



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FLOTACIÓN DE
MINERALES AURÍFEROS EN CELDA FLASH PARA MEJORAR
LA RECUPERACIÓN DE ORO EN LA EMPRESA MINERA CORI
PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MILWAR ERICK HUACCA MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi vida, de mi formación profesional y protegerme durante todo mi camino.

A mis queridos padres Nicolás y Felipa, por haberme permitido ser, por sus sabias palabras de experiencia que contribuyeron en cristalizar mis objetivos.

A mi querido hermano Edy Nikolay, por haberme siempre dado el apoyo incondicional.

MILWAR ERICK HUACCA MAMANI



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, por darme la vida y oportunidad para culminar mis estudios universitarios.

A la Universidad Nacional del Altiplano, mi alma mater, por haberme albergado durante los años de mi vida estudiantil universitaria.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, al personal docente cuyas enseñanzas son un gran aporte y base del presente trabajo de investigación, aporte invaluable en la generación del conocimiento.

Mi agradecimiento a Cori Puno SAC por darme la oportunidad para realizar el presente estudio de investigación.

A mi asesor M.Sc. Alberto Maquera Gil, por su orientación en el campo de la investigación y producción de conocimientos, conducente a la generación de nuevas tecnologías.

Agradezco los consejos y sugerencias de mis jurados calificadores, al Dr. A. Walter Sarmiento Sarmiento, M.Sc. Fernando Bernedo Colca, M.Sc Faviola Ccoa Huanca, por su tiempo y por su invaluable aporte para la mejora de esta tesis.

MILWAR ERICK HUACCA MAMANI



ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 11

ABSTRACT..... 12

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 13

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 14

1.2.1 Problema General 14

1.2.2 Problemas Específicos 14

1.3 JUSTIFICACIÓN 14

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 15

1.4.1 Hipótesis General 15

1.4.2 Hipótesis Específicas 15

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 15

1.5.1 Objetivo General 15

1.5.2 Objetivos específicos 16



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES	17
2.2 MARCO TEÓRICO.....	21
2.2.1 Mineralogía del Oro	21
2.2.2 Muestreo.....	22
2.2.3 Flotación.....	23
2.2.4 Flotación Flash	25
2.2.5 Reactivos De Flotación	33
2.2.6 Ventajas de la flotación flash	37
2.2.7 Desventajas de la flotación flash.....	38

CAPITULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1 DISEÑO, NIVEL Y TIPO DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.1.1 Diseño De La Investigación	39
3.2 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.2.1 Primer objetivo.....	39
3.2.2 Segundo objetivo.....	40
3.3 UBICACIÓN.....	42
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	42
3.4.1 Técnicas.....	43

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DISEÑO DEL EXPERIMENTO	44
4.1.1 Diseño de Cribado.....	44
4.2 DIAGRAMA DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO	46
4.2.1 Muestreo del mineral.....	46



4.2.2	Chancado del mineral.....	47
4.2.3	Tamizaje de muestra	47
4.2.4	Cuarteo	47
4.2.5	Prueba de moliendabilidad.....	47
4.2.6	Determinación de la gravedad especifica.....	52
4.2.7	Prueba de gravimetría	54
4.2.8	Procedimiento de la prueba de flotación	55
4.2.9	Prueba de cinética de flotación flash.....	56
4.2.10	Procedimiento de flotación flash a 45% de solidos	58
4.2.11	Resultados de pruebas de laboratorio flotación flash.....	62
4.2.12	Análisis del Experimento – Recuperación	63
4.3	APLICACIÓN A NIVEL DE PLANTA.....	68
4.3.1	Parámetros de operación	68
4.3.2	Leyes de celda flash SK-240.....	69
4.3.3	Análisis granulométrico de Over Flow y relave final de flotación.	70
4.4	PRE TEST Y POST TEST DE LA INVESTIGACIÓN	73
4.5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	75
V.	CONCLUSIONES.....	77
VI.	RECOMENDACIONES.....	78
VII.	REFERENCIAS.....	79
ANEXOS	81

Área: Metalurgia Extractiva

Tema: Flotación

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 de noviembre del 2021.



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Esquema del proceso de flotación.....	25
Figura 2 Ubicación de la flotación flash en una planta típica de molienda / flotación.	27
Figura 3 Partículas gruesas pasan por el by pass de zona de flotación flash.....	28
Figura 4 Detalle de la celda de flotación flash	29
Figura 5 Tamaño de burbujas en celda de flotación flash.	30
Figura 6 Recuperación por tamaño de partículas	31
Figura 7 Xantato isopropílico de sodio.....	33
Figura 8 Adhesión del colector a la superficie del mineral	34
Figura 9 Diagrama de las pruebas de laboratorio.....	46
Figura 10 Gráfico de la curva de cinética de flotación.....	61
Figura 11 Diagrama de pareto estandarizado para recuperación.....	63
Figura 12 Efectos principales para recuperación.....	68



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Caracterización del mineral	22
Tabla 2 Parámetros bajos y altos de las variables de experimentación.	44
Tabla 3 Diseño de la experimentación.....	45
Tabla 4 Pruebas de moliendabilidad y análisis granulométrico de la muestra	49
Tabla 5 Pruebas de moliendabilidad y tiempo de molienda de la muestra.....	51
Tabla 6 Determinación de la gravedad específica de la muestra.	53
Tabla 7 Prueba de gravimetría de la muestra.....	54
Tabla 8 Cinética de flotación	57
Tabla 9 Prueba de flotación flash dosificación de reactivos.....	60
Tabla 10 Balance metalúrgico prueba de flotación flash.....	61
Tabla 11 Resumen del resultado de las pruebas corridas según diseño.....	62
Tabla 12 Efectos estimados para recuperación (%).....	63
Tabla 13 Análisis de varianza para recuperación	64
Tabla 14 Coeficiente de regresión para recuperación.....	65
Tabla 15 Resultados estimados para recuperación	66
Tabla 16 Camino de máximo ascenso para recuperación.....	67
Tabla 17 Optimizar respuesta	67
Tabla 18 Condiciones de operación celda flash, planta concentradora.	68
Tabla 19 Leyes reportadas celda flash, planta concentradora.....	69
Tabla 20 Determinación de la malla valorada de alimento a la flotación.....	71
Tabla 21 Determinación de la malla valorada del relave final de flotación a mallas finas.	72
Tabla 22 Pre test, recuperación de la planta sin el uso de la celdas flash.	73



Tabla 23 Post test, recuperación de la planta con el uso de las celdas flash..... 74



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Centímetros	cm
Densidad	d
Gramos	g
Gramos por tonelada	g/t
Hora	h
Kilogramos	kg
Metros	m
Oro	Au
Pulgadas	p
Probabilidad	p
Segundo	s
Unidad internacional	IU
Volumen	V



RESUMEN

El Presente trabajo de Investigación titulado, “optimización del proceso de flotación de minerales auríferos en celda flash para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno”, tiene como objetivo principal optimizar el proceso de flotación de los minerales auríferos en celda flash y para alcanzar este fin se realizó la caracterización del mineral aurífero, se evaluó los parámetros óptimos de concentración y finalmente se aplicó la celda de flotación flash en planta concentradora de la empresa minera Cori Puno. Para el desarrollo de la investigación se recurrió a la metodología experimental con un enfoque cuantitativo y los pasos a desarrollar fue; revisar la bibliografía, diseñar el experimento, preparación mecánica de la muestra, experimentación de la muestra, obtención de resultados, aplicación de resultados en planta concentradora, documentación y con el resultado óptimo se instaló una celda de flotación flash como pilotaje en planta concentradora y se concluye que las recuperaciones globales sin el uso de la celda flash llegan a un promedio de 76.42% y con el uso de ésta llega a los 77.54%.

Palabras Clave: Circuito, flotación flash, Granulometría, recuperación, Optimización



ABSTRACT

The present research work entitled, "flash flotation cells to improve the concentration of gold ore in the concentrator plant of the mining company Cori Puno", has as main objective to apply flash flotation cells to improve the concentration of gold ore. To achieve this end, the experiment was designed, laboratory tests were carried out, and finally the flash flotation cells were applied in the concentrator plant of the Cori Puno mining company. For the development of the research, the type of experimental research of pre-experimental design with a quantitative approach was used and the methodology developed was to review the bibliography, design the experiment, sampling, adequacy of the sample, experimentation of the sample, obtaining results, application of results in the concentrator plant, documentation and the results with the best recovery carried out in the tests, two flash flotation cells were installed as piloting in the concentrator plant and it is concluded that the global recoveries without the use of the flash cell reach an average of 76.42 % and with the use of this it reaches 77.54%.

Keywords: Circuit, flash flotation, Granulometry, recovery, Optimizatio



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cori Puno empresa que cuenta con planta concentradora de minerales por gravimetría y flotación, obtienen bajas recuperaciones de oro en el proceso de flotación, por diversos factores, algunos son por mineralogía, tecnología de equipos, reactivos utilizados etc.

La flotación flash es usada para remover las partículas gruesas fácilmente flotables, las cuales son removidas lo más pronto posible para prevenir la sobre molienda (Gorvenia, 2006).

La flotación de minerales de oro a nivel internacional, como en Argentina, Chile, Perú, Estados Unidos de América, las empresas en los países mencionados vienen optando por las celdas de flotación flash por su ventaja de velocidad de trabajo y altas concentraciones.

A nivel nacional la flotación de minerales de oro en celdas flash se utiliza muy poco en la minería aurífera para solo recuperar oro libre y sí más a menudo para recuperar sulfuros auríferos junto con el oro liberado ("bulk flotation"). Existen diferentes tipos de celdas de flotación en uso, en las que se combina la agitación de la pulpa y su aereamiento. En varios casos, la flotación ha sido probada para separar el oro libre de concentrados de sulfuros, reemplazando la amalgamación.

A nivel regional no se encontró empresas mineras que usen las celdas flash para la concentración de oro.



A nivel de la empresa Cori Puno no se encuentra antecedentes de haber realizado las pruebas de flotación flash, ni haber desarrollado a nivel de la planta.

En consecuencia, el presente estudio propone optimizar el proceso de flotación de minerales auríferos en celda flash para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno.

Lo que se espera alcanzar es un resultado positivo ya que se determinará las características del mineral para el proceso de flotación, así mismo se evaluará los parámetros óptimos del proceso de flotación en celda flash.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema General

¿Será posible optimizar el proceso de flotación de minerales auríferos en celda flash para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno?

1.2.2 Problemas Específicos

1. ¿Es beneficioso determinar las características del mineral aurífero para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno?
2. ¿Será posible la evaluación de los parámetros óptimos del proceso de flotación de minerales auríferos en celda flash para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno?

1.3 JUSTIFICACIÓN

A medida que la ciencia y la tecnología avanza, a nivel industrial se van incorporando nuevos equipos de concentración de minerales por flotación, esto hace que las empresas en su afán de mejorar su producción adopten estas nuevas tecnologías, ya que al no hacerlo no podrán ser competitivas, generando así un constante cambio y evolución. Así mismo las celdas de flotación flash son cada vez más adoptados en las



plantas concentradoras por su rapidez y eficacia. En la actualidad lo que se espera alcanzar es la mayor concentración del mineral aurífero en los procesos de flotación, por razones ya mencionadas la empresa minera Cori Puno, adopto la optimización del proceso de flotación con el uso de la celda de flotación flash para mejorar la concentración del mineral.

La celda de flotación flash es el que mejor se adapta a los requerimientos ya establecidos del proceso de tratamiento del mineral de la empresa.

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Hipótesis General

Es posible optimizar el proceso de flotación de minerales auríferos en celda flash para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno

1.4.2 Hipótesis Especificas

1. Es beneficioso determinar las características del mineral para el proceso de flotación de minerales auríferos en celda flash para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno.
2. Es posible la evaluación de los parámetros óptimos del proceso de flotación de minerales auríferos en celda flash para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo General

Optimizar el proceso de flotación de minerales auríferos en celda flash para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno.



1.5.2 Objetivos específicos

1. Determinar las características del mineral para el proceso de flotación de minerales auríferos en celda flash para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno.
2. Evaluar los parámetros óptimos del proceso de flotación de minerales auríferos en celda flash para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Se encontró antecedentes de investigación, que se utilizará como referencia para el desarrollo de esta investigación; los antecedentes encontrados no son efectivamente relacionados al tema de desarrollo, pero serán de gran ayuda para solucionar nuestros problemas planteados.

Cornejo,(2018) en su trabajo de investigación busca incrementar la recuperación de oro a 70% desde 39.89%, resultado obtenido en pruebas preliminares de flotación a nivel piloto, y realizados modificando las variables de proceso en campo a fin de conseguir el mejor resultado posible, al no obtener el resultado deseado, se procedió a estudiar las variables de operación para buscar las condiciones más favorables y lograr el incremento deseado. A nivel laboratorio se estudió la dosificación de Z-6, dosificación de MX-945, dosificación de F-549 mediante un diseño factorial 2^3 con 3 réplicas. Obteniendo a nivel laboratorio el modelo matemático empírico decodificado: Recuperación de Au = $84.43 - 0.516 Z_1 - 1.031 Z_3 + 0.79 Z_2 + 0.03361 Z_1 \cdot Z_2$ Con: $Z_1 =$ dosis Z-6, $Z_2 =$ dosis MX-945 y $Z_3 =$ dosis F-549. Encontrándose que Z-6, MX-945, F-549 y la interacción de Z-6 con MX-945 tienen influencia sobre la recuperación de Au, siendo MX-945 el que tiene mayor influencia. Obteniendo como mejor resultado una recuperación de 74.06% Au y una ley de concentrado de 42.54% Cu, con la dosis Z-6 = 70 g/t, dosis MX-945 = 22g/t, dosis F-549 = 11g/t, A nivel piloto se comprobó las condiciones favorables de laboratorio que fueron: Z-6 = 70 g/t, Dosis MX-945 = 22 g/t, Dosis F-549 = 11 g/t, sólidos = 50%, y se adecuó Altura de colchón de espuma = 18 cm, Flujo de aire = 0.21 m³/min, obteniendo una recuperación de 78.81% Au, y una ley de concentrado de 37.38% Cu.



Gonzales,(2018) en su trabajo titulado “Implementación de una unidad de flotación rápida en la descarga del molino de bolas primario en la empresa minera SILVER MINSPERU S.A.C.”; La Unidad de Flotación Rápida o celda unitaria tipo DENVER de 32 " X 32", estará ubicado en la descarga del molino COMESA 3'Øx4', de tal manera que la alimentación y el relave sean por gravedad, a la celda y al sistema de clasificación mecánica, con lo que se permite recuperar el producto con leyes comerciales que representará de un 20% a 30% de la recuperación total de la Planta. Mediante la aplicación del Método de Flotación Rápida, en la empresa minera SILVER MINSPERU S.A.C., se captará o se separará el Plomo, tan pronto como este liberado (As soon as Free) y así obtener las ventajas y beneficios que brinda la Celda de Flotación Rápida en la minería polimetálica. El uso de la unidad de Flotación Rápida (DENVER de 32 " X 32"), tiene como objetivo principal la implementación, del sistema molienda-flotación para incrementar la capacidad de molienda y flotación, evitando “sobre-moler”, mineral valioso que ya está liberado indirectamente esta eliminación de contenidos metálicos con flotación rápida del circuito, incrementa la eficiencia del circuito de flotación subsiguiente para lograr mejores resultados en las celdas ya que al disminuir la cantidad de mineral valioso para la misma cantidad de celdas existentes, el tiempo de flotación se incrementa. El uso de la Celda de Flotación Flash (DENVER de 32" X 32"), en la empresa minera SILVER MINSPERU S.A.C, le resultará bastante rentable y le permitirá una óptima producción y rápida recuperación de la Inversión.

Quispe,(2018) en su trabajo publica los resultados generales obtenidos de las Pruebas Piloto Experimentales con el uso de “UNA CELDA DE FLOTACIÓN FLASH” (CELDA FLASH SkimAIR – 80 Outotec), en la Minera BAMBAS S.A.A. (Planta Concentradora), trabajando con el “UnderFlow del Hidrociclón” se logró obtener leyes en el Concentrado de Cobre, Oro y Plata en promedio de 35 % ,7.5 ppm y 170 ppm; y



Recuperaciones en promedio de 59 %, 64 %, 57 % respectivamente. La Ubicación de la Celda Flash SK-80, fue “En la Plataforma de los molinos de BOLAS 26’ x 40’ y consistió en “Captar el UnderFlow del nido de ciclones 4, ciclón “G” por medio de una Válvula Retráctil y alimentar a la Celda SK-80”, el Concentrado y Relave de esta Celda irán por gravedad directamente al cajón SUL donde se juntará con la descarga del molino de bolas, alimento fresco. Esta pulpa será bombeada a los Hidrociclones nuevamente. Los finos del hidrociclón “OverFlow” serán el Alimento al Circuito de Flotación Bulk y los Gruesos “UnderFlow”, serán la carga de los molinos de bolas 26’ x 40’. El Uso de una Celda de Flotación Rápida (Celda Flash SK-80) como “celda Piloto”, en la minera las Bambas, puede Optimizar el proceso metalúrgico En favor de la Planta Concentradora de la Minera BAMBAS, porque minimiza la Sobremolienda de los minerales valiosos; permite obtener concentrados de alta Ley de granulometría fina y gruesa, recuperados en una sola etapa; Hubo recuperación de una considerable cantidad de minerales valiosos; Los concentrados de gruesa granulometría son fácil de filtrar en la etapa de filtrado.

Guerreros,(2015) en su trabajo dice que el proceso del tratamiento de los minerales sulfurados tiene diferentes operaciones unitarias. Se inicia desde el desbroce del mineral, pasando luego por la planta concentradora para obtener el concentrado. Durante estos procesos el mineral se va reduciendo de tamaño con la finalidad de liberarlos y posterior concentración en un proceso de flotación diferencial, pero los minerales que contienen el sulfuro de plomo son por su característica frágiles al impacto, por este inconveniente el tratamiento de los minerales de sulfuro de plomo tiene tratamientos especiales en la etapa de molienda y flotación. El inconveniente que tienen estos minerales en los procesos de conminución es que crean partículas finas “lamas” que son difíciles de recuperar, finalmente se desplazan a los concentrados y relaves. Por ello los metalurgistas han diseñado diagramas de molienda para evitar crear partículas finas y



por supuesto el diseño de celdas y circuitos de flotación para recuperar el sulfuro de plomo antes de ser lameado, pero aun con todo lo avanzado en el tema los desplazamientos no fueron controlados. Este paradigma ha generado pérdidas en las empresas mineras, porque la presencia de este sulfuro en los concentrados de zinc y relave representa menor valor del mineral por lo tanto mayor pérdida. El estudio se inició en Minera Corona aplicando los principios en las concentradoras de Santa Rita y Chumpe Yauricocha, Se continuó con el estudio en PAN AMERICAN SILVER concentradoras Amistad y Huaron. En Volcan Cía. Minera concentradoras Victoria, Mahr Tunel y Andaychagua. Se plantea: - La evaluación previa de las operaciones unitarias de molienda- clasificación y flotación. - la ejecución de pruebas metalúrgicas en laboratorio bajo un diseño factorial 2K de tal manera que se pudiera evaluar las variables que afecta la recuperación del sulfuro de plomo.

Diaz,(2015) en su trabajo de tesis titulado “Evaluación del tamaño de partícula en el proceso de flotación para la recuperación de oro”, menciona que las recuperaciones de oro y plata no siempre reflejan, los niveles de recuperación logrados en las pruebas metalúrgicas del estudio de factibilidad del proyecto. Las Auditorias del circuito de Flotación nos confirman que la mayoría de pérdidas están en las mallas finas. También se observa una concentración de oro y plata en el circuito de molienda secundaria. Pruebas de mineralogía, flotación flash y gravimetría coinciden en la conclusión de que existe una porción del oro y la plata en el mineral que se comporta como GRG (oro recuperable por gravimetría). La implementación de un proceso que recupere este oro que recircula; incrementaría la recuperación de oro que se está obteniendo actualmente. Para ello existen 2 procesos probados: la Gravimetría mediante un concentrador centrífugo (Falcón) y la Flotación Flash. La flotación Flash solo ha sido probado a nivel de laboratorio, obteniendo recuperaciones de 88.4% de este oro que recircula, el cual es un resultado



muy superior a la gravimetría de 27.57% del oro recirculante, la siguiente etapa es mediante una prueba piloto de la Flotación Flash para confirmar el resultado obtenido a nivel de laboratorio. Debido a que no se cuenta con la celda de pilotaje; para estimar este incremento se realizó un programa de simulación matemática con el método de recuperaciones parciales para predecir su efecto. El costo total de instalación de un circuito de flotación flash, sería de 54 611 US\$, lo cual se paga con tan solo el 1% de mejora en la recuperación de oro durante 3.5 meses. Se espera una mejora mayor del 2% de recuperación de oro. La simulación determinó un incremento de hasta 92% en plata y a 95.1 en oro, dependiendo de la carga circulante del oro. Por varios motivos detallados en este presente trabajo, se concluye que la recuperación de oro y plata puede ser incrementada con la instalación de un equipo Skim Air de Outokumpu. La mejora mínima del 1%, en la recuperación de oro significa un ingreso de 16295 dólares mensuales, los resultados de la Flotación Flash a nivel laboratorio indican una mejora mayor al 2 y 3%.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 *Mineralogía del Oro*

Existe en la naturaleza en estado libre o en yacimientos geológicos muy variados, (rocas sedimentarias, filones plutónicos), pero su poca reactividad química hace que se presente bajo formas mineralógicas poco numerosas. El oro nativo de zonas de oxidación y de los placeres frecuentemente contiene plata en pequeñas proporciones, así como otros metales, el oro nativo se presenta generalmente aleado con plata como la principal impureza y en aleaciones con cobre y hierro, además con telurios, platino entre otros. También puede encontrarse oro nativo asociado a sulfuros, (como pirita, mispiquel, pirrotita, etc.) bajo formas submicroscópicas no visibles por los instrumentos clásicos de mineralogía, (microscopio óptico), y en otros compuestos y minerales raros a base de antimonio o bismuto.

Tabla 1

Caracterización del Mineral

Minerales	Fórmula	Metal
Magnesiogedrita	$(\text{Mg, Fe})_5\text{Al}_2\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Fe
Moscovita	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	Si
Biotita	$\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Si
Calcopirita	CuFeS_2	Cu
Pirita	FeS	Fe
Calcocita	Cu_2S	Cu
Tetraedrita	$(\text{Cu, Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	Cu
Magnetita	Fe_3O_4	Fe
Bornita	Cu_5FeS_4	Cu
Covelita	CuS	Cu
Argentita	Ag_2S	Ag
Pirrotita	Fe_7S_8	Fe
Monacita	• Monacita-(Ce), CePO_4	Ce La
	• Monacita-(La), LaPO_4	Nd
	• Monacita-(Nd), NdPO_4	Sm
	• Monacita-(Sm), SmPO_4	
Cuarzo	SiO_2	Si
Arsenopirita	FeAsS	Fe
Ullmanita	NiSbS	Ni

Nota: la tabla muestra la fórmula de los minerales que normalmente se encuentran en las vetas del mineral de oro.

2.2.2 Muestreo

Para la optimización de cualquier proceso metalúrgico lo primero que se debe tener en cuenta es conocer el comportamiento real del proceso. Se debe entonces “sacar



una o varias fotos” que permitan conocer los parámetros operacionales existentes para poder mejorar el citado comportamiento y acercarse al ideal.

Las características mínimas de cualquier muestreo son las siguientes:

- La planta debe estar en régimen permanente antes y durante el periodo de muestreo.
- Se debe muestrear los puntos posibles de modo que el balance másico e hídrico quede sobre determinado.
- Cada punto de muestreo debe estar formado por lo menos 3 incrementos
- Los cortadores de muestras deben cortar todo el flujo en forma perpendicular y no se deben derramar muestra durante el corte.
- Las pruebas de laboratorio que se le haga a cada una de las muestras deben ser bien hechas y por lo tanto supervisadas.
- Todo muestreo tiene un error experimental que no se puede evitar y, por lo tanto, los balances resultantes no están ajustados.
- Se debe ajustar el balance para poder tener una foto balanceada del proceso estudiado.

2.2.3 Flotación

Alvarado, V.(1997) en su libro flotación de oro con represión de pirita, de la universidad de Oruro, indica: En la flotación se aprovechan las diferentes características físico-químicas de la superficie de los minerales para el proceso de separación: algunos minerales en una pulpa de grano fino se vuelven hidrófobos añadiéndoles reactivos (colectores, activadores). El aire inyectado al tanque (celda de flotación) que contiene la pulpa lleva las partículas hidrófobas a la superficie, donde flotan en forma de espuma, y entonces se retira. Gracias a las variaciones de pH de la pulpa y a los reactivos adicionados, se puede recuperar selectivamente diferentes minerales. La flotación se



utiliza muy poco en la minería aurífera para sólo recuperar oro libre, y sí más a menudo para recuperar sulfuros auríferos junto con el oro liberado ("bulk flotation"). Existen diferentes tipos de celdas de flotación en uso, en las que se combina la agitación de la pulpa y su aereamiento. En varios casos, la flotación ha sido probada para separar el oro libre de concentrados de sulfuros, reemplazando la amalgamación. Esto funciona solamente para un tamaño limitado de granos, debido a que el oro más grueso, por su masa, no flota tan fácilmente. También es difícil hacer flotar las partículas ultrafinas. Sin embargo, en un tamaño de grano apropiado (aproximadamente 100 a 20 μm), la separación del oro y sulfuros puede funcionar. (Alvarado, 1997).

El proceso de flotación se basa en la interacción entre las burbujas de aire y las partículas de sólido presentes en la pulpa. La eficiencia que tienen las burbujas para atrapar en forma selectiva las partículas de mineral y luego ascender cargadas hasta el rebalse, depende de múltiples fenómenos que ocurren en la pulpa, principalmente diferencias en las propiedades físico-químicas superficiales de las partículas.

Mediante el uso de reactivos, estas diferencias se acentúan y permiten la captura preferencial de algunas partículas que son colectadas y transportadas por las burbujas de aire.

El proceso de flotación tiene como finalidad lograr la separación y posterior recuperación en forma selectiva del material valioso que se está alimentando como pulpa o suspensión al sistema. El proceso de flotación corresponde a un sistema multifase (sólido, líquido y gas) y heterogéneo en tamaño, forma, composición de las partículas minerales y en el tamaño de las burbujas de gas.

A pesar de la complejidad del sistema, se ha establecido parámetros y modelos simples que permiten un adecuado dimensionamiento, diseño, evaluación y control de la

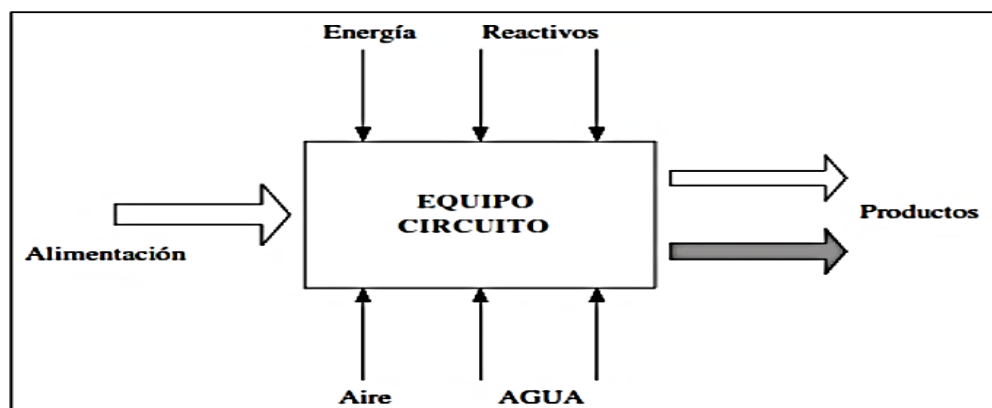
operación. La Figura N° 1, muestra un diagrama general del proceso de separación por flotación.

En el proceso de flotación, se logran identificar las siguientes etapas:

- a) Adsorción de reactivos en la superficie de la partícula.
- b) Colisión y colección del mineral (Formación del agregado burbuja-partícula).
- c) Transporte de la espuma al concentrado (salida del producto).
- d) Retorno del mineral desde la espuma a la pulpa.

Figura 1

Esquema del proceso de flotación.



Nota: la figura muestra un esquema simple del funcionamiento de la celda de flotación.

Fuente: Cornejo,(2018)

2.2.4 Flotación Flash

La flotación flash toma su origen de investigaciones preliminares realizadas en los años 30 por Maxwell o Denver de las celdas unitarias fue el precursor de lo que ahora conocemos como flotación flash. (Lynch, 2010)(Newcombe, 2020)

La primera celda de flotación flash industrial fue instalada en junio de 1982 en la concentradora Hammaslahti en Finlandia (Bourke, 1995). Desde entonces el uso de la



celda de flotación flash ha aumentado dramáticamente tanto en nuevas plantas y en las concentradoras ya existentes, sin embargo, durante los últimos 30 años fue generalizado su uso, pero hay muy poca información técnica sobre su desempeño.

Es un método que consiste en la flotación instantánea de partículas valiosas desde un circuito de Molienda – Clasificación.

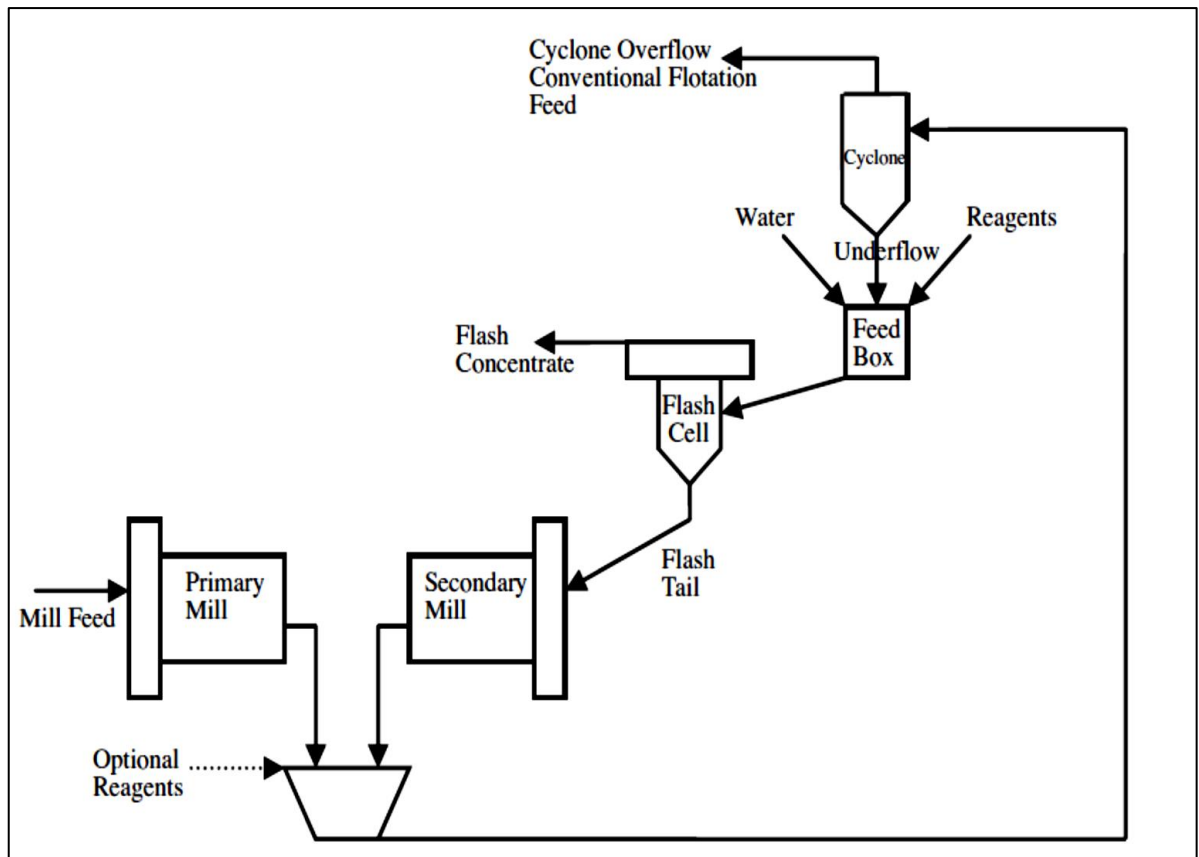
El Concepto de Flotación Flash, se basa en una Celda de flotación especial instalada en el circuito de molienda, la que procesa el material grueso que tradicionalmente es retornado desde el underflow del Hidrociclón directamente al molino.
Newcombe, B. (2014)

2.2.4.1 Descripción Del Proceso De Flotación Flash.

Una representación esquemática de una celda de flotación flash en circuito molienda y flotación convencional que trabaja a un porcentaje de sólidos muy alto.

Figura 2

Ubicación de la flotación flash en una planta típica de molienda / flotación.



Fuente: (Newcombe, Bradshaw & Wightman, 2012, p. 3) Location of flash flotation in a typical grinding/flotation plant, figura 1.

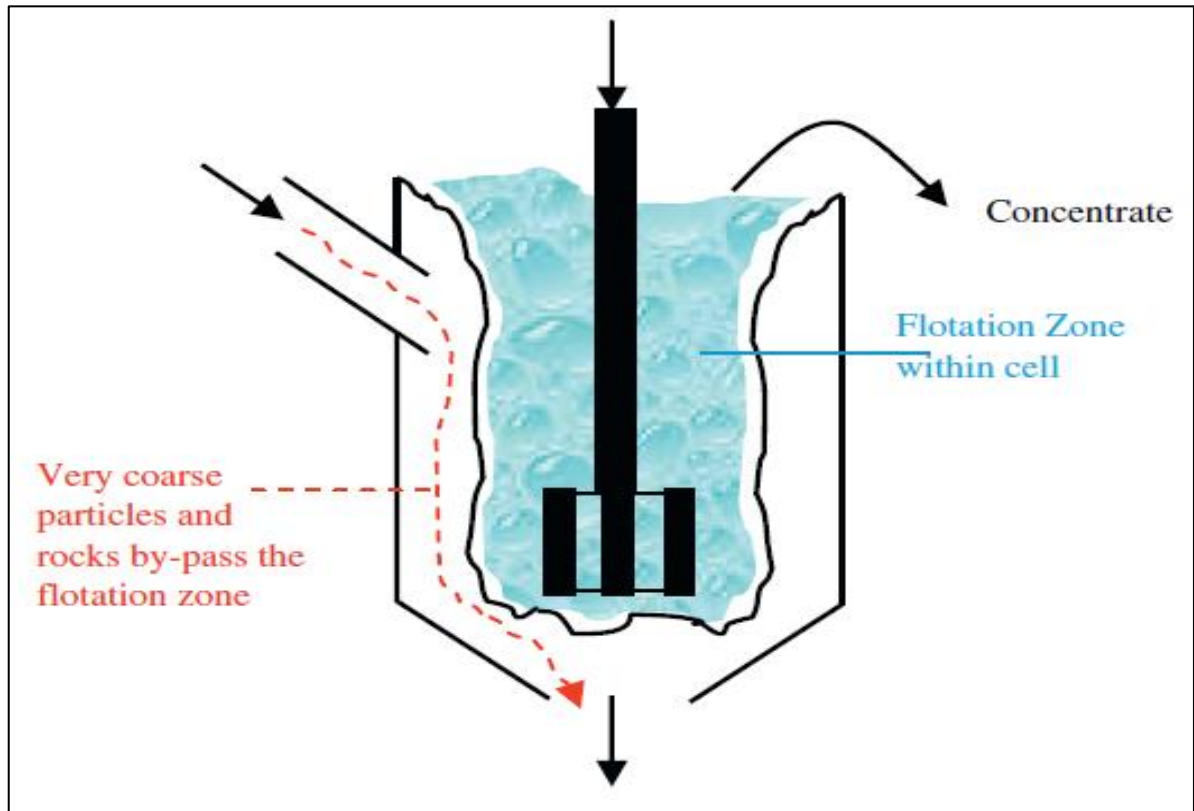
Nota: la figura 2 muestra un circuito típico del circuito de flotación, el esquema empieza desde la alimentación del molino y seguidamente es acondicionado el mineral con los reactivos de flotación, posteriormente este mineral ingresa a las celdas de flotación flash.

La adición de reactivos puede ser antes los activadores y los colectores pueden ser añadidos en el mismo cajón de alimentación a la celda de flotación flash, el aire es añadido a través del eje del impulsor para formar las burbujas que transportan el concentrado, el punto de descarga inferior tiene un alto porcentaje de sólidos y una granulometría más gruesa estos son enviados a molienda secundaria, se muestra en la figura 2, mientras que el concentrado es adecuada para una mayor limpieza en los siguientes etapas de flotación o pueden ser enviados como concentrado final ya que son

de alta ley, las celdas de flotación flash de outotec están diseñados específicamente para actuar como clasificador y máquina de flotación (cole-man, 2011).

Figura 3

Partículas gruesas pasan por el by pass de zona de flotación flash.

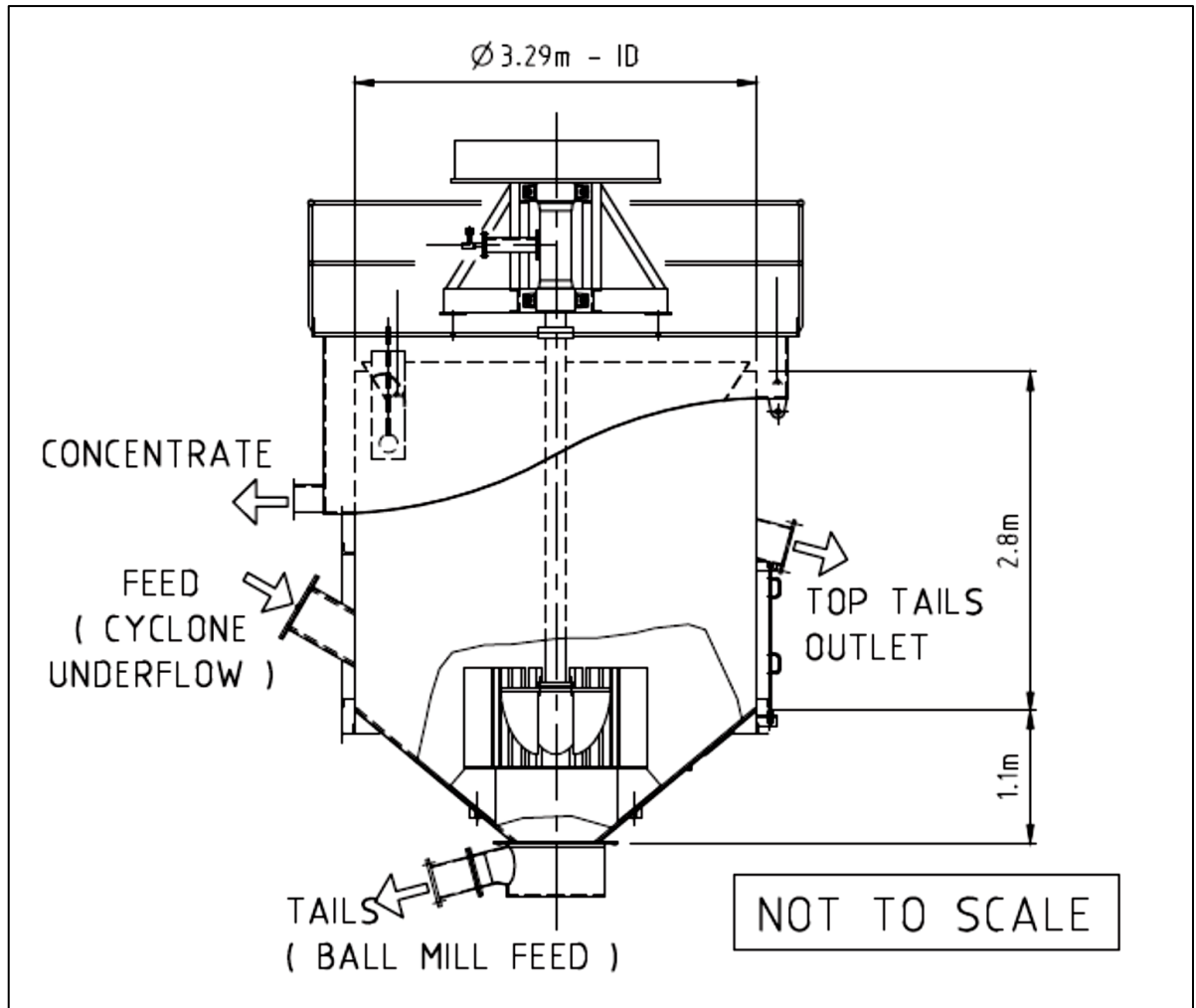


Fuente: (Newcombe, Bradshaw & Wightman, 2012, p. 3). Schematic of flash flotation cell operation, figura 2.

Nota: la figura muestra el esquema de funcionamiento de la celda de flotación flash en donde la línea roja indica el paso del mineral grueso por el bypass y los finos ingresan a la zona de flotación, en donde el material concentrado es flotado.

Figura 4

Detalle de la celda de flotación flash



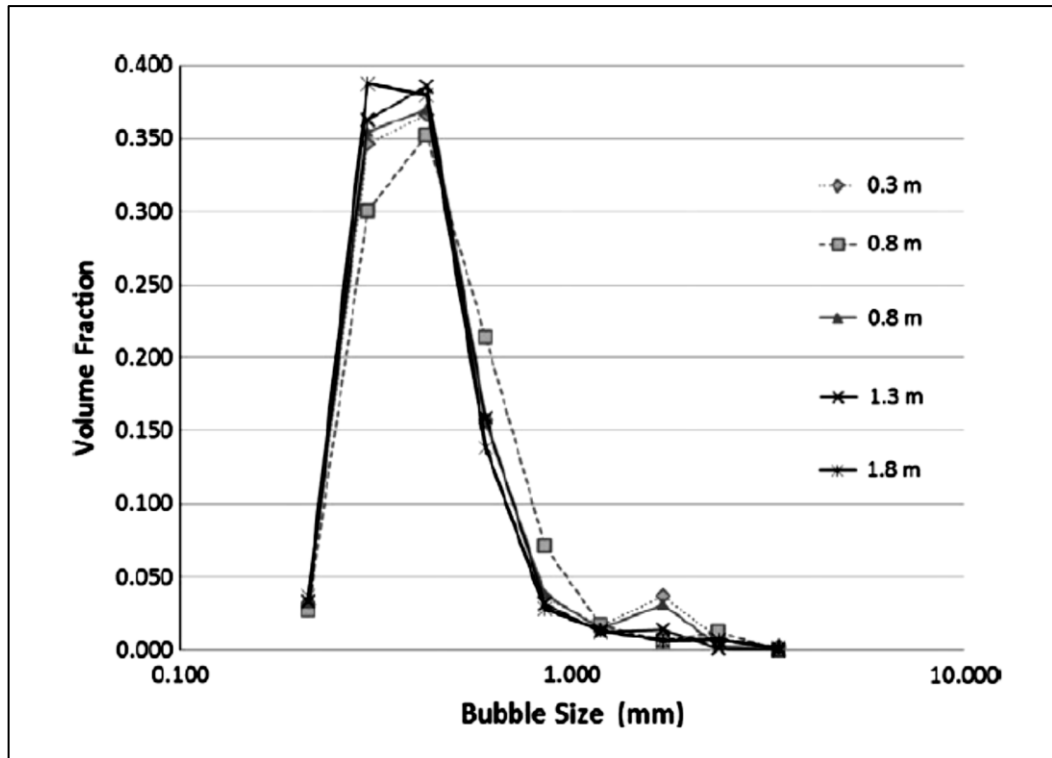
Fuente: (Newcombe, Bradshaw & Wightman, 2012, p. 87). Kanowna Belle flash flotation cell detail

(Murphy, 2012), figura 2.

Nota: la figura muestra algunos detalles importantes de una celda de flotación flash sin escala.

Figura 5

Tamaño de burbujas en celda de flotación flash.



Fuente: (Newcombe, Bradshaw & Wightman, 2012, p. 90). Survey 1 bubble size distribution within the flash flotation cell at increasing Depth, figura 7.

Nota: la figura muestra el tamaño de formación de una burbuja de flotación respecto al volumen de fracción.

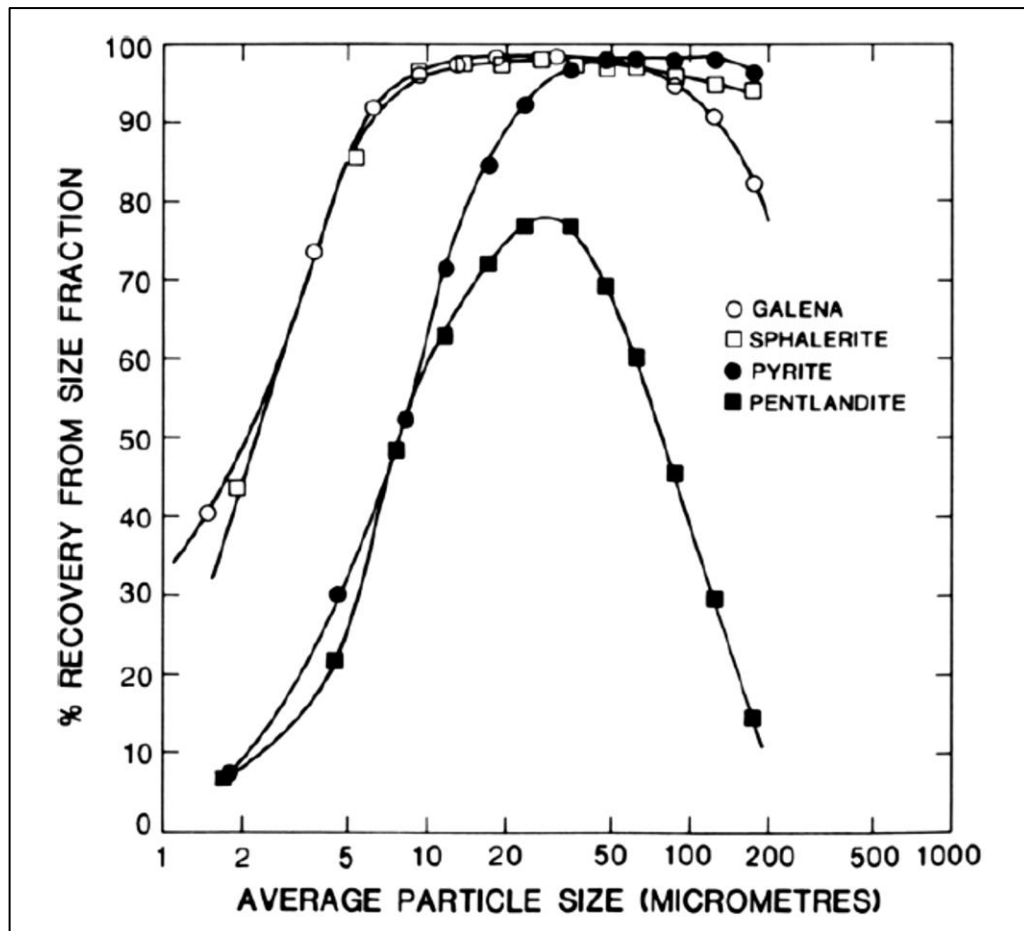
2.2.4.2 Factores Que Afectan La Flotación Flash.

2.2.4.2.1 *Tamaño De Partícula.*

Las características de liberación de las partículas juegan un papel importante en sus requisitos de tratamiento para flotación y esto ha sido un aporte considerable en la investigación.

Figura 6

Recuperación por tamaño de partículas



Fuente: (Newcombe, Bradshaw & Wightman, 2012, p. 3). Size-recovery response of different mineral systems (after Jowett, 1979), figura 3.

Nota: la figura es una representación de cómo influye el tamaño de las partículas en la flotación de minerales, en este caso de la galena, calcopirita, pirita, la recuperación más alta se encuentra entre 25 a 70 micras.

En la flotación de minerales sulfurados diversas variables de proceso, tales como la dosificación de reactivos o concentración de sólidos en peso de la pulpa, influyen directamente en la obtención de resultados de recuperación metalúrgica y ley de concentrado final objetivo de una planta concentradora. Sin embargo, la variable que más influye en estos resultados corresponde al tamaño de las partículas que contienen el elemento valioso que se desea flotar (Empírica, 2020, párrafo 1)



2.2.4.3 Finalidad De La Flotación Flash.

Como método la Flotación Flash, en su aplicación constituye una herramienta, que sirve para el Proceso de Optimización de Plantas Concentradoras donde tienen diferentes gravedades específicas por cada especie mineralógica, algunos minerales sufren sobremolienda por su mayor tiempo de residencia recirculando en el Underflow del Hidrociclón, los cuales se convierten posteriormente en pérdidas. Quispe ,(2018)

Algunas de las variables de mayor importancia para el proceso de Flotación son:

- a. Recuperación del proceso entre 50 % - 80 %.
- b. Tamaño de mayores a 300 micrones, malla +50.
- c. Celdas Dimensionales: Las celdas son dimensionadas en Función de su tonelaje de alimentación y normalmente opera con el flujo de la carga circulante dentro del circuito de molienda.
- d. Capacidad: De 15 a 2400 tph.

2.2.4.4 Usos Potenciales De Una Celda De Flotación Flash

El uso de una Celda de Flotación Flash, puede facilitar cuando:

- Distintos tipos de minerales presentes en algunas actividades productivas, presentan diferencias entre su gravedad específica y los posibles tamaños de liberación.
- En minería de Polimetálicos, donde se pueden extraer minerales como Plomo (Pb), donde la diferencia de densidad es notable, siendo posible realizar Flotación Flash de Plomo para evitar sobre moliendas.
- En la Mineralización, donde se encuentran minerales como el Cobre (Cu) y Oro (Au). Donde el último por la diferencia de densidad y diferencia en tamaño de liberación pueda separarse mediante Flotación Flash. Quispe,(2018)

2.2.4.5 Beneficios Que Brinda La Flotación Flash.

- Brinda menor remolienda de valores.
- Incremento de La Recuperación típica.
- Mejor humedad de concentrados.
- Permite obtener Concentrados de alta Ley de granulometría fina y gruesa, recuperados en una sola etapa.
- Los Concentrados de Gruesa Granulometría son fácil de Filtrar en la etapa de filtrado. Quispe,(2018)

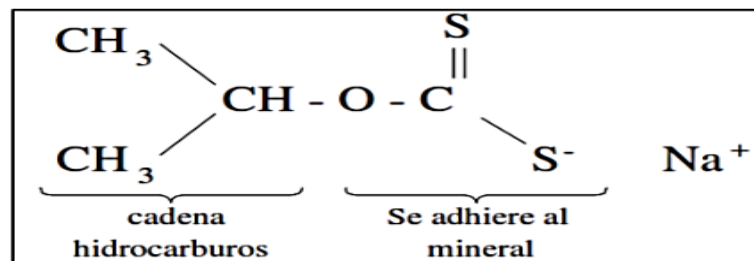
2.2.5 Reactivos De Flotación

2.2.5.1 Colectores

Los colectores son sustancias orgánicas cuyo anión o catión tiene una estructura integrada por un aparte polar y otra apolar, ver Figura 7.

Figura 7

Xantato isopropílico de sodio



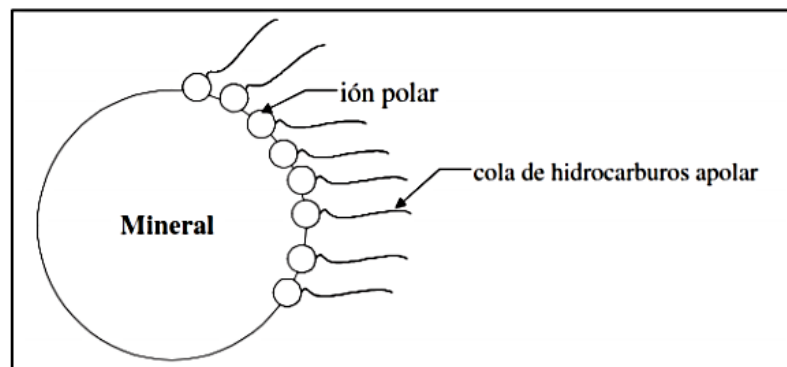
Fuente: Cornejo ,(2018)

Nota: la figura muestra la cadena orgánica del xantato, la parte de la cadena de hidrocarburo este compuesto por carbono e hidrogeno mientras la parte adherente al mineral está compuesta por azufre, carbono.

La parte polar del ion se adsorbe en la superficie del mineral. Por otra parte, la parte apolar, constituida por una cadena de hidrocarburos, queda orientada hacia la fase acuosa, dando el carácter hidrófobo al mineral, ver Figura 8

Figura 8

Adhesión del colector a la superficie del mineral



Fuente: Quispe,(2018)

El largo de la cadena de hidrocarburos está asociado a la mayor o menor repelencia al agua. La parte que se adhiere al mineral dará la fuerza y selectividad. Lo anterior explica la diferencia de comportamiento de los diferentes colectores. Por lo tanto, la colección estará íntimamente condicionada por la naturaleza de la superficie del mineral y la estructura química del colector. La unión química entre el colector y el mineral deberá ser más fuerte que la que pueda existir entre el mineral y el agua. Los niveles de molienda o de liberación de partículas nunca serán perfectos para suplir las posibles contaminaciones de las superficies mineralógicas que impiden una adecuada unión, de ahí la necesidad de buscar el colector más eficiente. El ángulo de contacto no es una característica inherente del mineral, sino del grupo apolar (cadena hidrocarburos) del agente colector, Al respecto,

- a) Mientras más larga sea la cadena de hidrocarburos mayor será el ángulo de contacto y mayor será la hidrofobicidad adquirida por el mineral.
- b) Se ha comprobado que las cadenas de tipo "iso" (iso-propil, iso-butil) forman ángulos de contacto mayores que las cadenas de tipo normal. Las partículas de mineral convertidas en hidrófobas por la acción del colector se adhieren a las



Burbujas de aire que van ascendiendo por la pulpa. La recuperación de mineral aumenta al aumentar el ángulo de contacto.

2.2.5.2 Espumantes

Son reactivos orgánicos de carácter heteropolar. Análogos a los colectores iónicos en su estructura, su diferencia radica en el carácter del grupo polar que en los colectores es activo para reaccionar con la superficie de los minerales, mientras que en los espumantes es un grupo con gran afinidad con el agua (OH⁻). En forma general puede decirse que los colectores tienen afinidad por la interfase sólido-líquido, los espumantes la tienen por la interfase líquido-gas. Sus principales propiedades son:

- a) Cuando un mineral ha sido transformado en hidrofóbico o repelente al agua, la estabilidad de la burbuja que se adhiere a estas partículas, depende de la eficiencia de los espumantes.
- b) Las burbujas producidas por la agitación, se rompen muy fácilmente y se fusionan rápidamente, formando grandes burbujas que son menos estables. Si pequeñas cantidades de un reactivo heteropolar, por ejemplo, alcohol, es adicionada al agua, se forma una espuma estable como resultado de la agitación o la introducción de aire en forma dispersada. Cornejo,(2018).

2.2.5.3 Modificadores

Son reactivos usados en la flotación de minerales para controlar el efecto o la acción de los colectores de los minerales, ya sea intensificando o reduciendo su efecto hidrofóbico en la superficie del mineral, de manera que la selectividad de la flotación sea incrementada. Los modificadores se dividen en:

2.2.5.4 Modificadores Del Medio O De pH

El pH de una pulpa tiene gran importancia en la flotación, ya que los iones H⁺ compiten con otros iones en alcanzar las superficies de los minerales, y, además, su concentración



influye en la disociación de las sales y en los intercambios iónicos. Para producir el pH necesario en los circuitos industriales se recurre a ácidos y bases de bajo coste, por lo que habitualmente se utilizan:

- Caliza, cal o cal apagada en forma de lodo deprime la pirita y otros sulfuros de fierro.
- Hidróxido de sodio (soda caustica) en solución de 5 – 10% dispersa gangas lamosas
- carbonato de sodio (soda ash) en seco, dispersa gangas lamosas
- Ácido sulfúrico

2.2.5.5 Depresores

La función específica de los depresores es la de disminuir la flotabilidad de un mineral haciendo su superficie más hidrófila o impidiendo la adsorción de colectores que puedan hidrofilarla. Hay varias formas de conseguirlo:

- a) Introduciendo en la pulpa un ion que compita con el colector por alcanzar la superficie del mineral. Depresión de los sulfuros de metales pesados con CN- o SH- Depresión de galena con Dicromato.
- b) Neutralización química y eliminación del colector. Actuación de cationes alcalinos y alcalinotérreos que forman precipitados con los ácidos grasos y los Xantatos.
- c) Añadiendo sustancias que generan grupos hidrofílicos que una vez que alcanzan la superficie mineral orientan la parte polar hacia el agua.

Sustancias orgánicas de tipo almidón, quebracho, tanino se hidrolizan y se generan múltiples grupos hidrofílicos dirigidos hacia el exterior de las partículas. Sería como un efecto colector a la inversa.



2.2.5.6 Activadores

Los reactivos de este tipo sirven para aumentar la adsorción de los colectores o para fortalecer el enlace entre el colector y la superficie mineral. Hay distintas maneras de actuar sobre una superficie:

- a) Renovando o limpiando la superficie del mineral afectada por un proceso secundario como es la oxidación o la adhesión de lamas. Limpieza de las superficies de sulfuros de Fe, Cu y Zn con Ac. Sulfúrico.
- b) Formando en la superficie una capa particularmente favorable para la adsorción del colector. Sulfidización de las superficies de los óxidos.
- c) Reemplazando en la red cristalina algunos iones metálicos por otros que forman uniones más firmes con los colectores. Activación de la superficie de la esfalerita por ion Cu

2.2.6 *Ventajas de la flotación flash*

En la Minería del oro y la plata, como el caso materia de estudio donde se extraen minerales como el de oro y plata, pirita, calcopirita como subproducto; el uso de una Celda de Flotación Flash (Rápida), frente a una Flotación Convencional, permite dar ventajas en el proceso, en los aspectos que se indican:

- Minimiza la Sobre molienda de los minerales valiosos.
- Concentrados finales de alta ley, posible sólo en una etapa.
- Volúmenes menores en las Celdas convencionales.
- Se reduce también la carga circulante en el circuito de molienda, posibilitándose así una tasa de procesamiento más alta y un control más constante.
- Mejora en el proceso de Filtración, es más accesible filtrar concentrados de granulometría gruesa.



- Aumenta la recuperación Global, aprovechando las buenas características del mineral para la flotación. Gorvenia,(2006)

2.2.7 Desventajas de la flotación flash

- Se requiere disminuir la densidad de pulpa para la alimentación flash, en este caso disminuir la densidad de pulpa del Underflow del hidrociclón $> 2\ 300\ \text{g/l}$ a $1\ 500\ \text{g/l}$ aproximadamente
- El Tamaño de equipos, para una operación normal en las bombas de $7\ 000\ \text{tph}$ de pulpa Aprox. en todos los nidos de ciclones, a escala industrial se requiere de celdas de flotación flash de $2\ 400\ \text{tph}$ o varias de menor tamaño
- El Tiempo de Residencia, Muy poco tiempo de residencia
- Se debe encontrar un equilibrio entre la mejor recuperación de metales de valor y la disminución de Recuperación debido a constante variación de tonelaje en Molienda.
- La operación de la celda flash depende del tonelaje que pasa por el molino SAG, presión del nido de ciclones, y alimentación de Pebles.

Gorvenia,(2006)



CAPITULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1 DISEÑO, NIVEL Y TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 *Diseño De La Investigación*

El presente estudio tiene el tipo de investigación experimental con un enfoque cuantitativo, pues es el que mejor se adapta a las necesidades del estudio.

El diseño experimental busca: “medir probabilísticamente la relación causal que se establece entre las variables, y estar en posibilidad de confirmar o rechazar las hipótesis sometidas a prueba” (Rojas, 2013, p.272).

Por su parte:

“el diseño experimental consiste en administrar un estímulo o tratamiento a un grupo y después aplicar una medición de una o más variables para observar cual es nivel del grupo en estas” (Hernandez, Fernández, y Baptista, 2010, p.136).

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Para lograr los objetivos planteados se realizó el siguiente procedimiento que plantea la metodología: diseño del experimento, realizar pruebas de laboratorio, aplicación en planta

3.2.1 *Primer objetivo*

3.2.1.1 **Características del mineral.**

Para lograr el primer objetivo se realizó la investigación bibliográfica, muestreo del mineral aurífero, preparación mecánica de mineral (Homogenización, cuarteo, chancado, molienda), análisis granulométrico y registro de datos.



3.2.1.2 Procedimiento.

1. Se realizó la investigación de la bibliografía.
2. Se realizó el muestreo del mineral de oro que alimenta a planta concentradora.
3. Se realizó la preparación mecánica de muestra (chancado y tamizado al 100% - 10mty)
4. Se realizó la homogenización y cuarteo de mineral separando en muestras de 1kg c/u.
5. Se realizó la cinética de moliendabilidad con molino de bolas de laboratorio con muestras de 1 kg y 500ml de agua.
6. Se realizó el análisis granulométrico de mineral que no pasó por el proceso de molienda, y también se realizó el análisis granulométrico de tiempos de molienda de 10,20,30,40,50.
7. Se efectuó la determinación de gravedad específica del mineral aurífero.
8. Se efectuó la realización de pruebas de gravimetría
9. Registro de datos.

3.2.1.3 Materiales usados.

- Materiales de escritorio (laptop, impresora, hojas bond, lapiceros, plumón)
- Materiales de laboratorio (chancadora de quijadas, ro- tap, juego de tamices, balanza, bandejas, fiolas,)

3.2.2 Segundo objetivo

3.2.2.1 Evaluación de parámetros

Para lograr el segundo objetivo se utilizó los resultados del primer objetivo, se realizó la preparación mecánica de muestras, se desarrolló el diseño experimental en Statgraphics,



después se procedió con las pruebas de flotación variando parámetros según diseño experimental.

3.2.2.2 Procedimiento.

1. Preparación mecánica del mineral.
2. Dosificación de los reactivos según diseño experimental y número de prueba.
3. Se realizó la prueba número 01 hasta la prueba número 11.
4. Se recopiló el porcentaje de recuperación de cada prueba.
5. Análisis de los resultados en el software Statgraphics.
6. Instalación de la celda de flotación flash en planta.
7. Adecuación del mineral según resultados de laboratorio.
8. Dosificación de los reactivos según resultados de pruebas de laboratorio.
9. Realización de la flotación en la celda de flotación flash,
10. Registro de resultados de recuperación.
11. Reporte.
12. Documentación.

3.2.2.3 Materiales usados.

Materiales: Computadora, cuaderno, hojas bond, anotes, office, medidor de pH, celda flash, instrumentos de cuarteo, molino de laboratorio, chancadora de laboratorio, instrumentos de medición de peso y densidad.

3.2.2.3.1. Hardware.

- Computadora Modelo: HP 250

Procesador: Intel(R) Core (TM) i5-2430 2.40GHz

Memoria instalada (RAM): 4.00GB de RAM.

Tipo de sistema: Sistema Operativo de 64 bits Windows 10 pro.



3.2.2.3.2. Software.

- Sistema operativo de 64 bits Windows 10 pro.
- Microsoft office 2019 profesional.
- Block de notas de Windows.

3.2.2.3.3. Materiales de planta.

- Celda de flotación flash.
- Circuito de preparación mecánica de minerales.
- Circuito de molienda.
- Acondicionador
- Dosificador.

3.2.2.3.4. Reactivos.

- CuSO_4
- Z-6
- AP-4037

3.3 UBICACIÓN

El diseño de la investigación se desarrolló en laboratorio metalúrgico y planta concentradora de la empresa minera Cori Puno provincia de Sandia, departamento de Puno; se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas UTM 19 S 458356.53 8387319.03 y coordenadas GMS 14°35'13"S, 69°23'11"W, con una altitud de 4950 m.s.n.m.

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Es cómo y qué medios se usan para la obtención de la información que será de utilidad para la corroboración de nuestras hipótesis.



3.4.1 Técnicas

- Revisión Bibliográfica:

Esta técnica permite la recolección y registro de la información de: journals, papers, foros, blogs, tesis, y más fuentes de información en la red.

- Observación:

Esta técnica fue primordial para recabar información primaria ya que al realizar las pruebas de flotación a nivel laboratorio se pudo tener observaciones preliminares acerca del comportamiento que tendrá el mineral alimentado a celda flash.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Para poder realizar el diseño del experimento a realizarse se recurrió al uso de un software de diseño y simulación de experimentos “Statgraphics”, este software primeramente nos pedirá el tipo de diseño a realizar en nuestro caso el diseño de cribado factorial 2^3 , con tres parámetros variables o experimentales en su rango bajo y alto, que son el: CuSO_4 , Z-6 y AP-4037.

4.1.1 Diseño de Cribado

Clase de diseño: De Cribado

Nombre del Diseño: Factorial 2^3

Nombre del archivo: <Sin Título>

- Diseño Base

Número de factores experimentales: 3, Número de bloques: 1, Número de respuestas: 1

Número de corridas: 11, incluyendo 3 puntos centrales por bloque

Grados de libertad para el error: 4

Aleatorizar: No

Tabla 2

Parámetros bajos y altos de las variables de experimentación.

<i>Factores</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Unidades</i>	<i>Continuo</i>
CuSO₄	35	45	g/ton	Sí
Z-6	21	31	g/ton	Sí
AP-4037	59	73	g/ton	Sí

Nota: en la tabla se aprecia los factores de experimentación, sulfato de cobre (CuSO_4), xantato (Z-6) y el AP-4037 y sus parámetros bajos y altos.



En la tabla 2 muestra los parámetros mínimos y máximos para realizar el experimento o en nuestro caso las pruebas en busca de los parámetros adecuados que nos permitan obtener concentrados de flotación flash con porcentaje de recuperación alto. El sulfato de cobre se experimentará con 35 g/ton y 45 g/ton; el Xantato se experimentará con 21 g/ton y 31 g/ton; el AP-4037 con 59 g/ton y 73 g/ton.

Una vez seleccionado los parámetros experimentales e ingresado los rangos bajos y altos en el Statgraphics, este mismo procede a realizar el diseño del experimento en la secuencia como muestra la plantilla de la tabla 3, 8 experimentos con bajos y altos, 3 experimentos con los puntos centrales, en total 11 experimentos.

Tabla 3

Diseño de la experimentación.

Nº PRUEBA	CuSO₄ g/ton	Z-6 g/ton	AP-4037 g/ton	RECUPERACIÓN %
1	-	-	-	
2	+	-	-	
3	-	+	-	
4	+	+	-	
5	-	-	+	
6	+	-	+	
7	-	+	+	
8	+	+	+	
9	0	0	0	
10	0	0	0	
11	0	0	0	

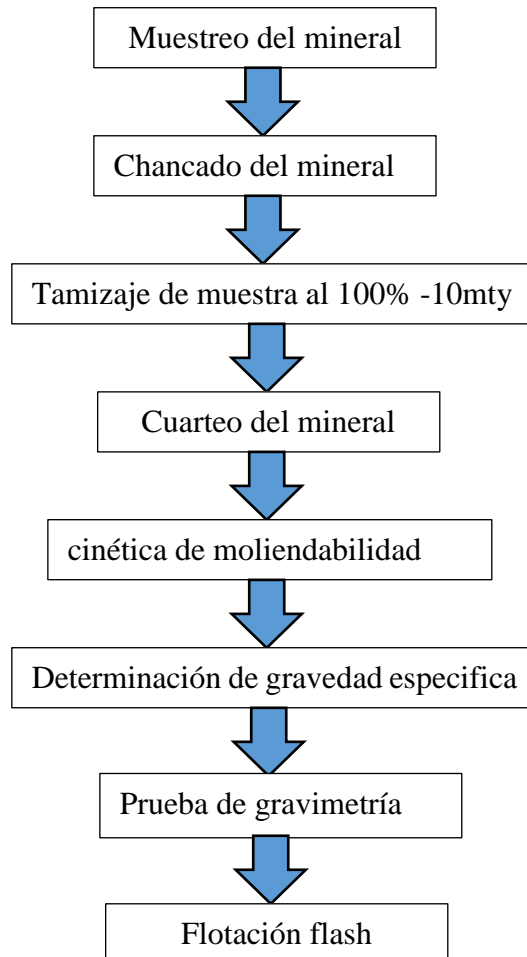
Nota: en la tabla se aprecia el diseño del experimento a realizarse.

En la tabla 3 se muestra el diseño realizado con la ayuda del software Statgraphics, la combinación de todos los parámetros bajos y altos de cada uno de los reactivos de flotación.

4.2 DIAGRAMA DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

Figura 9

Diagrama de las pruebas de laboratorio



Nota: la Tabla muestra los pasos a seguir después de la toma de muestra hasta flotación flash.

4.2.1 Muestreo del mineral

Se realizó el muestreo en cancha de mineral aproximadamente unos 100 kg. usando una pala y sacos de polietileno, estos fueron transportados a laboratorio para posteriormente ser reducidos de tamaño.



4.2.2 Chancado del mineral

El mineral muestreado es reducido de tamaño en chancadora de quijadas este proceso representa a chancado primario, posteriormente es pasado en chancadora secundaria que es una chancadora de rodillos y rocklabs.

4.2.3 Tamizaje de muestra

El proceso continúa con el tamizaje de muestra, las muestras ya reducidas de tamaño son pasadas por un tamiz nro 10 mty que tiene una abertura de 2000 μ .

4.2.4 Cuarteo

El mineral 100% pasante de la malla 10 ty es homogenizado y se procede con el cuarteo para obtener una muestra representativa de toda la muestra, una vez que se obtuvo muestra para ley de cabeza se procede a dividir en partes iguales para luego proceder con las pruebas de moliendabilidad

4.2.5 Prueba de moliendabilidad

Con la muestra 100% -10mTy y cuarteados en muestras de 1Kg se procede con la realización de pruebas de moliendabilidad, para tiempo “0 minutos” se realiza el análisis granulométrico respectivo del mineral que ya está 100% -10mty para tiempo “10minutos” se realiza en molino de bolas de laboratorio de capacidad 1kg. , a la muestra de 1kg de mineral se le agrega 500ml de agua, se da un tiempo de 10 minutos una vez terminado la molienda se descarga del molino de bolas y se procede a deslamar y su posterior secado para después desarrollar el análisis granulométrico.

Se desarrolla la molienda de minerales para tiempos de (10,20,30,40,50) minutos, se procede al deslamado y secado de muestras para posteriormente hacer un tamizado en juego de mallas con la ayuda de un ro-tap.



En el análisis granulométrico que se presenta en la tabla 4 se observa los números de mallas, las aberturas de cada malla en (μm) , el peso retenido en cada malla, el porcentaje en peso, el acumulado retenido y pasante; estos para los tiempos (0,10,20,30,40,50)minutos respectivamente.

En la tabla 4 se detalla el resumen del porcentaje acumulado y pasante de la malla 200mty, con los datos obtenidos y usando el Excel se realiza el gráfico entre tiempo de molienda y porcentaje acumulado pasante de la malla de referencia #200mty, se obtiene un modelo matemático, y con los datos obtenidos se procede a la interpolación para llegar a un 50% -200mty y 80% -200mty, y se calcula el tiempo óptimo de molienda.

Tabla 4

Pruebas de moliendabilidad y análisis granulométrico de la muestra

PRUEBAS DE MOLIENDABILIDAD									
Cori Puno...									
Parte 1 de 2									
OBJETIVO: Determinar el tiempo de molienda para alcanzar un P ₈₀ de 75 µ.						Operador : <u>Milwar Erick Huacca</u> Fecha : _____			
CONDICIONES DE OPERACIÓN									
MUESTRA Código de Muestra <u>CRUZ DE ORO "OPCION 3" Muestra # 2</u> Granulometría (<100%) <u>2000 µ</u> Peso de mineral: <u>1.000</u> Humedad del mineral: <u>0.0</u> % Sólidos : _____									
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO									
#	Malla	Abertura (µm)	TM. : 0 min			TM. : 10 min			
			Peso (g)	Peso (%)	Ac. Ret. (%)	Ac. Pass (%)	Peso (g)	Peso (%)	Ac. Ret. (%)
10	2000	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00
16	1180	235.2	23.52	23.52	76.48	28.50	2.85	2.85	97.15
18	1000	74.00	7.40	30.92	69.08	12.50	1.25	4.10	95.90
20	850	52.10	5.21	36.13	63.87	9.00	0.90	5.00	95.00
30	600	86.50	8.65	44.78	55.22	17.90	1.79	6.79	93.21
40	425	78.70	7.87	52.65	47.35	26.00	2.60	9.39	90.61
50	300	52.10	5.21	57.86	42.14	34.20	3.42	12.81	87.19
70	212	50.50	5.05	62.91	37.09	74.00	7.40	20.21	79.79
100	150	38.40	3.84	66.75	33.25	77.00	7.70	27.91	72.09
140	106	21.20	2.12	68.87	31.13	82.90	8.29	36.20	63.80
200	75	42.90	4.29	73.16	26.84	97.40	9.74	45.94	54.06
270	53	36.40	3.64	76.80	23.20	89.50	8.95	54.89	45.11
325	45	22.30	2.23	79.03	20.97	49.80	4.98	59.87	40.13
400	37	13.70	1.37	80.40	19.60	31.80	3.18	63.05	36.95
-400	0	196.00	19.60	100.00	0.00	369.50	36.95	100.00	0.00
		1000.00	100.00			1000.00	100.00		
#	Malla	Abertura (µ)	TM. : 20 min			TM. : 30 min			
			Peso (g)	Peso (%)	Ac. Ret. (%)	Ac. Pass (%)	Peso (g)	Peso (%)	Ac. Ret. (%)
10	2000	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00
16	1180	2.60	0.26	0.26	99.74	0.00	0.00	0.00	100.00
18	1000	1.30	0.13	0.39	99.61	0.00	0.00	0.00	100.00
20	850	1.10	0.11	0.50	99.50	0.00	0.00	0.00	100.00
30	600	2.20	0.22	0.72	99.28	0.00	0.00	0.00	100.00
40	425	2.60	0.26	0.98	99.02	0.00	0.00	0.00	100.00
50	300	2.00	0.20	1.18	98.82	0.00	0.00	0.00	100.00
70	212	15.10	1.51	2.69	97.31	2.70	0.27	0.27	99.73
100	150	48.50	4.85	7.54	92.46	13.20	1.32	1.59	98.41
140	106	82.80	8.28	15.82	84.18	50.40	5.04	6.63	93.37
200	75	132.60	13.26	29.08	70.92	127.40	12.74	19.37	80.63
270	53	124.60	12.46	41.54	58.46	141.00	14.10	33.47	66.53
325	45	64.50	6.45	47.99	52.01	70.90	7.09	40.56	59.44
400	37	40.60	4.06	52.05	47.95	45.40	4.54	45.10	54.90
-400	0	479.50	47.95	100.00	0.00	549.00	54.90	100.00	0.00
		1000.00	100.00			1000.00	100.00		
#	Malla	Abertura (µm)	TM. : 40 min			TM. : 50 min			
			Peso (g)	Peso (%)	Ac. Ret. (%)	Ac. Pass (%)	Peso (g)	Peso (%)	Ac. Ret. (%)
10	2000	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00
16	1180	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00
18	1000	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00
20	850	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00
30	600	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00
40	425	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00
50	300	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00
70	212	0.40	0.04	0.04	99.96	0.20	0.02	0.02	99.98
100	150	3.80	0.38	0.42	99.58	0.20	0.02	0.04	99.96
140	106	23.70	2.37	2.79	97.21	12.40	1.24	1.28	98.72
200	75	96.60	9.66	12.45	87.55	65.90	6.59	7.87	92.13
270	53	144.50	14.45	26.90	73.10	135.90	13.59	21.46	78.54
325	45	76.00	7.60	34.50	65.50	79.60	7.96	29.42	70.58
400	37	47.20	4.72	39.22	60.78	52.90	5.29	34.71	65.29
-400	0	607.80	60.78	100.00	0.00	652.90	65.29	100.00	0.00
		1000.00	100.00			1000.00	100.00		

Nota: la Tabla muestra el resultado óptimo del tiempo de molienda para llegar a la granulometría adecuada, las pruebas se tomaron en diferentes tiempos de molienda.



En tabla 4, se puede apreciar tres cuadros de análisis de granulometría resultados de la prueba de moliendabilidad, como objetivo es llegar al porcentaje de moliendabilidad más alta en la malla de 75 micras, para eso realizo los siguiente:

- Se tomó una muestra de 1 kilogramo.
- Se procedió a sacarle la humedad.
- Y la granulometría inicial.
- Se procedió a adicionar la muestra en un molino.
- Y finalmente se midió las granulometrías en diferentes tiempos.

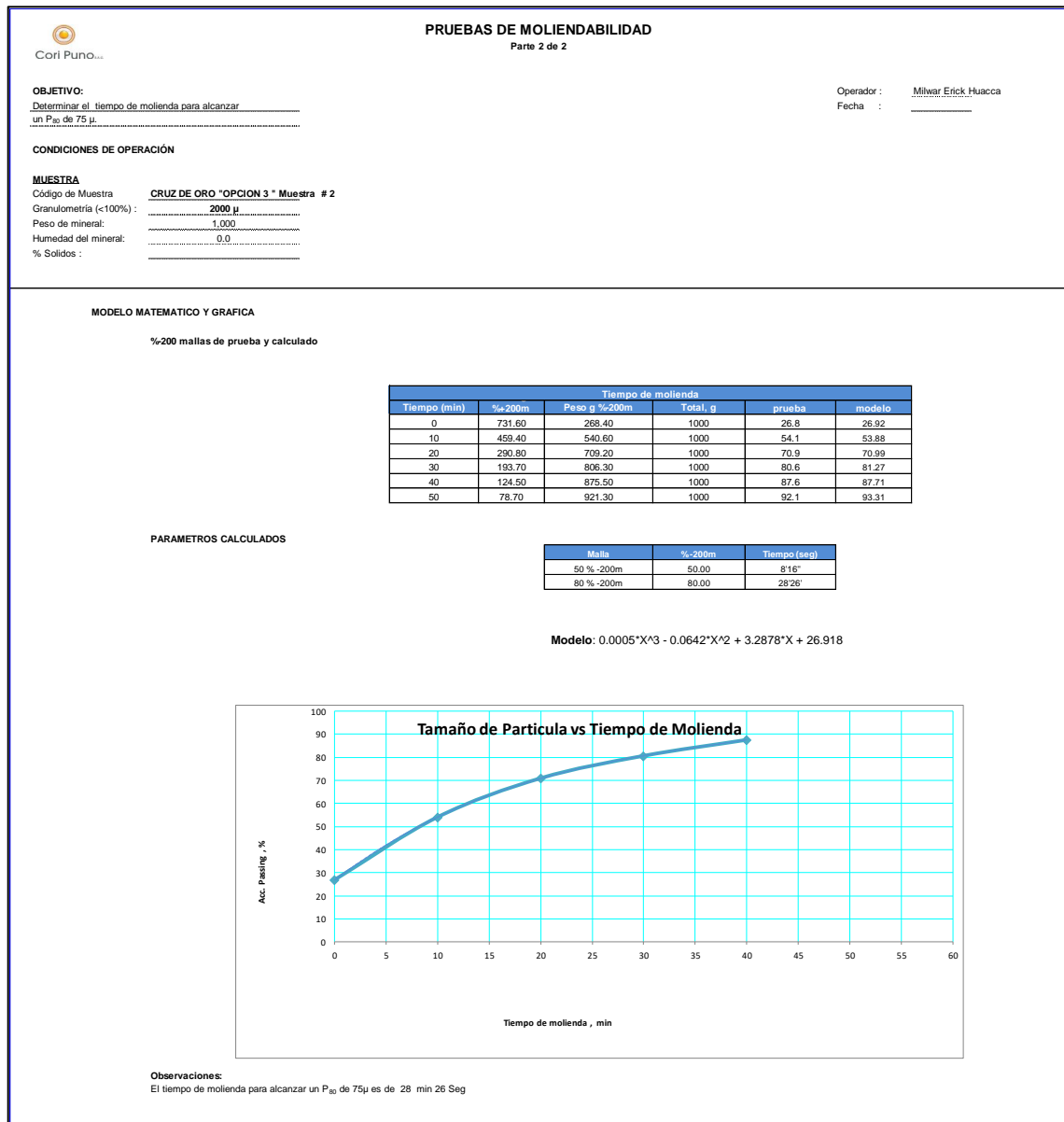
Los resultados de las mediciones de la granulometría fueron en los minutos, 0, 10, 20, 30, 40 y 50 los cuales se explica a continuación:

- En el primer instante la muestra tiene una granulometría inicial de 28.84% de pasante en la malla 75 micras.
- A los 10 minutos de molienda la muestra tenía un 54.08% de pasante en la malla de 75 micras.
- A los 20 minutos de molienda la muestra tenía un 29.08% de pasante en la malla de 75 micras.
- A los 30 minutos de molienda la muestra tenía un 80.63% de pasante en la malla de 75 micras.
- En 40 minutos de molienda la muestra tenía un 87.55% de pasante en la malla de 75 micras.
- En 50 minutos de molienda la muestra tenía un 92.13% de pasante en la malla de 75 micras.

Lo que nos indica que la molienda para el mineral deberá de ser obtenida por el método de interpolación para llegar a la granulometría adecuada para el siguiente proceso de flotación, lo cual se aprecia en tabla 5 .

Tabla 5

Pruebas de moliendabilidad y tiempo de molienda de la muestra.



Nota: la Tabla 5 , es la continuación de tabla 4 , en esta figura se muestra el primer cuadro, %-200 malla de prueba y calculado es el cuadro de resumen de las pruebas de molienda; el cuadro de parámetros calculados muestra que 50% pasante a la malla -200 es en 8'16" y el 80% pasante a la malla -200 se dio en 28'26". Y finalmente se muestra una gráfica de acumulado pasante vs tiempo de molienda para alcanzar un P_{80} de 75μ es de 28 min 26 Seg.



4.2.6 *Determinación de la gravedad específica*

Para la determinación de gravedad específica se usa el método de la fiola y los datos se muestran en Tabla 6, teniendo los datos de:

- P1 peso de la fiola vacía.
- P2 peso de la fiola con muestra.
- P3 peso de la fiola con muestra y agua.
- P4 peso de la fiola con agua.

reemplazando los datos de la figura 11 en la siguiente fórmula:


$$SpGr = \frac{P2 - P1}{P2 + P4 - P1 - P3}$$

Se obtiene una gravedad específica de la muestra mineral de cabeza un valor de 2.81

También se observa en tabla 6 la gravedad específica del relave gravimétrico con un valor de 2.71.

Tabla 6

Determinación de la gravedad específica de la muestra.

 LABORATORIO METALURGICO CORI PUNO GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Planta:	Cori Puno S.A.C
Fecha:	
Objetivo:	Determinar la Gravedad específica del mineral
Descripción de la Muestra:	Mineral de cabeza 100% - m10 Cruz de Oro
Ecuación de la Gravedad Especifica	
$SpGr = \frac{P2 - P1}{P2 + P4 - P1 - P3}$	
Prueba N°:	Muestra Cabeza CRUZ DE ORO
Operador:	Wilson Pari
FIOLA	
Volúmen de Fiola	250 cc
RESULTADOS	
P1. Peso de Fiola Seca y Vacía	88.10 g
P2. Peso de Fiola con Muestra pulverizada	126 g
P3. Peso de Fiola con Muestra y Agua	362.00 g
P4. Peso de Fiola con Agua Destilada	337.60 g
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Calculada	2.81
Prueba N°:	Muestra Cabeza CRUZ DE ORO
Operador:	Wilson Pari
FIOLA	
Volúmen de Fiola	250 cc
RESULTADOS	
P1. Peso de Fiola Seca y Vacía	88.10 g
P2. Peso de Fiola con Muestra pulverizada	127.50 g
P3. Peso de Fiola con Muestra y Agua	363.00 g
P4. Peso de Fiola con Agua Destilada	337.60 g
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Calculada	2.81
Promedio	2.81
Prueba N°:	Relave gravimetrico
Operador:	
FIOLA	
Volúmen de Fiola	250 cc
RESULTADOS	
P1. Peso de Fiola Seca y Vacía	88.10 g
P2. Peso de Fiola con Muestra pulverizada	123.1 g
P3. Peso de Fiola con Muestra y Agua	359.70 g
P4. Peso de Fiola con Agua Destilada	337.60 g
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Calculada	2.71
Prueba N°:	Relave gravimetrico
Operador:	
FIOLA	
Volúmen de Fiola	250 cc
RESULTADOS	
P1. Peso de Fiola Seca y Vacía	88.10 g
P2. Peso de Fiola con Muestra pulverizada	123.1 g
P3. Peso de Fiola con Muestra y Agua	359.70 g
P4. Peso de Fiola con Agua Destilada	337.60 g
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Calculada	2.71
Promedio	2.71

Nota: La Tabla muestra los cálculos realizados para determinar la gravedad específica de la muestra.



4.2.7 Prueba de gravimetría

Continuando con las pruebas se realiza la prueba de gravimetría con los siguientes parámetros.

Tabla 7

Prueba de gravimetría de la muestra.

PRUEBAS DE GRAVIMETRÍA						
Prueba N°:	1	Fecha:			
Muestra:	Mineral CRUZ DE ORO OPCION 3 MUESTRA	Concentrador:	Falcon			
Objetivo:	Evaluar la recuperación por gravimetría con una molienda de 50% - m200	Marca:	ICON			
Operador:	Milwar Huacca	Modelo:	SB 40			
Descripción de la Muestra:	Mineral de cruz de Oro					
1. Parámetros de la Prueba						
	Operación	Und.	Valor			
	Molienda					
	Peso de la muestra	kg	20			
	Gravedad Especifica		2.77			
	Densidad de Pulpa	Kg/lt	1.54			
	% Solidos		54.88			
	Peso de la Pulpa	Kg	182.2			
	N° de moliendas	cant.	20			
	Gravimetría					
	Peso de la muestra	kg	20			
	Presión	PSI	4			
	Frecuencia	hz	40			
Observaciones:					
					
					
2. Resultados y Balance						
	Producto	Peso (g)	Peso (%)	Ley Au (g/t)	Finos g.Au	Distribución (%)
	Conc. Gravimétrico	2023.4	3.4	33.32	0.067	38.9
	Rve Final	57,570.8	96.6	1.84	0.106	61.1
	Cabeza calc	59,594	100.0	2.91	0.173	100.0
	Cabeza ens.			2.92		

Nota: La Tabla muestra el análisis de la prueba de gravimetría de la muestra, en la primera tabla se aprecia los parámetros de la prueba a realizar, en la segunda tabla los resultados y balances.

En tabla 7 se aprecia los resultados y balances estos son:

La ley de cabeza analizada es de 2.92g/t.



En las pruebas de gravimetría se obtuvo la cantidad de 2023.4 g de concentrado gravimétrico esto nos representa un porcentaje en peso de 3.4% , con una ley de concentrado de 33.32g/t y esto nos representa en la distribución final un 38.9% del total.

El relave final de las pruebas de gravimetría pesó 57570.8 g, la cantidad obtenida representa el 96.6% en peso, con una ley de 1.84g/t la cual representa el 61.1 % de la distribución total.

La ley de cabeza analizada era de 2.92g/t Au y la ley de cabeza calculada fue de 2.91g/t Au.

4.2.8 Procedimiento de la prueba de flotación

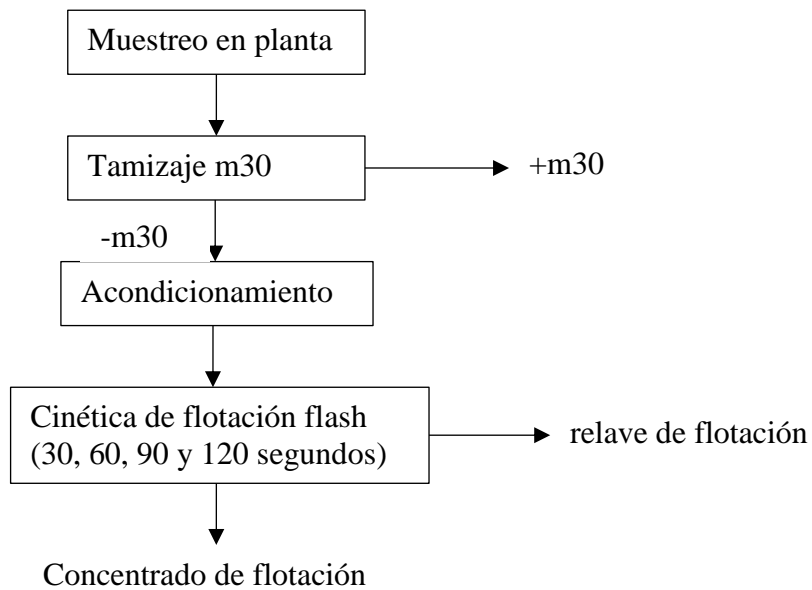
Al Tener los reactivos preparados. Los reactivos variaron dependiendo de qué minerales se tienen. Se deben agregar los reactivos separadamente y tan rápido como sea posible. El tiempo de acondicionamiento no debe pasar de un total de 10 segundos. Conversar con el personal de planta para determinar cuáles son los mejores reactivos y la adición de estos.

Hacer una serie de pruebas usando los reactivos normales de la planta. No tratar de optimizar la adición de reactivos antes de tener los resultados de 3 pruebas. Resultados pueden ser dispersos particularmente en el oro, así se haya realizado la prueba con la misma cantidad de adición de reactivo.

Al comienzo se debería determinar si el material a flotar es de flotación natural. Ejemplo. Añadir espumante solo y determinar el porcentaje de flotación natural.

La segunda prueba debería solo envolver el espumante y un colector. Las combinaciones de reactivos pueden ser realizadas una vez se hayan realizado las dos primeras pruebas.

Las pruebas se realizaron bajo el siguiente esquema de trabajo:



4.2.9 Prueba de cinética de flotación flash

Se realizó las pruebas de Cinética de flotación en celdas flash con la finalidad de determinar el comportamiento del mineral y el tiempo de flotación requerida para la obtención de concentrados de alta ley y la recuperación total.

Tabla 8

Cinética de flotación

PRUEBAS DE CINÉTICA DE FLOTACIÓN FLASH

Prueba: N°1

Objetivos: Determinar el tiempo de flotación flash a nivel de laboratorio.

Operador: milwar erick huaca/ Juan Mamani

Descripción de la Muestra: Relave de Gravimetría de Cruz de Oro

Fecha:

Celda: flash

Marca:

Modelo:

1. RESULTADOS

Prueba N°1

Producto	Peso (g)	% Peso	% Peso (acumulado)	Tiempo (Acumulado)	Ley Au (g/T)	Cont.Met	C.M Acum	Ley Acumulada (g/T)	Recuperación (%)	Recuperación Acumulada (%)
Conc. 1	86.20	4.32	4.32	1	29.51	127.38	127.38	29.51	62.56	62.56
Conc. 2	20.70	1.04	5.35	3	22.78	23.61	150.99	28.21	11.60	74.16
Conc. 3	12.10	0.61	5.96	5	13.32	8.07	159.06	26.69	3.96	78.12
Conc. 4	8.90	0.45	6.40	7	13.20	5.88	164.95	25.75	2.89	81.01
Conc. 5	6.30	0.32	6.72	9	12.98	4.09	169.04	25.15	2.01	83.02
Conc. 6	5.60	0.28	7.00	11	6.67	1.87	170.91	24.41	0.92	83.94
Conc. 7	5.40	0.27	7.27	13	3.75	1.01	171.92	23.65	0.50	84.44
Conc. 8	4.80	0.24	7.51	15	3.35	0.81	172.73	23.00	0.40	84.83
Conc. 9	4.70	0.24	7.75	17	2.98	0.70	173.43	22.39	0.34	85.18
Conc. 10	5.40	0.27	8.02	19	2.62	0.71	174.14	21.72	0.35	85.52
Conc. 11	6.10	0.31	8.32	21	1.95	0.60	174.74	21.00	0.29	85.82
Conc. 12	5.90	0.30	8.62	23	1.86	0.55	175.28	20.34	0.27	86.09
Relave	1824.90	91.38	100.00		0.31	28.33	203.61	2.04	13.91	100.00
Cabeza Calculada	1997.00	100.00			2.04	203.61			100.00	
Cabeza Analizada					1.84					

Tiempo	20.69
% Rec.	80.86

Nota: En la tabla 8 se muestra que en un tiempo de 20 minutos de flotación se obtiene el 80.86% de recuperación.

En tabla 8 se observa la cinética de flotación flash en donde se puede apreciar los tiempos de flotación, pesos, leyes y contenido metálico en cada tiempo.



También se puede observar el gráfico de tiempo de flotación flash en segundos, con respecto al porcentaje de recuperación. Se tenía como ley de cabeza analizada de 1.84g/t Au y se obtuvo una ley de cabeza calculada de 2.04 g/t Au.

4.2.10 Procedimiento de flotación flash a 45% de solidos

Se Tomó múltiples muestras de las colas de los Falcón durante un periodo de 1/2 hora usando un cortador de muestras apropiado. Se usó un contenedor de 20 L y se llena hasta casi el tope. También obtener otro contenedor de 20 L de agua de molienda para el uso durante el tamizado en húmedo al mismo tiempo.

La muestra se tamizó en húmedo hasta 600 micrones o lo más cercano para prevenir el daño a la celda de laboratorio. Usar el siguiente procedimiento para tamizar la muestra. Llenar hasta los 3/4 otro contenedor de 20 L con agua de molienda y usar esta agua y el contenedor junto a un tamiz de 600 um para realizar el tamizado en húmedo de la muestra. Una vez que el tamizado está completo decantar los lodos y filtrarlos. Dejar el mineral grueso en el fondo del contenedor. Recolectar el agua filtrada y reusarla durante la prueba de flotación. No añadir otro tipo de agua que no sea el agua de proceso obtenido de la etapa de molienda.

Nota: Sólo se filtró los finos se dejó el mineral grueso en el contenedor. Se colectó +600 um en una bandeja y luego se hizo secar para pesar y ensayar.

Una vez los finos de los lodos fueron filtrados, removidos del filtro y colocados en una bandeja. Rápidamente se voltea el contenedor de los – 600um y se puso en un recipiente, luego se añadió rápidamente los finos filtrados y se combinaron, luego se hizo la preparación mecánica del mineral. Después tomar 5 muestras con un peso de 1,980 g, si es que se usó una celda de 2.5 litros, posteriormente se selecciona una de las muestras




para mandarla a analizar como muestra de cabeza. Se añadió agua a todas las muestras restantes tan pronto como fue posible para prevenir la oxidación.

En la prueba de Flotación se añadió muestra a la celda de flotación y se agrega agua hasta 30 mm desde el tope de la celda hacia abajo con el agitador funcionando, se colectó el concentrado de las muestras cada 30/60/90 y 120 segundos. La flotación se realizó a 1,200 rpm esta condición fue para mantener las partículas gruesas en suspensión, se agregó agua para mantener el nivel de pulpa en la prueba cuando fue requerido, se removió el concentrado de la celda continuamente rastrillando con una paleta en una respetable manera.

Se enviaron a analizar las muestras de los concentrados y el relave se anotaron todos los pesos, la humedad del material es aproximadamente 20%. Esto generó aproximadamente 45% de sólidos en la prueba de laboratorio y esto simuló lo que pasa en una celda Flash.

Tabla 9

Prueba de flotación flash dosificación de reactivos.



PRUEBAS DE FLOTACION FLASH

Objetivo: Prueba de flotación Flash **Realizado por:** Milwar Erick

CONDICIONES DE OPERACIÓN PRUEBA N°1

MUESTRA

Muestra:	Colas de Falcon SB2500
+ M30	4960.1g
- M30	31.51 g
% Humedad	17.93

FLOTACION

Espumante:	-
Mod. pH:	-
Activador:	-
Colector:	-
Colector:	AP-4037

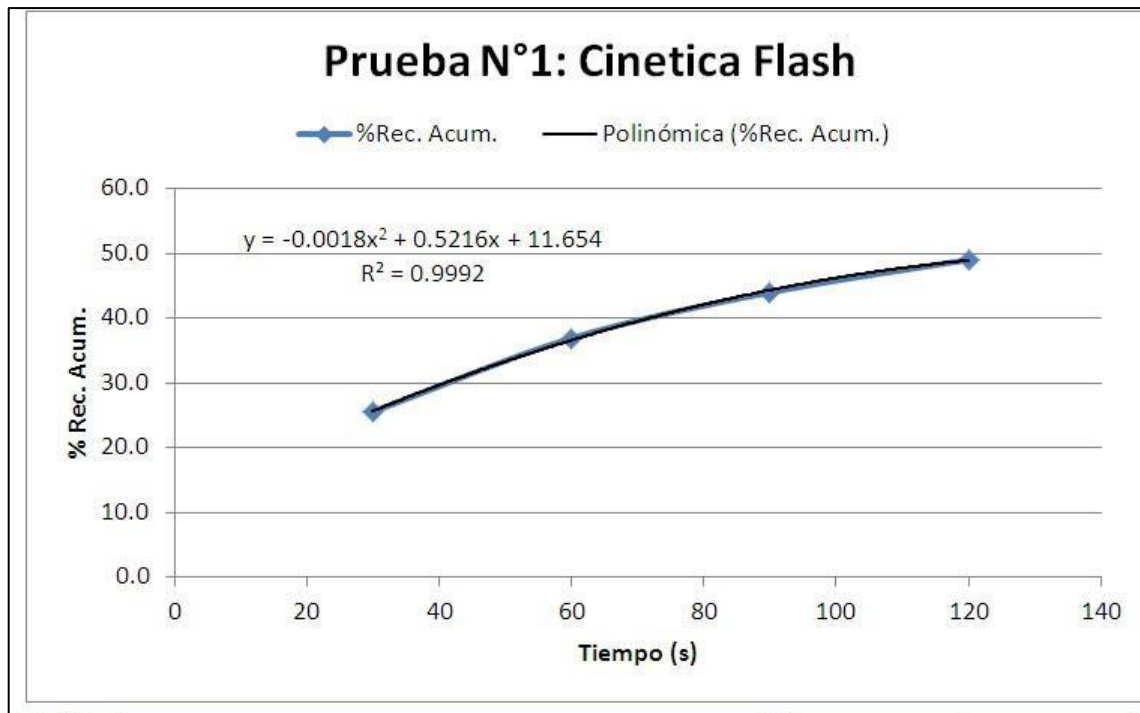
Observaciones:

Operación	Und.	Valor	pH	Dosificación de Reactivos (g/T)			
				Cal	CuSO4	Z-6	AP 4037
Molienda	min		Natural				
Rougher							(49 g/t)
Acondiciona	seg	30	Natural				
Flotación	seg	60					
	seg	90					
	seg	120					
Vel. de agit.	rpm	1200					

Nota: La tabla muestra el archivo de la dosificación de los reactivos para realizar las pruebas de flotación flash.

Figura 10

Gráfico de la curva de cinética de flotación.



Nota: la figura muestra el gráfico de los resultados de la cinética de flotación flash de tiempo en segundos con respecto a % de recuperación, y se realiza la línea de tendencia para obtener la ecuación y el ajuste respectivo.

Tabla 10

Balance metalúrgico prueba de flotación flash.

Producto	Peso (g)	% Peso Parcial	% Peso Acum.	Tiempo (Seg)	Ley Au (g/T)	Ley Acum. (g/T)	Recup. (%)	Recup. Acum. (%)
Conc. 1	14.20	0.86	0.86	30	54.45	54.45	25.61	25.6
Conc. 2	13.00	0.78	1.64	60	26.38	41.03	11.36	37.0
Conc. 3	14.70	0.89	2.53	90	14.53	31.74	7.07	44.0
Conc. 4	15.80	0.95	3.48	120	9.63	25.68	5.04	49.1
Relave	1,601.20	96.52	100.00		0.96	1.82	50.92	100.0
Cab.Calc.	1,658.90	100.00			1.82		100.00	
Cab.Anal.					1.89			

nota: La tabla muestra un resumen del balance metalúrgico de las pruebas de flotación flash en donde se aprecia que en 30 segundos de flotación se llega a recuperar un 25% , y a los 120 segundos de flotación

flash un 49% de recuperación acumulada. Dejando un relave con ley de 0.96g/t de Au, este último será el alimento a flotación convencional.

4.2.11 Resultados de pruebas de laboratorio flotación flash

Tabla 11

Resumen del resultado de las pruebas corridas según diseño.

N° PRUEBA	$CuSO_4$ g/ton	Z-6 g/ton	AP-4037 g/ton	RECUPERACIÓN %
1	35.0	21.0	59.0	86.5
2	45.0	21.0	59.0	86.0
3	35.0	31.0	59.0	85.5
4	45.0	31.0	59.0	84.8
5	35.0	21.0	73.0	83.6
6	45.0	21.0	73.0	83.7
7	35.0	31.0	73.0	80.2
8	45.0	31.0	73.0	81.5
9	40.0	26.0	66.0	79.9
10	40.0	26.0	66.0	80.2
11	40.0	26.0	66.0	80.6

Nota: la tabla muestra las pruebas corridas según el diseño de cribado factorial 2^3 con respectiva dosificación de reactivos en g/t y su porcentaje de recuperación.

La tabla 11, es el diseño de la experimentación realizado por el software Statgraphics, diseño de cribado factorial 2^3 donde se hizo las pruebas según parámetros de cada experimento y la recuperación es el porcentaje que se obtuvo en las pruebas de laboratorio para su optimización.

4.2.12 Análisis del Experimento – Recuperación

Tabla 12

Efectos estimados para recuperación (%)

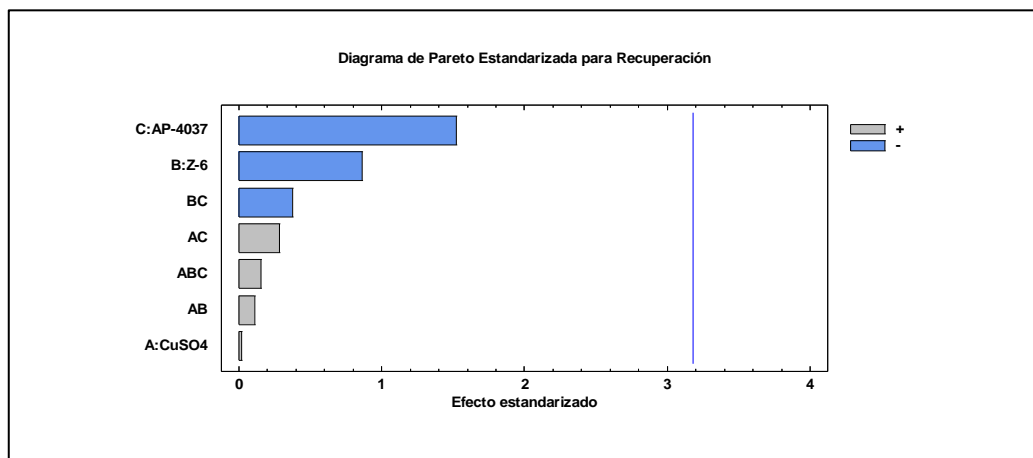
Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	82.9545	0.965971	
A: CuSO ₄	0.05	2.2654	1.0
B:Z-6	-1.95	2.2654	1.0
C:AP-4037	-3.45	2.2654	1.0
AB	0.25	2.2654	1.0
AC	0.65	2.2654	1.0
BC	-0.85	2.2654	1.0
ABC	0.35	2.2654	1.0

Nota: La tabla muestra los errores estándar basados en el error total con 4 g.l. Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

La tabla 12, muestra tres factores y cada factor con su interacción.

Figura 11

Diagrama de Pareto estandarizado para recuperación.



Nota: la figura muestra un diagrama de Pareto ABC.

la figura 11 muestra lo siguiente: como se ve que las barras están más antes que la línea horizontal del gráfico eso significa que los fuentes de variación reactivos son relevantes y no importantes porque no superan el valor crítico; los signos (+ y -) indica cómo impacta la respuesta en la recuperación, tanto la interacción del sulfato de cobre (CuSO_4) y Xantato Z-6 aumentan el porcentaje de recuperación, en particular el CuSO_4 y el AP-4037 lo disminuye al igual que su interacción con el Z-6, con esta interpretación ya se puede ver cómo podemos mover la dosificación de reactivos para optimizar más aún la flotación.

Tabla 13

Análisis de varianza para recuperación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: CuSO_4	0.005	1	0.005	0.00	0.9838
B:Z-6	7.605	1	7.605	0.74	0.4527
C:AP-4037	23.805	1	23.805	2.32	0.2252
AB	0.125	1	0.125	0.01	0.9191
AC	0.845	1	0.845	0.08	0.7928
BC	1.445	1	1.445	0.14	0.7325
ABC	0.245	1	0.245	0.02	0.8870
Error total	30.7923	3	10.2641		
Total (corr.)	64.8673	10			

Nota: La tabla ANOVA particiona la variabilidad de RECUPERACIÓN en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

La tabla 13, muestra el estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 52.1526% de la variabilidad en RECUPERACIÓN. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 0.0%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 2.78556. El error medio absoluto (MAE) de 1.4843 es el valor

promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Debido a que el valor-P es menor que 5.0%, hay una indicación de posible correlación serial al nivel de significancia del 5.0%. Grafique los residuos versus el orden de fila para ver si hay algún patrón que pueda detectarse.

Tabla 14

Coefficiente de regresión para recuperación

Coefficiente	Estimado
Constante	112.966
A:CuSO ₄	-0.737857
B:Z-6	0.406429
C:AP-4037	-0.302143
AB	0.005
AC	0.00928571
BC	-0.0121429

Nota: la tabla muestra la regresión para la recuperación.

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{RECUPERACIÓN} = 44.326 + 0.978143 * \text{CuSO}_4 + 3.04643 * \text{Z-6} + 0.737857 * \text{AP-4037} - 0.061 * \text{CuSO}_4 * \text{Z-6} - 0.0167143 * \text{CuSO}_4 * \text{AP-4037} - 0.0521429 * \text{Z-6} * \text{AP-4037} + 0.001 * \text{CuSO}_4 * \text{Z-6} * \text{AP-4037}$$

El primer valor se refiere a la media global, el segundo valor al efecto del factor A (CuSO₄), seguido del factor B (Z-6), seguido del tercer factor C (AP-4037), y los últimos factores son sus interacciones.

Tabla 15

Resultados estimados para recuperación

	Observados	Ajustados	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Fila	Valores	Valores	para Media	para Media
1	86.5	85.6545	78.5624	92.7467
2	86.0	84.8045	77.7124	91.8967
3	85.5	84.3045	77.2124	91.3967
4	84.8	83.9545	76.8624	91.0467
5	83.6	82.4045	75.3124	89.4967
6	83.7	82.8545	75.7624	89.9467
7	80.2	79.3545	72.2624	86.4467
8	81.5	80.3045	73.2124	87.3967
9	79.9	82.9545	80.6227	85.2864
10	80.2	82.9545	80.6227	85.2864
11	80.6	82.9545	80.6227	85.2864

Nota: En la tabla se muestra el Promedio de 3 puntos centrales = 80.2333, Promedio de las predicciones del modelo al centro = 82.9545

Esta tabla contiene información acerca de los valores de RECUPERACIÓN generados usando el modelo ajustado. La tabla incluye:

- 1) los valores observados de RECUPERACIÓN (si alguno)
- 2) el valor predicho de RECUPERACIÓN usando el modelo ajustado
- 3) intervalos de confianza del 95.0% para la respuesta media

Cada ítem corresponde a los valores de los factores experimentales en una fila específica de su archivo de datos. Para generar pronósticos para las combinaciones adiciones de los factores, agregue filas al final su archivo de datos. En cada nueva fila, introduzca valores para los factores experimentales, pero deje vacía la celda para la respuesta. Cuando regrese a esta ventana, se habrán agregado pronósticos a la tabla para las nuevas filas, pero el modelo no se verá afectado.

Tabla 16**Camino de máximo ascenso para recuperación**

CuSO₄ (g/ton)	Z-6 (g/ton)	AP-4037 (g/ton)	Predicción para RECUPERACIÓN (%)
40.0	26.0	66.0	82.9545
41.0	16.096	43.1915	87.5072
42.0	15.7634	44.0451	87.1319
43.0	15.4424	44.814	86.7845
44.0	15.1303	45.493	86.4619
45.0	14.8238	46.077	86.1603

Nota: La tabla despliega el trayecto de máximo ascenso (o descenso). Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales. Indica buenas características para ejecutar experimentos adicionales si el objetivo es incrementar o decrementar RECUPERACIÓN. Actualmente, 6 puntos se han generado cambiando CuSO₄ en incrementos de 1.0 g/ton. Puede especificarse la cantidad de cambio en cualquiera de los factores presionando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. STATGRAPHICS determinará entonces cuanto tendrán que cambiar los otros factores para mantenerse en el trayecto del máximo ascenso. El programa también calcula la RECUPERACIÓN estimada en cada uno de los puntos del trayecto, con los cuales pueden compararse los resultados si es que se corren esos ensayos.

Tabla 17**Optimizar respuesta**

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
<i>CuSO₄</i>	35.0	45.0	35.0
Z-6	21.0	31.0	21.0
AP-4037	59.0	73.0	59.0

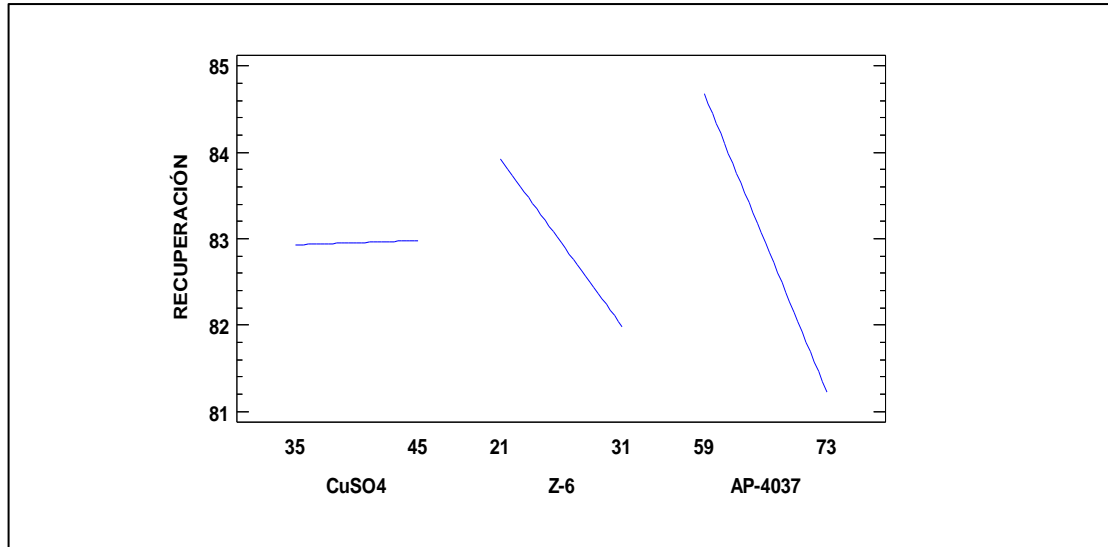
Nota: Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza RECUPERACIÓN sobre la región indicada. Se usa el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

Meta: maximizar RECUPERACIÓN

Valor óptimo = 85.6545

Figura 12

Efectos principales para recuperación



Nota: la figura muestra un gráfico de los tres factores de experimentación sus pendientes en base a la recuperación.

La figura 12, indica que el Z-6 y el AP-4037 disminuye la recuperación tenemos una pendiente negativa en cambio el sulfato de cobre aumenta la recuperación se tiene una pendiente positiva, quiere decir que tiene mayor efecto sobre la recuperación.

4.3 APLICACIÓN A NIVEL DE PLANTA

4.3.1 Parámetros de operación

Tabla 18

Condiciones de operación celda flash, planta concentradora.

Operación	Unidades	Valor
Gravedad específica		2.73
Densidad de pulpa	Kg/lt	1.57
% de solidos		56.1

Nota: la tabla da un resumen a los parámetros de operación de la plantan, estas mismas fueron antecidos por las pruebas de laboratorio.



4.3.2 Leyes de celda flash SK-240

Durante el lapso de funcionamiento de la celda flash se realizaron muestreos de sus concentrados y estas leyes fueron reportados y difundidas, a continuación, se presenta un resumen de las leyes obtenidas por la celda flash SK-240.

Tabla 19

Leyes reportadas celda flash, planta concentradora.

Muestra	Fecha de muestreo	Fecha de envío a Lab. Químico	FECHA DE REPORTE	Au gr/T
Celda Flash 2da guardia día : alimento	7/15/2019	7/16/2019	7/17/2019	1.82
Celda Flash 2da guardia día : concentrado	7/15/2019	7/16/2019	7/17/2019	179.01
Celda Flash 2daa guardia día: relave	7/15/2019	7/16/2019	7/17/2019	1.52
Celda Flash 1ra guardia noche: alimento	7/16/2019	7/16/2019	7/17/2019	1.84
Celda Flash 1ra guardia noche : concentrado	7/16/2019	7/16/2019	7/17/2019	155.64
Celda Flash 1ra guardia noche: relave	7/16/2019	7/16/2019	7/17/2019	1.52
Alimento flash 1ra guardia	7/15/2019	7/16/2019	7/17/2019	2.38
Concentrado flash 1ra guardia	7/15/2019	7/16/2019	7/17/2019	192
Alimento flash 2ra guardia	7/15/2019	7/16/2019	7/17/2019	1.77
Concentrado flash 2ra guardia	7/16/2019	7/16/2019	7/17/2019	89.95
Alimento flash 2 da guardia	7/16/2019	7/16/2019	7/17/2019	1.88
Concentrado flash 2 da guardia	7/16/2019	7/16/2019	7/17/2019	85.07
Alimento Flash Turno Dia	7/15/2019	7/16/2019	7/17/2019	1.62
Concentrado Flash Turno Dia	7/15/2019	7/16/2019	7/17/2019	111.08
Alimento Flash primera guardia	7/15/2019	7/16/2019	7/17/2019	2.2
Concentrado Flash primera guardia	7/16/2019	7/16/2019	7/17/2019	124.61
Alimento Flash 1ra G.	7/16/2019	7/16/2019	7/17/2019	2.34
Concentrado Flash 1ra G	7/16/2019	7/16/2019	7/17/2019	174.96
Alimento Flash 2da G.	7/15/2019	7/16/2019	7/17/2019	1..81
Concentrado Flash 2da G	7/15/2019	7/16/2019	7/17/2019	32.34
Alimento Flash 1ra G.	7/15/2019	7/16/2019	7/17/2019	1.49
Concentrado Flash 1ra G	7/16/2019	7/16/2019	7/17/2019	113.61
Alimento Flash 1ra G.	7/16/2019	7/16/2019	7/17/2019	1.63
Concentrado Flash 1ra G	7/16/2019	7/16/2019	7/17/2019	127.69



Alimento	Flash	1ra G.	7/15/2019	7/16/2019	7/17/2019	1.76
Concentrado	Flash	1ra G	7/15/2019	7/16/2019	7/17/2019	113.33

Nota: la tabla muestra las leyes reportadas de la celda flash a nivel planta y también el momento de las muestras recolectadas en su guardia respectivo, se observa que los concentrados pasan la ley de 100g/t Au de Ley de concentrado , esto demuestra que es muy efectivo la celda de flotación flash en poco tiempo y poco reactivo, los concentrados son enviados directamente a holding tank para el filtrado .

4.3.3 Análisis granulométrico de Over Flow y relave final de flotación.

Se toman muestras de over flow y relave final de Flotación para realizar un análisis granulométrico valorado para tener información acerca de la granulometría en el alimento a flotación y relave final de flotación los resultados se muestran en las siguientes figuras.

4.4 PRE TEST Y POST TEST DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla 22

Pre test, recuperación de la planta sin el uso de la celdas flash.

PRODUCCIÓN DIARIA - SETIEMBRE																		
Cori Puno SAC	ALIMENTACIÓN				RECUPERACIÓN													
	Relizado por: Milwar Erick																	
28.75	T.M.S	LEYES			FLOTACIÓN				GRAVIMETRIA				Grav + Flot	Total día	FINOS RECU.	OBJETIVO DIARIO Y	DIFERENCIA ACUMULADA	
		Cabeza	Relav															
		Au g/t. (análisis)	Au g/t. (calcu)	Au g/t.	T.M.S	Ley de Conc	Finos (g)	Distribución	T.M.S	Ley de Conc.	Finos (g)	Distribución	Ley de Conc.	%Rec.	Kilos Au	Kilos Au	Kilos Au	
Programa																		
Prog. Revis.	49,42125	2.24	2.24	0.54	442.73	100.02	44,281.44	40.00	56.93	700.00	39,853.30	36.00	168.38	76.00	84.13	2.93		
Proyección	55,129.28	2.44	0.28	0.05	484.79	104.35	50,587.61	37.63	58.98	884.25	52,149.08	38.79	188.94	76.42	102.74	0.51		
1-Set-19	1,728.50	3.28	3.00	0.59	14.21	121.81	1,731.42	33.37	1.74	1,404.22	2,438.51	36.00	168.38	76.00	84.13	2.93		
2-Set-19	1,745.40	2.17	2.20	0.52	13.39	106.68	1,428.73	37.13	1.79	854.59	1,527.74	39.71	194.75	76.84	2.96	0.03	1.27	
3-Set-19	1,732.18	2.10	2.27	0.52	12.53	114.90	1,439.64	36.66	1.97	814.98	1,602.55	40.81	209.87	77.47	3.04	0.12	1.39	
4-Set-19	1,735.32	2.32	2.32	0.53	12.52	112.32	1,405.89	34.86	1.77	971.12	1,723.36	42.73	218.96	77.59	3.13	0.20	1.59	
5-Set-19	1,753.79	2.39	2.39	0.57	13.23	122.91	1,626.08	38.80	1.77	891.00	1,573.52	37.55	213.37	76.35	3.20	0.27	1.87	
6-Set-19	1,751.04	2.64	2.71	0.64	14.03	123.21	1,728.16	36.36	1.90	1,009.35	1,913.80	40.27	228.73	76.63	3.64	0.72	2.58	
7-Set-19	1,671.14	2.30	2.34	0.60	14.69	102.24	1,502.03	38.49	1.78	792.39	1,413.10	36.21	176.95	74.71	2.92	-0.01	2.57	
8-Set-19	1,755.24	2.31	2.33	0.58	14.63	95.06	1,390.67	34.01	1.87	897.41	1,681.30	41.12	186.15	75.13	3.07	0.15	2.72	
9-Set-19	1,760.62	2.56	2.73	0.59	16.18	109.38	1,769.58	36.87	1.85	1,082.82	2,001.88	41.71	209.22	78.58	3.77	0.85	3.56	
10-Set-19	1,762.37	3.04	2.98	0.66	16.69	110.35	1,841.53	35.12	1.81	1,242.94	2,251.29	42.93	221.24	78.05	4.09	1.17	4.73	
11-Set-19	1,760.81	2.68	2.83	0.62	19.43	92.70	1,801.28	36.16	2.03	1,034.14	2,102.24	42.20	181.87	78.36	3.90	0.98	5.70	
12-Set-19	1,759.67	2.50	2.37	0.55	19.60	78.72	1,542.73	36.98	1.96	855.74	1,673.05	40.10	149.20	77.08	3.22	0.29	5.99	
13-Set-19	1,740.32	2.19	2.24	0.53	17.55	84.92	1,490.37	38.25	1.96	759.41	1,485.29	38.12	152.55	76.37	2.98	0.05	6.04	
14-Set-19	1,767.22	2.35	2.42	0.55	15.58	103.55	1,613.40	37.79	1.90	891.96	1,693.73	39.67	189.20	77.46	3.31	0.38	6.42	
15-Set-19	1,761.41	2.44	2.35	0.56	14.00	111.70	1,563.50	37.72	1.89	850.28	1,603.75	38.69	199.41	76.42	3.17	0.24	6.66	
16-Set-19	1,682.34	2.60	2.58	0.60	13.36	117.39	1,568.81	36.18	1.78	989.72	1,759.74	40.58	219.81	76.77	3.33	0.40	7.07	
17-Set-19	1,749.47	2.86	2.88	0.69	13.99	121.75	1,703.25	33.83	1.80	1,191.86	2,143.65	42.58	243.65	76.41	3.85	0.92	7.99	
18-Set-19	1,759.25	2.45	2.28	0.60	13.91	106.31	1,478.95	36.89	1.87	787.22	1,475.09	36.80	187.14	73.69	2.95	0.03	8.01	
19-Set-19	1,175.71	2.22	2.09	0.52	10.29	87.25	898.19	36.61	1.27	742.77	944.43	38.49	159.32	75.10	1.84	-1.08	6.93	
20-Set-19	1,701.03	1.97	1.89	0.46	13.76	87.98	1,210.67	37.63	1.76	701.40	1,232.73	38.32	157.46	75.95	2.44	-0.48	6.45	
21-Set-19	1,693.40	2.06	2.04	0.54	15.79	80.76	1,275.26	36.98	1.86	682.38	1,266.89	36.73	144.06	73.71	2.54	-0.38	6.06	
22-Set-19	1,740.53	2.16	2.17	0.54	18.75	77.61	1,455.40	38.49	1.89	738.49	1,397.03	36.95	138.17	75.44	2.85	-0.07	5.99	
23-Set-19	1,737.08	2.29	2.28	0.57	13.92	109.96	1,531.18	38.72	1.92	747.24	1,433.16	36.25	187.14	74.97	2.96	0.04	6.03	
24-Set-19	1,746.31	2.38	2.40	0.61	15.23	104.36	1,589.13	37.88	1.88	824.05	1,550.75	36.97	183.52	74.85	3.14	0.21	6.24	
25-Set-19	1,741.71	2.25	2.20	0.55	16.68	93.05	1,552.28	40.56	2.04	655.93	1,335.70	34.90	154.29	75.46	2.89	-0.04	6.20	
26-Set-19	1,740.01	2.34	2.29	0.60	15.99	100.71	1,610.29	40.35	1.99	675.83	1,347.43	33.76	164.47	74.11	2.96	0.03	6.23	
27-Set-19	1,738.13	2.48	2.48	0.63	16.77	107.79	1,807.17	41.96	1.82	784.68	1,425.36	33.09	173.95	75.05	3.23	0.31	6.54	
28-Set-19	1,730.91	2.77	2.99	0.68	13.79	170.37	2,348.83	45.35	1.73	963.71	1,663.80	32.13	258.66	77.48	4.01	1.09	7.63	
29-Set-19	1,735.16	2.67	2.54	0.62	17.93	102.88	1,844.41	41.92	1.76	851.94	1,500.04	34.10	169.87	76.02	3.34	0.42	8.04	
Totales	49,856.05	2.44	2.44	0.58	438.42	104.35	45,748.79	37.63	53.33	884.25	47,160.91	38.79	188.94	76.42	92.91	8.04		
promedio x	1,719.17																	

Nota: La tabla muestra el balance de alimentación y recuperación del oro mediante la flotación sin el uso de celda flash, el porcentaje de recuperación promedio es 76.42% de recuperación. Se muestra las leyes de cabeza y relave.

Tabla 23

Post test, recuperación de la planta con el uso de las celdas flash.

PRODUCCIÓN DIARIA - DICIEMBRE																	
Cori Puno																	
ALIMENTACIÓN				RECUPERACIÓN													
Realizado por: Milwar Erick																	
30.75	T.M.S.	LEYES			FLOTACIÓN				GRAVIMETRIA				Grav + Flot	Total día	FINOS RECUP.	OBJETIVO DIARIO	DIFERENCIA ACUMULADA
		Cabeza	Relave														
		Aug.t. (analizada)	Aug.t. (calculado)	Aug.t.	T.M.S	Leyde Conc. (gAu/t)	Finos (g)	Distribución	T.M.S	Leyde Conc. (gAu/tm)	Finos (g)	Distribución	Leyde Conc. (gAu/tm)	%Rec.	Kilos Au	Kilos Au	Kilos Au
Programa																	
Prog. Revis.	53,42.75	2.26	2.26	0.54	484.57	100.02	48,466.20	40.15	62.08	700.00	43,456.61	36.00	168.16	76.15	9192	2.99	
Proyección	63,214.06	2.42	2.42	0.59	742.23	97.37	72,269.71	47.20	59.10	786.00	46,453.9	30.34	148.16	77.54	16,966		
Desv. Std.	169.12	0.26	0.28	0.04	3.60	10.5	334.13	2.58	0.18	141.2	3	2.74	17.09	2.00	0.56		
1-Dic-19	876.75	2.13	1.98	0.55	8.35	96.04	801.56	46.12	0.91	504.99	459.24	26.42	136.22	72.55	1.26	-1.73	-1.73
2-Dic-19	1,778.68	1.89	1.74	0.49	16.75	92.24	1,544.81	49.91	1.87	371.48	695.52	22.47	120.32	72.38	2.24	-0.75	-2.48
3-Dic-19	1,757.20	2.31	2.21	0.59	18.38	101.86	1,872.23	48.15	1.64	607.44	997.89	25.67	143.35	73.82	2.87	-0.12	-2.60
4-Dic-19	1,778.30	2.16	2.24	0.55	23.57	82.03	1,933.50	48.55	1.80	602.50	1,084.62	27.24	118.97	75.79	3.02	0.03	-2.57
5-Dic-19	1,764.83	2.66	2.79	0.63	18.60	122.93	2,286.49	46.43	1.76	872.29	1,539.36	31.26	187.87	77.69	3.83	0.84	-1.73
6-Dic-19	1,736.13	2.36	2.41	0.61	21.05	89.80	1,890.72	45.22	1.75	715.22	1,253.15	29.97	137.85	75.19	3.14	0.15	-1.58
7-Dic-19	1,765.40	2.41	2.38	0.59	22.16	88.52	1,961.86	46.63	1.67	729.70	1,218.16	28.95	133.43	75.58	3.18	0.19	-1.39
8-Dic-19	1,717.65	2.45	2.46	0.58	19.17	95.12	1,823.12	43.15	1.66	860.63	1,425.92	33.75	156.03	76.90	3.25	0.26	-1.13
9-Dic-19	1,764.10	2.90	2.74	0.63	21.02	112.63	2,367.42	48.92	1.56	873.88	1,366.05	28.23	165.32	77.15	3.73	0.74	-0.38
10-Dic-19	1,757.81	2.56	2.43	0.64	20.11	93.81	1,886.46	44.13	1.64	785.22	1,285.69	30.08	145.87	74.21	3.17	0.18	-0.20
11-Dic-19	1,762.51	2.11	2.17	0.54	20.95	91.32	1,913.07	49.97	1.61	715.00	1,149.20	30.02	135.77	75.68	2.90	-0.09	-0.29
12-Dic-19	1,748.95	2.20	2.20	0.54	20.92	89.55	1,873.17	48.59	1.56	720.30	1,120.83	29.07	133.23	75.83	2.92	-0.07	-0.36
13-Dic-19	1,735.59	2.09	2.09	0.56	20.59	88.34	1,819.02	50.27	1.57	710.20	1,114.42	30.80	132.37	73.48	2.66	-0.33	-0.69
14-Dic-19	1,745.65	2.03	2.05	0.53	20.84	88.73	1,849.30	51.66	1.42	720.00	1,025.86	28.66	129.12	74.70	2.67	-0.32	-1.00
15-Dic-19	1,759.90	2.53	2.56	0.60	11.09	111.09	2,192.19	48.75	1.45	867.63	1,261.17	28.05	162.99	76.80	3.45	0.46	-0.54
16-Dic-19	1,774.18	2.37	2.27	0.62	20.69	100.76	2,084.70	51.85	1.46	820.20	1,196.40	29.75	148.14	73.20	2.94	-0.05	-0.59
17-Dic-19	1,746.37	2.32	2.35	0.60	19.82	105.72	2,095.36	51.05	1.43	680.53	973.38	23.72	144.41	74.77	3.07	0.08	-0.51
18-Dic-19	1,774.66	2.63	2.65	0.63	22.56	109.34	2,466.78	52.50	1.44	850.00	1,224.11	26.05	153.78	76.53	3.60	0.61	0.10
19-Dic-19	1,691.91	2.88	2.92	0.64	22.32	104.42	2,330.47	47.21	1.45	1,063.24	1,543.66	31.27	162.99	78.48	3.87	0.88	0.99
20-Dic-19	1,740.83	2.69	2.76	0.56	24.93	95.94	2,391.32	49.79	1.46	994.31	1,455.86	30.32	145.78	80.11	3.85	0.86	1.84
21-Dic-19	1,736.68	2.68	2.82	0.59	25.63	97.83	2,506.97	51.15	1.53	910.49	1,391.55	28.39	143.57	79.55	3.90	0.91	2.75
22-Dic-19	1,725.71	2.42	2.43	0.56	29.64	75.48	2,237.23	53.29	1.55	710.40	1,099.52	26.19	106.98	77.60	3.26	0.27	3.02
23-Dic-19	1,744.13	2.52	2.31	0.60	22.75	81.79	1,860.33	46.18	1.65	715.30	1,182.54	29.35	124.71	74.41	3.00	0.01	3.03
24-Dic-19	1,719.60	2.40	2.39	0.59	22.34	88.29	1,972.00	48.04	1.65	710.00	1,174.72	28.62	131.16	75.83	3.11	0.12	3.15
25-Dic-19	1,750.73	2.17	2.14	0.57	19.77	98.74	1,952.25	52.14	1.54	712.30	1,098.15	29.33	143.12	73.44	2.75	-0.24	2.91
26-Dic-19	1,766.43	2.03	2.15	0.56	17.82	104.85	1,868.76	49.11	1.74	780.60	1,356.00	35.63	164.87	74.07	2.82	-0.17	2.74
27-Dic-19	1,773.23	2.22	2.24	0.61	18.41	112.03	2,063.07	51.83	1.50	790.70	1,186.74	29.81	163.18	73.35	2.92	-0.07	2.67
28-Dic-19	1,776.29	2.21	2.30	0.56	13.90	105.49	1,466.39	35.83	1.68	806.02	1,350.88	33.01	180.86	76.12	2.82	-0.17	2.50
29-Dic-19	1,771.33	3.14	3.12	0.68	130.66	2,074.13	37.49	1.76	1,287.08	2,263.07	40.91	245.97	78.40	4.34	1.35	3.85	
30-Dic-19	1,737.12	2.82	2.95	0.68	19.76	96.7	1,911.61	37.31	2.03	1,008.34	2,045.58	39.92	181.63	77.23	3.96	0.97	4.82
31-Dic-19	1,770.63	2.59	2.63	0.64	19.18	94.4	1,809.81	38.84	2.22	782.75	1,738.88	37.32	165.81	76.16	3.55	0.56	5.38
Totales	53,449.28	2.42	2.42	0.59	627.58	97.37	61,106.10	47.20	49.97	786.00	39,278.12	30.34	148.16	77.54	98.05	5.38	
promedio 1x7	1,724.17																

Nota: La tabla muestra los registros y balance realizado con el uso de celda de flotación flash a nivel de la planta de procesamiento de minerales, el porcentaje promedio de concentración es de 77.54%, claramente refleja que las celdas de flotación flash aumentan la recuperación y el tiempo de flotación es menor.



4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis general que establece optimizar el proceso de flotación de minerales auríferos en celda flash para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno con la determinación de las características del mineral y la evaluación de parámetros óptimos con estos datos se instala una celda de flotación flash que dió resultados positivos.

El resultado guarda semejanza con lo que sostiene Quispe (2018), en su tesis de grado titulado, “Estudio mediante la realización de pruebas experimentales de flotación Flash SkimAir 80, en la Compañía Minera las Bambas”, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, sostiene que los resultados generales que obtuvo de las Pruebas Piloto Experimentales con el uso de “UNA CELDA DE FLOTACIÓN FLASH” (CELDA FLASH SkimAIR – 80 Outotec), en la Minera BAMBAS S.A.A. (Planta Concentradora), trabajo con el “UnderFlow del Hidrociclón” se logró obtener leyes en el Concentrado de Cobre, Oro y Plata en promedio de 35 % ,7.5 ppm y 170 ppm; y tubo recuperaciones en promedio de 59 % , 64 % , 57 % respectivamente. La Ubicación de la Celda Flash SK-80, fue “En la Plataforma de los molinos de BOLAS 26’ x 40’ y consistió en “Captar el UnderFlow del nido de ciclones 4, ciclón “G” por medio de una Válvula Retráctil y alimentar a la Celda SK-80”.

De la misma manera señala el autor Gonzales (2018), en su tesis de pre grado titulado, “Implementación de una unidad de flotación rápida en la descarga del molino de bolas primario en la empresa minera SILVER MINSPERU S.A.C.”; señala que las celdas de flotación rápida permite recuperar el producto con leyes comerciales que representará de un 20% a 30% de la recuperación total de la Planta., en la empresa minera SILVER MINSPERU S.A.C., capto o separo el Plomo, tan pronto como este liberado (As soon as Free) y así obtuvo las ventajas y beneficios que brinda la Celda de Flotación Rápida en la



minería polimetálica. El uso de la unidad de Flotación Rápida (DENVER de 32 " X 32"), como objetivo incremento la capacidad de molienda y flotación, evitando “sobre-moler”, mineral valioso que ya está liberado indirectamente esta eliminación de contenidos metálicos con flotación rápida del circuito, incremento la eficiencia del circuito de flotación subsiguiente para lograr mejores resultados en las celdas ya que al disminuir la cantidad de mineral valioso para la misma cantidad de celdas existentes, el tiempo de flotación se incrementa. El uso de la Celda de Flotación Flash (DENVER de 32" X 32"), en la empresa minera SILVER MINSPERU S.A.C, le resulto bastante rentable y le permitió una óptima producción y rápida recuperación de la Inversión.

De la misma manera el autor Diaz,(2015)en su trabajo de tesis de grado titulado, Evaluación del tamaño de partícula en el proceso de flotación para la recuperación de oro, concluye que las recuperaciones de oro y plata no siempre reflejan, los niveles de recuperación logrados en las pruebas metalúrgicas del estudio de factibilidad del proyecto. La flotación Flash solo ha sido probado a nivel de laboratorio, obteniendo recuperaciones de 88.4% de este oro que recircula, el cual es un resultado muy superior a la gravimetría de 27.57% del oro recirculante. La simulación determino un incremento de hasta 92% en plata y a 95.1 en oro, dependiendo de la carga circulante del oro. La mejora mínima del 1%, en la recuperación de oro significa un ingreso de 16295 dólares mensuales, los resultados de la Flotación Flash a nivel laboratorio indican una mejora mayor al 2 y 3%.



V. CONCLUSIONES

En esta Tesis se logró optimizar el proceso de flotación de minerales auríferos en celda flash para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno obteniendo concentrados con una Ley de 179 g/t Au en una sola etapa, incrementando la recuperación de 76.42% a 77.54%, en términos de finos de Au se incrementó de 92.91 kg de Au fino al mes, que se obtenía sin el uso de celdas flash a 98.05 kg de Au fino al mes con la utilización de celdas de flotación flash.

En esta tesis se determinó las características del mineral aurífero para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno, obteniendo una gravedad específica de 2.9, moliendabilidad de 50%-200mty en 8 minutos; el análisis granulométrico de relave final nos indica que el mayor porcentaje en peso se encuentra en malla más fina de -635mty.

En esta tesis se logró evaluar los parámetros operacionales del proceso de flotación de minerales auríferos en celda flash para mejorar la recuperación de oro en la empresa minera Cori Puno de manera satisfactoria, obteniéndose la concentración más alta de 86.5% de recuperación en la prueba N° 01, con los siguientes parámetros: $\text{CuSO}_4 = 35.0 \text{ g/ton.}$, $\text{Z-6} = 21.0 \text{ g/ton.}$ y $\text{AP-4037} = 59.0 \text{ g/ton.}$ Así mismo se obtuvo valor óptimo de recuperación del 85%, al aplicar los resultados de las pruebas en laboratorio se instaló una celda de flotación flash con la que se obtuvo una ley de concentrado mayores a 100g/t en una sola etapa.



VI. RECOMENDACIONES

En el análisis granulométrico de la cabeza y relave de flotación, se observa que el mayor porcentaje en peso se encuentra en la malla más fina – m 635 (menor a 20 μm) y que la mayor distribución de oro se encuentra de 30.7 y 18.7 % respectivamente, lo cual se presume que esta cantidad de material finos que ingresa al circuito de flotación se debe a una sobre molienda generada en el circuito de molienda.

Un factor que puede estar afectando que el oro se encuentra a menos de 37 micrones, es la sobre molienda, es decir, el by pass de finos o corto circuito genera que material que debería pasar a la flotación está regresando al molino innecesariamente debido a la mala clasificación en los hidrociclones.



VII. REFERENCIAS

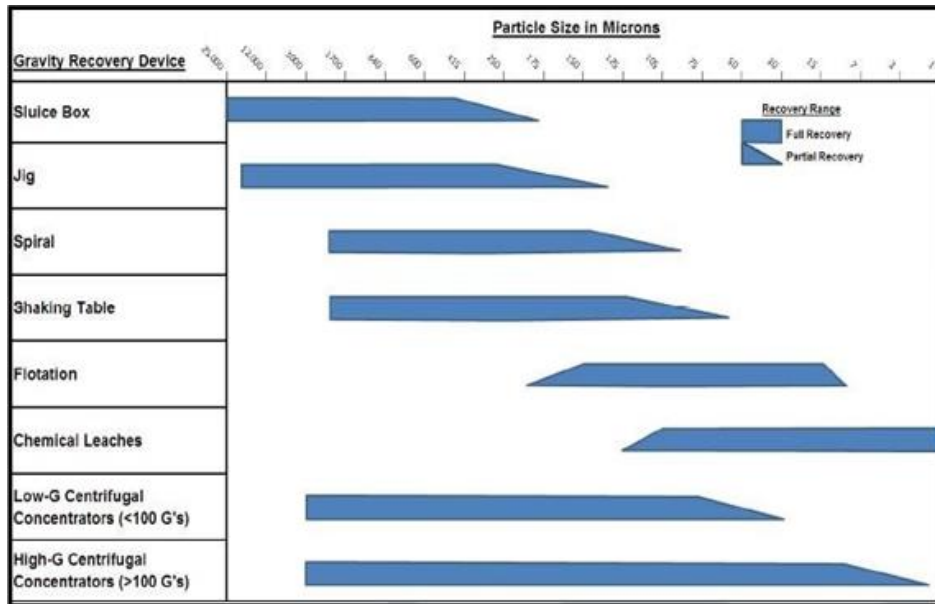
- Alvarado, V. (1997). Libro “Flotación de mineral de oro con represión de pirita” [libro de la Universidad de Oruro], ingeniería metalúrgica – Bolivia
<http://www.gama-peru.org/libromedmin/bibliografia/lit-091.htm>
- Christian, K. (2002). “Gold Recovery Improvement with Outokumpu Flash Flotation”
IV Symposium Internacional de Mineralurgia, Agosto.
- Cornejo, J. K. (2018). recuperación de oro en concentrados de cobre ,estudio y adecuación de las variables de flotación flash [Tesis de grado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. Repositorio institucional UNSA Arequipa.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6351>
- Diaz Reaño, J. F. (2015). Universidad Nacional de San Agustín [Universidad Nacional San Agustín]. Repositorio institucional UNSA Arequipa.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2654>
- Empírica, (2020). Tópico 2.c: Efecto del tamaño de partícula en flotación. Todos los derechos reservados. contacto@empiricaconsultores.cl
<https://empiricaconsultores.cl/topico-2-c-efecto-del-tamano-de-particula-en-flotacion/>
- Gorvenia, H. (2006). Proyecto del circuito de flotación flash en mejora de la recuperación de oro grueso [tesis de pre grado, Universidad Nacional de Ingeniería de Lima]. Repositorio institucional UNI Lima.
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/798>
- Green, D. (1999). “Advances in flotation – Flash Roughing with the Dual Outlet SkimAir® flotation cell: Increasing revenues and reducing costs”,Proceedings, Randol Gold & Silver Forum’99, Denver, Colorado, USA.
- Guerreros Meza, J. (2015). Optimización De La Recuperación Del Sulfuro De Plomo Fino Y Su Impacto Económico En Volcán Compañía Minera Concentradora Victoria [Universidad Nacional del Centro] Repositorio institucional posgrado UNCP- Huancayo
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/1356>



- Hernández, Fernández, & Baptista. (2003). Metodología de la Investigación. México D.F.: McGraw-Hill.
- Laplante, A. (2002). “The gravity recoverable gold test and flash flotation” 34 Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors.
- McCulloch, W. (1990). “Flash flotation for improved gold recovery “at Freeport, Indonesia. Minerals and Metallurgical Processing.
- Mestanza, M. (1992). Diseño de una planta piloto concentradora para mineral de Oro [tesis de pre grado, Universidad Nacional De Ingeniería Lima]. Repositorio institucional UNI Lima.
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2650>
- Newcombe, B. & Bradshaw, D. & Wightman, E. (2012). Article history: Minerals Engineering “The hydrodynamics of an operating flash flotation cell” - Received 14 April 2012 Accepted 2 November 2012. JKMRC – The University of Queensland, 40 Isles Rd., Indooroopilly, QLD 4068, Australia
- Pedro A. (2009). “Optimización En La Planta De Beneficio De La Compañía Minera Volcan S. A. A. De La Unidad De Producción Animón, Mediante El Uso De Una Celda De Flotación Flash”. 2009.
- Quispe, W. (2018). Estudio mediante la realización de pruebas experimentales de flotación Flash SkimAir 80, en la Compañía Minera las Bambas [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio institucional UNSA Arequipa.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6634>
- Xinhai, A. (2021). Empresa Minera De Oro Mas Grande En El Peru Cip Flotacion Oro [Shandong Xinhai Mining Technology & Equipment Inc].
<https://eps.com.pe/Sol/7383-empresa-minera-de-oro-mas-grande-en-el-peru-cip-flotacion-oro.html>

ANEXOS

ANEXO 01. Recuperación De Partículas De Oro Por Tecnología De Recuperación.



ANEXO 02. Vista De Celda Flash



ANEXO 03. Tamizaje de muestras en rotap



ANEXO 04. Pesaje de muestras para el análisis granulométrico



ANEXO 05. Determinación de gravedad específica.



ANEXO 06. Pruebas de flotación Numero 4





ANEXO 7. Reporte Leyes de Laboratorio Químico



Cori Puno S.A.C.

INFORME DE ENSAYO DE MUESTRAS DEL LABORATORIO METALÚRGICO

Cliente: Laboratorio Metalúrgico
Tipo de muestras : Muestras de Laboratorio Metalúrgico
Presentación: Bolsas de polietileno
Cantidad de muestras: 200 g. Aprox.
Fecha de ingreso de muestras : 2/09/2019
Fecha de termino de analisis : 4/09/2019
Orden de trabajo 312-19
Hora de ingreso : 7:00 a. m.

N°	Codigo de Muestra	Ley oro (g/t)	Ley plata (g/t)	%H2O
1	LM-565-01	1.18		
2	LM-565-02	1.14		
3	LM-565-03	1.18		
4	LM-565-04	1.04		
5	LM-565-05	0.99		
6	LM-565-06	0.90		
7	LM-565-07	0.75		
8	LM-565-08	0.47		
9	LM-565-09	0.42		
10	LM-565-10	100.50		
11	LM-565-11	3.28		
12	LM-565-12	0.59		
13	LM-565-13	110.60		
14	LM-565-14	2.17		
15	LM-565-15	0.52		
16	LM-565-16	99.80		
17	LM-565-17	2.10		
18	LM-565-18	0.52		
19	LM-565-19	90.60		
20	LM-565-20	2.32		

Medodo: ME-EF-01: DETERMINACIÓN DE ORO Y PLATA EN MINERALES Y CONCENTRADOS POLIMETÁLICOS
Untuca, 6 de Setiembre de 2019

Ing Alvaro Daniel Plasencia Becerra
JEFE DE LABORATORIO QUIMICO

ANEXO 08 Microscopía realizada por microscopio electrónico de barrido Quanta 200 muestra de relave Final Cori Puno.

MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO + EDAX

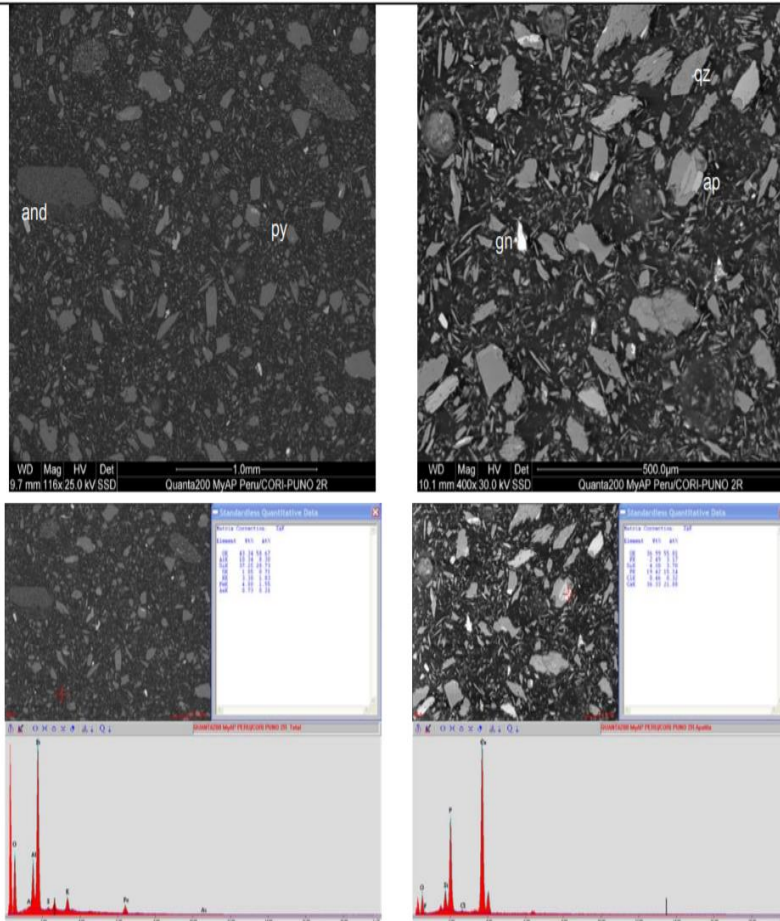
(CORI PUNO)

MUESTRA : 2R

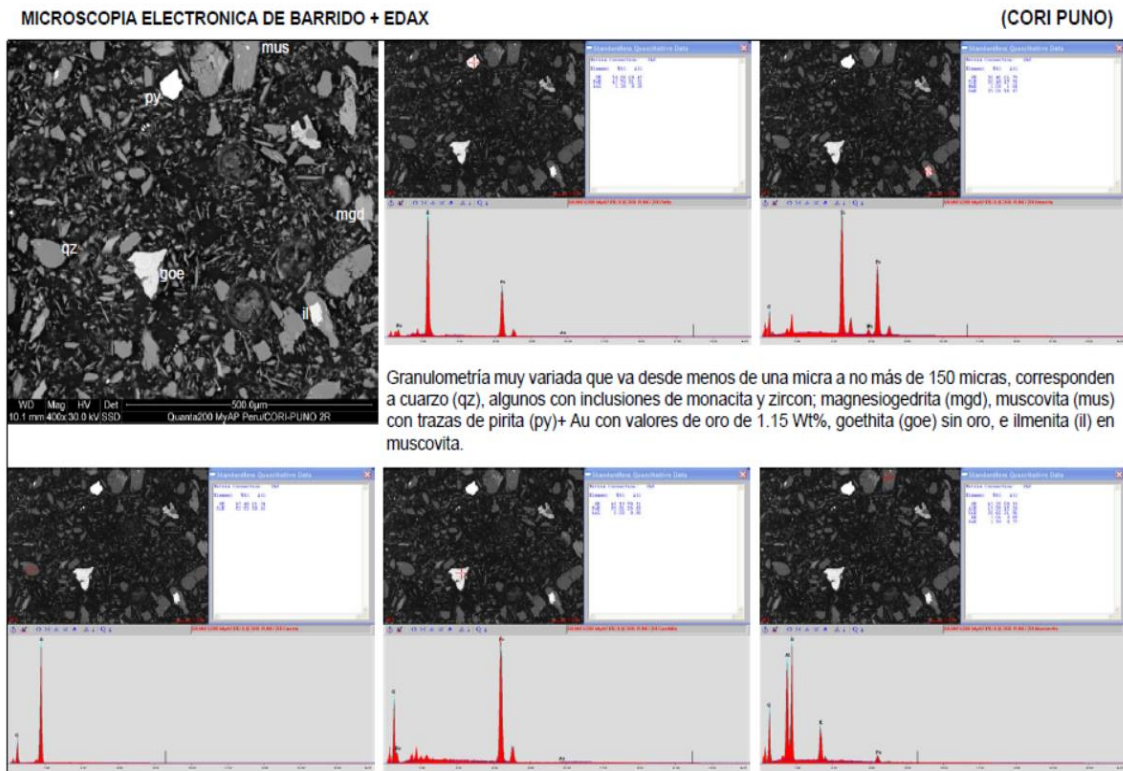
La muestra en casi un 97% corresponde a la ganga, conformada mayoritariamente por cuarzo (qz) y accesorios de magnesiogedrita ((Mg,Fe++) $5\text{Al}_2\text{Si}_8\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$), biotita (bio), muscovita (mus); con trazas de óxidos de hierro (goe-hm), ilmenita (il), zircon, monacita (mon), apatita (ap), rutilo (ru), sulfuros primarios como pirrotita (po), piritita (py), arsenopirita (asp) y muy escasas de galena (gn) y ullmanita (NiSbS).

Muy escasas trazas de oro (Au) libre en tamaños nanométricos (no más de 500 nanómetros) como inclusiones en la arsenopirita; otras partículas de arsenopirita contienen oro en su estructura cristalina y en otras con antimonio y plata. Así mismo, algunas piritas contienen valores de oro entre 1.10 a casi 2.50 Wt%. No se ha encontrado en la muestra partículas de oro libre.

No es frecuente que las partículas de goethita contengan oro en su estructura cristalina; sin embargo, en ciertas áreas la piritita muestra en sus bordes signos de alteración supergena a goethita y hematita con Au.



ANEXO 09 Microscopía realizada por microscopio electrónico de barrido Quanta 200 muestra de relave Final Cori Puno tamaño de cuarzo, con inclusiones de monacita y zirconio.



ANEXO 10. Especificaciones Técnicas De Celda Flash

TECHNICAL SPECIFICATIONS*

PRODUCT	EFFECTIVE VOLUME		DESIGN FEED RATE	DRIVE	INSTALLED POWER		AIR FEED PER SHAFT		AIR PRESSURE PER CELL	
	m ³	ft ³			tph	Type	kW	hp	Nm ³ /min	ACFM
SkimAir 80	2.4	85	80	V-belt/ Gear	11	15	0.1-1	3.5-35	14	2.1
SkimAir 240	7.9	279	240	V-belt/ Gear	22	30	0.2-2	7-71	26	3.8
SkimAir 500	24.9	879	500	V-belt/ Gear	55	75	0.4-4	14-141	40	5.8
SkimAir 1200	55.6	1963	1200	Gear	132	200	1-10	35-350	46	6.7
SkimAir 1800	87.1	3076	1800	Gear	150	200	1.5-15	53-530	51	7.4
SkimAir 2400	121.0	4273	2400	Gear	185	250	2-20	71-710	59	8.6

*Values are subject to variations. Applicable up to 1.8 t/m³ pulp s.g. and normal site conditions (1000 m, -5 to +40C).

**SkimAir naming based on feed rate (tph).

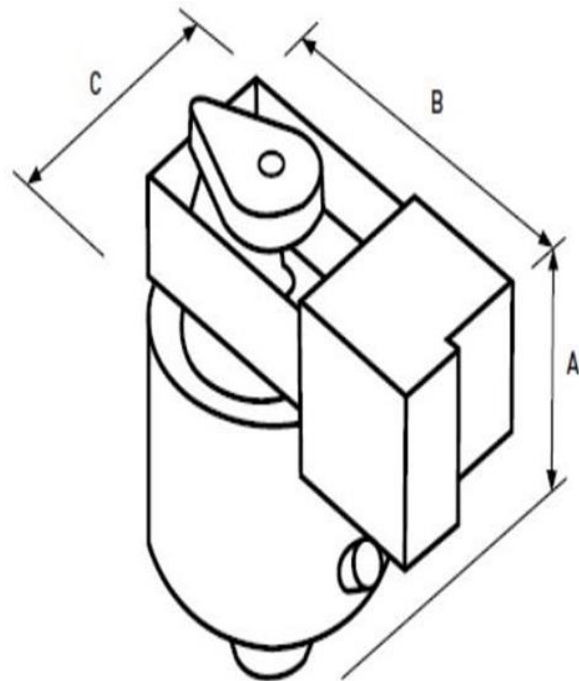
ANEXO 11. Dimensiones Celda Flash

TYPICAL MAIN DIMENSIONS*

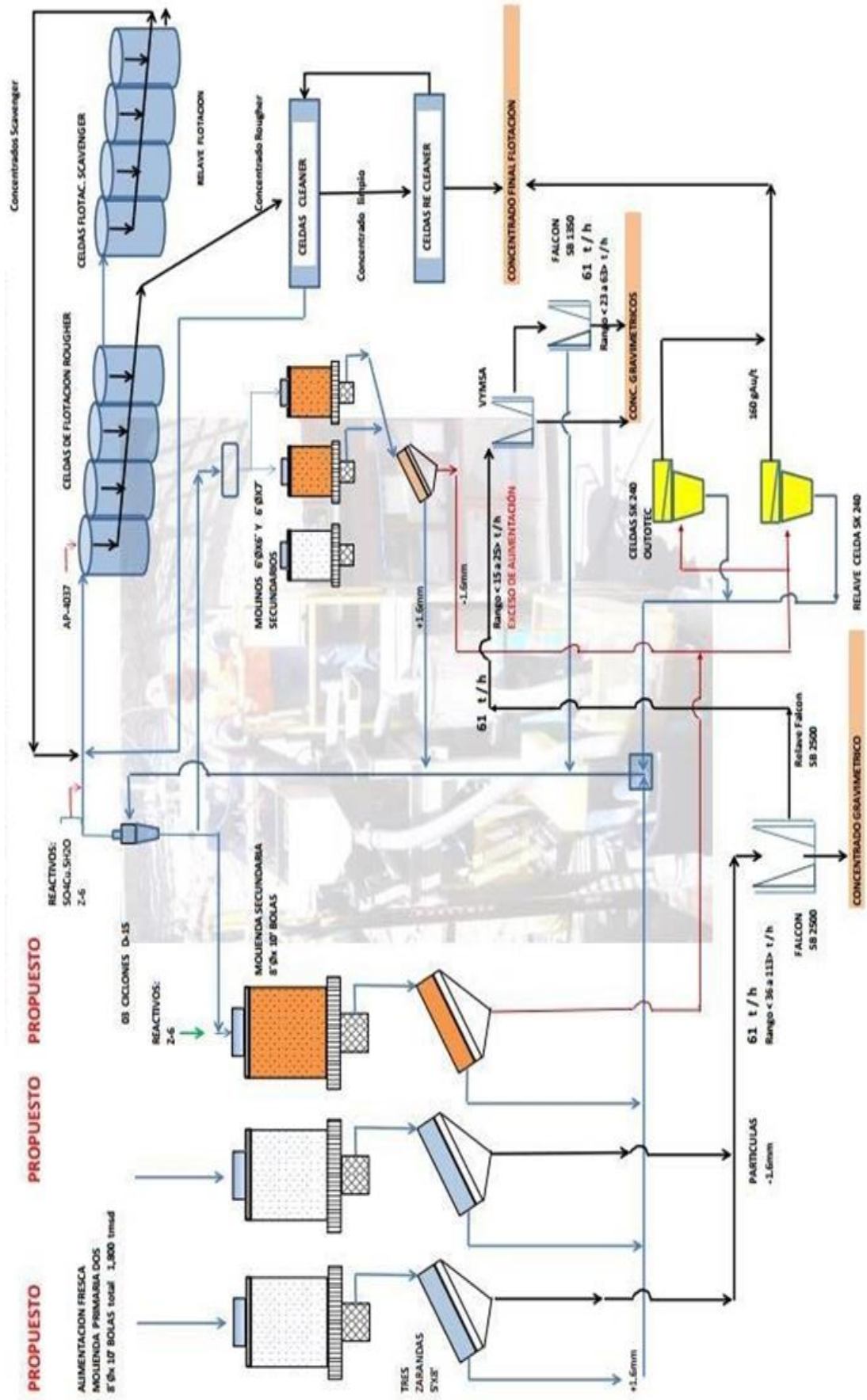
PRODUCT	A	B	C	DEAD MASS
Name**	mm	mm	mm	kg
SkimAir 80	4 500	4 200	2 400	3 000
SkimAir 240	5 200	4 600	2 800	6 000
SkimAir 500	7 800	7 400	4 200	17 000
SkimAir 1200	9 500	9 100	5 300	34 000
SkimAir 1800	10 000	10 100	5 800	39 000
SkimAir 2400	10 500	10 500	6 400	43 000

*Values are subject to variations. Applicable up to 1.8 t/m³ pulp s.g. and normal site conditions (1000 m, -5 to +40C).

**SkimAir naming based on feed rate (tph).



ANEXO 12. Flow Sheet Planta Concentradora Cori Puno



ANEXO 13. Ubicación del Proyecto de Investigación

