaciones:** Se usó extensivamente el análisis de varianza para determinar la magnitud de los errores envueltos en la manipulación de los datos.

El análisis de varianza de los datos está basado el método de Fisher para lo cual se requiere obtener el valor crítico en la distribución F. Luego de comparar las varianzas el valor crítico nos ayuda a aceptar o rechazar la hipótesis nula.

Para llegar a estos análisis se elabora la siguiente tabla:

**Tabla N°4:**

EXPERIMENTO	MASA DE AMALGAMA	TEMPERATURA	EMISIÓN DE MERCURIO

La variable dependiente es la emisión de mercurio mientras que las variables independientes son la masa de amalgama expresada en gramos y la temperatura del proceso expresada en grados centígrados.

Los datos reportados en la tabla anterior se usan para obtener un modelo que relacione la variable independiente con las variables independientes.

El método se obtiene usando mínimos cuadrados, que según el diseño experimental factorial requieren de 9 datos.

Y los resultados de la regresión se obtienen usando álgebra de matrices.

**Desarrollo del modelo: Álgebra de matrices.**

El método de mínimos cuadrados es una herramienta que incluye la solución del sistema de ecuaciones para encontrar los parámetros del modelo factorial lineal.

En este método se asume que el error entre el modelo y lo que se mide experimentalmente es mínimo para ello se define  $S_r$  como la suma de los cuadrados de la diferencia entre el valor medido y el valor calculado según la siguiente expresión.

**Ecuación (SR):**

$$S_r = \Sigma(Y_1 - \beta_0 - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2)^2$$

La expresión del  $S_r$  se deriva parcialmente respecto a cada uno de los coeficientes del modelo de regresión. Como en la regresión del modelo lineal reporta tres parámetros desconocidos representados por Beta (B), y por tanto se requiere resolver 3 ecuaciones simultáneas que nos permitan encontrar los mencionados parámetros.

El sistema de ecuaciones se puede resolver usando álgebra de matrices según el esquema mostrado en la parte baja.

- a) Derivación del sistema de ecuaciones
- b) Solución de las ecuaciones:
- c) Valores numéricos de los parámetros.

- **Análisis de las masas de amalgama:** Se llevó a un laboratorio aprobado por INACAL, sólo una de las masas de amalgama para la determinación de mercurio por ICP (**Anexo N° 07**), pero no dio resultados precisos y resultó no válido para cantidades de >100 por tal razón todas las mediciones se hicieron sólo en campo y se utilizó el método gravimétrico.
- Se realizó comparaciones de nuestro resultado con la situación en que se encontró la zona de estudio.

- Eventualmente se llegará a un acuerdo con la compañía para hacer las mejoras de su planta física basado en los resultados de nuestros análisis.

#### **2.4.2. Instrumentos**

Los instrumentos usados en la presente investigación y que se adjuntan en el anexo, son:

- **Ficha de recopilación de datos:** se registra la fuente, se ubica sus coordenadas y se describe cualitativamente el proceso.
- **Ficha para recopilar información de masa y temperatura.**
- **Ficha de análisis de mercurio:** Se registra las mediciones realizados antes y después de la mejora del proceso, y su respectivo análisis respecto a la norma vigente.

#### **2.4.3. Validación y confiabilidad del instrumento**

Los documentos y fichas de registro y medición del contenido serán validados a juicios de expertos y revisado por ingenieros ambientales, químicos y/o expertos en el tema.

**Los expertos que validaron estos instrumentos son:**

- **Mg. Tello Mendivil, Verónica**
- **Mg. Valdiviezo Gonzales, Lorgio**
- **Ing. Felix Antonio Tapia Santana**
- **Ing. Claudia Lorena Manrique Hipólito**
- **Mg. Haydee Suarez Alvites**

**Tabla N° 05:** Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

ETAPA	FUENTE	TECNICAS	INSTRUMENTOS	RESULTADOS
<b>Preparación y trabajos de gabinete</b>	Minería artesanal de pucara	Análisis de datos	Ficha de obtención bibliográfica	Información acerca de la zona de estudio
<b>Recopilación de datos de la zona de estudio</b>	Minería artesanal de pucara	Análisis de datos	Ficha de recopilación de datos	Ubicación geográfica, condiciones socio-económicas y ambientales.
<b>Identificación de la fuente de contaminación</b>	Minería artesanal de pucara	Observación directa	Ficha de Identificación de fuentes	Cantidad de mercurio
<b>Medición de parámetros físicos: Temperatura y masa</b>	Minería artesanal de pucara	Cálculos	Medidor de Temperatura, Balanza Analítica	Temperatura (°C) y masa (g.)
<b>Balance De Masa De Mercurio (Emitido):</b>	Minería artesanal de pucara	Cálculos	Calculadoras	Porcentaje de emisión de mercurio en la fuente (antes y después)
<b>Se utilizaron herramientas matemáticas y estadísticas</b>	Minería artesanal de pucara	Cálculos	Software Math Cad	Ecuaciones, gráficos, matrices
<b>Análisis de resultados</b>	Minería artesanal de pucara	Cálculos	Fórmulas	Información correcta y confiable

Fuente: Elaboración propia.

## 2.5. Métodos de análisis de datos

- El método a utilizar es el balance de Masa para obtener los valores de emisión.
- La información recopilada será procesada usando un software que incluye herramientas matemáticas y estadísticas comercialmente conocido como Mathcad.

- El dato obtenido se realizará de manera documentada y estadística de la medición realizada en el Excel.

## **2.6. Aspectos éticos**

Mantener los datos en reserva, lo cual se tendrá acceso a los procesos y formas de trabajo que ahí se realizan en la minería artesanal, mantener el anonimato del personal que tuvo participación en el trabajo de investigación, así como el compartir el resultado de la investigación.

### **III. RESULTADOS**

## MEDICIÓN DEL MERCURIO EMITIDO ANTES DEL PROYECTO:

Tabla N°6

Masa de Amalgama antes de la calcinación	Temperatura de calcinación °C	Masa de Oro después de calcinación	Masa Hg Original	Masa (Hg) después -Mercurio Recuperado	Hg. Emitido
264.428	1187	87.578	176.85	11.4	165.45

**Fuente:** Elaboración propia, 2017

Los datos con los que principalmente se trabajaba en la planta de beneficio en Pucará.

## METODOS DE ANÁLISIS DE DATOS:

El análisis de los datos experimentales está basado en los datos obtenidos en la siguiente tabla:

N° Exp.	Masa de Amalgama antes de la calcinación	Temperatura de la calcinación °C	Masa de Oro después de calcinación	Masa Hg Original	Masa (Hg) después -Mercurio Recuperado	Hg. Emitido
1	80.747	780	24.765	55.982	3.411	52.571
2	118.289	1005	36.869	81.42	6.117	75.303
3	81.207	794	24.846	56.361	3.895	52.466
4	122.233	1019	37.567	84.67	6.607	78.059
5	105.922	904	32.284	73.638	3.522	70.116
6	103.867	977	31.146	71.924	5.611	67.11
7	100.287	958	30.696	69.591	4.37	65.221
8	101.865	849	31.537	70.328	5.148	65.18
9	102.822	988	31.433	71.389	4.017	67.372

Tabla N°7: Análisis de los datos experimentales

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

## BALANCE DE MASA DE MERCURIO ALIMENTADO/ EMITIDO:

De acuerdo a las ecuaciones del balance de masa:

### Ecuación N° 1:

$$\text{masa de amalgama} - \text{masa de oro} = \text{masa de Hg en la amalgama}$$

**Ecuación N°2:**

$$\text{masa de Hg en la amalgama} - \text{masa de Hg recuperado} \\ = \text{masa de Hg emitido}$$

Ejemplo de cálculo para el proceso en el cual fue **80.747 g.** de amalgama fue procesada a **780 °C** obteniéndose **24.765 g.** De oro.

Sustituyendo los datos en la ecuación 1 se obtiene:

$$\text{Masa de mercurio en la amalgama} = 80.747 \text{ g. de mercurio} - 24.765 \text{ g. de mercurio} = 55.982 \text{ g. de mercurio}$$

$$\text{Masa de mercurio emitido} = 55.982 \text{ g. de mercurio} - 3.411 \text{ g. de mercurio} = 52.571 \text{ g. de mercurio.}$$

Este resultado forma parte del vector “massHg” (Masa de mercurio emitido). Mostrado a continuación:

Esta información con los vectores temperatura T y vector “masamalgama” (Masa de amalgama) se usan para desarrollar el modelo de primer orden del diseño de experimentos factorial y consecutivamente para efectuar el análisis de varianza de la información (**ANOVA**).

En la siguiente figura se muestran resultados numéricos de estos balances en las cuales aparecen diferentes vectores definidos como:

- Masa de amalgama = **massamalgama**

$$\text{masamalgama} = \begin{pmatrix} 80.747 \\ 118.289 \\ 81.207 \\ 122.233 \\ 105.922 \\ 103.867 \\ 100.287 \\ 101.865 \\ 102.822 \end{pmatrix}$$

- Masa de oro recuperada = **massAu.**

$$\text{massAu} := \begin{pmatrix} 24.765 \\ 36.869 \\ 24.846 \\ 37.567 \\ 32.284 \\ 31.146 \\ 30.696 \\ 31.537 \\ 31.433 \end{pmatrix}$$

- Masa de mercurio recuperado = **MasHg**.

$$\text{MasHg} := \begin{pmatrix} 3.411 \\ 6.117 \\ 3.895 \\ 6.607 \\ 3.522 \\ 5.611 \\ 4.37 \\ 5.148 \\ 4.017 \end{pmatrix}$$

- Masa de mercurio emitido = **massHg**.

$$\text{massHg} = \begin{pmatrix} 52.571 \\ 75.303 \\ 52.466 \\ 78.059 \\ 70.116 \\ 67.11 \\ 65.221 \\ 65.18 \\ 67.372 \end{pmatrix}$$

- Temperatura de Calcinación = T

$$T := \begin{pmatrix} 780 \\ 1005 \\ 794 \\ 1019 \\ 904 \\ 977 \\ 958 \\ 849 \\ 988 \end{pmatrix}$$

Todas estas forman parte de la ecuación de balance de masa. Estos vectores se utilizan para demostrar que la emisión de mercurio depende linealmente de la temperatura y la masa de amalgama a través de un modelo de regresión múltiple lineal.

El modelo lineal estará presentado por:

$$y_2(x_1, x_2) := 0.906 + 0.594 \cdot x_1 + 4.923 \times 10^{-3} \cdot x_2$$

### ANÁLISIS DE VARIANZA:

El análisis de varianza de los datos está basado el método de Fisher para lo cual se requiere obtener el valor crítico en la distribución F. Luego de comparar las varianzas el valor crítico nos ayuda a aceptar o rechazar la hipótesis nula.

La variable dependiente es la emisión de mercurio mientras que las variables independientes son la masa de amalgama expresada en gramos y la temperatura del proceso expresada en grados centígrados. Los datos reportados en la tabla anterior se usan para obtener un modelo que relacione la variable independiente con las variables independientes.

x1: = masamalgama

x2: = T

Y:= massHg

N := 9

El método se obtiene usando mínimos cuadrados, que según el diseño experimental factorial requieren de 9 datos.

**X = MEDIA DE TODOS LOS VALORES MEDIDOS**

Cada valor menos la “x” al cuadrado y todo lo sumamos. Esto me dará:

**SST: SUMA DE CUADRADOS PARA LA VARIABILIDAD TOTAL DE LOS DATOS**

$$SST := \sum_{i=0}^8 (Y_i - \text{mean}(Y))^2$$

$$y_2(x_1, x_2) = \begin{pmatrix} 52.71 \\ 76.117 \\ 53.052 \\ 78.529 \\ 68.274 \\ 67.413 \\ 65.193 \\ 65.593 \\ 66.846 \end{pmatrix}$$

$$SST = 616.767$$

Y los resultados de la regresión se obtienen usando álgebra de matrices.

**Desarrollo del modelo: Álgebra de matrices.**

El método de mínimos cuadrados es una herramienta que incluye la solución del sistema de ecuaciones para encontrar los parámetros del modelo factorial lineal.

En este método se asume que el error entre el modelo y lo que se mide experimentalmente es mínimo para ello se define **Sr.** como la suma de los cuadrados de la diferencia entre el valor medido y el valor calculado según la siguiente expresión.

**Ecuación (SR):**

$$Sr = \Sigma(Y_1 - \beta_0 - \beta_1X_1 - \beta_2X_2)^2$$

La expresión del Sr se deriva parcialmente respecto a cada uno de los coeficientes del modelo de regresión. Como en la regresión del modelo lineal reporta tres parámetros desconocidos representados por Beta (B), y por tanto se requiere resolver 3 ecuaciones simultáneas que nos permitan encontrar los mencionados parámetros.

El sistema de ecuaciones se puede resolver usando álgebra de matrices según el esquema mostrado en la parte baja.

**d) Derivación del sistema de ecuaciones**

**Modelo Lineal:**

$$Y = \beta_0 - \beta_1X_1 - \beta_2X_2$$

**Derivamos la ecuación de (SR)**

$$Sr = \Sigma(Y_1 - \beta_0 - \beta_1X_1 - \beta_2X_2)^2$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial \beta_0} = \Sigma(Y_1 - \beta_0 - \beta_1X_1 - \beta_2X_2)^2$$

$$2\Sigma(Y_1 - \beta_0 - \beta_1X_1 - \beta_2X_2)(-1) = 0$$

$$\Sigma(Y_1 - \beta_0 - \beta_1X_1 - \beta_2X_2) = 0$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial \beta_1} = \Sigma(Y_1 - \beta_0 - \beta_1X_1 - \beta_2X_2)^2$$

$$2\Sigma(Y_1 - \beta_0 - \beta_1X_1 - \beta_2X_2)(-X_1) = 0$$

$$\Sigma(Y_1 - \beta_0 - \beta_1X_1 - \beta_2X_2)(-X_1) = 0$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial \beta_2} = \Sigma(Y_1 - \beta_0 - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2)^2$$

$$2\Sigma(Y_1 - \beta_0 - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2)(-X_2) = 0$$

$$\Sigma(Y_1 - \beta_0 - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2)(-X_2) = 0$$

$$\Sigma Y_1 - \sum_{i=1}^9 \beta_0 - \beta_1 \Sigma X_1 - \beta_2 \Sigma X_2 = 0$$

$$\Sigma X_1 Y_1 - \beta_0 \Sigma X_1 - \beta_1 \Sigma X_1^2 - \beta_2 \Sigma X_1 X_2 = 0$$

$$\Sigma X_2 Y_1 - \beta_0 \Sigma X_2 - \beta_1 \Sigma X_1 X_2 - \beta_2 \Sigma X_2^2 = 0$$

**n=9**

$$-n\beta_0 - \beta_1 \sum_{i=1}^n X_1 - \beta_2 \Sigma X_2 = -\Sigma Y_1$$

$$-\beta_0 \Sigma X_1 - \beta_1 \Sigma X_1^2 - \beta_2 \Sigma X_1 X_2 = -\Sigma X_1 Y_1$$

$$-\beta_0 \Sigma X_2 - \beta_1 \Sigma X_1 X_2 - \beta_2 \Sigma X_2^2 = -\Sigma X_2 Y_1$$

$$-n\beta_0 + \beta_1 \Sigma X_1 - \beta_2 \Sigma X_2 = \Sigma Y_1$$

$$-\beta_0 \Sigma X_1 + \beta_1 \Sigma X_1^2 + \beta_2 \Sigma X_1 X_2 = \Sigma X_1 Y_1$$

$$-\beta_0 \Sigma X_2 + \beta_1 \Sigma X_1 X_2 + \beta_2 \Sigma X_2^2 = \Sigma X_2 Y_1$$

$$\begin{bmatrix} n & \Sigma X_1 & \Sigma X_2 \\ \Sigma X_1 & \Sigma X_1^2 & \Sigma X_1 X_2 \\ \Sigma X_2 & \Sigma X_1 X_2 & \Sigma X_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma Y_1 \\ \Sigma X_1 Y_1 \\ \Sigma X_2 Y_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} = [X_1]^{-1} [Y_1]$$

$$[\beta] = [X_1]^{-1} [Y_1]$$

e) Solución de las ecuaciones:

x1: = masamalgama

x2: = T

Y:= massHg

N := 9

$$X1 := \begin{bmatrix} n & \sum_{i=0}^8 x1_i & \sum_{i=0}^8 x2_i \\ \sum_{i=0}^8 x1_i & \sum_{i=0}^8 (x1_i)^2 & \sum_{i=0}^8 (x1_i \cdot x2_i) \\ \sum_{i=0}^8 x2_i & \sum_{i=0}^8 (x1_i \cdot x2_i) & \sum_{i=0}^8 (x2_i)^2 \end{bmatrix} \quad Y1 := \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^8 Y_i \\ \sum_{i=0}^8 (x1_i \cdot Y_i) \\ \sum_{i=0}^8 (x2_i \cdot Y_i) \end{bmatrix}$$

f) Valores numéricos de los parámetros.

$$\beta := X1^{-1} \cdot Y1 \quad \beta = \begin{pmatrix} 0.906 \\ 0.594 \\ 4.923 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$$

$$y2(x1, x2) := 0.906 + 0.594 \cdot x1 + 4.923 \times 10^{-3} \cdot x2$$

**SSreg: SUMA DE CUADRADOS PARA ESTIMAR LA VARIABILIDAD TOTAL DE LA REGRESIÓN.**

**Y2: LO REEMPLAZO EN LA ECUACIÓN ANTERIOR.**

La constante será la misma y remplazo x1: masa y x2: temperatura.

Y eso me va a dar y2 (evaluar el modelo).

$$SS_{reg} := \sum_{i=0}^8 (Y_{2i} - \text{mean}(Y))^2$$

$$SS_{reg} = 597.874$$

$$y_2(x_1, x_2) = \begin{pmatrix} 52.71 \\ 76.117 \\ 53.052 \\ 78.529 \\ 68.274 \\ 67.413 \\ 65.193 \\ 65.593 \\ 66.846 \end{pmatrix}$$

$$Y_2 := \begin{pmatrix} 52.69 \\ 75.851 \\ 53.086 \\ 78.188 \\ 67.953 \\ 67.538 \\ 65.354 \\ 65.143 \\ 67.066 \end{pmatrix}$$

**SSE: SUMA DE CUADRADOS DEBIDO AL ERROR EXPERIMENTAL:**

$$SST - S_{reg} = SSE$$

$$SSE = 18.894$$

$$\frac{SS_{reg}}{m - 1} = 298.937$$

$$\frac{SSE}{n - m} = 3.149$$

**Valor Crítico:**  $qF(1 - 0.05, 2, 6) = 5.143$

**Tabla N° 8** Análisis de varianza factorial

Grados de Libertad, Fuente de Error	Suma de cuadrados	Media de suma	Razón F	CF (1- $\alpha$ , GL1,GI2)
$m-1=3-1=2$ Regresión	SSreg = 597.874	$597.874 / 2 = 299$	$299/3.149 = 94.951$	5.143
$n - m = 6$ Error Experimental	SSE = 18.894	$18.894 / 6 = 3.149$		
$n-1 = 8$	SSt = 616.767			

**Fuente:** Elaboración propia

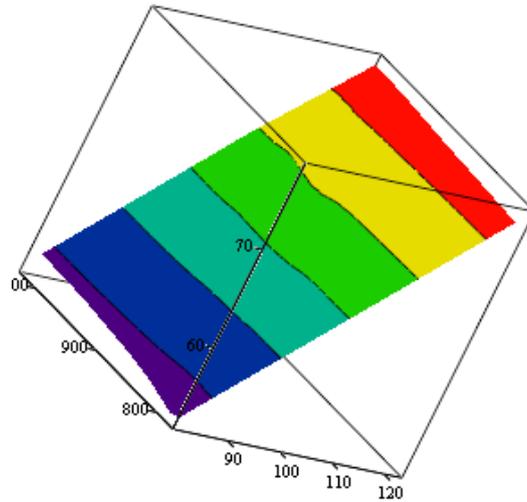
### **Resultado de la Hipótesis General:**

**Ho:** La masa óptima y la temperatura óptima no reduce la emisión de Mercurio.

**H1:** La masa óptima y la temperatura óptima del proceso reducen la emisión de Mercurio.

Basado en el análisis de varianza las emisiones de mercurio dependen de la masa de amalgama y depende de la temperatura para su reducción como la razón f es 94.9 y el valor crítico de f es 5.1 entonces rechazo la hipótesis nula y acepto la hipótesis alternativa.

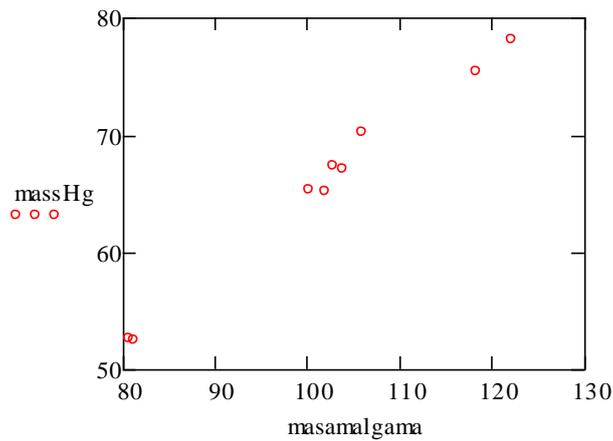
Basado en este análisis estadístico y con los datos reportados en la tabla N°7, las condiciones óptimas de los parámetros para la reducción de mercurio resultan con la masa de 81.07 g. de amalgama y 794 °C como la temperatura óptima.



(x1, x2, Y)

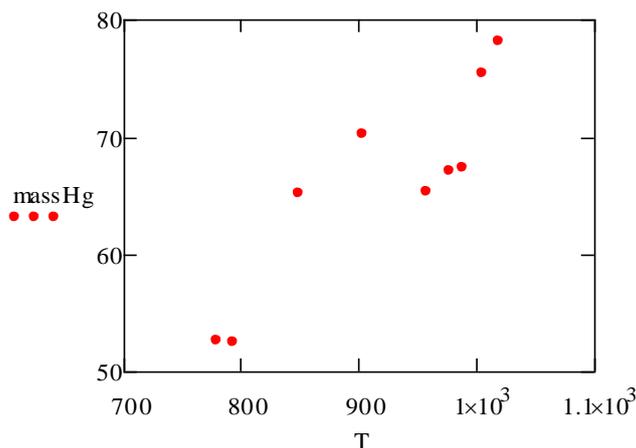
**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Figura N°11:** Regiones de experimentación con intervalos fijos de emisión.



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Figura N°12:** Puntos de más baja emisión respecto a masa de mercurio y amalgama



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Figura N°13:** Puntos de más baja emisión respecto a masa de mercurio y temperatura

De acuerdo al primer cuadro de datos que se encontraron antes del proyecto.

Masa de Amalgama antes de la calcinación (g.)	Temperatura de la calcinación °C	Masa de Oro después de calcinación (g.)	Masa Hg Original	Masa (Hg) después -Mercurio Recuperado	Hg. Emitido
264.428	1187	87.578	176.85	11.4	165.45

Se comparó con el resultado de la mínima emisión que se obtuvo con el procedimiento:

Masa de Amalgama antes de la calcinación (g.)	Temperatura de la calcinación °C	Masa de Oro después de calcinación (g.)	Masa Hg Original	Masa (Hg) después -Mercurio Recuperado	Hg. Emitido
81.207	794	24.846	56.361	3.895	52.466

Y se encontró que esta se disminuyó en una razón 3 con masas diferenciales de 100 gramos.

Se redujo a una tercera parte se podría a cero si el intercambiador tiene una capacidad para condensar todo el mercurio.

#### IV. DISCUSIÓN

Las temperaturas medidas experimentalmente estuvieron en un rango de 780°C y 1019°C. Las emisiones medidas para la temperatura de 800°C. indican valores de 52g. de mercurio en forma de vapor. Las masas procesadas de amalgama estuvieron en un rango de 80g. y 122 g., dentro de este rango las emisiones de mercurio se obtuvieron entre 50 g. y 80 g.. Para cualquier valor de temperatura sobre 800°C, resultan inevitables las emisiones altas de mercurio.

La temperatura de operación es de 800 °C esta temperatura resultó complicada para estabilizarse debido a dos factores:

1. La posición de la antorcha es cercana a la entrada del horno y debido a las altas temperaturas en esta zona resulta complicado regular el flujo de gas a través de su valvula.
2. La demanda de la producción es elevada y por lo tanto necesitan procesar los materiales de forma rápida. Se tuvo que coordinar con los técnicos para realizar los ajustes que permitieron llegar a la temperatura recomendada.
3. El horno no está preparado para fugas de calor obligando a quemar altos flujos de gas para alcanzar las condiciones del proceso por lo que requiere un recubrimiento apropiado. Eventualmente la masa máxima que procesan de 200g. puede tratarse sin dificultad a 800°C. por períodos indefinidos de tiempo si el aislamiento térmico para el oro no permite la pérdida de calor.

## V. CONCLUSIÓN

- a) La emisión más baja emisión de mercurio se midió cuando la masa de mercurio en la amalgama fue de 800 g.
- b) La masa de amalgama no es una limitante para proceso ya que hasta 200 g. de amalgama que es la cantidad máxima de procesamiento puede mantenerse a temperatura constante igual a 800 °C. y obtener la misma calidad de recuperación del metal ORO y con una reducción drástica de la emisión de mercurio.
- c) Las condiciones de trabajo actuales emiten sobre 1.4 veces las emisiones encontradas a 800°C. y consideramos que debido a las altas temperaturas que procesan el material la descarga de mercurio se intensifica debido a que el equipo de recuperación de mercurio líquido no tiene la suficiente capacidad para condensar el mercurio que proviene de la amalgama y la fracción que no es recuperada finalmente se traduce en peligrosa emisión.

## VI. RECOMENDACIONES

- a) Se debe hacer un diseño óptimo del intercambiador de calor para recuperar completamente el mercurio que se encuentra en fase de vapor. El intercambiador instalado tiene muy poca capacidad de absorber calor del mercurio que se encuentra en fase de vapor.
- b) Debe realizarse un estudio a nivel de laboratorio para encontrar el punto de ebullición de mercurio en la mezcla llamada amalgama para evaluar la resistencia que ofrece el oro a la transferencia de masa de mercurio por efectos técnicos.
- c) Se debe buscar una alternativa para utilizar hornos de alta frecuencia que permiten trabajar en atmósferas completamente cerradas y que las bombas instaladas para crear el vacío puedan crear un proceso con 0 emisión de mercurio.
- d) Deberían establecerse normas o reglas de seguridad para estos trabajadores que estén fiscalizados por los dueños de la planta de procesamiento de Oro y que cuenten con los EPPs.  
A pesar de que los costos de monitoreo son prohibitivos en términos de costo el gobierno debe hacer un esfuerzo para evaluar el impacto de descarga de estos elementos metálicos peligrosos en las zonas donde están ubicadas.
- e) Los aparatos convencionales que usan no son apropiados para la separación de oro y mercurio en la descarga de vapores del proceso y acumulado probablemente en las áreas cercanas.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- OLIVERO VERBEL, Jesus, 2010 Efectos De La Minería En Colombia Sobre La Salud Humana. Tesis. Colombia
- DÍAZ TOBAR, Julio César. Diseño de una Estrategia de Intervención Basada en el Desarrollo de Capital Humano para la Minería Artesanal, 2013 Tesis (Grado de magister en Gestión y dirección de empresas). Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Industrial.
- MANZANEDO DURAN, Luis Buezo. La minería artesanal de oro en el Perú vista desde un enfoque organizacional, Tesis. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- IGLESIAS LEON, Silvia y GONZALES TORRES, Mario. Gestión Ambiental De Las Actividades Artesanales De La Minería Aurífera. Caso Poblado Relave.
- Kneese et al (1974). Ecología y Contaminación, Buenos Aires.
- Estudio de investigación de la minería ilegal en el Perú - Repercusiones Para el Sector Minero y el País- Encuentro Empresarial: XXVII Convención Minera (2007); Guillermo medina c. Jorge Arévalo a. Felipe Quea J.
- Estudio sobre la Minería Artesanal Informal e Ilegal en el Perú; Guillermo Medina C.; Jorge Arévalo A. y Felipe Quea J.; Septiembre 2007.
- Estructuración del Diagnostico Situacional de la Minería Artesanal y en Pequeña Escala desarrollada por los Afrocolombianos en los Territorios Colectivos de las Comunidades Negras del Choco Biogeográfico en el Pacifico colombiano, Colombia.

- La Minería Artesanal Desde Una Perspectiva Empresarial Casm - Segunda Reunión General Anual Consorcio Prades – Deminsa; Ing. Francisco Lara m., Ica, setiembre del 2002.
- Ministerio de Energía y Minas (1992). Minería y Medio Ambiente, Perú.
- COSTA Marc. Proceso de tratamiento para la recuperación de oro en el asentamiento minero artesanal de misky, Perú (2006). Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Disponible:  
[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/8C967A94F182447D05257BF90077A177/\\$FILE/20.UTRILLAS.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/8C967A94F182447D05257BF90077A177/$FILE/20.UTRILLAS.pdf)
- CONTRERAS Moreno, Rodolfo y PINZÓN Angel, Juan. Propuesta de manejo integrado del mercurio en el proceso de amalgamacion en vetas y california (departamento de santander, colombia). (2001). Proyecto Rio Surata, Colombia: Jornada Internacional sobre el Impacto Ambiental del Mercurio Utilizado por la Minería Aurífera Artesanal en Iberoamérica
- GALINDO Jesús, HUAPAYA, Francisco. Percepción de problemas de salud ambiental y calidad de vida en el Asentamiento Humano “Santo Toribio de Pucara” (Revista Peruana de epidemiología). (2012).  
**Recuperado de:**  
[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/epidemiologia/v16\\_n1/pdf/a11v16n1.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/epidemiologia/v16_n1/pdf/a11v16n1.pdf)

- Disponible en: [http://www.gama-peru.org/jornada\\_hg/contreras\\_pinzon.pdf](http://www.gama-peru.org/jornada_hg/contreras_pinzon.pdf)

Sociedad peruana de derecho ambiental (SPDA). Carnegie Institute: 250 mil personas están expuestas a contaminación por mercurio debido minería artesanal, 2015. Recuperado de: <http://www.actualidadambiental.pe/?p=29025>

- Organización mundial de la salud (OMS). El mercurio y la salud, 2016.

**Recuperado de:**

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>

- SOR LILIANA CAICEDO GONZÁLEZ, PLANTEAMIENTO DE UNA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA EL PROCESO DE BENEFICIO DE ORO SIN MERCURIO, 2012, Ingeniera de Producción Biotecnológica, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, D.C., Colombia.

**Recuperado de:**

<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11872/1/TECNOLOG%C3%8DA%20M%C3%81S%20LIMPIA%20EN%20EL%20BENEFICIO%20DE%20ORO%20SIN%20MERCURIO.pdf>

- Programa de las naciones unidad para el medio ambiente (PNUMA), El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala. 2008.

**Recuperado de:**

[http://www.ige.org/archivos/IGE/mercurio en la Minería de Au.pdf](http://www.ige.org/archivos/IGE/mercurio%20en%20la%20Mineria%20de%20Au.pdf)

- **PERU SUPPORT GROUP** Minería aurífera artesanal y en pequeña escala en Perú: ¿Una bendición o una condena? (2012).

**Recuperado de:**

<http://www.perusupportgroup.org.uk/files/fckUserFiles/file/Mineria>

[%20Artesanal%20y%20en%20Peque%C3%B1a%20Escala%20e  
n%20Per%C3%BA.pdf](#)

- **UPME** Producción Más Limpia en la minería del oro en Colombia (Mercurio, Cianuro y otras sustancias), 2007.
- **Recuperado de:** [http://www.upme.gov.co/Docs/Mineria\\_limpia.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Mineria_limpia.pdf)

## **ANEXOS**

Anexo 01: Ficha de recopilación de información de masa y temperatura.

 <b>FICHA DE RECOPIACION DE INFORMACIÓN DE MASA Y TEMPERATURA</b>				
N° Experimento	Masa antes de la calcinación (gr.)	Masa de mercurio en el tanque después de calinar (gr.)	Temperatura de calcinación	% de emisión
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

  
 FIRMA DE EXPERTO INFORMANTE  
 LOGGIO VILLOREJO  
 CP 27033

  
 FIRMA DE EXPERTO INFORMANTE  
 VERONICA FALCONI  
 98633

  
 FIRMA DE EXPERTO INFORMANTE  
 Haydee Suarez Alarce

## Anexo 02: Validación de datos recopilados en campo.

### RECOPIACIÓN DE DATOS DE MASA Y TEMPERATURA

N° Experimento	Masa de Amalgama antes de la calcinación (gr.)	Temperatura de la calcinación °C	Masa de Oro después de la calcinación (gr.)	Masa Hg Original	Masa (Hg) después -Mercurio Recuperado	Hg. Emitido
1	80.747	780	24.765	55.982	3.411	52.571
2	118.289	1005	36.869	81.42	6.117	75.303
3	81.207	794	24.846	56.361	3.895	52.466
4	122.233	1019	37.567	84.67	6.607	78.059
5	105.922	904	32.284	73.638	3.522	70.116
6	103.867	977	31.146	71.924	5.611	67.11
7	100.287	958	30.696	69.591	4.37	65.221
8	101.865	849	31.537	70.328	5.148	65.18
9	102.822	988	31.433	71.389	4.017	67.372

#### OBSERVACIÓN:

Los datos registrados en campo fueron tomados según metodologías estandarizadas.

  
 Ing. CIP CLAUDIA LORENA MARRIQUE HIPOLITO  
 Registro 122281 - MATERIALES

  
 FIRMA DE EXPERTO INFORMANTE  
 Ing. CIP FELIX ANTONIO  
 TAPIA SANTANA  
 REGISTRO 65553 - MINAS

### Anexo 03: Ficha de recopilación de datos.

 <b>FICHA DE RECOPIACION DE DATOS</b>		
Responsable de recopilacion de datos:		
Zona de estudio:		
Fecha:		
IDENTIFICACION DE LA ZONA		
Area/proceso	Coordenadas UTM	Temperatura Ambiente
Fuente emisor	Horario de trabajo	N° personas que trabajan
DESCIPCION CUALITATIVA		

  
 FIRMA DE EXPERTO INFORMANTE  
 SERGIO UDI DIVISION  
 CIP 37087

  
 FIRMA DE EXPERTO INFORMANTE  
 VERONICA TEBBEL  
 98863

  
 FIRMA DE EXPERTO INFORMANTE  
 Haydee Suarez Alarces

## Anexo 04: Validación de Instrumentos



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: VERONICA TELLO V.  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE UCV  
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS  
 1.4. Autor(A) de Instrumento: Joselin Rios Camizán

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :**

85 %

Lima, ..... del 2016

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI N° 89413326. Telf. 997.877.712

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Vadino Gonzales Logi
- 1.2. Cargo e institución donde labora: DTI - UCV
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FISHA DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN
- 1.4. Autor(A) de Instrumento: Joselin Rios Camizán

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.									X				
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.									X				
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.									X				
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.									X				
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales									X				
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.									X				
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.									X				
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.									X				
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.									X				
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.									X				

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

80 %
------

Lima, ..... del 2016

  
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 403724 Telf: .....

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: HAYDEE SUÁREZ
- 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE UCV
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN
- 1.4. Autor(A) de Instrumento: Joselina Rios Camizán

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

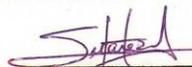
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :**

90 %
------

Lima, ..... del 2016

  
 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 0.70.8814 Telf.: .....

### Anexo 5: Matriz de consistencia

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>Metodología</b>
<p><u>Problema Principal:</u></p> <p><b>¿En cuánto se reduce la cantidad de mercurio en la etapa de calcinación del proceso metalúrgico artesanal optimizando los principales parámetros de operación, Pucará – Canta, 2017?</b></p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Reducir la cantidad de mercurio al aire, en la etapa de calcinación de la minería artesanal optimizando los principales parámetros de operación, Pucará – Canta, 2017.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p><b>Ho:</b> La masa óptima y la temperatura óptima no reduce la cantidad de mercurio.</p> <p><b>H1:</b> La masa óptima y la temperatura óptima del proceso reducen la cantidad de Hg.</p>	<p><b>Variable independiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimización de parámetros</li> </ul>	<p>Parámetros físicos</p>	<p>La masa de la amalgama: Magnitudes: De 0.80 – 1.2 kg</p> <p>Temperatura de calcinación: Rango entre 800 y 1000 °C</p>	<p>Tipo de investigación: aplicativo Diseño de investigación: experimental</p> <p>Diseño factorial 2<sup>2</sup> con 9 muestras</p>
<p>Problema específico 1</p> <p><b>¿Cuáles son las condiciones de masa de amalgama que provocan la mínima cantidad en el proceso, 2017?</b></p>	<p><b>Objetivo específico 1</b></p> <p>Determinar la masa óptima para una mínima cantidad de mercurio en el proceso calcinación, 2017.</p>	<p><b>Hipótesis específica1</b></p> <p>Ho: No hay masa de amalgama que permite la más baja cantidad de mercurio.</p> <p>H1: Existe una masa de amalgama que permite la más baja cantidad de mercurio.</p>	<p><b>Variable dependiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de mercurio</li> </ul>	<p>Balance de masa de mercurio.</p>	<p>Cantidad de Hg alimentado. Cantidad de mercurio recuperado. Cantidad de mercurio emitido. (Obtenido por balance de masa).</p>	
<p>Problema específico 2</p> <p><b>¿Cuál es la temperatura óptima para una mínima cantidad de mercurio en el proceso, 2017?</b></p>	<p><b>Objetivo específico 2</b></p> <p>Determinar la temperatura óptima para una mínima cantidad de mercurio en el proceso calcinación, 2017</p>	<p><b>Hipótesis específico 2</b></p> <p>Ho: No hay una temperatura óptima que permita una mínima cantidad de mercurio.</p> <p>H1: Existe una temperatura óptima que permita una mínima cantidad de mercurio.</p>				

## Anexo 06: Preparación del equipo de seguridad

Para el procedimiento de muestreo se utilizarán equipos de seguridad y accesorios para instalar o utilizar y poder extraer del horno los sólidos antes y después de la calcinación en términos de mercurio y la temperatura de calcinación.



Fuente: Elaboración propia, 2017

**Figura N°10:** Equipo de seguridad

Anexo 07: Informe de ensayo de amalgama de mercurio.

Pag. 1/1



**K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.**  
 Calle Las Filigranas Miraflores 200A, Urb. La VIDA - Chamillo  
 Teléfono: 251-0443 / 251-0443 - EPC: 984237625

**INFORME DE ENSAYO**

**KW 2078 / 2017**

Fecha: 24 / 05 / 2017  
 Cliente: JOSELIN MERCEDES RIOS CAMIZAN  
 Referencia: CQT\_KW 0882 / 2017  
 Material: AMALGAMA DE HG      Orden de Trabajo: KW 0858 / 2017  
 Cantidad de Muestra(s): 01      Cerrados:       Abiertos:

N° LAB	CLIENTE	Al ppm (*)	As ppm	Ba ppm (*)	Be ppm (*)	Bi ppm	Ca ppm (*)	Cd ppm
KW 3137	Muestra #1 13.05.17	35	4	< 0.1	< 0.04	3	98	0.4
		Ce ppm (*)	Co ppm	Cr ppm (*)	Cu ppm	Fe ppm	Ga ppm (*)	Ge ppm (*)
		< 6	< 0.2	< 0.2	17	1065	< 14	< 0.2
		Hg ppm	In ppm (*)	K ppm (*)	Mg ppm (*)	Mn ppm	Mo ppm	Na ppm (*)
		> 100	< 3	< 44	< 0.1	< 0.01	< 0.04	< 19
		Ni ppm	P ppm	Pb ppm	S ppm (*)	Sb ppm (*)	Sc ppm (*)	Se ppm
		3	< 1	1434	1310	5	< 0.1	< 0.2
		Sn ppm (*)	Sr ppm (*)	Te ppm (*)	Tl ppm (*)	Tl ppm (*)	V ppm	W ppm (*)
		< 0.3	< 0.1	< 2	< 0.4	< 1	< 1	< 1
		Zn ppm						
		58						

> (\*) La Digestión no es completa en estos elementos  
 > > significa "Mayor que"  
 > < significa "Menor que"



*[Signature]*  
 K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.

\* Este informe no podrá ser reproducido sin autorización de K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.  
 \* Los resultados solo corresponden a la muestra indicada.  
 \* Los resultados de las muestras se guardan por un periodo de 2 meses.  
 R.U.C. 20510586077



E-mail: kwquimica@speedy.com.pe / kwgermana@gmail.com.pe / ggermana@kw.com.pe  
 www.kwquimica.com

## Anexo 08: Acta de aprobación de originalidad de tesis.

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS</b>	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 07 Fecha : 18-07-2017 Página : 1 de 1
--	--	---

Yo, Carlos Cabrera Carranza, docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Cesar Vallejo, Lima Norte, revisor (a) de la tesis titulada.

“REDUCCIÓN DE MERCURIO EN LA ETAPA DE CALCINACIÓN DEL PROCESO METALÚRGICO ARTESANAL OPTIMIZANDO LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE OPERACIÓN, PUCARÁ – CANTA, 2017”, del estudiante Joselin Mercedes Rios Camizan constato que la investigación tiene un índice de similitud de 24% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscito (a) analizo dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Cesar Vallejo.

Los Olivos, 18 de Julio de 2017



Firma

Dr. Carlos Francisco Cabrera Carranza

DNI: 17402234

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------