



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**IMPLEMENTACIÓN DE UN CONCENTRADOR CENTRÍFUGO
PARA LA RECUPERACIÓN AURÍFERA EN RELAVE DE LA
COOPERATIVA MINERA SANTIAGO DE ANANEA - 2023**

TESIS

PRESENTADA POR:

MAX ALEX VENGOA RAMOS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

**Implementación de un concentrador cent
rífugo para la recuperación aurífera en re
lave de la cooperativa minera Santiago d
e Ananea - 2023**

AUTOR

Max Alex Vengoa Ramos

RECuento DE PALABRAS

20650 Words

RECuento DE CARACTERES

114649 Characters

RECuento DE PÁGINAS

117 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.3MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 18, 2024 8:23 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 18, 2024 8:25 PM GMT-5

● **10% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)


Dr. Anibal Sucari Leon
DOCENTE
E.P. DE INGENIERÍA DE MINAS
UNA - PUNO


DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN
FIM - UNAP
Dr. Americo Arizaca Avalos
Director de la Unidad de Investigación
Facultad de Ingeniería de Minas

Resumen



DEDICATORIA

A nuestro Señor Quyllur Rit'i, por todas las bendiciones otorgadas en el proceso de investigación, brindándome felicidad y salud.

A mi papá, mi mamá y mi hermanito por su gran amor y apoyo incondicional.

Max Alex Vengoa Ramos



AGRADECIMIENTOS

A mi Universidad Nacional del Altiplano y a mi explosiva Facultad de Ingeniería de Minas por mi formación académica, a la Cooperativa Minera Santiago de Ananea por permitir el desarrollo de la presente investigación y formar parte de mi progreso como profesional.

Max Alex Vengoa Ramos



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.2.1 Pregunta general	18
1.2.2 Preguntas específicas.....	19
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.3.1 Objetivo general	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.4.1 Hipótesis general	20
1.4.2 Hipótesis específico.....	20
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	20



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
2.2 MARCO TEÓRICO	24
2.2.1 Grabas auríferas de origen fluvioglaciar	24
2.2.2 Concentradores centrífugos	26
2.2.3 Equipos de concentración por gravedad.....	31
2.2.4 Placeres aluviales	35
2.2.5 Propiedades del oro	36
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	37
2.4 MARCO LEGAL.....	41

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO	42
3.1.1 Ubicación.....	42
3.1.2 Accesibilidad	43
3.1.3 Tipo de yacimiento.....	44
3.1.4 Clima de la zona de estudio.....	45
3.1.5 Antecedentes legales de la zona de estudio.....	46
3.1.6 Descripción actual de la zona de estudio.....	46
3.1.7 Componentes de la zona de estudio.....	48
3.1.7.1 Perfilado de talud y carguío.....	48
3.1.7.2 Disposición del desmonte.....	49
3.1.7.3 Diseño del tajo.....	50
3.1.7.4 Geometría de los bancos en la zona de estudio	50



3.1.7.5	Determinación de la ley de Cutt-Off	51
3.1.8	Componentes metalúrgicos de la zona de estudio	52
3.1.8.1	Chute.....	52
3.1.8.2	Parrilla o clasificador grizzli.....	52
3.1.8.3	Canaletas o slucies.....	53
3.1.8.4	Canaletas con rifle	53
3.1.8.5	Canaletas con alfombras	54
3.1.8.6	Poza de desarenado.....	54
3.1.8.7	Poza de lodos	55
3.1.8.8	Poza de sedimentación	56
3.1.8.9	Poza de clarificación – recirculación.....	56
3.1.8.10	Proceso de amalgamación.....	56
3.1.8.11	Refogado.....	57
3.2	EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS	58
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO.....	60
3.2.1	Población.....	60
3.2.2	Muestra.....	60
3.3	TIPO DE INVESTIGACIÓN	62
3.4	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO	62
3.4.1	Variables independientes (VI).....	62
3.4.2	Variable dependiente (VD)	63
3.5	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN.....	63
3.5.1	Descripción del concentrador centrífugo	63
3.5.2	Expresiones matemáticas influyentes.....	64



3.5.3 Descripción estructural.....	69
3.5.4 Descripción del cono concentrador	69
3.5.5 Descripción del sistema hidráulico en contracorriente.....	70
3.5.6 Especificaciones técnicas del equipo	71
3.5.7 Acondicionamiento en la zona de estudio.....	72
3.5.8 Implementación del concentrador centrífugo.....	72
3.5.9 Recolección de muestra.....	73
3.5.10 Tamizaje de la muestra.....	73

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 VALORACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	74
4.1.1 Parámetros de operación establecidos	75
4.1.2 Análisis de la recuperación por centrifugación	79
4.2 VALORACIÓN DE MUESTRAS PROCESADAS.....	81
4.2.1 Análisis de las fuerzas centrifugas generadas por las muestras procesadas	83
4.3 DISCUSIÓN	84
V. CONCLUSIONES.....	86
VI. RECOMENDACIONES	88
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
ANEXOS.....	93

ÁREA: Ingeniería de Minas

TEMA: Métodos de Extracción de Yacimientos Minerales Metálicos y no Metálicos.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 25 de julio del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Geocalización proyecto minero San Antonio-Maria	42
Tabla 2 Acceso principal U.M. Rio II.....	43
Tabla 3 Calculo fuerza centrífuga con influencia de las 3rpm	67
Tabla 4 Especificaciones técnicas del de concentrador centrífugo.....	71
Tabla 5 Juego de Tamices ASTM-422.....	73
Tabla 6 Resultados proceso de tamizaje hasta la malla N°40.....	74
Tabla 7 Relación presión contracorriente-recuperación	75
Tabla 8 Relación granulometría-recuperación	76
Tabla 9 Relación revoluciones rpm-recuperación	77
Tabla 10 Parámetros operacionales de las pruebas experimentales.....	78
Tabla 11 Resultados	80
Tabla 12 Resultados análisis mineralogico	81



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Flow Sheet</i> equipos Knelson	30
Figura 2 Equipo Falcon C1000	31
Figura 3 Equipo Jig JT5-2	34
Figura 4 Precipitación pluvial	45
Figura 5 Geometría de los bancos	51
Figura 6 Bolas de oro proceso de amalgamación	57
Figura 7 DORE Refogado	58
Figura 8 Granulometrías definidas en equipos concentradores.....	64
Figura 9 Cono concentrador	70
Figura 10 Variación de la presión de agua en contracorriente-recuperación	76
Figura 11 Variación de la granulometría-recuperación.....	77
Figura 12 Variación de las revoluciones-recuperación	78
Figura 13 Densidad de elementos presentes en las muestras analizadas	82
Figura 14 Fuerza centrífuga resultante en relación a la densidad influyente	84



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Resultados de análisis mineralógico.....	94
ANEXO 2 Macrolocalización de la zona de estudio.....	95
ANEXO 3 Ubicación proyecto minero San Antonio-Maria	96
ANEXO 4 Ubicación del punto de procesamiento	97
ANEXO 5 Mapa de riesgos COOMISA plano general.....	98
ANEXO 6 Mapa de riesgos COOMISA área planta de tratamiento	99
ANEXO 7 Mapa de riesgos COOMISA área campamento	100
ANEXO 8 Matriz de consistencia	101
ANEXO 9 Operacionalización de variables independientes.....	102
ANEXO 10 Operacionalización de variable dependiente	103
ANEXO 11 Recuperación aurífera.....	104
ANEXO 12 Recuperación de 0,3gr de un total de 194,71 de preconcentrado.....	104
ANEXO 13 Proceso de tamizaje	105
ANEXO 14 Influencia de minerales densos.....	105
ANEXO 15 Abastecimiento de relave	106
ANEXO 16 Recuperación aurífera con poca presencia de minerales densos	106
ANEXO 17 Canal de recuperación gravimétrica	107
ANEXO 18 Concentrador centrífugo.....	107
ANEXO 19 Proceso de centrifugación	108
ANEXO 20 Cambio de poleas rpm	108
ANEXO 21 Determinación de la presión psi con el manómetro	109
ANEXO 22 Recolección de muestra.....	109
ANEXO 23 Pesado de muestra	110



ANEXO 24 Valores de la balanza.....	110
ANEXO 25 Cono concentrador	111
ANEXO 26 Control de parámetros operacionales	111
ANEXO 27 Tamizado malla N°40.....	112
ANEXO 28 Sistema hidráulico contrapresión	112
ANEXO 29 Componentes del sistema hidráulico.....	113
ANEXO 30 Tolva de acumulación	113
ANEXO 31 Manómetro valor 10 psi	114
ANEXO 32 Contención de muestra procesada	114
ANEXO 33 Implementación de un concentrador centrífugo.....	115
ANEXO 34 Sistema hidráulico del concentrador centrífugo.....	115
ANEXO 35 Declaración jurada de autenticidad de Tesis	116
ANEXO 36 Autorización para el depósito de Tesis.....	117



ACRÓNIMOS

UTM	: Universal Transversal Mercator
PSI	: <i>pound per square inch</i> - libras por pulgada cuadrada
RPM	: revoluciones por minuto
UO	: unidad operativa
MINEM	: Ministerio de Energía y Minería
PPM	: partes por millón
PPB	: partes por billón
ENAMI	: Empresa Nacional de Minería de Chile
NO	: noroeste
NE	: noreste
FCF	: fuerza centrífuga
G's	: aceleración de la gravedad
MD	: descarga manual
HP	: caballos de fuerza
ECA	: estándares de calidad ambiental
LMP	: Límites máximos permisibles
DREM	: Dirección Regional de Energía y Minería
IGAC	: Instrumento de Gestión Ambiental
VI	: variable independiente
VD	: variable dependiente
AASHTO	: sistema unificado de clasificación de Suelos
PVC	: <i>polyvinyl chloride</i> – <i>cloruro de polivinilo</i>
COOMISA	: Cooperativa Minera Santiago de Ananea
ASTMD	: análisis granulométrico por tamizado
NTP	: normas técnicas peruanas
EIA	: estudio de Impacto Ambiental
DGFM	: Dirección General de Formalización Minera
FC	: fuerza centrípeta
ρ	: densidad
DNI	: Documento Nacional de Identidad



RESUMEN

La Cooperativa Minera Santiago de Ananea Unidad Operativa Rio II perteneciente al Proyecto Minero San Antonio-Maria viene teniendo una recuperación del 60 % - 70 % en promedio mediante la recuperación gravimétrica en chutes y canales de rifles, no obstante, las pérdidas auríferas son cuantiosas, en ese entender; se tiene como objetivo principal determinar el porcentaje de recuperación con la implementación de un concentrador centrífugo para la recuperación aurífera en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea, entonces, la metodología aplicada para la presente investigación es cuantitativa, dado que se obtuvo una muestra representativa de 1 419,17 kg de relave por medio de la fórmula de variable cuantitativa para una población finita, se analizaron las muestras para determinar la ley de cabeza mediante la técnica de ensayo a fuego para oro por reconocimiento de absorción atómica dando un valor de 0,515 g/t y se identificó los elementos presentes en las muestra evaluadas mediante el método de ensayo multi-elemental por ICP-OES digestión multi-ácida, la investigación resalta por su carácter experimental; puesto que se identificaron como parámetros operacionales principales la granulometría, presión de agua y revoluciones en el cono concentrador en donde se observó que la influencia de las revoluciones en valores controlados elevan la recuperación. Es así que, se utilizó un concentrador centrífugo y el método de determinación de la recuperación fue por diferencia de leyes, donde se logró procesar 1 419,17 kg de muestra consiguiendo una recuperación: 0,3 gr a un porcentaje del 42 % de acuerdo con los cálculos generados, dando como valores en las variables operacionales de una granulometría en malla N°40 (425 μ m) a 758 revoluciones por minuto inyectando 10 psi de presión de agua en contracorriente para evitar la sedimentación.

Palabras clave: Centrífugo, Densidad, Granulometría, Gravimetría, Relave.



ABSTRACT

The Cooperativa Minera Santiago de Ananea Unidad Operativa Rio II belonging to the San Antonio-Maria Mining Project has been having a recovery of 60 %-70 % on average through gravimetric recovery in chutes and riffle channels, however, the gold losses are substantial, in that understanding; the main objective is to determine the percentage of recovery with the implementation of centrifugal concentrator for gold recovery in tailings of the Cooperativa Minera Santiago de Ananea, then, the methodology applied for the present investigation is quantitative, given that a representative sample of 1 419.17 kg of tailings was obtained by means of the quantitative variable formula for a finite population. The samples were analysed to determine the head grade using the fire assay technique for gold by atomic absorption recognition giving a value of 0.515 g/MT and the elements present in the samples evaluated were identified by means of the multi-elemental assay method by ICP-OES multi-acid digestion, the research stands out for its experimental character, since the main operational parameters identified were the granulometry, water pressure and revolutions in the concentrator cone, where it was observed that the influence of the revolutions in controlled values increased the recovery. Thus, a centrifugal concentrator was used and the method used to determine the recovery was by difference of grades, where 1 419.17 kg of sample were processed, achieving a recovery of 0.3 grams at a percentage of 42 % according to the calculations generated, giving as values in the operational variables a granulometry in mesh No. 40 (425 μ m) at 758 revolutions per minute, injecting 10 psi of water pressure in countercurrent to avoid sedimentation.

Keywords: Centrifugal, Density, Granulometry, Gravimetry, Tailings.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El proceso de recuperación por centrifugación para minerales densos aplicados a depósitos morrénicos, fluvio-glaciares, aluvionales y/o fluviales conlleva un análisis exhaustivo desde los factores principales de gravimetría, granulometría y la influencia directa del peso específico, los cuales difieren en los valores presentados sobre los porcentajes de recuperación puesto que representa un desafío poder asegurar una recuperación total del medio procesado.

El trabajo de investigación se centra principalmente en las pérdidas auríferas generadas en la Unidad Operativa Río II mediante los métodos tradicionales de la recuperación por gravimetría con la ayuda de chutes y canales de rifles, canales de alfombras y canal de empedrados, asegurando una recuperación del 60 % - 70 % manteniendo sus parámetros de operación estables como el control del caudal, correcta maniobrabilidad por parte del operador durante el lavado del mineral en el chute (monitoristas) y la inclinación adecuada de todo el canal para garantizar la recuperación esperada al margen de las pérdidas mecánicas generadas por las malas prácticas ocasionadas por los trabajadores.

Es así, que surge la necesidad de emplear tecnología aplicada a la recuperación de partículas ultrafinas comprendidas entre 1 mm y 0,01 mm, brindando la alternativa de implementar un equipo centrífugo adaptado a la recuperación aurífera en relave, no obstante, se debe tener en cuenta los parámetros operacionales principales como: la granulometría de alimentación al concentrador centrífugo, la revoluciones generadas dentro del cono concentrador y la presión de agua en contracorriente que evita la sedimentación productora de las fuerzas centrífugas dentro del medio procesado.



Las pruebas iniciales de experimentación en base a la variación gradual de los parámetros operacionales brindaron un enfoque preliminar sobre el proceso de recuperación en relave con la implementación de un concentrador centrífugo en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea; puesto que esencialmente la combinación de los parámetros operacionales definen el porcentaje de recuperación, no obstante, la variación excesiva de una de ellas generaba resultados contradictorios con los objetivos de la investigación.

Las características mineralógicas resultantes de los análisis efectuados en un laboratorio certificado de la región de Arequipa, mostraron resultados relevantes ligados al peso específico de los elementos presentes en la muestras procesadas como; el cadmio, cobre, hierro, molibdeno, plomo y entre otros de menor densidad, no obstante, la presencia en partes por millón es mínima, sin embargo, afecta directamente en el proceso de centrifugación puesto que los minerales densos al igual que el oro tienden a sobresaturar los rifles en el cono concentrador.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, la región Puno cuenta con 58 minas legales de extracción de oro en diferentes provincias, sin embargo, son 36 minas de oro las que se encuentran en la provincia de San Antonio de Putina según estadísticas del MINEM cierre de año 2022, la zona de estudio ubicada en el distrito de Ananea se ubica la mina llamada Cooperativa Minera Santiago de Ananea de la Unidad Operativa Rio II perteneciente al proyecto Minero San Antonio-Maria es una de las 36 corporaciones mineras dedicadas a la extracción de oro aplicando la recuperación por gravimetría, no obstante, la recuperación actual se encuentra en un promedio del 60 % originando pérdidas muy sustanciales; en todo el distrito de Ananea que aplican la recuperación aurífera por gravimetría.



El principal problema reside en sus métodos tradicionales de recuperación gravimétrica, los cuales son los canales de riflerías, canal de alfombras y canal de empedrado. El control de las canaletas es bien riguroso; cuidando parámetros operacionales como la presión de agua en los chutes, el ángulo de inclinación del clasificador grizzly, granulometría, control de caudal en las canaletas, llegando a resultados poco favorables adicional a esta problemática se debe mencionar las pérdidas mecánicas presentes en todo proceso de recuperación y las malas prácticas realizadas por operadores, monitoristas durante el proceso de lavado del material en los chutes ya sea por falta de capacitación en los trabajadores o problemas de ergonomía en su puesto de control.

Las características mineralógicas de las muestras procesadas dificultan de igual manera el proceso óptimo de recuperación por gravimetría puesto que satura los rifles de recuperación gravimétrica convirtiendo las canaletas en simples cauces de mineral procesado, el cual no cumple sus propósitos definidos, los elementos con densidad considerable presentes en las muestras analizadas fueron el molibdeno, plomo, cadmio, cobre, níquel y hierro. Por otro lado, se observó en gran proporción partículas de arcilla fina que en ocasiones dificulta el proceso de recuperación, generalmente este problema se originaba por el material removido en el frente de minado producto de la variabilidad de las morrenas en la zona de estudio.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. Pregunta general

¿Cuál es el porcentaje de recuperación aurífera conseguido con la implementación de un concentrador centrífugo en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea - 2023?



1.2.2 Preguntas específicas

¿Cómo influye la variación de los parámetros operacionales en el porcentaje de recuperación aurífera conseguido con la implementación de un concentrador centrífugo en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea?

¿Cómo afecta las características mineralógicas sobre los parámetros operacionales en la implementación de un concentrador centrífugo de relave en la cooperativa minera Santiago de Ananea?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Determinar el porcentaje de recuperación aurífera conseguido en relave con la implementación de un concentrador centrífugo de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea – 2023.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar cómo influye los parámetros operacionales en el porcentaje de recuperación aurífera por medio de la implementación de un concentrador centrífugo aplicado en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea – 2023.

Determinar la incidencia de las características mineralógicas en los parámetros operacionales que afectan el porcentaje de recuperación aurífera con la implementación de un concentrador centrífugo en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea – 2023.



1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Hipótesis general

La determinación del porcentaje de recuperación aurífera conseguido con la implementación de un concentrado centrífugo en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea – 2023 está definido moderadamente; mediante las pruebas experimentales realizadas en la zona de estudio; variando los parámetros operacionales gradualmente.

1.4.2 Hipótesis específico

Los parámetros operacionales en conjunto definen el porcentaje moderado de recuperación aurífera en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea - 2023; puesto que engloba la granulometría, las revoluciones y la presión de agua en contracorriente.

Las características mineralógicas de la zona de estudio afectan directamente el porcentaje de recuperación en la implementación de un concentrador centrífugo aplicado en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea – 2023.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la unidad minera Rio II se realiza minería usando el método de recuperación gravimétrica en chutes y canaletas, para material morrénico con una remoción promedio de 18 000 t mensuales, no obstante, la recuperación actual es del 60 % - 70 % en promedio de acuerdo con el reporte publicado en la página oficial del MINEM en el cual la COOMISA publica y/o comparte la producción mensual. La pérdida sustancial que viene ocurriendo en toda la Región Puno exige una solución enfocada en la recuperación



gravimétrica para granulometrías finas comprendidas en intervalos de 1,0 mm – 0.01 mm acorde con las políticas establecidas de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea y las demandas establecidas del comprador; orientadas a la introducción de tecnologías limpias y la eliminación del uso de reactivos químicos en la obtención del oro ecológico.

De acuerdo con la revisión del plan de minado se observó resultados de muestras representativas del relave correspondiente a la zona de estudio, en el que se especifica la presencia de oro fino resultado de las malas prácticas generadas en la unidad y los caudales excesivos generados por las motobombas vertidos en las canaletas que desplazan el oro fino a las pozas, es así que, analizando los tratamientos convencionales económicamente factibles, proponer una alternativas de recuperación simple con un concentrador centrífugo, aportando en la producción actual de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea y brindando tecnologías limpias en el distrito de Ananea a fin de orientar la extracción y/o recuperación del oro ecológico.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Según, Valderrama (2012) estudiaron la aplicación de recuperación de oro grueso con un concentrador centrífugo Knelson de 3” con muestras que fueron molidas al 100 % malla 200 de la Planta ENAMI, donde se pudo diferenciar claramente con el microscopio electrónico las asociaciones cuarzo-oro y limonita-oro, esto quiere decir que el oro se encuentra incrustado en estas asociaciones lo cual dificulta la recuperación por ciertos aspectos. Según sus ensayos tienen el índice más alto de recuperación que es de 80.9 % pero para llegar a esta cifra los investigadores concluyeron que la granulometría en una malla 200 es la más efectiva lo cual tiene sentido si evaluamos que al ser más fragmentado se libera de mejor manera y que la contrapresión de agua debe ser menor de 20 Kpa resultando obvio puesto que una alta presión de agua expulsaría el oro de manera brusca en partículas finas disminuyendo enormemente la recuperación. Por último, se estableció que el equipo usado por los investigadores es el más eficaz que trabaja bien en la planta ENAMI resaltando sus aspectos como el material del cual está hecho el cono que es “poliuterano” con sus anillos interrifles horizontales, eligiendo el rango en el cual hicieron trabajar su equipo fue de 400 rpm a 1 500 rpm.

De acuerdo a Navarro (2017) investigó la recuperación por concentración gravimétrica aplicando la recuperación por centrifugado concretando que las variables más influyentes de su trabajo es la presión de agua manteniéndose en un margen de 17 236,9 Pa (2,5 psi) a 20 684,3 Pa (3 psi) y una fuerza centrífuga de 200 G’s. Adquiriendo una exponencial extracción aurífera de 35,71 % a 64,53 % lo cual representa una varianza simbólica en la investigación de 28,78 % esto significa cuantiosos ingresos sustanciales



para la empresa y más específicamente al área de producción. En cuanto a los resultados que recolectaron de diferentes muestras, el investigador indica que el oro nativo se encuentra en una pureza según los siguientes márgenes 85 % - 95 % la única presencia que se detecto es la de plata siendo muy común como acompañante en el oro. El oro se muestra liberado según la información recolectada por los laboratorios certificados del investigador, en un grandor de 0,01 mm lo cual resulta fácil para la concentración gravimétrica no obstante la tecnología que se aplica en este trabajo es de los concentradores centrífugos acorde a nuestros tiempos futurista.

Conforme a Huarecallo (2019) indica que el concentrador centrífugo Falcon es el equipo más manejable y productivo en relación a equipos tradicionales como el Jig. Los parámetros que utiliza para la investigación es el campo centrífugo, espesor de flujo, granulometría, presión de agua en contracorriente y densidad de la pulpa. La muestra original fue de 2 097 kg con el cual el investigador logro conseguir una extracción de recuperación del oro de un 35 % a 53,91 % logrando ampliar hasta en un 15 %. En conclusión, el investigador cataloga resultados para cada equipo utilizado en las pruebas experimentales designando de 52,84 % Falcon 53 %, y 91 % piloto, cada porcentaje representa la obtención aurífera final de cada equipo y teniendo como comentario final por parte del investigador que la utilización de recuperación aurífera por centrifugación evita uso de sustancias nocivas para el entorno donde coexistimos, ayudamos y promovemos una cultura de prevención a las futuras generaciones de investigadores.

El investigador Ccari (2022) indica la baja recuperación de oro comparado con otros años detectando un problema con un concentrador por centrifugación Falcon SB2500 con una recuperación de 37 %, posterior a la identificación según la investigación se analizó, canalizó y optimizo 3 parámetros como los intervalos de recolección, caudal y fuerza centrífuga; como resultado se determinó que el tiempo de recolección óptimo es



de 15 minutos, la cantidad de ingreso de agua $21 \text{ m}^3/\text{h}$ y la frecuencia para generar fuerza centrífuga es 47 Hz. Entonces el tesista llega a la conclusión que la recuperación de oro se mantiene entre 37 % y 42 % optimizando porcentualmente un 5 %, la capacidad productiva y corrigiendo únicamente los parámetros operacionales.

De acuerdo con Vega & Taboada (2018) La siguiente investigación indica que en la región Libertad provincia de Pallasca tiene un problema de “Preg Robbing” por tal motivo se aplica la concentración por centrifugación identificando factores como granulometría de aplicación, fuerza centrífuga, presión de agua, caudal de pulpa, ratio y porcentaje de sólidos. Recabando toda referencia posible llevo a los investigadores a la deducción de que una dimensión de partícula de $75 \mu\text{m}$ ayuda a una óptima recuperación, sin embargo se debe cumplir requisitos como mínimo una aceleración de 145 G's para conseguir una recuperación de 66,15 %, agua suministrado a un presión constante de 13 psi y si a todo lo anterior mencionado se le añade un 15 % de solidos la obtención aurífera elemental le resultado al investigador 66,73 % concluyendo en de tener mayor énfasis en los parámetros principales.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Grabas auríferas de origen fluvio-glaciar

Los depósitos fluvio-glaciares se encuentra el origen en 2 depósitos constituidos mayormente por fragmentos del Paleozoico Inferior y aquellos con mucha influencia de las formaciones del Paleozoico Superior (morrena sur). Sin embargo, en la zona del valle hacia la mina Cecilia a 30 km al NW de Ananea y al sur de los nevados Aricoma, donde extiende importantes afloramientos del paleozoico superior muestras de morrenas con interesantes valores de oro. Los depósitos fluvio-glaciar en que se realizan todos los trabajos por oro muestra un



color pardo claro, en general son heterométricos y existe un incidente acomodamiento de los fragmentos, aunque hay veces tienes una clara estratificación en caras delgadas donde los clastos mayores de 8 cm. Sus principales elementos son clastos en general subangulosos y aplanados de pizarras, cuarcitas, esquistos y en menor medida, hornfels, cuarzo ahumado e intrusivos y están cementados por abundantes material arenoso y barroso (Limo, arcillas) que en algunos casos es bastante ferruginoso con un tono rojizo y muy rara vez tiene un aspecto plomo azulado (lagunas de Pacharúa y Saracucho). Se debe mencionar que el material morrénico no es muy compacto y que hay veces es mucho más barroso (zona esta morrena Anccocala y parte media hacia el NE de la morrena San Antonio). También en el área de Anccocala los fragmentos de intrusivos alterados se restringen hacia el cerro Laka aumentan y al igual que los esquistos, más al este. No obstante, las morrenas Sur se verifican indicios de estratificación mayor, están conformadas principalmente por clastos pequeños de calizas, lutitas violáceas y areniscas cementadas por un material barroso de un característico color rosáceo blanquecino. Las capas en general son delgadas (de 5 a 10 cm), con clastos mayores de 8 cm se presentan en poca cantidad. En términos más generales se presenta como disgregables que las anteriores. Los resultados obtenidos de los estudios mineralógicos efectuados se muestra la presencia de oro y en menor proporción casiterita y wolframita, sobre todo en Anccocala como minerales de interés económico minerales como: ilmenita, magnetita, rutilo, galena, plata, silicatos (cuarzo, feldespatos, micas, granates, zircón, turmalina, etc. El oro se presenta de manera constante de color amarillo claro se evidencia en toda la secuencia como polvo o chispas que los mineros artesanales o pequeños productores mineros tienen dificultades en su proceso de recuperación



gravimétrica, su granulometría es indefinida y se presenta caso como oro laminado y sub-angulosas que alcanzan un tamaño hasta 5 mm. Se pudo encontrar una pepa similar a un grano de haba (15 mm x 7 mm x 5 mm) indefinida y achata en los extremos, con visibles fricciones y escriaciones; provenientes de Pampa Blanca parte sur con un peso general de 12 gr. En el preconcentrado posterior a la eliminación de impurezas con la aplicación de caudales controlados de agua se ha observado pocos fragmentos de casiterita hasta de 5 mm en el área de Anccocala con una apariencia similar a castaño oscuro y una presencia de aspecto craso, mientras que la wolframita se presenta en granos con una particularidad de finos negruzcos y en cantidades muy mínimas. La mayor parte de las arenas negras parecen ser de ilmenita o magnetita (Baca, 1971).

2.2.2 Concentradores centrífugos

Los métodos gravimétricos automatizados de equipos dirigidos a la materia aurífera se relacionan en los últimos 20 años con equipos centrífugos en su desarrollo e implementación. El proceso se realiza netamente en un medio acuoso con una sección cónica que gira a una velocidad constante en el cual se encuentra ranuras donde se concentras las partículas pesadas de material enriquecido, cuidando aspectos como contenidos de sólidos de 10 % a 50 % en volumen y alimentando un lecho de fluidización de agua para la separación de partículas a través de las ranuras mencionadas. Las marcas más conocidas a nivel mundial son el aparato ZAO-ITOMAK (Novosibirsk) Rusia, ZAO Polymetal, Knelson y Falcón (Canadá), Orokon (Australia), la particularidad de todos estos equipos con excepción de ITOMAK se realiza la descarga por la parte inferior de la sección cónica del equipo facilitando la obtención del mineral enriquecido. El eje de rotación horizontal genera en la partícula una velocidad angular que guarda



relación con la frecuencia de rotación del cono concentrado lo que contribuye a la sección de retención de partículas densas. Las fuerzas accionantes en el proceso de fluidizado y de enriquecimiento centrífugo son las siguientes:

$$F_{fc} = \rho_t \omega^2 V_{tr}$$

$$F_c = \rho \omega^2 V_{tr}$$

$$F_{gd} = \Psi \rho d^2 v_t^2$$

$$G' = \rho V_t g$$

$$G = \rho_t V_t g$$

Donde:

- F_{fc} – Fuerza centrífuga
- ρ_t – Densidad de sólidos
- Ω – Velocidad de rotación angular del flujo de fluido
- V_t – Volumen de partícula
- r – Radio de rotación
- F_c – Fuerza centrípeta
- ρ – Densidad del líquido
- F_{gd} – Fuerza que actúa sobre la partícula en el flujo
- Ψ – Coeficiente de resistencia
- d – Diámetro de partícula
- v_t – Velocidad de la partícula en relación con el fluido
- G' - Fuerza de Arquimides
- g – Aceleración de la caída libre
- G - Gravedad



La marca rusa de la generación ITOMAK va difundiendo la gran eficiencia en la recuperación de oro fino y oro volador, los artículos publicados donde se analiza la separación de productos auríferos con aplicación de concentradores centrífugos con la ayuda de métodos numéricos en los áreas de flujos multifásicos y lograr la optimización significativa de procesos centrífugos enriquecidos (Afanasenko, 2023).

Por otro lado, en la generación de equipos Knelson tiene particularidad de un cono perforado con anillos (rifles) donde se cuida minuciosamente la pulpa en un rango de 20 % - 40 %, el proceso consiste en la caída del material a la base del cono y con ayuda de la fuerza centrípeta es expulsada a las paredes del cono donde se genera el lecho fluidizado reteniendo partículas densas y expulsando partículas livianas. Un aspecto a considerar es la fuerza centrífuga en relación con el diámetro de los anillos mayor radio del cono mayor fuerza centrífuga el cual ayuda a la recuperación de finos, sin embargo, se debe prevenir el problema de la compactación en los anillos mediante inyección de agua en una camisa de fluidización desde la base del cono concentrados en un promedio de 8 – 10 psi, los parámetros operacionales propias de la marca knelson son porcentaje de sólidos, presión de agua y granulometría (Pavez, 2014).

Las patentes de knelson a lo largo de su historia viene variando en lo que respecta a su cono concentrador pasando por diferentes modelos hidrodinámicos, la diferencia propiamente involucraba mayor capacidad de tonelajes para abastecer grandes cantidades de mineral fluvio-glaciar, iniciando así la serie de modelos en concentradores Knelson:



Serie de descarga manual (MD). – Conocidos como equipos de laboratorio, de fácil transporte y versatilidad aplicable para muestreos y ejemplos piloto de la tecnología aplicable por los fabricantes.

- KC-MD 3 (50 kg/h; 1/6 HP)
- KC-MD 7.5 (1 000 Kg/h; ¾ HP)

Serie de descarga central (CD). – Esta serie compone de equipos iniciales de los fabricantes, dirigido a concentración primaria y pruebas experimentales piloto, con algunas particularidades debido a su capacidad de tonelaje el cual en lugares con seguridad y poca depreciación de los equipos era aplicado en zonas de operaciones aluviales los modelos disponibles son:

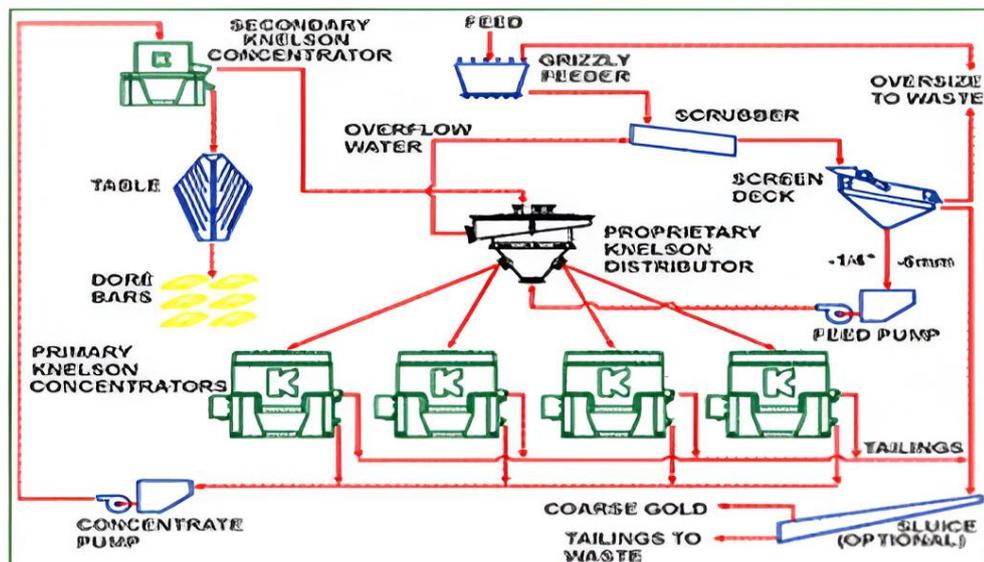
- KC-CD 10 MS (2,5 ton/h; 1,5 HP)
- KC-CD 12 MS (6 ton/h; 2 HP)
- KC-CD 20 MS (25 ton/h; 7,5 HP)
- KC-CD 30 MS (60 ton/h; 15HP)

Serie de servicio pesado (XD). – Es la serie más compacta y solida de la gama en Knelson, las exigencias a las que son sometidas satisfacen las expectativas de los adquirientes. En su inicio de 1997 demostró resultados eficientes de acuerdo con el Flow sheet que se estableció tal como se ven en la figura 1, en condiciones difíciles de operación por su mayor capacidad puesto que se abastece mayor volumen de material fluvioglaciario. La aplicación de recuperación en relave muestra un igual resulta en ambiente con condiciones de acidez y sobre todo para operaciones aluviales.

- KC-XD20 (25 ton/h; 7,5 HP)
- KC-XD30 (60 ton/h; 15 HP)

Figura 1

Flow Sheet equipos Knelson



Nota. Adaptado de *Flow sheet equipos Knelson*, de (Días, 2012)

Otro modelo reconocido en el mercado de los concentradores centrífugos es el Falcon SB2500 con una diferencia notable en la aceleración de las partículas que son sometidas a una fuerza de gravedad de 200 g o 300 g superando la centrifugación de la serie Knelson en 5 veces. La operación se rige por ser discontinuos al realizar su descarga 30 seg después que se paraliza la operación por medio de conductos localizados en la parte inferior del rotor a través de una ranura accionada como camino. Sin embargo, en Falcon serie C se caracteriza por operaciones continuas, sin agua de fluidización y una recuperación mayor al 40 %, su campo de aplicación es extensa al generar un proceso adicional para tratar el oro fino, sulfuros de relaves de flotación, hierro fino, relaves de oro, relaves de plata, minerales pesados y para eliminación de partículas livianas no deseadas. pero, a la fuerza de gravedad que es sometido las partículas en el modelo Falcon serie C es de 300 G's y al ser un modelo continuo no necesita de descargas en intervalos de tiempo como en el modelo C1000 que se observa en la figura 2,

además de no trabajar con agua puesto que el relave se elimina por la parte superior, los modelos más representativos en la marca Falcon serie C con tonelaje entre 10 Hp y 100 Hp (Pavez, 2014).

- Falcon C400 (1 – 4,5 ton/h; 10HP)
- Falcon C1000 (5 – 27 ton/h; 20HP)
- Falcon C2000 (20-60 ton/h; 40 HP)
- Falcon C4000 (45-100 ton/h; 100HP)

Figura 2

Equipo Falcon C1000



Nota. Adaptado de *Equipo Falcon C1000*, de (Palomino, 2008)

2.2.3 Equipos de concentración por gravedad

La aplicación de la fuerza gravitacional es utilizada en la minería con resultados óptimos, en métodos de recuperación en diferentes medios, es por ello



que nace unos de los métodos de remoción de partículas por diferencia de pesos específicos en base a las fuerzas accionantes que se ejercen sobre ella, es el método más sencillo y económico de los métodos de concentración. La dimensión de las partículas en relación con la gravedad guarda una relación de fuerza por interacción de las fuerzas hidráulicas y de viscosidad, es decir que las partículas finas generan un decrecimiento en la separación por gravedad, es por ello que para superar estos problemas se insertó la gama de los concentradores centrífugos dirigido a partículas finas. Se diferencian 2 métodos de concentración gravitacionales los cuales son; Método de concentración en medio denso y Métodos de concentración en corrientes. Muchos equipos efectuaron la separación de minerales inicialmente por gravedad como principio en equipos concentradores y es influyente las partículas ultrafinas que aumenta la densidad de la pulpa y lo que resulta en el grado de separación. Un aspecto a considerar en equipos gravitacionales es el correcto balance de agua dentro del equipo, donde se cuida la densidad óptima de la pulpa, alimentación de agua en el proceso utilizando así la recirculación de agua (Pavez, 2014). Los equipos más representativos para recuperación son:

Mesas Vibratorias

Fue en 1985 que se presentó la mesa Wifley como el primer modelo de ejemplo para la mesa vibratoria utilizando de principio la gravedad con el escurrimiento laminar y movimiento acelerados asimétricos. El mecanismo que resalta en las mesas vibratoria son los rifles en la región lisa, el revestimiento en la mesa vibratoria son de materiales impermeables los más representativos son la fibra de vidrio, linóleo, uretano, goma sintética, metano impregnado de zircón y goma natural. El uso de las mesas vibratorias tiene ya una trayectoria de 20 años



esparcido en zonas mineras, no obstante, tiene una limitante en su volumen de procesamiento de menos de 2 ton/h, direccionado así su operación a depósitos de aluviones. La pulpa debe tener un porcentaje de sólidos suficientemente bajo para la estratificación y dilatación de la influencia de los rifles, el orden de la pulpa máxima es en 25% para arenas y 31% para partículas finas.

Espirales

Fue presentado en 1945, es un canal helicoidal de forma cilíndrica con una particular sección transversal. En la zona exterior superior donde se recibe la alimentación de la pulpa en forma de caja se escurre toda la pulpa para el proceso de remoción, por cada vuelta de espiral existe aberturas para la retención de partículas densas provistas de aberturas especiales con el objetivo de direccionar para su separación deseada y en la zona exterior inferior se dispone de un envase para la acumulación de partículas livianas. El principio con el cual funciona la espiral consta de la combinación de dos procesos de escurrimiento laminar y acción particular centrífuga por turbulencias. Las partículas una vez que comienza a escurrir por la sección espiral inmediatamente por aspectos de su tamaño, forma y densidades se deposita en una fina capa de fluido que se adhiere a la superficie de contacto que varía según sea el material de la superficie como madera, poliuretano, fibra de vidrio o goma. Se distingue 2 minerales predominantes como gruesos con la distinción de ser pesados y minerales pequeños pero livianos (Pávez, 2014).

Jigs

Es un equipo de minería que trabaja por medio de la concentración gravimétrica direccionada a minerales pesados de minas auríferas. Trabaja de

acuerdo al peso específico por pulsaciones de líquidos en diferentes medios gracias a las corrientes verticales el cual es el método de concentración mediante la sedimentación libre y la sedimentación por medio obstaculizado. La finalidad de las pulsaciones es que los minerales de partículas grandes caigan primero y se queden en las perforaciones de menor tamaño. Las partículas finas siguen el trayecto de intersticios de partículas grandes, la aplicación de los Jigs va especialmente a minas que realicen el proceso de la molienda primaria recuperando así oro grueso y laminar además también es usado en la minería aluvial (Avila, 2017).

Figura 3

Equipo Jig JT5-2



Nota. Adaptado *Equipo Jig JT5*, de (Avila, 2017).

Concentrador cono Reichert

Es un equipo diseñado en Australia como preconcentrador para minerales con una densidad considerable en arenas de playas ricas en algún mineral en particular. El material que recubre gran parte del equipo consta de fibra de vidrio con gomas en zonas de mayor desgaste, los fabricantes indican un diámetro



promedio de 2 m con inclinación de 17° grados con respecto a la horizontal, es esta inclinación por medio de la fricción que produce la retención de los minerales valiosos. Existe el modelo doble que cuenta con un cono superior en la parte externa y 2 conos inferiores sobrepuesto sobre sí con la finalidad de expandir el área de trabajo y lograr una eficiencia mayor utilizando el área adicional, el cono exterior superior recibe la pulpa el cual direcciona a una zona de distribución existente para distribuirlo de manera periférica por toda la zona. Actúa igual que las canaletas con la diferencia que la separación no se realiza en las paredes, el proceso se realiza en la base de los conos generando que las partículas más densas sedimenten con mayor eficacia y se transporte al fondo del film en dirección del centro y las partículas livianas son arrastradas por corrientes que están en un abertura y fluyen a la sección central del tubo, la eficiencia de este proceso es un porcentaje bajo por tal motivo se necesita repetir el proceso varias veces.

2.2.4 Placeres aluviales

Es la acumulación de mineral enriquecido por la acción de ríos, riachuelos y medio fluviales, sin embargo, los contenidos no supera el 0,5 gr/m³ en la gran mayoría de casos de placeres aluviales generando limitaciones en su explotación; ante esta restricción es suprimido por los grandes volúmenes que se extrae de manera sencilla puesto que los costos de explotación son relativamente bajos además de que es posible su extracción en diferentes escalas con una influencia en volúmenes variados (Aristizabal, 1988). Un caso a mencionar de su influencia minera a nivel internacional Colombia reporta que el 80 % de extracción proviene de medios aluviales. Los yacimientos aluviales en la región Puno en su mayoría es igual en placeres diferenciando de zonas con yacimientos primarios a diferencia que los yacimientos con génesis aluvial, el cual se ubica en la vertiente altiplánica



de la Cordillera Oriental como en lechos de ríos de la cuenca Tambopata e Inambari, los yacimientos de gran volumen en la región Puno se encuentra en el Cerro San Antonio de Poto, depresión de Pampa Blanca, morrena de Islapampa de tipo morrena frontal fluvio-glacial y los placeres en el río Pacchani manteniendo un promedio de ley que fluctúan entre 200 – 300 mg Au/m³. La explotación de los yacimiento aluviales se realiza por métodos de canales en terrazas auríferas removidas por barretas, métodos de los cochazos que se realiza en la parte baja de la base del aluvio removido por explosivos, el método de socavoneo extrayendo mediante carretillas que posteriormente se procede a lavar en agua que se encuentra en quebradas, el método de pozos en lechos de río aprovechando los depósitos de agua al generar un lavado de mineral en canaletas metálicas y finalmente el método de “chichiqueo” los cuales se realiza de manera personal en bateas en zonas a consideraciones propias del trabajador (Kuramoto, 2001).

2.2.5 Propiedades del oro

El oro se describe como un metal amarillo blando, dúctil y maleable de proporción escasa en la naturaleza, la dureza que mantiene en la escala de Mohs es de 2,5 a 3 con una densidad promedio de 19,2 g/cm³. Es uno de los metales que se mantiene inalterable frente a agentes atmosféricos como el óxido, agentes meteóricos, no obstante, existe el bromo, mercurio, cloro, agua regia y cianuro que son agentes químicos únicos que modifican químicamente al oro. La estructura que mantiene el oro es la presencia de la plata en algunos ejemplares a nivel mundial como es el caso del oro en California conteniendo entre 10 a 15 % de plata y en algunos casos con un 20 % llamado electro. Su yacimiento presentado en la naturaleza se encuentra diseminado en pequeñas cantidades como en rocas ígneas de tipo silícico, metal nativo que representa la mayor parte, filones



hidrotermales de cuarzo y oro resaltando la particularidad de la unión mecánica con los sulfuros y no una combinación química (Linares, 2012). Los depósitos auríferos se subdivide en 10 depósitos auríferos con características diferentes: los diques auríferos porfiríticos escasamente vetados con un orden de 3 ppb identificado en rocas con pirita y pirrotita con presencia menor a 0,1 ppm, los depósitos de cuerpos carbonatados de 0,005 a 0,1 ppm de oro y plata muy pocos depósitos carbonatados contiene buenas mineralización rentable, depósitos auríferos en silicatos de Ca-Fe-Mg y minerales oxidados presentándose adheridos a los teluros, depósitos veneros de oro-plata en fisuras mineralizadas de cuerpos irregulares presentes en rocas que datan de las eras precámbrico y terciario, depósitos veneros auríferos de venas estratificadas presentes en rocas como la galena, escalerita, calcopirita, depósitos veneros de oro plata zonas silicificadas referidas básicamente a venas de cuarzo vetas y zonas salificas, depósitos diseminados de oro plata en zonas volcánicas como diseminados en lechos volcánicos, depósitos de oro en cuarcitas representando el 50 % de las reservas a nivel mundial con presencia de sulfuros, arseniuros y minerales de uranio conteniendo oro fino menor a las 80 μm , depósitos de placeres aluviales que proporcionan pepas y arenas con contenido aurífero bajo en contenido de plata principalmente con minerales densos de suelita, monacita y cinabrio (Palomino, 2008).

2.3 MARCO CONCEPTUAL

Peso específico en minerales

Es la relación que existe entre la masa y su volumen del mineral (g/c1) originalmente no se ve alterada por la cantidad de sustancia estudiada en cuestión,



de acuerdo con su densidad se catalogan 3 grupos de minerales en base a su peso específico livianos o ligeros menores a $3,0 \text{ g/cm}^3$, medios de entre $3,0$ a $4,0 \text{ g/cm}^3$ y pesados que exceden de $5,0 \text{ g/cm}^3$, para determinar el peso específico del mineral se incluyen pesajes en el aire y en el agua, sin embargo, en la minería se conoce a la gran variedad de minerales de entre $2,5 \text{ g/cm}^3$ y $3,5 \text{ g/cm}^3$ en promedio, no obstante, existe la probabilidad de encontrar otras variedades de minerales puesto que a medida que se profundiza se puede encontrar un sinnúmero de minerales (Rivera, 2011).

Fuerza centrífuga en equipos gravimétricos

Es la fuerza resultante de las oscilaciones generadas en un medio curvo, separando las partículas o materiales del centro expulsando a las cavidades o zonas externas del medio en cuestión, su aplicación es larga y extensa pudiéndose encontrar en la minería como concentradores centrífugos, en la medicina para la precipitación de plasma y separación de glóbulos rojos, en la industria alimentaria para la elaboración de aceite de oliva de una centrífuga horizontal, en fábricas de zumos cítricos, en laboratorios para la separación del uranio 235 del 238 y en la vida cotidiana como lavadoras centrifugas (Hernández, 2017). La fuerza centrífuga se encarga de la separación de partículas mediante la aceleración gravitacional logrando el principal principio necesario para la minería el cual es la sedimentación o suspensión de partículas dependiendo del estudio o ámbito aplicado, comúnmente se describe a la fuerza centrífuga como la masa de la partícula es directamente proporcional a su velocidad tangencial expresada en metros por segundo e inversamente proporcional a su radio de trayectoria (Hernández, 2017).



Concentración gravimétrica

Representa el método más aplicado de manera convencional y más económico por su simplicidad de ejecución, su campo de trabajo engloba un campo extenso de valores donde principalmente es la diferencia de densidad que cumple el proceso en estos casos, cuando es mayor la diferencia de densidades entre la mena los componentes minerales se efectúan la separación con mayor facilidad. El Criterio de concentrabilidad de Taggart representa mediante su ecuación la separación gravimétrica de manera sintetizada, sin embargo, se debe considerar algunos aspectos como el tamaño de las partículas estudiadas para su recuperación puesto que se ven afectadas por la viscosidad y fluidez en relación de su densidad resultando en complicaciones a la hora de recuperar partículas finas cambiando la aplicación de fuerza gravitacional por la fuerza centrífuga (Álvarez, 2010).

Concentración centrífuga

La concentración gravimétrica y la Concentración centrífuga comparten las interacciones que se realiza con la partícula, evidenciando que en el caso de partículas finas se necesita incrementar la fuerza en las oscilaciones (Huina, 2010), la ecuación que describe a la fuerza centrífuga es:

$$F_c = (m - m') \omega^2 R - F_r = m \frac{\partial V_t}{\partial t}$$

Donde:

- F_c = Fuerza centrífuga
- m = Masa de los elementos tamizados
- m' = Masa de los líquidos expulsados



- ω = Velocidad angular
- R = Radio de giro
- Fr = Fuerza de resistencia del fluido
- V_t = Velocidad en ángulo tangencial

Rotor concentrador

Conocido también como tazón perforado de fluidización pertenece a la parte más importante de los concentradores centrífugos con una gran variedad de modelos en equipos Knelson, itomak, falcon, icon, etc. Los modelos más representativos son los conos concnetradores (G1-1976; G5 1998), el tazón perforado de fluidización es en su mayoría de una sección cónica con un rango de 7° - 12° de inclinación e influye excesivamente factores como las rpm, presión de agua, granulometría y porcentaje de pulpa, en algunos modelos de mayor tonelaje de equipo generación Itomak de acuerdo a su volumen de operación varia la sección vertical de los conos concentradores puesto que se puede observar variaciones horizontales en algunos ejemplares (Días, 2012).

Porcentaje de solidos

Se define a la concentración de una granulometría uniforme combinado con el agua adoptando propiedades como la gravedad especifica, peso, volumen, tiempo de sedimentación, densidad y se representa de manera en porcentaje de peso o volúmenes dependiendo sea el objeto de estudio. La densidad que se logra al realizar la mezcla define un aspecto importante en la recuperación gravimétrica, sin embargo, la recuperación de partículas finas depende de la granulometría y el flujo de partícula en el medio de estudio (Santos, 2017).



2.4 MARCO LEGAL

Se menciona normas y leyes vigentes que regulan, fiscalizan, delimitan y prohíben acciones de uso de acuerdo con los recursos hídricos, elemento esencial en minería dedicada a la recuperación por gravimetría.

- Ley 29338 Ley de Recursos Hídricos.
- Decreto Supremo N°010-2010-MINAM, aprueba límites máximos permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas.
- Decreto Supremo N°004-2017-MINAM – aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias.
- Decreto Supremo N°004-2019-MINAM aprueban el plan nacional de aplicación del convenio de Minamata la eliminación de uso del mercurio
- Decreto Supremo N°023-2017-EM modificatoria de reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO

3.1.1 Ubicación

La Cooperativa Minera Santiago de Ananea de la Unidad Operativa Rio II perteneciente al Proyecto Minero San Antonio-Maria con una extensión en promedio de 460 has, está calificado como Pequeño Productor Minero PPM y está ubicado en el departamento de Puno en la provincia de San Antonio de Putina en el distrito de Ananea, en la tabla 1 se detalla los vértices de la zona de estudio.

Tabla 1

Geolocalización proyecto minero San Antonio-Maria

Concesión	Vértices	Este	Norte	Área
San Antonio (Código 13000002Y01)	V-1	441 424,64	8 376 948,35	220 has
	V-2	441 515,17	8 377 943,13	
	V-3	443 703,69	8 377 743,97	
	V-4	443 613,17	8 376 749,20	
María (Código 13000004Y02)	V-1	443 703,70	8 377 743,97	240 has
	V-2	444 897,43	8 377 655,35	
	V-3	444 716,37	8 375 645,78	
	V-4	443 522,64	8 375 754,42	



3.1.2 Accesibilidad

El acceso se muestra en un total 218 Km desde la ciudad de Puno hasta la unidad Operativa Rio II tal como se describe en la tabla 2, con un tiempo aproximado de 3 horas con 35 minutos. El acceso recorre los distritos de Juliaca, desvió Huancané, Huatasani, Putina, Quilca Punco, Ananea y Vizcachani, la zona de estudio posee 2 vías alternas en mal estado los cuales son desvió Cojata y Crucero.

Tabla 2

Acceso principal U.M. Rio II

Tramos	Distancia	Vía	Tiempo
Puno-Juliaca	45 km	Asfaltada	00 H 55 min
Juliaca-Desvió Huancane	45 km	Asfaltada	00 H 50 min
Desvío Huancané – Putina	45 km	Asfaltada	00 H 40 min
Putina – Quilca Punco	25 km	Asfaltada	00 H 20 min
Quilca Punco – Ananea	57 km	Asfaltada - Afirmada	00 H 40 min
Ananea – Zona de Estudio	01 km	Asfaltada y Trocha	00 H 15 min
Total	218 km	-	03 H 35min



3.1.3 Tipo de yacimiento

Es un yacimiento Fluvioglaciario (yacimientos secundarios) que se evidencian claramente en el Arco Aja donde se evidencian clastos dispersos y de distinto tamaño en una matriz limo-arcillosa-arenosa pardo-amarillenta en la caja piso de la formación, oro en forma de charpas (>3mm), con continuación de coloración gris oscura, de alto potencial económico debido a su contenido aurífero pudiendo ser en charpas (>3mm) o de grano fino (<1mm).

Las fuentes primarias de oro detrítico con mineralizaciones precarboníferas cuarcitas, emplazadas en pizarras, y esquistos del paleozoico inferior, con una variación de la ley de oro varían de acuerdo al material y potencias de los estratos. Regionalmente la secuencia estructural más resaltante es la Cordillera Oriental (Carabaya) continuación prolongada de la cordillera real de Bolivia, el control se realiza en las superficies que por su morfología abrupta y variada (hundimientos, levantamientos, fallamientos, plegamientos e intrusiones Pérmico Triásicas). El cual dio como resultado su relieve actual traza una divisora entre la cuenca altiplánica con la llanura amazónica. Adicional a todo esto se observa la presencia de una gran provincia metalogénicas (vetas, yacimientos primarios orogénicos, emplazados en filones y mantos) y yacimientos de origen secundario (Placeres Auríferos) donde se diferencia 3 horizontes de gran importancia, el primer horizonte como la aglomeración de clastos con una presencia visual de coloración gris con un toque arcilloso de propiedades sub angulosos con contenidos auríferos de hasta 0,14 gr Au/m³, el siguiente horizonte se encuentra suprayaciendo a los sedimentos anteriores evidencias un aspecto general en el horizonte de sedimentos gris amarillento con una ley promedio de 0,30 Au/m³ siendo este el valor máximo obtenido, donde el grado de variabilidad

de la potencia es de acuerdo a la dirección de flujo y para finalizar la parte superior del límite se encuentra un conjunto de sedimentos redondeados intercalados con drumlins (barro glaciar) el cual tiene una potencia con intervalo entre 2 m hasta 11 m de elevación resultando en una ley promedio menor a $0,1 \text{ gr Au/m}^3$.

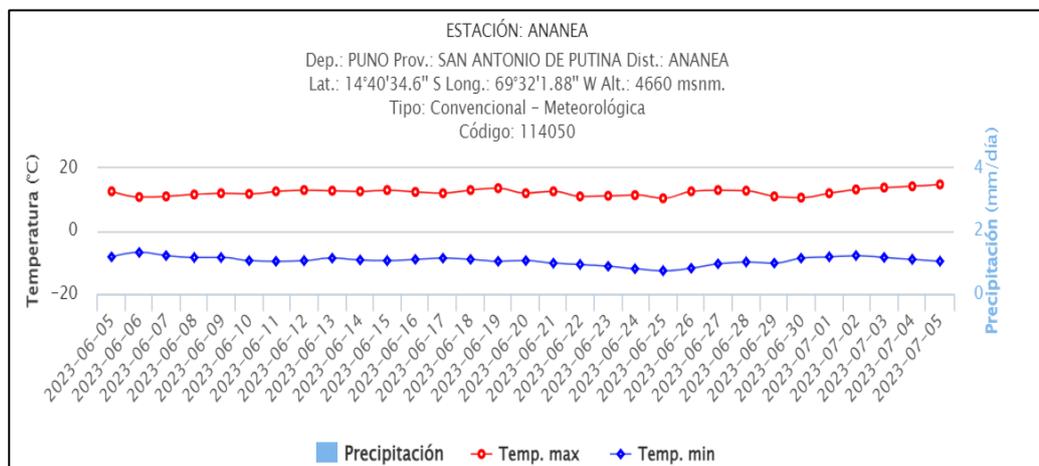
3.1.4 Clima de la zona de estudio

La característica general de la zona donde se desarrolló el proyecto tiene la particularidad de ser una zona frígida y semiseca, con presencia de lluvias precisamente durante la temporada de abril a septiembre y periodo de estiaje que comprende el periodo de mayo a agosto.

Los datos de estación obtenidos corresponden al centro meteorológico se encuentra ubicado en el distrito de Ananea a 4 660 m.s.n.m. con código Ananea (000826) DRE – 13, latitud $14^{\circ}40'34.6''$ y longitud $69^{\circ}32'1.88''$, el cual registra periódicamente los cambios que se presentan en la zona de estudio, se ilustra en la tabla 3 el registro de temperaturas, precipitación y la humedad relativa de la zona de estudio durante la realización del proyecto en la Unidad Operativa Rio II.

Figura 4

Precipitación pluvial



Nota. Adaptado de *Estación meteorológica Ananea*, de SENAMHI, 2023.



3.1.5 Antecedentes legales de la zona de estudio

Mediante Resolución Directoral N°280-2017-GRP-GRDE-DREM-PUNO/D, de fecha 15 de noviembre del 2017, se resuelve otorgar autorización de inicio/reinicio de actividades mineras de explotación al proyecto “Maria y San Antonio”, de los códigos N°13000004Y02 y N°13000004Y01, ubicado en el paraje Vizcachani, del distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, Departamento de Puno. Mediante Resolución Directoral N°309-2019-GRP-GRD-DREM-PUNO/D de fecha 13 de septiembre del 2019, se resuelve rectificar autorización de inicio/reinicio de actividades mineras de explotación y beneficio al proyecto “María y San Antonio” de los códigos N°13000002Y01 y N°13000004Y02, ubicado en el paraje Viscachani, del distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, del departamento de Puno. Por medio de la Resolución Directoral N°031-2014GRP-DREM-PUNO/D de fecha 7 de febrero de 2014, se aprobó de Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo (IGAC) para el derecho mi “San Antonio – Maria” presentado por su apoderado el Sr. Leonardo Huanca Mamani con DNI 02548903 ubicado en el derecho minero San Antonio – Maria con código N°13000002Y01 y N°13000004Y02, el cual recae en el centro poblado de Ananea, provincia de San Antonio de Putina departamento de Puno compuesto por cinco cooperativas (COOMISA, 2023).

3.1.6 Descripción actual de la zona de estudio

En la unidad operativa se realiza la remoción de material del frente de minado con una altura de banco de entre 15 m a 20 m, actualmente se excede el límite de la altura de banco en algunas zonas puesto que se encuentra en proceso de estudio de taludes y accesos a las zonas mineralizadas, la grava de origen



fluvioglaciario se remueve con 1 excavadora CAT 330D2L con capacidad de 2,12 m³ para abastecer 3 volquetes FMX 440 de capacidad 15 m³, 1 volquete por cada chute y 1 volquete de apoyo para acumular material en casos de fallas mecánicas con la excavadora comúnmente llamado “acumulación”. El material transportado llega y se deposita en los denominados “chutes” tolvas de recepción por donde con ayuda de agua a presión descienden y se zarandean en el clasificador Grizzli llegando así a las canaletas continuando el proceso en el canal de riflería, canal de alfombra y canal de empedrado con diferentes distancias según métodos empíricos adoptados por la propia empresa.

La Unidad Operativa principalmente trabaja y recupera el oro por gravimetría de modo que el preconcentrado y concentrado obtenido del canal de riflería el cual se cosecha cada 3 horas durante el día pasa al molino de bolas por un tiempo de 30 min a 45 min, el concentrado de las alfombras que se cosecha una vez al día pasa directamente a la mesa gravimétrica puesto que el concentrado y el contenido aurífero se encuentra en una granulometría de 0,1 mm – 1.0 mm, por otro lado el preconcentrado del canal de empedrado se cosecha una vez al mes siendo este un procedimiento bien antiguo propiamente desde épocas incaicas, teniendo valores de hasta 500 gr a 1 000 gr por cosecha.

La graba gruesa, arenilla y arcilla resultante de todo el procedimiento gravimétrico en la unidad operativa debe tener un lugar donde contenerse, siendo 27,407 % de lama, 37,037 % arenilla y 35,555 % de graba gruesa. El tratamiento que se designa para estos 3 elementos es de distribuir la lama en la poza de lodos, sedimentarlo en la poza de sedimentación eliminando los flujos turbulentos para que descienda las partículas densas luego transportarlo a la poza de secado de lamas. La arenilla pasa por la poza de desarenado y se transporta mediante un



cargador frontal Volvo F1 de capacidad de 5 m³ a un volquete FMX440 a los bancos de arenillas con la finalidad de ser contenidos para en el futuro tener un relavado. La graba gruesa se utiliza para contornear las pozas que necesitan mayor altura.

La recirculación de agua en un circuito cerrado se realiza sedimentando primeramente las partículas densas en la poza de sedimentación más adelante el agua clarificado pasa a las pozas de clarificación por el método de rebalse, una vez en estas pozas se termina de eliminar partículas densas y pasa a las pozas de retorno para su posterior bombeo a los chutes y continuar su ciclo, adicional a este proceso se suma las aguas de lluvias y bombeo de agua de aguas subterráneas contenidos en pozas de contención.

El concentrado del canal de riflería una vez que pasaron por el molino de bolas y amalgamación se traslada a la zona de fundición al igual que el concentrado del canal de alfombras que ya paso por el tratamiento de la mesa gravimétrica pasa a la zona de fundición para eliminar las impurezas. Finalmente pasa por el área de refinación y pesado con los controles de tonelajes removidos en el frente de minado y calculando la recuperación actual en base a la ley mínima explotable de la mina (COOMISA, 2023).

3.1.7 Componentes de la zona de estudio

3.1.7.1 Perfilado de talud y carguío

La operación minera de materiales glaciares auríferos, según el proyecto minero donde se desarrolla la actividad, es en base a condiciones geométricas óptimas y tomando en cuenta las reservas existentes, se selecciona la minería en terrazas descendentes estilo cantera, abriendo



primero la parte más alta generando así la continuidad a la progresión por los costados. para moverse lateralmente y hacia abajo mientras se retira material después de su respectivo acarreo, todo ello a fin de diseñar la banca de mina de acuerdo al comportamiento geomecánico del depósito en cuestión. La altura promedio del frente de minado o banco de explotación es de entre 20 y 30 m.

La excavadora CAT 329 D se utiliza para la remoción del material aurífero con una eficiencia de alto nivel de rendimiento en la unidad operativa siendo este el sistema de excavación y carga más rentable actualmente evaluando los costos que genera por hora de producción, se trata de unidades hidrostáticas y su longitud variará según la serie y modelo de la máquina del equipo en cuestión.

3.1.7.2 Disposición del desmonte

La disposición de desmonte actualmente se realiza con un cargador frontal de la marca Volvo modelo F1 con una capacidad de 4,5 m³ acompañado de 2 volquetes 480 FMX con una capacidad de 15 m³, los cuales tienen la función de desarenar, disponer y perfilar con el material transportado otras pozas que se estén realizando a futuro o en su defecto la ampliación de otras pozas en base a la altura y el talud que este tenga. La disposición que se realiza viene sujeta de 2 alternativas el cual es generar el cierre progresivo de la misma en base a rellenar zona con material ya procesado, no obstante, todo obedece principios como respetar el talud ya establecido para la continuación de pozas aledañas o el control de las mismas para evitar sobresaturación de las mismas.



3.1.7.3 Diseño del tajo

El diseño del tajo, así como del frente de minado fue desarrollado con parámetros y características recopiladas del laboratorio de geomecánica de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Facultad de Ingeniería de Minas, según la revisión del plan de minado la Cooperativa Minera Santiago de Ananea realizó la recopilación de datos como los parámetros técnicos de la zona en cuestión y datos técnicos económicos que maneja la Unidad Operativa.

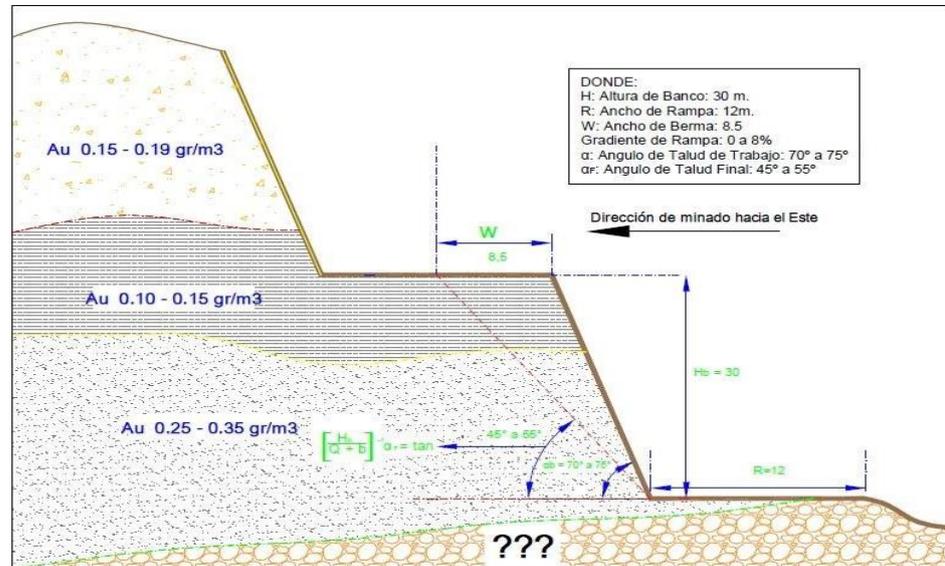
El frente de minado cuenta con una altura de 20 a 30 m aproximadamente con una producción estimada de 600 m³ por día, dando como margen de error del 10 % para la producción por día de la unidad operativa, no obstante, se debe considerar que la ubicación de la excavadora se ubica en una plataforma de carguío con 1,5 m de altura del cual generar el carguío a los volquetes que se encargan del traslado en una distancia de 800 a 1 200 m.

3.1.7.4 Geometría de los bancos en la zona de estudio

La unidad operativa se caracteriza por la elaboración geométrica de los bancos en base a los ensayos de mecánicas de suelos elaborados en el lugar de estudio y analizados en los laboratorio de geomecánica de la Universidad Nacional del Altiplano Puno reflejado en la figura 5, para la clasificación de suelos se establece el método de clasificación SUCS (sistema unificado de clasificación de suelos), clasificación de AASHTO teniendo este sistema para las cinco unidades mineras del proyecto los cuales mantienen las características físicas.

Figura 5

Geometría de los bancos



Nota. Adaptado de *Geometría de bancos*, de la COOMISA, 2023.

3.1.7.5 Determinación de la ley de Cutt-Off

Comprendido como la ley mínima explotable para sobrellevar una rentabilidad estable al límite en la labor en cuestión, sin embargo, influye los precios del metal, los costos de operación y la recuperación que se tiene en la unidad operativa, Por lo general se debe realizar actividad minera en zonas con una explotación eficiente y no padecer pérdidas económicas, el cut-off para la Cooperativa Minera Santiago de Ananea se determinó mediante la siguiente fórmula matemática que utiliza los parámetros mencionados anteriormente el cual se detalla:

$$Cutt - Off = \frac{Co}{PM \times Rm \times P}$$

Donde:

- Co = Costo de operación = 6,90 US \$/m³



- $PM = \text{Precio del metal} = 38,90 \text{ US } \$/\text{gr}$
- $Rm = \text{Recuperación metalúrgica} = 65 \%$
- $P = \text{Pureza del metal} = 92 \%$
- $\text{Ley Cut-off} = 0,22 \text{ gr}/\text{m}^3$, considerando que una onza es 31,1 gr Y que la ley de cabeza es $0.25 \text{ gr}, \text{Au}/\text{m}^3$.

3.1.8 Componentes metalúrgicos de la zona de estudio

3.1.8.1 Chute

La tolva de recepción para mineral morrénico del frente de minado, empíricamente llamado “chute” con un ángulo de inclinación de 14° cumple la función de contener el material tratado para su posterior transporte por las canaletas mediante motobombas centrifugas expulsando agua a 60 psi y un caudal aproximado de 400 litros por minuto, el material morrénico con ayuda del agua descienden del chute, pasan por un clasificador grizzli el cual dirige el preconcentrado a las canaletas situadas debajo del clasificador grizzli consiguiendo una granulometría promedio de $3/8''$. Las dimensiones del chute en la unidad operativa son de $20 \times 10 \times 10$ con una capacidad de 27 m^3 de material morrénico.

3.1.8.2 Parrilla o clasificador grizzli

La parrilla de clasificación en la unidad operativa posee unas dimensiones de $3,50 \text{ m} \times 1,30 \text{ m}$ logrando obtener una granulometría de $3/8''$ la función principal es de eliminar grabas gruesas de gran dimensión y ayudar a la separación de mineral aurífero el cual sigue el trayecto de las canaletas, para su óptima inclinación los clasificadores grizzli debe de



seguir el principio del ángulo mínimo de caída según sea material tratado, es necesario recalcar que si se excede o se reduce el ángulo óptimo tiende a perder sus propiedades de trabajos.

3.1.8.3 Canaletas o slucies

La unidad operativa trabaja netamente por concentración gravimétrica para la obtención del mineral aurífero, lo anterior nos quiere decir que utiliza principalmente la diferencia de pesos específicos a fin de concentrar el mineral más denso y dejar fluir el mineral más liviano. Las canaletas trabajan con rifles que funcionan como compartimientos donde retiene los minerales más densos, las dimensiones de las canaletas es de 80 cm X 240 cm X 20 cm, no obstante, es necesario comentar que dichas canaletas con rifles pasan por un procedimiento de “cosecha” por cada 3 horas de acumulación, de esa manera se evita perdidas mecánicas por exceso de acumulación logrando un concentrado empíricamente eficiente según sea la ley del frente de minado.

Las canaletas son usadas en todo el distrito de Ananea al ser material morrénico esto nos indica que es oro libre acompañado de grabas, grabas gruesa, arcillas y minerales propias de la zona. Teniendo estas especificaciones resulta eficiente la concentración por gravimetría para zonas con material morrénico.

3.1.8.4 Canaletas con rifle

Son estructuras metálicas de 80 cm x 30 cm x 4 cm las láminas metálicas que se encuentran en el centro tienen una inclinación de 65° grados en contra de la fluidización del agua con unos compartimientos



de 4 cm donde se concentra el mineral denso en esencia oro de $19,2 \text{ gr/cm}^3$, en la unidad operativa estos rifles se encuentran a lo largo de 10 m de canaletas con rifles, el concentrado que se retiene en los rifles se cosecha cada 3 horas para luego ser transportado a los molinos de bolas.

3.1.8.5 Canaletas con alfombras

Es una canaleta de 20 m acompañada de alfombras de poliéster con un grosor de 1,5 cm, trabaja en una inclinación de 14° es en donde se retiene mineral aurífero de granulometría más fina menor a 1 mm, la cosecha para la canaleta de alfombra se realiza 1 vez al día y el concentrado obtenido se transporta a la mesa gravimétrica para su posterior separación, la unidad operativa se diferencia y es certificada por Suiza gracias a que en su proceso de obtención del oro no utiliza insumos químicos y se concientiza a toda la región para producir el llamado oro ecológico.

3.1.8.6 Poza de desarenado

Es una poza situada al final del canal de empedrado, la función de la poza de desarenado es la de retener el flujo turbulento de toda la pulpa transportada por el canal. Retiene en su mayoría arenilla de 12,7 mm – 0,083 mm y dejando fluir la arcilla dispersada en el agua, el porcentaje de arenilla en la unidad es 37,037 % y es transportada mediante cargador frontal Volvo F1 de capacidad de 4 m^3 con ayuda de un volquete FMX 440 de capacidad de 12 m^3 a la zona de contención de arenas esto con el fin de evitar colmataciones durante el flujo de las pozas.

Los proyectos a futuro se centran en relavar estas arenillas acumuladas, la razón es que la eficiencia con la que trabaja los canales de



rifles, alfombras y empedrado solo logra un promedio de 50 % a 60 % teniendo así pérdidas considerables, momentáneamente se utiliza estas arenillas para seguir contorneando otras pozas es decir aumentar la altura de pozas que estén en proceso y seguir las ampliaciones de otras pozas de contenciones.

3.1.8.7 Poza de lodos

La sedimentación de lamas en la unidad operativa se realiza eliminando flujos turbulentos de los lodos con la finalidad de estancar de manera temporal y conseguir la sedimentación de las arcillas al ser más denso que el agua, originalmente se realiza 2 tipos de limpiezas periódicas para evitar la colmatación de la poza, primeramente se espera a la sedimentación y posterior a su bombeo mediante bombas de lodos (q´arancho) a pozas de secado de lodos, sin embargo, en algunas ocasiones se evalúa el volumen de lodo contenido y se habilita la compuerta de conexión a otra poza de secado de lodos con el fin de avanzar y agilizar los procesos con ayudas de excavadoras 330D2L dando una limpieza total y poder lograr limpiar en su totalidad.

Las partículas suspendidas con mayor densidad especifican que la del agua ayuda en el proceso de sedimentación siendo una muestra más del uso de la gravedad como medio principal de separación densimétrica, no obstante, se realiza este proceso con ayudas de otra poza para generar lo que se le conoce como circuito cerrado y conseguir la recirculación del agua por las diferentes pozas para su posterior bombeo nuevamente a los chutes y continuar con el proceso gravimétrico.



3.1.8.8 Poza de sedimentación

Es una poza con conexión a la poza de lodos su función en particular es la de contener grandes cantidades de lodos eliminando en su totalidad flujos turbulentos, el material denso se centra en la parte baja y parte del agua se encuentra en la superficie, adicional a esta poza contiene tubos de 8 pulgadas conectadas a las pozas de clarificación, el objetivo de reutilizar el agua superficial libre de sedimentos. Periódicamente se abre una zanja a otras pozas de secado de lodos donde cumple su función final al pasar a la poza de secado de lodos y esperar su completo secado.

3.1.8.9 Poza de clarificación – recirculación

La unidad operativa contiene 2 pozas de clarificación y una poza de recirculación o poza de retorno, la poza de clarificación mediante tubos de 8 pulgadas recibe agua con cantidades mínimas de elementos densos para luego trasladar el agua por rebalse a la poza de recirculación libre de sedimentos y partículas densas. La mención de estas 2 últimas pozas evidencia el circuito cerrado de agua con el que trabaja la unidad operativa utilizando primordialmente la misma agua de todo el proceso, como fuentes adicionales de contención de aguas se aprovecha aguas acumuladas de lluvias y aguas subterráneas.

3.1.8.10 Proceso de amalgamación

Uno de los componentes en el ciclo general de obtención del mineral valioso es la amalgama, procedimiento que consiste en mezclar mercurio con el mineral en cuestión para eliminar residuos, el procedimiento se realiza en los molinos de bolas vertiendo 80 kg de

preconcentrado en promedio más 350 gr de mercurio en un tiempo promedio de 45 min para lograr la separación exitosa de mineral aurífero incrustado en las rocas de tamaño considerable, después del proceso se continua por seleccionar el material fino en bateas de 50 cm de diámetro atrapando en esencia la amalgama de oro y mercurio resultando en bolas de oro de 50 gr a 70 gr, sin embargo, para lograr una mejor recuperación se debe tener en cuenta la acides o alcalinidad con el que se está trabajando en el molino de bolas puesto que a una alcalinidad de 3,5 se logra la máxima recuperación realizada por el mercurio.

Figura 6

Bolas de oro proceso de amalgamación



Nota: Resultado de amalgamación en la COOMISA.

3.1.8.11 Refogado

Es un proceso que consiste en la eliminación del mercurio de la amalgama por medio de aumento en la temperatura utilizando un soplete (gas+oxígeno) en un ambiente metálico cerrado acondicionado con un succionador de gases tóxicos los cuales evacuan los gases por la parte superior del conducto, este proceso se realiza mayormente en crisoles con una resistencia a la temperatura acompañado de borax el cual es

aditamento que elimina impurezas de la amalgama. Durante el proceso se evidencia deficiencias puesto que en las partes externas de la zona de refogado se encuentra residuos de mercurio junto a gotas de lluvia resultando en un problema a solucionar lo más antes posible, terminado este proceso se tiene listo la producción del día.

Figura 7

DORE Refogado



Nota: resultado de la fundición en la COOMISA

3.2 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

Los equipos y materiales que usé para mi investigación fueron:

- Juegos de tamices, se utilizó para realizar la determinación de la granulometría efectiva a determinar durante el proceso de centrifugación; que permitió desarrollar más pruebas para ver el porcentaje de recuperación que se consigue con una granulometría más fina y como esta misma influye en el proceso de centrifugación.
- Guantes de nitrilo, para protección en general.
- Recipiente de un ft^3 , se utilizó para tomar muestras de la poza de desarenado ubicado al final de la cola de empedrado.



- Balanza de precisión OHAUS, se utilizó para pesar la cantidad de material aurífero recuperado con el concentrador centrífugo.
- Baldes de plástico de 25 L, envases en general para almacenar muestras en general y/o muestras ya tamizadas.
- Electrobomba de ½ Hp, se utilizó para inyectar agua en contracorriente al flujo generado por el cono concentrador; evitando la compactación producto de las fuerzas centrifugas aplicadas a las partículas.
- Motor de 2 Hp, se utilizó para conseguir las revoluciones por minuto rpm ideal que necesitaba el medio estudiado.
- Poleas de aluminio, se utilizó para poder variar las revoluciones generadas por el motor de 2 Hp y conseguir la revolución más adecuada en relación directa con el mayor porcentaje de recuperación.
- Termomagnético de 32 amperios, se utilizó para estabilizar el flujo eléctrico con el cual pueda trabajar el motor de 2 Hp y la electrobomba de inyección de agua en contracorriente.
- Traje TYVEK, se utilizó para protección en general.
- Manómetro, se utilizó para medir la presión en psi de la inyección de agua en contracorriente el cual se adaptó con un reductor al sistema hidráulico direccionado específicamente al flujo de agua del equipo de concentración por centrifugación.

Materia prima:

- Relave de la poza de desarenado de la Unidad Operativa Rio II, obteniendo 1 419,17 de muestras representativas de la parte final del canal de empedrado,



inicialmente para realizar pruebas experimentales de determinación de porcentaje de recuperación para posterior realizar la prueba piloto.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

3.2.1 Población

De acuerdo con la conceptualización de (Baptista, 2014), sintetiza a la población como el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones en un entorno establecido como la zona del estudio en concreto.

La población a considerar y delimitar es el relave transportado por las canaletas, provenientes del chute N°01 y chute N°02 en la Cooperativa Minera Santiago de Ananea, con una estimación promedio de 648 t de material morrénico por día, disgregado por presiones de agua a una presión promedio 60 psi, el cual de acuerdo a los análisis de pruebas con ensayo a fuego aplicado al oro por identificación de absorción atómica se presenta contenido aurífero de 0,515 g/t en los relaves de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea.

3.2.2 Muestra

La definición más exacta de la muestra se indica como un subgrupo de la población, teóricamente como un subconjunto de elementos que corresponde a un grupo definido y delimitado en características particulares de la zona de estudio denominada población. La muestra representativa de toda la población se va demostrar utilizando técnicas de muestreo probabilístico donde se pretende hacer estimaciones de variables en la población en general, estas variables se deberán medir y analizar con pruebas estadísticas donde todos los datos agrupados tienen una misma probabilidad de ser elegidos al poseer la particularidad de ser



parecidos, la precisión de dichos estimados dependen del error en el muestreo (Baptista, 2014).

En efecto para establecer el tamaño de muestra se empleó la fórmula de variable cuantitativa para una población finita, teniendo a favor datos como el volumen diario de producción, ley de relave determinado mediante la técnica de ensayo a fuego para oro por reconocimiento de absorción atómica; con lo cual obtenemos una muestra representativa de 1 417,60 kg, no obstante, este valor es referencial dadas las circunstancias y factores a la hora de tomar las muestras varían, puesto que el cargador frontal Volvo F1 de abastecimiento de muestras no efectúa cálculos exactos, sin embargo, las muestras mantienen la misma probabilidad en todo aspecto al tener la cualidad de ser equiprobables, el cálculo se generó utilizando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

- n = Tamaño de muestra buscado
- N = Tamaño de la población o universo = 648 Ton
- Z = Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza = 1,96
- e = Error de estimación máximo aceptado = 2,6
- p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado = 50 %
- q = Probabilidad de que no ocurra el evento = 50%

$$n = \frac{648000 * 1,96^2 * 50 * 50}{2,6^2 * (648 - 1) + 1,96^2 * 50 * 50}$$

$$n = 1417,60 \text{ kg}$$



3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta los métodos estadísticos y/o matemáticos aplicados durante la realización de la investigación ejecutado en la unidad operativa Rio II, con recolección de datos por muestreos aleatorios simples *in situ* puesto que las el muestreo probabilístico es válido al evidenciar que son muestras con una misma probabilidad (equiprobables) a fin de realizar pruebas con un concentrador centrífugo e identificar los parámetros operacionales influyente resultando en una investigación de tipo descriptiva, el método de determinación de la muestra fue determinado por medio de la variable cuantitativa para una población finita y la determinación del porcentaje de recuperación se realiza con el método de cálculo por diferencia de leyes e influencia directa de los parámetros operacionales obtenidos con cada prueba realizada, el análisis de datos se realizó en base al mayor porcentaje de recuperación obtenido con el cual se coincide con la hipótesis planteada en la investigación de (Urday, 2015) donde el investigador concluye como parámetro principal las revoluciones generadas en el cono concentrador como indicador imprescindible de recuperación en concentradores centrífugos.

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO

3.4.1 Variables independientes (VI)

Se conceptualiza a la variable independiente como una variable que influye directamente en las variables dependientes teniendo en cuenta que pueden ser controladas, no controladas, desconocidas e indirectas. En ese entender en la investigación se identificó como principales parámetros operacionales representados como variables independientes a las siguientes variables operativas de acuerdo con las pruebas experimentales:

- Granulometría



- Revoluciones por minuto
- Presión de agua en contracorriente

3.4.2 Variable dependiente (VD)

Se conceptualiza a la variable dependiente como un conjunto de procesos continuos que describen un suceso en particular. Por consiguiente, para la presente investigación se definió según (Valderrama, 2012) a la granulometría, las revoluciones y la presión de agua en contracorriente como conjunto de sucesos que afectan directamente a la variable dependiente, en ese entender por acción de procesos en conjuntos se define a la variable dependiente como el:

- Porcentaje de recuperación aurífera en la implementación de un concentrador centrífugo en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea.

3.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN

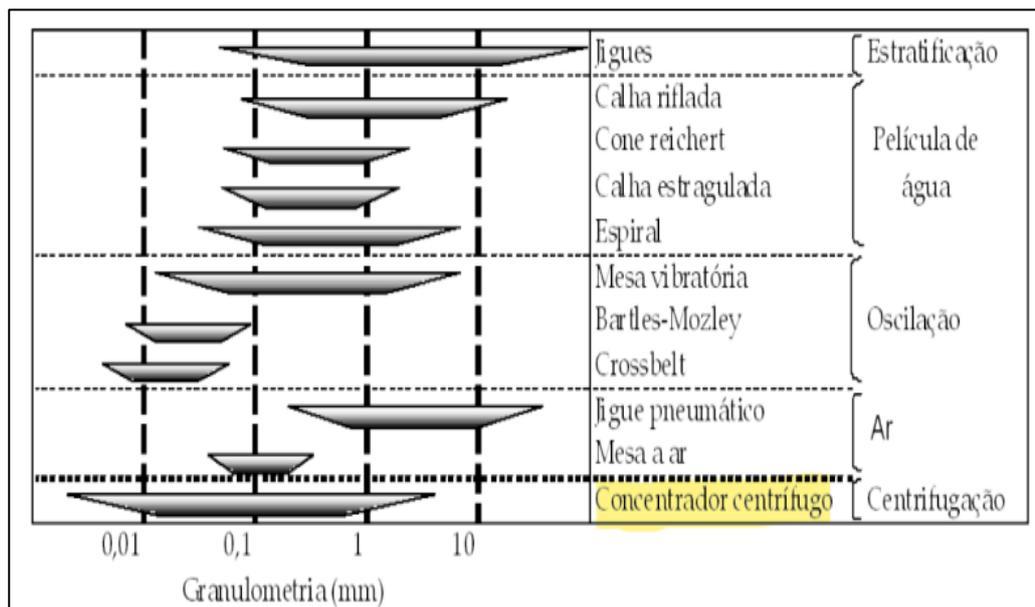
3.5.1 Descripción del concentrador centrífugo

La recuperación de minerales densos significó un gran reto para todo el rubro minero teniendo minerales pesados como el oro, plata, sheleelita, casiterita y otros, minerales que se caracterizaban por estar a una granulometría de 75 μm dificultando su separación exitosa, no obstante, en la década de 1980 se incluye en la industria minera los primeros concentradores centrífugos direccionado mayormente a la recuperación de oro aluvial marcando una frontera tecnológica. El aspecto más importante por el cual se destacan los equipos centrífugos se debe a su recuperación especialmente en finos en rangos de 0.01 mm a 1 mm en comparación con otros equipos de recuperación gravimétrica, sin embargo, de

acuerdo con las pruebas piloto y pruebas experimentales de los equipos en mención que requieren grandes cantidades de agua, no obstante, los resultados conseguidos con granulometrías finas en base a lo descrito en la figura 8 en comparación a otros equipos sobresale por sus ventajas positivas.

Figura 8

Granulometrías definidas en equipos concentradores



Nota: adaptado de la *granulometría definidas en equipos concentradores*, de (Veiga, 1992)

3.5.2 Expresiones matemáticas influyentes del proceso de centrifugación

El concentrador centrífugo opera bajo ciertos criterios matemáticos, los cuales aplicados y explicados adecuadamente detallan el principio de funcionamiento, no obstante, las más importantes son: fuerza centrífuga aplicada en la partícula, determinación de la aceleración de la gravedad con influencia de la rpm, determinación de las rpm de acuerdo con el diámetro de las poleas y la determinación de la presión hidráulica en contracorriente para evitar la sedimentación en kilopascuales y/o psi, cuyos resultados se calculan y explican en la tabla 3.



- Determinación de las rpm con las poleas

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

- R1 = Revoluciones del motor
- R2 = Revoluciones resultante
- D1 = Diámetro polea del motor
- D2 = Diámetro polea aplicante

Datos:

- Diámetro polea 1 = 12 cm
- Diámetro polea 2 = 17,2 cm
- Diámetro polea 3 = 20 cm
- Diámetro polea de motor = 7,5 cm
- Revoluciones del motor = 1 740 rpm (1,5 Hp)

- RPM_(Polea1)

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

$$\frac{1740}{R_2} = \frac{12}{7,5}$$

$$\text{rpm}_{(\text{Polea1})} = 1\ 087$$

- RPM_(Polea2)

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

$$\frac{1740}{R_2} = \frac{17,2}{7,5}$$

$$\text{rpm}_{(\text{Polea1})} = 758$$

- RPM_(Polea3)

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{D_2}{D_1}$$



$$\frac{1740}{R_2} = \frac{20}{7,5}$$

$$\text{rpm}_{(\text{Polea1})} = 652$$

- Determinación de la fuerza centrífuga

$$F_{ef} = \left[\frac{1}{6} \pi d^3 \right] \rho \omega^2 r$$

- Volumen sin incertidumbre = $\left(\frac{1}{6} \pi d^3 \right)$
- Diámetro de Partícula_(oro) = d
- Densidad = ρ
- Velocidad de angular = ω^2
- Radio = r
- Frecuencia = f (rpm⁻¹)

$$F_{ef} = \left[\frac{1}{6} \pi d^3 \right] \rho 4\pi^2 f^2 r$$

Datos:

- Diámetro de partícula_(oro) = 250 μm
- Densidad_(oro) = 19,3 g/cm³
- Frecuencia = 1 087_{rpm}, 758_{rpm} y 652_{rpm}
- Radio del Cono concentrador = 17,5 cm

$$F_{ef} = \left[\frac{1}{6} \pi d^3 \right] \rho 4\pi^2 f^2 r$$

$$F_{ef(\text{oro})} = \left[\frac{1}{6} \pi 250 \mu\text{m}^3 \right] (19,3) 4\pi^2 ((652^{-1}))^2 (0,1750)$$

$$F_{ef(\text{oro})} = [8\ 181\ 230,86] (761,93) \frac{1}{652^2} (0,1750)$$

$$F_{ef(\text{oro})} = 2\ 566,1177$$

$$F_{ef(\text{oro})} = 2\ 566,11 \frac{\text{g} - \text{cm}}{\text{s}^2}$$

$$\text{Fuerza centrífuga resultante}_{(\text{oro})} = 2\ 566,11$$

Tabla 3

Calculo fuerza centrífuga con influencia de las 3 rpm

Elemento	(ρ)	Frecuenci	Frecuenci	Frecuenci	Fuerza	Fuerza	Fuerza
		(f)=RPM (polea 1)	(f)=RPM (polea2)	(f)=RPM (polea3)	Centrifug Fcf(Polea1)	Centrifug Fcf(Polea2)	Centrifuga Fcf(Polea3)
Oro	19,3	652	758	1 087	2 500,16	1 898,62	923,25
Arsénico	5,72	652	758	1 087	740,98	562,70	273,63
Plata	10,5	652	758	1 087	1 360,19	1 032,93	502,28
Aluminio	2,7	652	758	1 087	349,76	265,61	129,16
Boro	2,34	652	758	1 087	303,13	230,20	111,94
Bario	3,59	652	758	1 087	465,06	353,16	171,73
Berilio	1,85	652	758	1 087	239,65	181,99	88,50
Bismuto	9,75	652	758	1 087	1 263,03	959,15	466,41
Calcio	1,55	652	758	1 087	200,79	152,48	74,15
Cadmio	8,65	652	758	1 087	1 120,54	850,94	413,79
Cobalto	8,9	652	758	1 087	1 152,92	875,53	425,75
Cromo	7,19	652	758	1 087	931,41	707,31	343,95
Cobre	8,96	652	758	1 087	1 160,70	881,43	428,62
Hierro	7,83	652	758	1 087	1 014,31	770,27	374,56
Galio	5,91	652	758	1 087	765,59	581,39	282,71
Indio	7,31	652	758	1 087	946,95	719,12	349,69
Magnesio	1,74	652	758	1 087	225,40	171,17	83,24
Manganes	7,43	652	758	1 087	962,50	730,92	355,43
Molibden	10,2	652	758	1 087	1 323,92	1 005,38	488,89
Sodio	0,97	652	758	1 087	125,66	95,42	46,40
Niquel	8,9	652	758	1 087	1 152,92	875,53	425,75
Fosforo	1,82	652	758	1 087	235,77	179,04	87,06
Plomo	11,3	652	758	1 087	1 470,30	1 116,55	542,95
Antimon	6,68	652	758	1 087	865,34	657,14	319,55
Estaño	7,31	652	758	1 087	946,95	719,12	349,69
Estroncio	2,54	652	758	1 087	329,04	249,87	121,50
Telurio	6,24	652	758	1 087	808,34	613,85	298,50
Titanio	4,54	652	758	1 087	588,12	446,62	217,18
Vanadio	6,11	652	758	1 087	791,50	601,07	292,28
Mercurio	13,5	652	758	1 087	1 755,29	1 332,97	648,19

Nota: resultado de las fuerzas centrífugas para cada mineral presente de la zona de estudio



- Determinación de la gravedad de concentración gravimétrica centrifugal (G's) para el concentrador centrífugo

$$G's = \frac{\emptyset Rotor_{(pulgadas)} \times rpm \times 2}{70,471}$$

- Gravedad de concentración gravimétrica centrifugal = G's
- Diámetro del Rotor = \emptyset Rotor
- Revoluciones por minuto = rpm

Datos:

- Diámetro de rotor del = 17,5 cm = 6,88 pulgadas
 - rpm(Polea1) = 1 087
 - rpm(Polea2) = 758
 - rpm(Polea3) = 652
- Gravedad de concentración gravimétrica centrifugal para la polea 1

$$G's = \frac{\emptyset Rotor_{(pulgadas)} \times RPM \times 2}{70,471}$$

$$G's = \frac{6.88 \times 1087 \times 2}{70,471}$$

$$G's = 212$$

$$G's = 212 \text{ Aceleración}$$

- Gravedad de concentración gravimétrica centrifugal para la polea 2

$$G's = \frac{\emptyset Rotor_{(pulgadas)} \times RPM \times 2}{70,471}$$

$$G's = \frac{6.88 \times 758 \times 2}{70,471}$$

$$G's = 148$$

$$G's = 148 \text{ Aceleración}$$

- Gravedad de concentración gravimétrica centrífuga para la polea 3

$$G's = \frac{\emptyset Rotor_{(pulgadas)} \times RPM \times 2}{70,471}$$

$$G's = \frac{6.88 \times 652 \times 2}{70,471}$$

$$G's = 127$$

$$G's = 127 \text{ Aceleración}$$

3.5.3 Descripción estructural

Las especificaciones estructurales en el soporte de la base del equipo soporta toda la fuerza centrífuga accionada y las vibraciones generadas por todo el equipo, sin embargo, al trabajar con minerales particularmente densos como muestran los análisis de laboratorio detallado en el anexo 1, se tiende a generar turbulencias y sobresaturación (sedimentación) dentro del cono concentrador productor de la fuerza centrífuga aplicada para cada partícula (mineral), ocasionando su compactación en los rifles dentro del cono concentrador, no obstante, el agua en contracorriente que ayuda a la fluidización del equipo proporciona una circulación relativamente eficaz manteniendo los parámetros operacionales.

3.5.4 Descripción del cono concentrador

El cono concentrador es el componente más importante de todo el equipo puesto que es donde se retiene el mineral de interés, es un cono con una altura de 16 cm, un diámetro de 18,2 cm, 9 mm de grosor, y una inclinación de 8 grados con 5 anillos de rifles para la retención del mineral en el cual contiene orificios de 1 mm para la inyección de agua en contracorriente. Cabe mencionar que existe conos concentradores de materiales con la baquelita, teflón, poliuretano,

neopreno, madera, fibra de vidrio que se encuentran en un margen de recuperación del 75 % de operatividad en selección o recuperación mineralógica por centrifugación.

Figura 9

Cono concentrador



3.5.5 Descripción del sistema hidráulico en contracorriente

La inyección de agua en contracorriente para evitar la sedimentación producto de las fuerza centrífuga direccionando la pulpa a las paredes del cono concentrador y rifles del cono concentrador debe ser eficaz manteniendo un promedio de 8 psi a 12 psi, de acuerdo con equipos similares utilizan la inyección de agua en contracorriente con perforaciones tangenciales al cono concentrador, dicha inyección se realiza por el mismo eje de rotación de todo el cono concentrador, inicialmente se tiene proyectado una electrobomba de 0,5 Hp con una caudal promedio de 20 L por minuto y el diámetro de inyección de 1mm, en el equipo se observó que contiene un manómetro para el control de la presión de agua expresado en psi y la llave reguladora del caudal, adicional se tiene en la parte externa el abastecimiento de agua para la tolva de alimentación suministrada con el mismo motor de la presión de agua en contracorriente, en el anexo 34 se detalla los accesorios del sistema hidráulico del concentrador centrifugo.

3.5.6 Especificaciones técnicas del equipo

Los valores presentados en la tabla 4 describe las especificaciones técnicas del concentrador centrífugo, evaluados con pruebas piloto, no obstante, se describe las 3 velocidades de rpm configuradas de acuerdo con el diámetro de las poleas que definen las rpm con cada polea. Adicional a ello se especifica datos de las características dimensionales y peso del equipo, así como también la cantidad de agua requerida, la capacidad y el rendimiento del equipo.

Tabla 4

Especificaciones técnicas del concentrador centrífugo

Descripción	Valor	
Tensión de alimentación	220 V	
Potencia de motor eléctrico	2 Hp	
Potencia de Electrobomba	0,5 Hp	
Velocidad de rotación del rotor	Polea 1	652 rev/min
	Polea 2	758 rev/min
	Polea 3	1087 rev/min
Capacidad de sólidos	0,035 t/h	
Capacidad de pulpa	2,4 m ³ /h	
Consumo de agua	40 L/min	
Tamaño de alimentación	Malla N°40	
Peso máximo del concentrado	7,0 kg	
Peso máximo del equipo	120 kg	
L x A x H	90 X 40 X 110cm	



3.5.7 Acondicionamiento en la zona de estudio

El área en el cual se desarrolló las pruebas con el concentrador centrífugo fue en la Cooperativa Minera Santiago de Ananea, ubicado estratégicamente al costado del canal de empedrado a 45 m de la poza de desarenado tal como se muestra en el plano del anexo 4. Considerando la facilidad para extraer relave y llevar a cabo el tomado de muestras, tamizajes y pesado de las muestras que se va a tratar durante el proceso de recuperación con concentrador centrífugo. El área designada contaba con 2 pozas para el flujo del mineral tal como se evidencia en la figura 12, con un área de 20 m² cercado en el cual se encontraba el equipo, la electrobomba de 0,5 Hp, 2 cilindros receptores de agua, muestras, tamices y la muestra a analizar. Adicional en el área de procesamiento se adecuó un espacio de 3 m por 3 m como se observa en el anexo 32 para contener relave, con una capacidad de 4 m³ proporcionado por un cargador frontal volvo F1 del cual servía para contener y procesar con mayor facilidad las muestras de interés.

3.5.8 Implementación del concentrador centrífugo

La implementación se desarrolló durante el mes de marzo, registrándose la explotación del frente de minado 2 rampa 7, la ley promedio de la unidad operativa es de 2,1 gr/t con una recuperación del 60 % - 70 % de acuerdo con el reporte mensual generado por la Unidad Operativa Rio II en el mes de marzo, el desarrollo fue en base al relave generado durante dicho mes, específicamente el 13 de marzo al 20 de marzo utilizando relave del chute N°01 y el chute N°02 con un total de 1,4 t de muestra analizada, el área designada contaba con 2 pozas para la eliminación y flujo del material ya procesado tal como se verifica en el anexo 33 el cual ayudó a eliminar el relave ya procesado.

3.5.9 Recolección de muestra

La recolección de muestra se realizó usando el Método Probabilístico de Muestreo Estratificado que establece la heterogeneidad de la muestra universal ligada de la estratificación de acuerdo a los estratos que se pueda usar durante la recolección (Ñaupas,2013), seleccionando muestras de la poza de desarenado de la COOMISA, más concretamente de la parte final del canal de empedrado, con ayuda del cargador frontal Volvo F1 de capacidad de 4 m³.

3.5.10 Tamizaje de la muestra

Por medio de la Norma Técnico Peruana de Análisis de Granulométrico de agregados finos, grueso global (NTP 400.012) y el Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTMD-422) valores detallados en la tabla 5, que engloba procedimientos manuales y/o mecánicos para separar las partículas de acuerdo al tamaño de la partícula, se realizó el tamizaje hasta la malla N°40, no obstante, de 1 426,28 kg de muestra al pasar por el medio tamizante redujo la muestra en 194,71 kg el cual se procedió a tratar con el concentrador centrífugo.

Tabla 5

Juego de tamices ASTM-422

Juego de Tamices Estándar	
3'' (75-mm)	N°10 (2.00-mm)
2'' (50-mm)	N°20 (850-μm)
1 1/2 '' (37,5mm)	N°40 (425-μm)
1'' (25,0-mm)	N°60 (250-μm)
3/4''(19,0-mm)	N°140 (106-μm)
3/8'' (9,5 mm)	N°200 (75-μm)
No.4 (4,75mm)	Tapa y Fondo

Fuente:(ASTM, 2007)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 VALORACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

En la tabla 6 se detalla los resultados de tamizaje de acuerdo con los parámetros estipulados en la presente investigación, no obstante, se recalca que la muestra analizada procesada en el concentrador centrífugo fue de 1,4 t previo tamizaje correspondiente.

Tabla 6

Resultados proceso de tamizaje hasta la malla N°40

Fecha	Código	Muestra (Kg)	Rtr ₁	Malla N°10	Rtr ₂	Malla N°20	Rtr ₃	Malla N°40 (425 µm)
22/03/2023	MS01	23,050	14,850	8,200	3,050	5,150	2,000	3,150
23/03/2023	MS02	27,100	17,700	9,400	3,497	5,903	2,203	3,700
23/03/2023	MS03	19,200	12,370	6,830	2,541	4,289	1,669	2,620
24/03/2023	MS04	15,170	9,770	5,400	2,009	3,391	1,321	2,070
24/03/2023	MS05	24,320	15,670	8,650	3,218	5,432	2,112	3,320
25/03/2023	MS06	22,100	14,240	7,860	2,924	4,936	1,916	3,020
25/03/2023	MS07	19,500	12,560	6,940	2,582	4,358	1,698	2,660
25/03/2023	MS08	27,000	17,400	9,600	3,571	6,029	2,339	3,690
25/03/2023	MS09	24,300	15,660	8,640	3,214	5,426	2,106	3,320
25/03/2023	MS10	20,050	12,920	7,130	2,652	4,478	1,738	2,740
25/03/2023	MS11	19,100	12,310	6,790	2,526	4,264	1,654	2,610
25/03/2023	MS12	15,200	9,790	5,410	2,013	3,397	1,317	2,080
25/03/2023	MS13	16,100	10,370	5,730	2,132	3,598	1,398	2,200
25/03/2023	MS14	17,300	11,150	6,150	2,288	3,862	1,502	2,360
25/03/2023	MS15	15,000	9,660	5,340	1,986	3,354	1,304	2,050
25/03/2023	MS16	20,000	12,890	7,110	2,645	4,465	1,735	2,730
25/03/2023	MS17	17,000	10,950	6,050	2,251	3,799	1,479	2,320
25/03/2023	MS18	18,000	11,600	6,400	2,381	4,019	1,559	2,460
25/03/2023	MS19	19,200	12,370	6,830	2,541	4,289	1,669	2,620
25/03/2023	MS20	22,700	14,630	8,070	3,002	5,068	1,968	3,100
31/03/2023	MS21	1024,890	660,340	364,550	135,613	228,937	89,047	139,890
TOTAL		1426,28	919,20	507,08	188,63	318,45	123,74	194,71

4.1.1 Parámetros de operación establecidos

Para obtener los valores de revoluciones adecuadas, granulometría y presión de agua en contracorriente ideal, se realizó pruebas variando los parámetros principales de recuperación, comprendidos entre recuperación (%)-contrapresión (psi), recuperación (%)-granulometría y/o recuperación (%)-revoluciones por minuto (rpm fuerza centrífuga).

En la tabla 7 se detalla las características de concentración durante el proceso, con influencia directa de la contrapresión de agua en contracorriente para evitar la sedimentación a una muestra con una ley previamente estipulada, del cual se logró recolectar resultados con parámetros operacionales descritos y explicados en la figura 13, la particularidad que resalta en la relación contrapresión-recuperación de acuerdo con las pruebas experimentales se observó que con el incremento de la presión en contracorriente para evitar la sedimentación resulta en un descenso en el porcentaje de recuperación puesto que grandes presiones de agua suministrados mediante la electrobomba ocasiona perdidas mecánicas sustanciales durante el proceso de centrifugación, no obstante la revoluciones utilizadas fueron de 758.

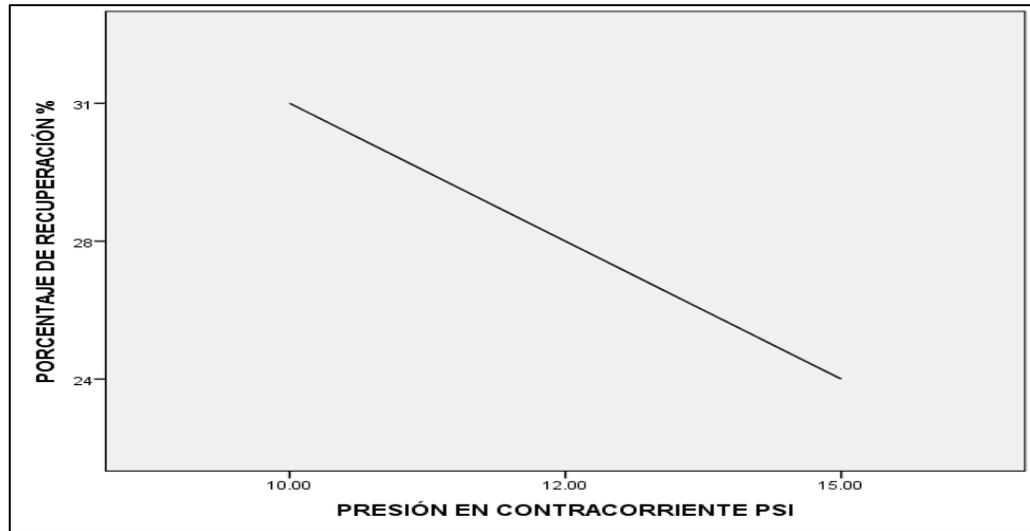
Tabla 7

Variación de la presión de agua en contracorriente-recuperación

Descripción	Muestra (Kg)	Ley	Presión (psi)	rpm	% Recuperación	Recuperación (g)
PECS-001	11,32	0,5	10	758	31	0,15
PECS-002	10,53	0,5	12	758	28	0,14
PECS-003	11,12	0,5	15	758	24	0,12

Figura 10

Variación de la presión de agua en contracorriente-recuperación



En la tabla 8 se detalla los resultados y las características de las pruebas experimentales en relación a la influencia directa de la granulometría durante el proceso de recuperación, teniendo un enfoque general de la influencia predominante del tamaño de partícula suministrada a la concentración centrifuga con un margen que engloba es de 1,0 mm - 0,01mm, sin embargo, de acuerdo con las pruebas experimentales se observó que la granulometría fina gradualmente en ascenso se consigue un mayor porcentaje de recuperación.

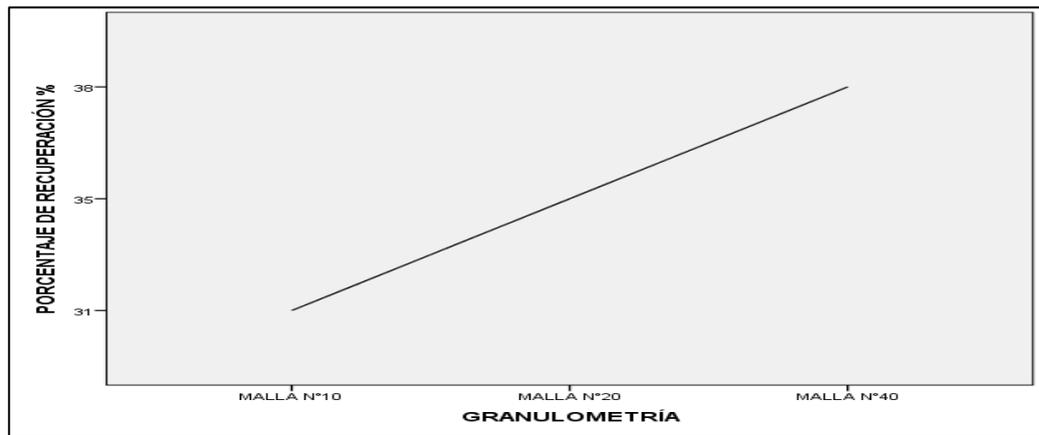
Tabla 8

Variación de la granulometría-recuperación

Descripción	Muestra (Kg)	Ley	Presión (psi)	rpm	Malla	% Recuperación	Recuperación (g)
PECS-004	10,20	0,5	10	758	N°10 - 2mm	31	0,15
PECS-005	10,39	0,5	10	758	N°20 - 850 µm	35	0,17
PECS-006	11,02	0,5	10	758	N°40 - 425 µm	38	0,19

Figura 11

Variación de la granulometría-recuperación



En la tabla 9 se detalla los resultados y las características de las pruebas experimentales en relación a la influencia directa de las revoluciones con la recuperación, en el cual se observó que dentro de los parámetros operacionales las revoluciones generadas dentro del concentrador centrífugo comprende un límite en cuanto al porcentaje de recuperación, siendo 758 rpm generó una recuperación del 42 % frente a una muestra con una ley pre establecida, no obstante, a un valor de 1 097 revoluciones por minuto el porcentaje de recuperación decrece por efectos de las grandes turbulencias generadas dentro del cono concentrador.

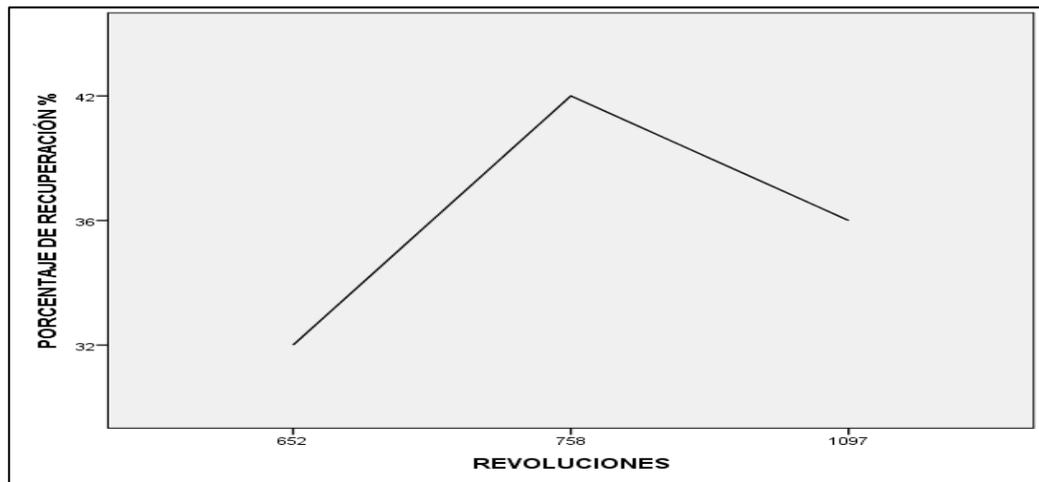
Tabla 9

Variaciones de las revoluciones rpm-recuperación

Descripción	Muestra (Kg)	Ley	Presión (psi)	rpm	Malla	% Recuperación	Recuperación n (g)
PECS-007	11,15	0,5	10	652	N°40 - 425 µm	32	0,16
PECS-008	11,03	0,5	10	758	N°40 - 425 µm	42	0,21
PECS-009	11,41	0,5	10	1097	N°40 - 425 µm	36	0,18

Figura 12

Variación de las revoluciones-recuperación



De acuerdo con los valores establecidos de manera empírica y tomando en cuenta las pruebas, en la tabla 10 se presenta los parámetros operacionales con los cuales se procesó las muestras tamizadas tomando en cuenta que de acuerdo con el porcentaje de recuperación representan el índice con mayor selectividad enfocado a los objetivos establecidos.

Tabla 10

Parámetros operacionales definido en las pruebas

Descripción	Valor
Granulometría	Malla N°40
Revoluciones	758 rpm
Potencia	2,0 HP
Caudal	40 L/min
Presión	10 psi
Capacidad de sólidos	0,035 t/h
Capacidad de concentrado	7,0 kg
Porcentaje de Sólidos en Pulpa	60%
Consumo de agua	2,4 m ³ /h
Porcentaje de recuperación	42%



4.1.2 Análisis de la recuperación por centrifugación aplicada a las muestras tamizadas

Durante el proceso de recuperación aplicado a los relaves generados por Cooperativa Minera Santiago de Ananea se estableció los parámetros operacionales indicados en la tabla 10, la muestra representativa para la prueba fue de 1,4 t el cual durante el proceso tamizado hasta la malla N°40 se logró obtener un preconcentrado con un peso de 194,71 kg, no obstante, durante el proceso de recuperación se logró observar la acumulación de hierro dentro del cono concentrador esto debido a su gran cantidad y densidad considerable.

En la tabla 11 se presenta los resultados obtenidos mediante el proceso de centrifugación con el concentrador centrífugo enfocados a la recuperación aurífera en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea, se describe los parámetros operacionales y la estimación cuantitativa de uso de los recursos hídricos durante el proceso gravimétrico, además se detalla las características de los motores, los cuales accionan las revoluciones dentro del cono concentrador y los detalles de la electrobomba que inyecta agua en contracorriente a fin de evitar la sedimentación productos de las fuerzas actuantes. Se debe tener en cuenta que los motores se accionan de manera independiente, con los cuales la determinación y estabilización de los parámetros exactos depende de la maniobrabilidad del operador para conseguir los parámetros exactos, no obstante, cabe resaltar que la electrobomba consume cantidades de agua que estén libres de impurezas es decir aguas clarificadas puesto que las impurezas afectan la libre selectividad del mineral en cuestión dado que las granulometrías estudiadas son de 425 μm finas a ultrafinas.

Tabla 11*Resultados*

Descripción	Valor
Granulometría	Malla N°40
Revoluciones	758 rpm
Potencia	2,0 Hp
Caudal contrapresión	40 L/min
Presión	10 psi
Capacidad de sólidos	0,035 t/h
Capacidad de concentrado	7,0 kg
Porcentaje de Sólidos en pulpa	60 %
Consumo de agua	14,4 m ³
Porcentaje de recuperación	42 %
Tiempo total de operación	6 h
Muestra Procesada	1,41t
Muestra Tamizada	194,71 kg
Recuperación	0,3 g

En base a los datos recopilados del proceso de recuperación gravimétrica con el concentrador centrífugo aplicado a los relaves generados por la Cooperativa Minera Santiago de Ananea se logró una recuperación de 0,3 g para un total de 1,41 t de material procesado, sin embargo, el proceso de tamizado de la muestra representativa hasta la malla N°40 de forma manual demanda excesivas horas de trabajo, dificultando el proceso siendo una variable aún pendiente por resolver dadas las circunstancias del proceso de recuperación. Por lo demás se evidencia el uso de agua y suministro eléctrico para el proceso de recuperación.

La recuperación resultante de acuerdo con las pruebas experimentales de muestras con una ley preestablecida aplicado al proceso de recuperación fue de 42 % del cual se pudo conseguir resultados descritos en la tabla 11, se utilizó el

mayor porcentaje resultante de las pruebas; más específicamente la relación recuperación-revoluciones.

4.2 VALORACIÓN DE MUESTRAS PROCESADAS

El análisis de muestra se realizó en los Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L. en el cual se desarrolló la evaluación mediante la técnica de ensayo a fuego para oro por reconocimiento de absorción atómica, método de ensayo para arsénico por ICP-OES, método de ensayo multi-elemental por ICP-OES digestión multi-ácida y método de ensayo para Mercurio por ICP-OES. Mostrando los resultados en la tabla 12 el cual describe la particularidad presencial en partes por millón, así como índices de limite inferiores presentes en los elementos de la muestra procesadas.

Tabla 12

Resultados análisis mineralógico

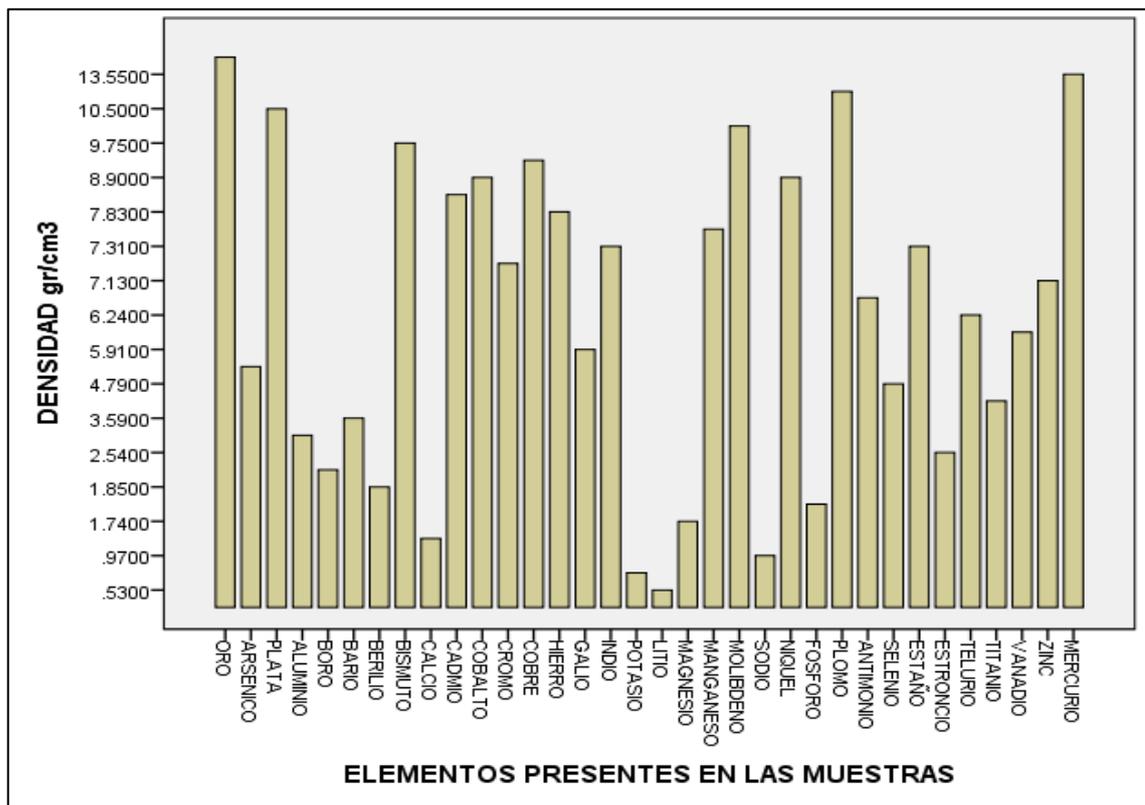
Au	As	Ag	Al	B	Ba	Be	Bi	
g/t	oz/TC	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0,515	0,0150	168,6	a<0,50	>10000	8199,6	261,7	a<0,64	a<2,0
Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	In	K
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
891,2	a<0,08	a<0,64	42,20	37,5	>10 000	13,24	a<0,40	>10 000
Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
59,8	4691,1	310,0	a<0,64	8 915,4	a<0,64	546,19	6,78	a<0,64
Se	Sn	Sr	Te	Ti	Tl	V	Zn	Hg
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm
a<0,64	a<16	47,13	a<0,80	1 269,7	a<0,64	57,60	84,63	1,84

Fuente: Laboratorios Analíticos del Sur S.A.

De acuerdo con los resultados proporcionado por los Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L. se visualiza elementos con densidad relativamente considerable y con una presencia en partes por millón influente, el cual explica la sobresaturación dentro del cono concentrador teniendo en cuenta la densidad sumada con la fuerza centrífuga afecta de manera negativa resultando en retención de elementos pesados como el hierro, plomo, molibdeno, bismuto, manganeso y mercurio. Visto de esta forma la fuerza centrífuga accionando a elementos presentes en las muestras procesadas con densidad superior a 8 gr/cm^3 afecta considerablemente de manera negativa ocasionando la retención de impurezas dentro del cono concentrador el cual conlleva a procedimientos manuales de eliminación.

Figura 13

Densidad de elementos presentes en las muestras analizadas



Nota. Adaptado de *Densidad de elementos presentes en las muestras analizadas*, de Laboratorios Analíticos del Sur, 2023.



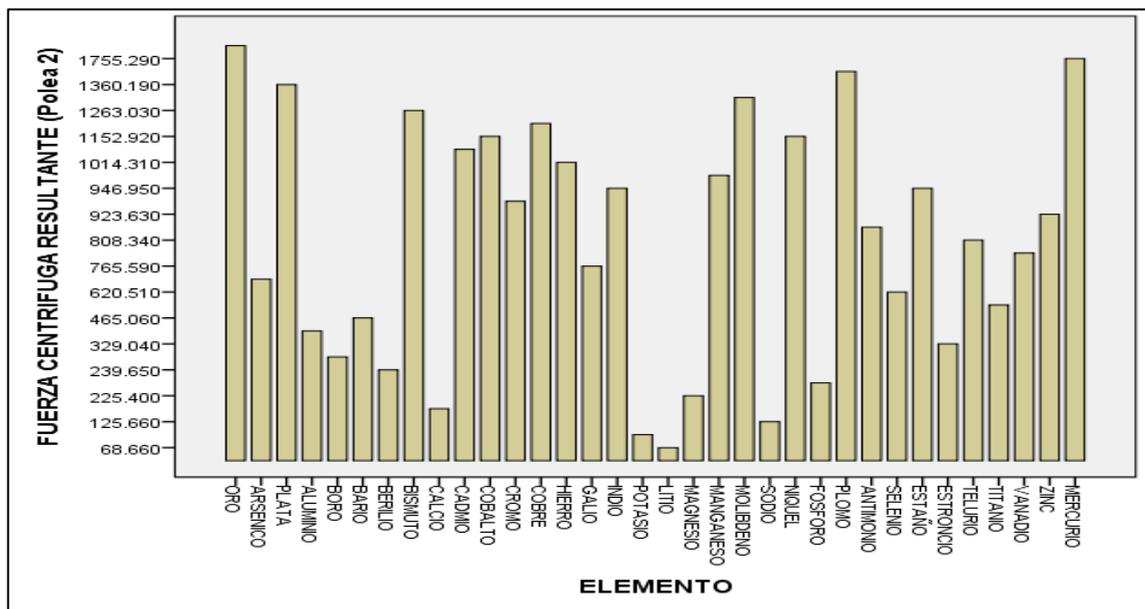
4.2.1 Análisis de las fuerzas centrífugas generadas por las muestras procesadas

La fuerza centrífuga que genera cada partícula dentro del cono concentrador difiere en valores; puesto que la diferencia de densidades afecta directamente en los valores resultantes obtenidos con la ecuación de determinación de la fuerza centrífuga, que determina la fuerza actuante para cada elemento presente dentro de la muestra procesada, no obstante, se debe considerar los valores influyentes que afectan numéricamente la fuerza centrífuga, más precisamente las revoluciones conseguidas por la polea 1 (652 rpm), polea 2 (758 rpm) y la polea 3 (1 087 rpm), calculado para cada polea en relación a la densidad de cada elemento presente en la muestra analizadas y procesadas.

Cada elemento varia en la fuerza centrífuga resultante por influencia directa de la densidad con el cual se genera dentro del cono concentrador, los elementos con densidad considerable más la cantidad presente en partes por millón de acuerdo con los análisis mineralógicos sustentan el enfoque estudiado en la presente investigación, que las partículas con un peso específico sometido a una fuerza centrífuga en un medio inclinado asegura la retención o recuperación en medio centrífugos, no obstante, el mismo principio aplica a toda partícula con peso específico notable. Es decir que al poseer elementos pesados en la zona de estudio y someterlo a fuerzas centrífugas no asegura su eliminación total por centrifugación; dado que se retiene en el cono concentrador por tal motivo se debe efectuar más ensayos con valores más altos en los parámetros de operación en el que se pueda evaluar opciones, en la figura 14 se observa valores elevados con la acción de las fuerzas centrífugas.

Figura 14

Fuerza centrífuga resultante en relación a la densidad influyente



4.3 DISCUSIÓN

De acuerdo con las primeras pruebas y en base a las investigaciones generadas por el autor (Huarecallo, 2019) se logró especificar como factores principales influyentes durante la centrifugación; la granulometría, las revoluciones y la presión en contracorriente como determinantes durante la recuperación en relave, en ese entender, se realizó ensayos variando cada variable y registrando que al variar la presión de agua en contracorriente para evitar la sedimentación de las muestras procesadas se observó un descenso en el porcentaje de recuperación dando como mayor valor 31 % de recuperación para una presión de 10 psi, al variar la granulometría de malla N°10, malla N°20 y malla N°40 se observó una recuperación de 31 %, 35 % y 38 % respectivamente y finalmente al variar las revoluciones por minuto generado dentro del concentrador centrífugo; fundamentado en el análisis de la investigación que se enfoca en las revoluciones del concentrador del autor (Pavez, 2014) se pudo observar que a 758 revoluciones por minuto



la recuperación es del 42 %, sin embargo, a 1097 revoluciones por minuto se observó un descenso de la recuperación en un valor de 36 %.

El reporte de los resultados en base a las pruebas experimentales realizadas con las muestras procedas para la determinación de los parámetros operacionales principales guardan semejanza con la investigación del autor (Vega, 2018) en el cual comenta de una recuperación alcanzada del 66.73 % a una presión en contracorriente de 13 psi, con una granulometría de 75 μm , no obstante, el autor adiciona factores como el caudal de pulpa, ratio y porcentaje de sólidos durante su investigación.

Respecto al reporte cuantitativo de la recuperación en la Cooperativa Minera Santiago de Ananea, se detalla que de una muestra representativa determinada por medio de la variable cuantitativa para una población finita resultando en un total de 1.4 t de muestra el cual al ser procesada hasta la malla N°40 resultó en un preconcentrado de 194,71 kg procesado a 758 revoluciones por minuto con una presión de agua se logró la recuperación 0,3 gr de oro en relave estableciendo un 42 % de porcentaje de recuperación en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea. Finalmente, el autor (Ccari, 2022) manifiesta que la optimización en la recuperación aurífera con concentradores centrífugos obedece principalmente al control de los parámetros operacionales durante la realización de intervalos de recolección de 15 min, controlando los 3 parámetros ya mencionados anteriormente, adicional propone de mejorar y observar el comportamiento de los parámetros con la visualización e interpretación de gráficos estadísticos que puedan ayudar a identificar más factores.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: Se evaluó que las variables porcentuales del concentrador centrífugo de acuerdo con las pruebas para muestras, dieron como resultado que para la relación granulometría-recuperación se logró cuantificar un porcentaje de recuperación del 38 %, para la relación presión de agua contracorriente-recuperación se logró estimar un porcentaje de recuperación máxima de 31 % y para la relación revoluciones-recuperación se pudo evaluar la máxima recuperación en comparación con las demás pruebas consiguiendo un porcentaje de recuperación del 42 % aplicados para una granulometría 425 μm a una presión de agua en contracorriente de 10 psi.

SEGUNDA: Se estableció que los parámetros operacionales para el concentrador centrífugo aplicado a la recuperación aurífera en relave fue de una velocidad de centrifugación de 758 rpm con una presión en contracorriente de 10 psi, para trabajar con una granulometría fina tamizada hasta la malla N°40 (425 μm) logrando así un porcentaje de recuperación del 42 %, la muestra procesada corresponde a material de la poza de desarenado acumulando un total de 1.41 t, el cual fue tamizado hasta la malla N°40 consiguiendo así un preconcentrado de 194,71 kg el cual al ser procesado con un concentrador centrífugo se pudo conseguir una recuperación de 0,3 gr de oro con un consumo total de agua de 14,4 m^3 en un tiempo acumulado de 6 horas.

TERCERA: Se concluye que el porcentaje más óptimo logrado mediante las pruebas experimentales y con el cual se trabajó el material tamizado fue de 42 %,



así mismo, de acuerdo con el análisis mineralógico y conjuntamente los cálculos generados para cada elemento presentes en la zona de estudio se establece que los factores influyentes fueron el peso específico, la fuerza centrífuga, rpm y la presión en contracorriente para evitar la sedimentación producto de las fuerzas aplicadas dentro del cono concentrador.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Realizar el estudio del coeficiente de fricción en el cono concentrador con materiales como la baquelita, fibra de vidrio y poliuretano como elemento esencial para la fabricación del cono del concentrador considerando la fluidez del medio centrifugal durante el proceso, no obstante, se debe tener en cuenta que la fricción va estar ligada entre la partícula y el medio de fricción dependiendo sea el caso, con la finalidad de elevar el porcentaje de recuperación.

SEGUNDA: Establecer la ley promedio definida del frente de minado y el porcentaje de recuperación conseguido por el proceso gravimétrico usando el canal de rifles(sluiice), canal de alfombra y canal de empedrado con el propósito de definir la cantidad total de perdida aurífera en toda la unidad operativa, una vez definida la perdida sustancial se tiende a evaluar las posibles recuperaciones con el concentrador centrífugo y determinar la forma de realizar procesos más automáticos en relación a conseguir una granulometría en menor tiempo, logrando abarcar más capacidad de concentrado en menos horas de operación cumpliendo con los parámetros operacionales establecidos en las pruebas.

TERCERA: Adquirir de un variador de frecuencia de acuerdo con la potencia del motor en cuestión, con la finalidad de tener un amplio espectro de revoluciones a probar, eliminando las pérdidas de tiempo en el cambio de poleas de manera manual, el variador de frecuencia otorgaría la facilidad de poder encontrar las revoluciones necesarias en base a la granulometría y/o la presión de agua en contracorriente según sea el caso, ampliando de esa



forma las probabilidades posibles que se puedan graduar las revoluciones de acuerdo sea el material definido y/o otras zonas de estudio de interés, es decir conseguir una adecuada identificación de revoluciones generadas en base al tipo de mineral y zonas con propiedades físicas y químicas distintas o minerales que se requiere eliminar y/o recuperar dependiendo sea el caso.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afanasenko, S. (2023). *Itomak latinoamérica equipos y tecnología limpia*.
<http://itomakla.com/parte-teorica-de-funcionamiento-de-concentradores-centrifugos/>
- Álvarez, A. (2010). Recuperación de oro fino a partir de residuos gravimétricos y su relación con La mitigación ambiental. *Metalurgia y Materiales -Facultad de Ingeniería – Universidad Mayor de San Andrés (UMSA)*, 1, 193–207.
<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1211/1/193-207.pdf>
- Aristizabal, V. (1988). Formación de placeres aluviales de oro y guías para su prospección [Escuela de Ingeniería de Antioquia].
<https://repository.eia.edu.co/handle/11190/4383>
- ASTM. (2007). Método de ensayo estándar para el análisis granulométrico. *ASTM Internacional*, 63, 1–15.
<https://es.slideshare.net/slideshow/astm-d-422-63/250155026>
- Avila, J. (2017). Parámetros de operación del separador JIG para material tomado de un placer aurífero [Universidad del Azuay].
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7450/1/13358.pdf>
- Baca, R. (1971). Geología Preliminar de los depósitos auríferos de San Antonio de Poto - Puno. *Investigaciones Metalogenéticas*, 61.
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2507>
- Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. In *Journal of Chemical Information and Modeling* 53(9).
<https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2. Hernandez, Fernandez y Baptista-Metodología Investigacion Cientifica 6ta ed.pdf>
- Ccari, E. (2022). Optimización de la recuperación en concentración gravimétrica de oro de los frentes pomarani-cruz de oro Cori Puno S.A.C. [Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/17839>
- Choque, M. (2017). Estudio de la recuperación de oro aluvial en concentrador falcon en



- la cooperativa minera Limata Ananea - Puno. In *Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann*.
<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2506>
- COOMISA. (2023). Plan de minado 2023. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 1(enero), 1–107.
<https://www.premioempresaperuana.com/portfolio/cooperativa-minera-santiago-de-ananea-puno/>
- Días, R. (2012). Procesamiento de minerales con un concentrador Knelson. 2, 533.
<https://spanish.alibaba.com/p-detail/Knelson-concentrador-de-recuperación-de-oro-300000220344.html>
- Hernández, A. (2017). Fuerza centrífuga. *Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo*, 1–6.
<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa2/n3/p3.html>
- Huarecallo, A. (2019). Optimización del proceso de recuperación de oro con un concentrador centrífugo para la pequeña minería aurífera.
<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1073%0A>
<http://www.unjbg.edu.pe/institucion/historia.php>
- Huina, C. (2010). *Concentración gravitacional y concentración centrífuga*. 1(1).
https://www.academia.edu/9125440/Concentración_Gravitacional_concentración_centrfuga
- Kuramoto, J. (2001). La minería artesanal e informal en el Perú tabla de contenido. *Mining, Minerals and Sustainable Development*, 82, 53.
<http://pubs.iied.org/pdfs/G00731.pdf>
- Linares, N. (2012). Mineralogía del oro. *Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann*, 1–25.
https://www.academia.edu/13800513/capitulo_i_mineralogía_del_oro
- Ñaupas, H. (2013). *Metodología de la Investigación*.
http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/MetodologiaInvestigacionNaupas.pdf



- Palomino, A. (2008). Evaluación en la recuperación del oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo minera Koricolqui.
https://www.ucursos.cl/usuario/8dca1be23e3a61d95b6b3560d770e69d/mi_blog/r/Evaluacion_en_la_recuperacion_del_oro_y_plata_a_partir.pdf
- Pavez, O. (2014). Concentración de minerales. *Apuntes de Concentración de Minerales*, 40,25–39.
https://www.academia.edu/8000760/universidad_de_atacama_chile
- Rivera, H. (2011). *Geología general*.
https://www.academia.edu/42786516/Geología_General_Hugo_Rivera_Mantilla
- Santos, E. (2017). Influencia de la presión de agua y el porcentaje de sólidos en la recuperación de oro mediante concentración gravimétrica centrífuga para un relave tipo óxido procedente de la Provincia de Sánchez Carrión.
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9398>
- Urday, J. (2015). Influencia de la fuerza de rotación gravimétrica del mineral con alta concentración de alabandita de la u.p. Uchuzhacua [Universidad Nacional San Agustín de Arequipa].
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3259567>
- Valderrama, L. (2012). Recuperación de oro grueso en concentrador centrifugo Knelson. *Revista de La Facultad de Ingeniería*, 28(0), 35–41.
<http://www.revistaingenieria.uda.cl/Publicaciones/280005.pdf>
- Vega, J. (2018). Centrifugal gravimetric concentration factors in the recovery of gold from a carbonaceous auriferous mineral. *Sciéndo*, 21(3), 273–277.
<https://doi.org/10.17268/sciendo.2018.028>
- Veiga, M. (1992). *Recuperación de oro fino con un concentrador centrífugo (Falcon)*. 2, 477–489.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNJB_7d03074d3bf9541cc56fa8d5ab237ff2



ANEXOS



ANEXO 1. Resultados de análisis mineralógico



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : A46D4E76

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-23-04425

Fecha de emisión: 19/5/2023

Página 1 de 1

Señores: MAX ALEX VENGOA RAMOS
Dirección: URB. VILLA DE LAGO F-25 - PUNO
Atención: MAX ALEX VENGOA RAMOS
Recepción: 15/5/2023
Realización: 15/5/2023
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

- *551 Método de ensayo a fuego para oro por reconocimiento absorción atómica
- *563 Método de ensayo para Arsénico por ICP-OES
- *598 Método de ensayo multi-elemental por ICP-OES digestión multi-ácida
- *628 Método de ensayo para Mercurio por ICP-OES

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*551		*563	*598					
				Au		As	Ag	Al	B	Ba	Be	Bi
				g/TM	oz/TC	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MN23007873	ML01-COOMISA - MORRENA	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	0,515	0,01503	168,65	a<0,50	>10000	8199,6	261,7	a<0,64	a<2,0

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598									
				Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	In	K	
				ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
MN23007873	ML01-COOMISA - MORRENA	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	891,2	a<0,080	a<0,64	42,20	37,5	>10000	13,24	a<0,40	>10000	

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598									
				Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	
				ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
MN23007873	ML01-COOMISA - MORRENA	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	59,8	4691,1	310,0	a<0,64	8915,4	a<0,64	546,19	6,78	a<0,64	

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598								*628
				Se	Sn	Sr	Te	Ti	Tl	V	Zn	Hg
				ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MN23007873	ML01-COOMISA - MORRENA	No proporcionado por el cliente.	Mineral pulverizado	a<0,64	a<16	47,13	a<0,80	1269,77	a<0,64	57,60	84,63	1,84

Fin del informe

Laboratorios Analíticos del Sur ELRL
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico"=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

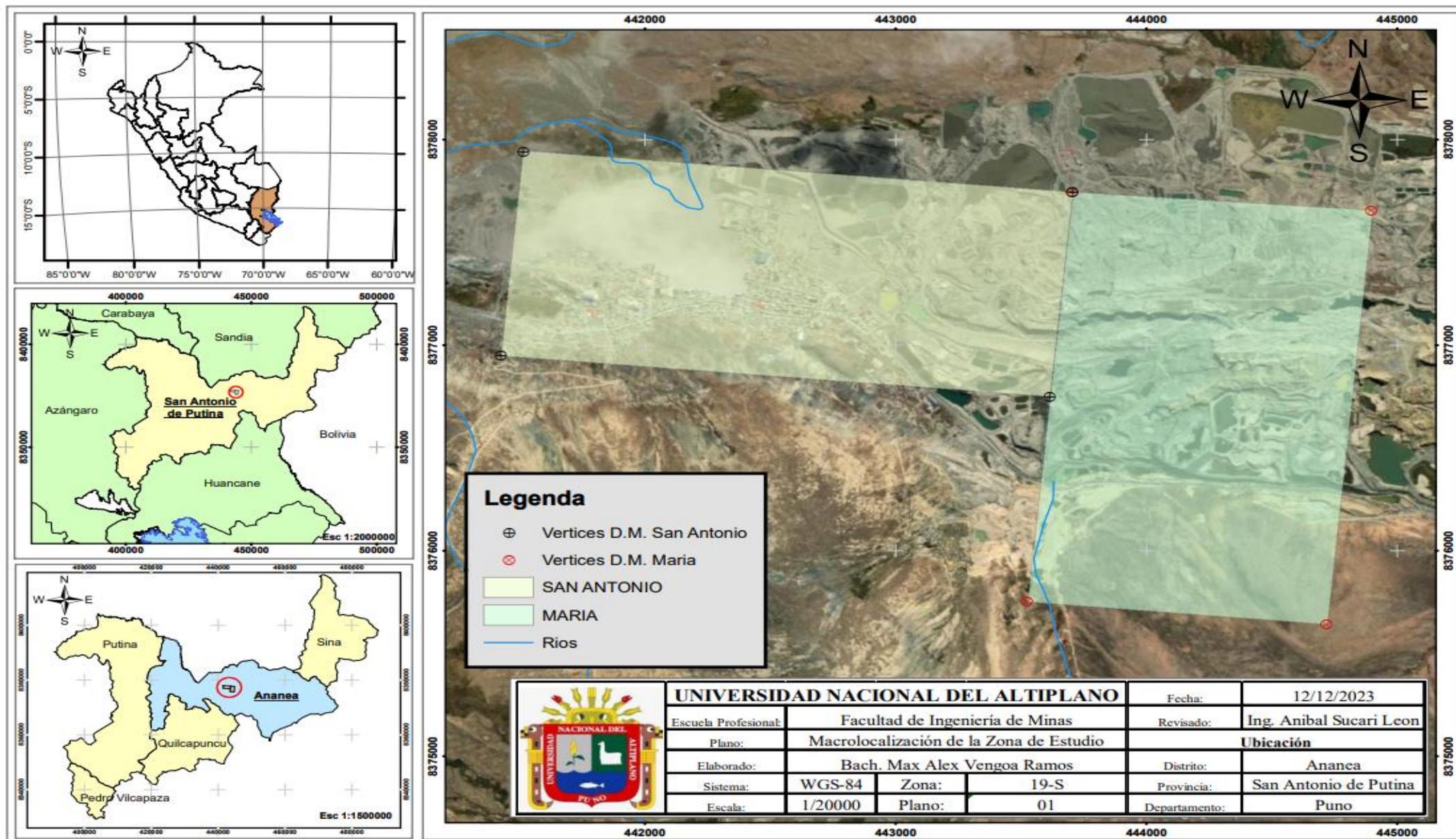
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

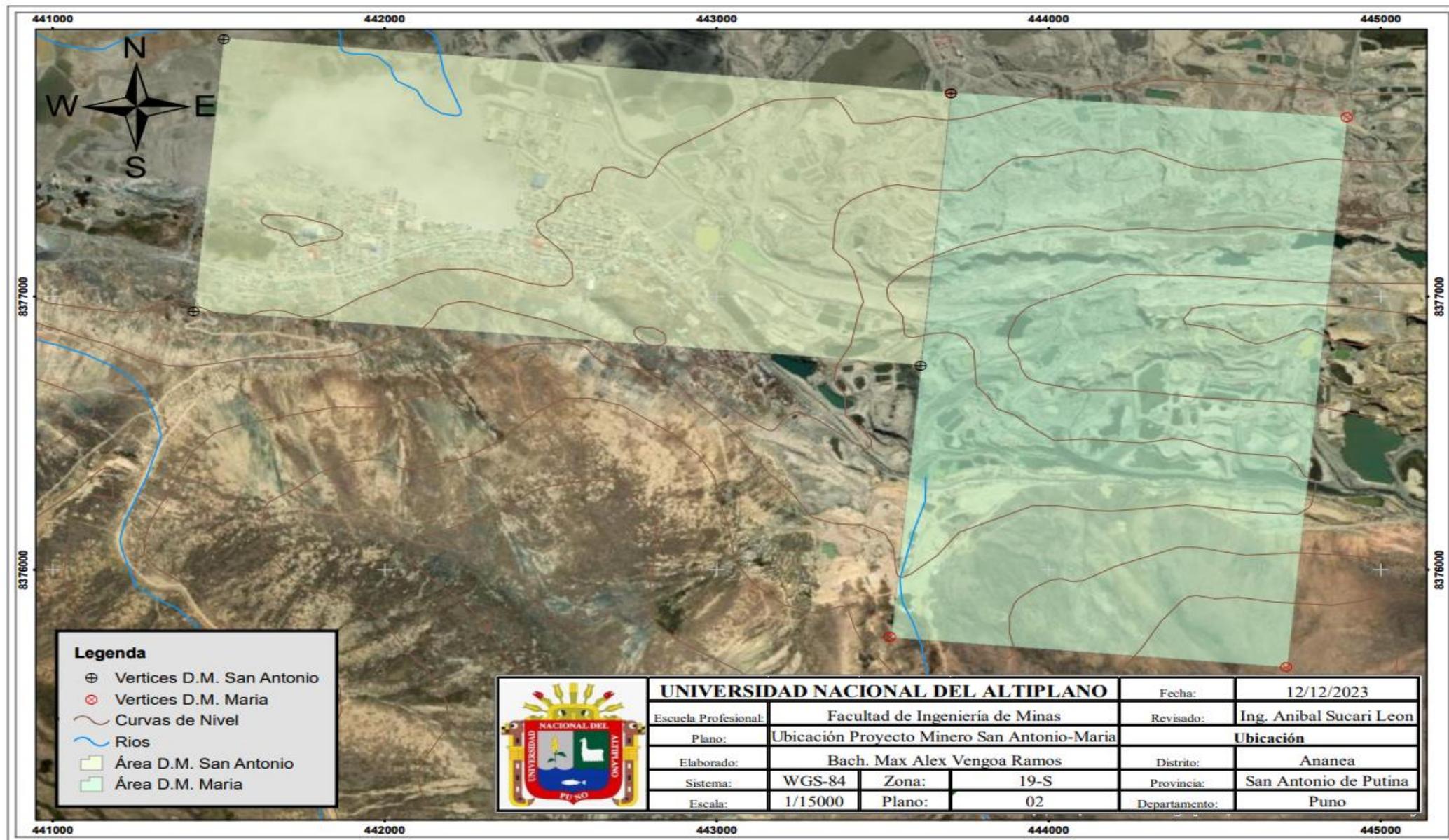


Validar el informe
vía web

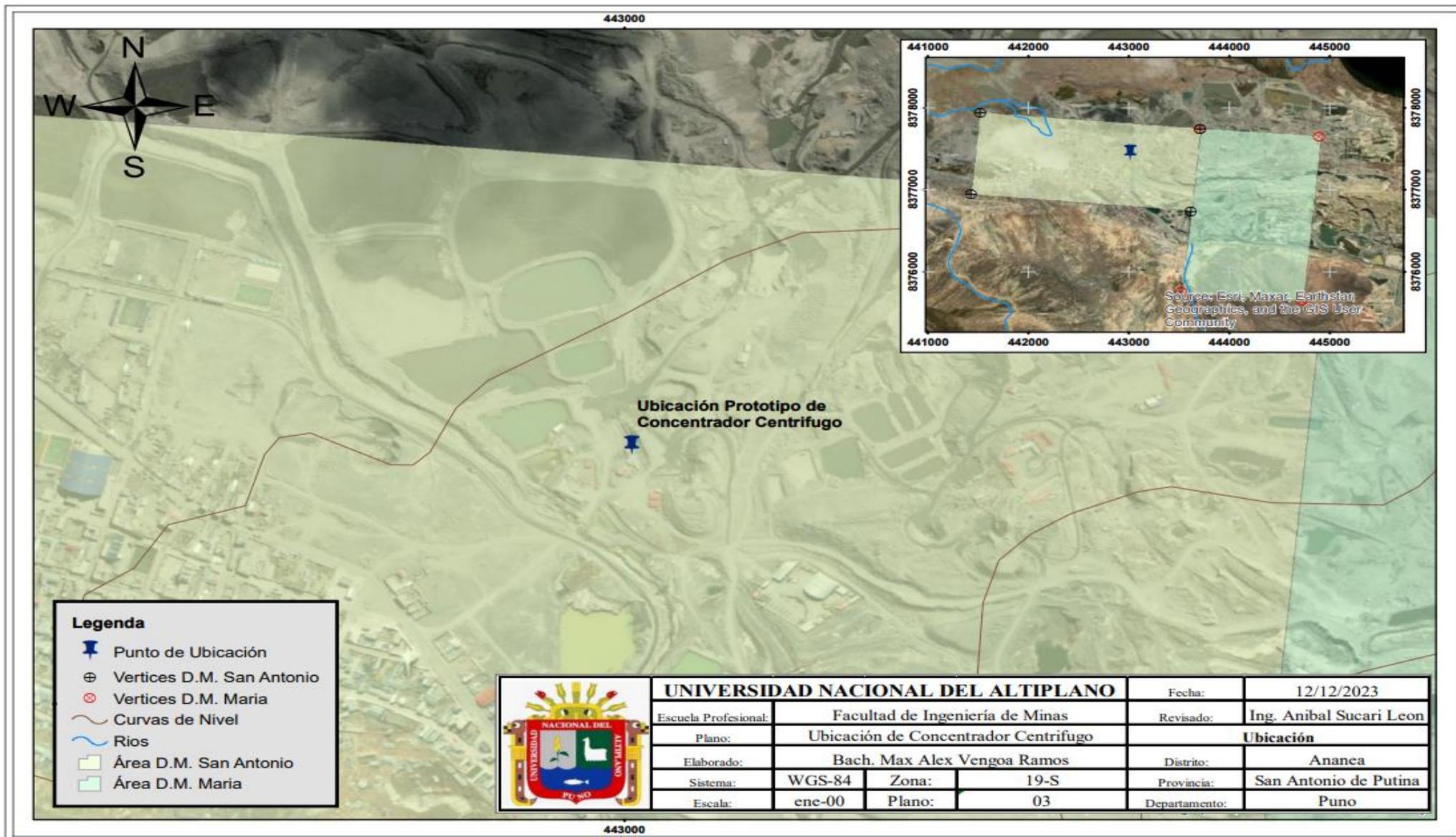
ANEXO 2. Macrolocalización de la zona de estudio



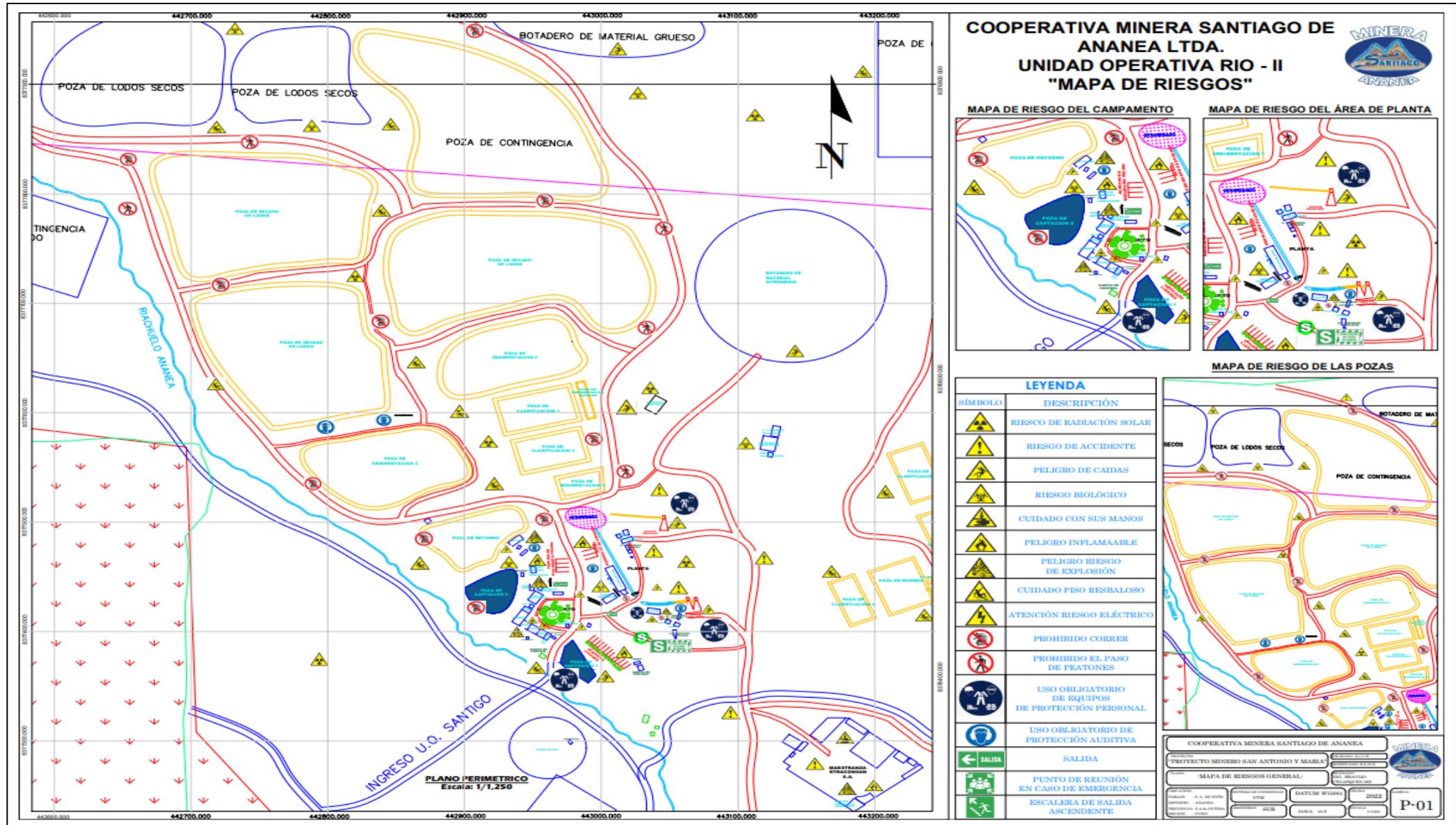
ANEXO 3. Ubicación proyecto minero San Antonio-Maria



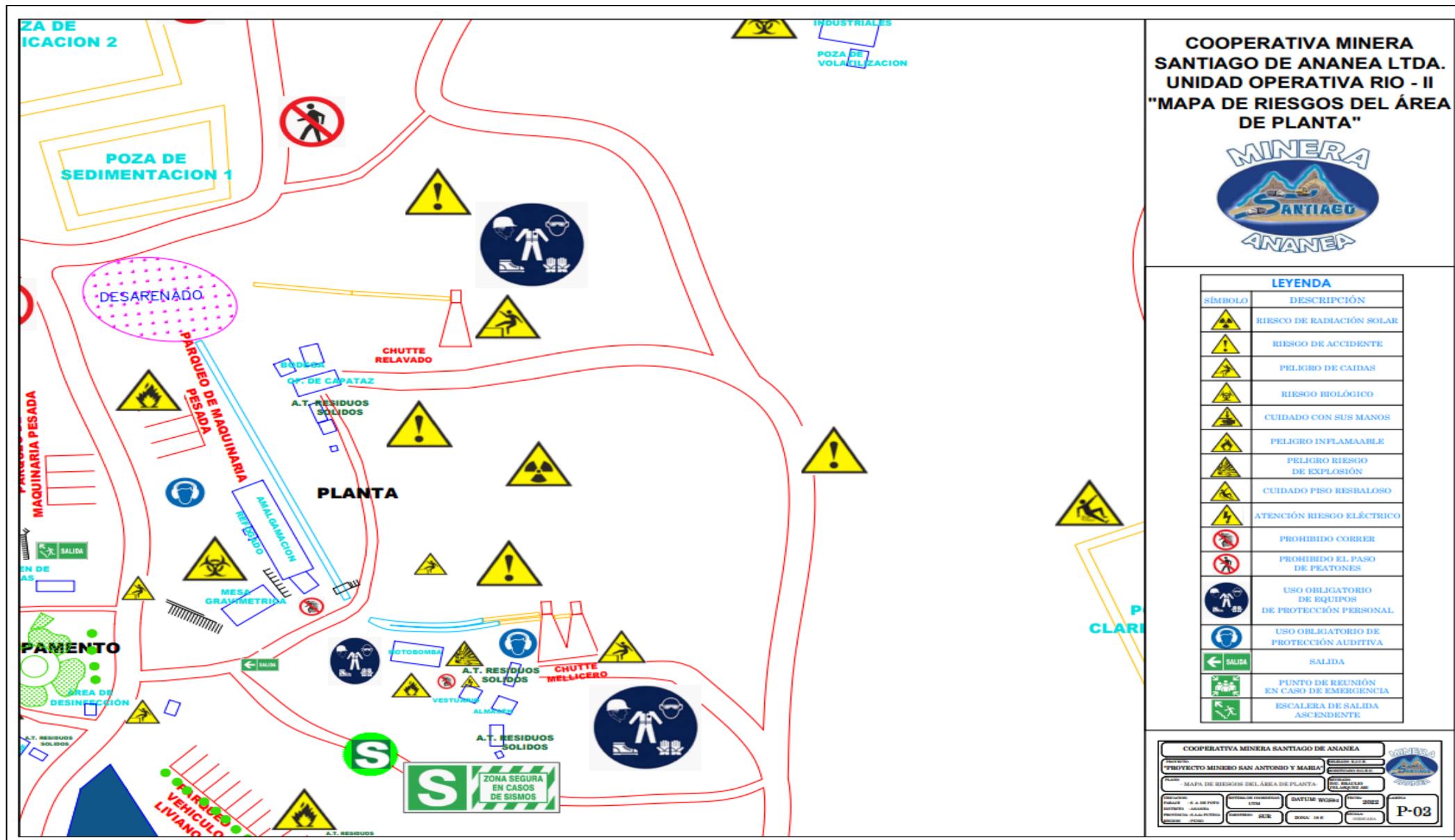
ANEXO 4. Ubicación del punto de procesamiento



ANEXO 5. Mapa de riesgos COOMISA plano general



ANEXO 6. Mapa de riesgos COOMISA área planta de tratamiento



ANEXO 7. Mapa de riesgos COOMISA área campamento



ANEXO 8. Matriz de consistencia

IMPLEMENTACIÓN DE UN CONCENTRADOR CENTRÍFUGO APLICADO EN RELAVE DE LA COOPERATIVA MINERA SANTIAGO DE ANANEA - 2023

PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	Investigación Cuantitativa
¿Cuál es el porcentaje de recuperación aurífera conseguido con la implementación de un concentrador centrífugo en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea - 2023?	Determinar el porcentaje de recuperación aurífera conseguido en relave con la implementación de un concentrador centrífugo de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea – 2023.	La determinación del porcentaje de recuperación aurífera conseguido con la implementación de un concentrador centrífugo en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea – 2023 está definido mediante las pruebas experimentales realizadas en la zona de estudio; variando los parámetros operacionales gradualmente.	- Recuperación de oro INDICADOR - En porcentaje	TIPO DE INVESTIGACIÓN Descriptiva
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVO ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	VARIABLE INDEPENDIENTE	NIVEL DE INVESTIGACIÓN
¿Cómo influye la variación de los parámetros operacionales en el porcentaje de recuperación aurífera conseguido con la implementación de un concentrador centrífugo en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea?	Determinar cómo influye los parámetros operacionales en el porcentaje de recuperación aurífera por medio de la implementación de un concentrador centrífugo aplicado en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea – 2023.	Los parámetros operacionales en conjunto definen el porcentaje de recuperación aurífera en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea - 2023; puesto que engloba la granulometría, las revoluciones y la presión de agua en contracorriente.	-Revoluciones por minuto -Presión de agua en contracorriente -Granulometría	-Descriptivo -Explicativo
			INDICADORES	POBLACIÓN
-¿Cómo afecta las características mineralógicas sobre los parámetros operacionales en la implementación de un concentrador centrífugo de relave en la cooperativa minera Santiago de Ananea?	Determinar la incidencia de las características mineralógicas en los parámetros operacionales que afectan el porcentaje de recuperación aurífera con la implementación de un concentrador centrífugo en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea – 2023.	Las características mineralógicas de la zona de estudio afectan directamente el porcentaje de recuperación en la implementación de un concentrador centrífugo aplicado en relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea – 2023.	- Periodo/frecuencia de oscilación - PSI - Tipo de malla	- Relave de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea MUESTRA - 1419.17 kg de relave, calculado mediante la formula para variables cuantitativa para una población finita.

ANEXO 9. Operacionalización de variables independientes

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	UNIDADES
Parametros operacionales de un concentrador centrífugo que influyen en el porcentaje de recuperación aurífera de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea	Es uno de los métodos de recuperación gravimétrica por accionamiento de la fuerza centrífuga; interactuando directamente con el peso específico de la partícula, sometiendo a la muestra en el concentrador con el apoyo de la fuerza centrífuga, las revoluciones, la presión de agua en contracorriente y la granulometría de la muestra en cuestión.	Esta variable será evaluada a través de los siguientes aspectos: - Aceleración de la gravedad en el medio accionado - Flujo laminar constante que evita la sedimentación - Evaluación de las características mineralógicas de la muestra	- Granulometría	Malla N°10 (2mm)	Ordinal	Milímetros (mm) y micrometros (µm)
				Malla N°20 (850µm)	Ordinal	Milímetros (mm) y micrometros (µm)
				Malla N°40 (425µm)	Ordinal	Milímetros (mm) y micrometros (µm)
				652	Ordinal	Radianes por segundo (rad/s)
				758	Ordinal	Radianes por segundo (rad/s)
			1097	Ordinal	Radianes por segundo (rad/s)	
			10	Ordinal	Libra por pulgada cuadrada (psi)	
			12	Ordinal	Libra por pulgada cuadrada (psi)	
			15	Ordinal	Libra por pulgada cuadrada (psi)	
			- Presión de agua en contracorriente			

ANEXO 10. Operacionalización de variable dependiente

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	UNIDADES
Porcentaje de recuperación aurífera de un concentrador centrífugo aplicado a los relaves de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea	Es el valor numeral obtenido de la acción de las variables independientes de acuerdo con el método y/o equipo utilizado, de acuerdo con el objetivo de la investigación se centra en equipos centrífugos utilizados en el relave generado por la Cooperativa Minera Santiago de Ananea.	Esta variable va ser estudiada y evaluada por método de diferencia de leyes para pruebas experimentales y pruebas piloto.	- Porcentaje de recuperación	Parámetros operacionales	Nominal	Adimensional
				Proceso de concentración	Nominal	Adimensional
				Cuantificación de resultados	Ordinal	%

ANEXO 11. Recuperación aurífera



ANEXO 12. Recuperación de 0,3gr de un total de 194,71 de preconcentrado



ANEXO 13. Proceso de tamizaje



Anexo 14 Influencia de minerales densos



ANEXO 15. Abastecimiento de relave



ANEXO 16. Recuperación aurífera con poca presencia de minerales densos



ANEXO 17. Canal de recuperación gravimétrica



ANEXO 18. Concentrador centrífugo



ANEXO 19. Proceso de centrifugación



ANEXO 20. Cambio de poleas rpm



ANEXO 21. Determinación de la presión psi con el manómetro



ANEXO 22. Recolección de muestra



ANEXO 23. Pesado de muestra



ANEXO 24. Valores de la balanza



ANEXO 25. Cono concentrador



ANEXO 26. Control de parámetros operacionales



ANEXO 27. Tamizado malla N°40



ANEXO 28. Sistema hidráulico contrapresión



ANEXO 29. Componentes del sistema hidráulico



ANEXO 30. Tolva de acumulación



ANEXO 31. Manómetro valor 10 psi



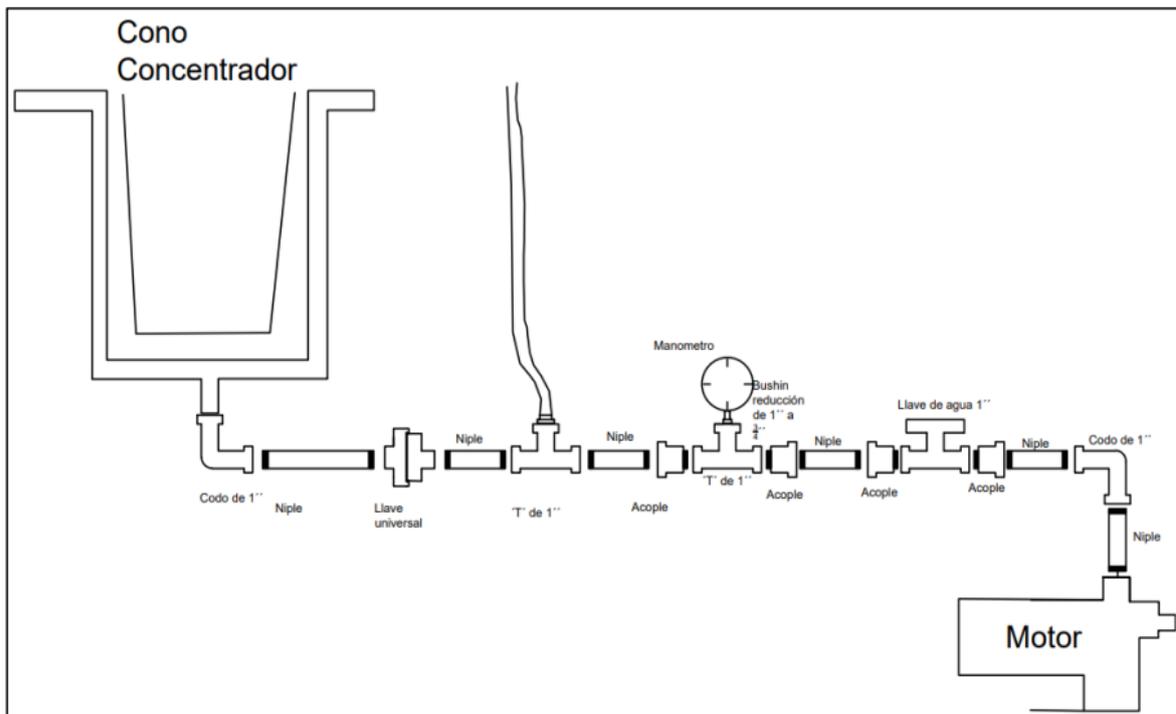
ANEXO 32. Contención de muestra procesada



ANEXO 33. Implementación de un concentrador centrífugo



ANEXO 34. Sistema hidráulico del concentrador centrífugo





ANEXO 35. Declaración jurada de autenticidad de Tesis

 Universidad Nacional del Altiplano Puno

 Vicerrectorado de Investigación

 Repositorio Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo MAX ALEX VENGOA RAMOS
identificado con DNI 72368402 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA DE MINAS

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado Título Profesional denominado:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN CONCENTRADOR CENTRÍFUGO PARA LA RECUPERACIÓN AURÍFERA EN RELAVE DE LA COOPERATIVA MINERA SANTIAGO DE ANANEA - 2023
” Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 15 de JULIO del 20 24


FIRMA (obligatoria)


Huella



ANEXO 36. Autorización para el depósito de Tesis

 Universidad Nacional del Altiplano Puno

 Vicerrectorado de Investigación

 Repositorio Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo MAX ALEX VENGOA RAMOS
, identificado con DNI 72362402 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA DE MINAS

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado Título Profesional denominado:

"IMPLEMENTACIÓN DE UN CONCENTRADOR CENTRÍFUGO PARA LA RECUPERACIÓN AURÍFERA EN RELAVE DE LA COOPERATIVA MINERA SANTIAGO DE ANANEA - 2023"

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

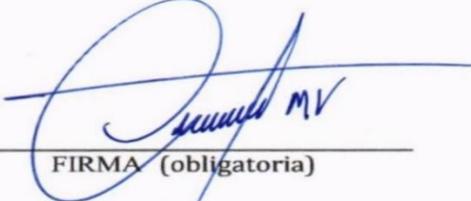
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 15 de JULIO del 2024


FIRMA (obligatoria)


Huella