



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



OPTIMIZACION DE LA RECUPERACION EN
CONCENTRACION GRAVIMETRICA DE ORO DE LOS
FRENTES POMARANI – CRUZ DE ORO CORI PUNO S.A.C.

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ETZON CCARI RAMOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

Empezar esta tesis, dedicándole a Dios, quien día a día, me acompaña y guía por el buen camino, quien me da las fuerzas para continuar en este trayecto y no desmayar en el camino que me tiene trazado, enseñándome a dar cara a la adversidad sin nunca perder la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres, a mi Padre Celso Ccari, a mi madre Faustina Ramos, por darme el apoyo con los recursos necesarios para estudiar. Quienes me han dado las herramientas necesarias para transcurrir en mi vida.

A todos los docentes de mi carrera profesional quienes volcaron sus conocimientos en el ambiente metalúrgico, en especial a mi director Dr. Dante Salas, quien trajino dándome el apoyo en la ejecución de esta tesis.

La dedicatoria especial a mi familia, Mi esposa Mirella Serna, mis hijos Kevin Ccari Serna, Ytham Ccari Serna, por quienes transcurro mis días y quiénes son y serán la fuerza que necesito para seguir adelante.

Etzon Ccari Ramos



AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Fredy Surco Huayna, al Ing. Antonio Yamashiro Bermejo, quienes me dieron la oportunidad de laborar en la compañía, y confiar en mi trabajo.

Etzon Ccari Ramos



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN..... 13

ABSTRACT 14

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 16

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA..... 17

1.2.1. Problema general..... 17

1.2.2. Problema especifico 17

1.3 JUSTIFICACION..... 18

1.4 OBJETIVOS 18

1.4.1. Objetivo general 18

1.4.2. Objetivo Especifico 18

1.5 HIPOTESIS..... 19

1.5.1. Hipótesis general 19

1.5.2. Hipótesis especificas 19

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES 21

2.2 GENERALIDADES 25

2.3 MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL..... 27

2.3.1. La Concentración Gravimétrica 27



2.3.1	Leyes De La Fuerza Centrifuga	30
2.3.2	Gravedades “G”	31
2.3.3	Concentración Centrifuga	32
2.3.4	Criterio de Concentración Centrifuga	32
2.3.5	Medios Densos	35
2.3.6	Concentradores Centrífugos.....	36
2.3.7	Aplicaciones en Oro de los Concentradores Centrífugos	37
2.4	CONCENTRADOR KNELSON.....	38
2.5	EL CONCENTRADOR CENTRÍFUGO FALCON	40
2.5.1	Concentrador Falcon Serie SB	42
2.5.2	Funcionamiento Del Concentrador Falcon Serie SB	46
2.5.3	Partes Del Concentrador	47
2.6	MICROSCOPIA DEL MINERAL	48
2.6.1	Alimento Planta.....	49
2.6.2	Over Flow (Relave Gravimétrico)	52
2.6.3	Relave Final	53
2.6.4	Concentrado Flotación	54
2.6.5	Mineral Pomarani.....	56
2.6.6	Mineral Cruz de Oro	58
2.7	VARIABLES EN EL PROCESO DE OPERACIÓN.....	59
2.7.1	Factor Tiempo De Cosecha.....	59
2.7.2	Factor Fuerza Gravitacional o Fuerza “G”.....	60
2.7.3	Factor Ingreso De Agua	60
2.8	CARACTERISTICAS DEL ORO	60
2.9	MINERALES AURÍFEROS	62
2.10	DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS AURÍFEROS	63
2.11	METODOS DE CONCENTRACION.....	65



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	UBICACION GEOGRAFICA DEL ESTUDIO	66
3.2	PERIODO DE DURACION DEL ESTUDIO.....	67
3.3	PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO	67
3.4	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....	67
3.4.1	Diseño de la investigación.	67
3.4.2	Método de la investigación	68
3.5	DISEÑO ESTADÍSTICO DE LOS EXPERIMENTOS	68
3.5.1	Tratamiento de Datos	69
3.5.2	Formulación del diseño de experimentos y análisis estadístico.....	69
3.5.3	Diseño Factorial	70
3.6	OPERACIÓN DE VARIABLES.....	71
3.6.1	Variable dependiente.....	71
3.6.2	Variable Independiente	71
3.7	POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO.....	72
3.8	PROCEDIMIENTO PARA LA CARACTERIZACION DEL MINERAL	72
3.8.1	Pruebas de Moliendabilidad.....	74
3.8.2	Pruebas de Gravimetría	75
3.8.3	Pruebas de Flotación	77
3.8.4	Test GRG (Gravity Recovery Gold)	81
3.9	PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA A NIVEL INDUSTRIAL.....	82
3.9.1	Descripción General del proceso Metalúrgico	83
3.9.2	Chancado.....	84
3.9.3	Chancado Primario.....	86
3.9.4	Chancado Secundario.....	86
3.9.5	Chancado Terciario	86
3.9.6	Molienda – Gravimetría	87



3.9.7	Flotación.....	91
3.9.8	Filtrado	92
3.9.9	Relavera.....	93

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	CARACTERIZACION DEL MINERAL	94
4.2	SELECCIÓN DE VARIABLES PARA LA RECUPERACION DE ORO	94
4.2.1	Diagrama de Pareto de los efectos para el porcentaje de recuperación.....	98
4.3	EVALUACION DEL PROCESO	102
4.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PRUEBAS.....	102
4.5	RESULTADOS OBTENIDOS	102
4.5.1	Análisis de Varianza con las variables al 95 % (prueba Tukey).....	108
4.5.2	Prueba Tukey de alimentación de agua.....	108
4.5.3	Prueba Tukey del tiempo se cosecha	109
4.5.4	Prueba Tukey para la frecuencia del motor.....	111
4.5.5	Interpolación De Variables Para Hallar Valores Óptimos	115
4.6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	116
V.	CONCLUSIONES.....	119
VI.	RECOMENDACIONES	120
VII.	REFERENCIAS	121
ANEXOS	128

Área: Metalurgia Extractiva

Tema: Proceso Gravimétrico

Fecha de Sustentación: 04 Enero 2022



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Significado del criterio de concentración (CC)	34
Tabla 2. Nomenclatura de los minerales prioritarios, abreviatura y formula	49
Tabla 3. Composición mineralógica global, de la muestra Alimento Planta.....	50
Tabla 4. Composición mineralógica global, de la muestra Relave Final.....	53
Tabla 5. Composición mineralógica global, de la muestra Concentrado Flotación.	55
Tabla 6. Composición mineralógica global, de la muestra mineral Pomarani.	57
Tabla 7. Composición mineralógica global, de la muestra Cruz de Oro.	58
Tabla 8. Tiempos de moliendabilidad Pomarani-Cruz de Oro (70/30).	74
Tabla 9. Tiempos de moliendabilidad Cruz de Oro (100%).	75
Tabla 10. Tiempos de moliendabilidad Pomarani (100%).	75
Tabla 11. Balance de Gravimetría Pomarani-Cruz de Oro (70%/30%).....	76
Tabla 12. Balance de Gravimetría Cruz de Oro (100%).....	76
Tabla 13. Balance de Gravimetría Pomarani (100%).	77
Tabla 14. Equipos de Chancado.....	85
Tabla 15. Parámetros operativos de molienda primaria.....	87
Tabla 16. Parámetros operativos de molienda secundaria.	89
Tabla 17. Parámetros operativos del equipo Concentrador Falcon SB 2500	90
Tabla 18. Parámetros operativos de los equipos de concentración.....	90
Tabla 19. Caracterización el mineral	94
Tabla 20. Nivel de Varianza	94
Tabla 21. Combinación experimental del diseño 2^3	95
Tabla 22. Regresión factorial de las variables interpoladas.	96
Tabla 23. Análisis de Varianza para la recuperación.....	97
Tabla 24. Coeficiente de regresión para recuperación.....	99



Tabla 25. Estadística de la regresión.....	100
Tabla 26. Análisis de los residuales	100
Tabla 27. Combinación experimental del diseño 23.....	102
Tabla 28. Balance Metalúrgico experimento N° 1.....	103
Tabla 29. Balance Metalúrgico experimento N° 2.....	103
Tabla 30. Balance Metalúrgico experimento N° 3.....	104
Tabla 31. Balance Metalúrgico experimento N° 4.....	104
Tabla 32. Balance Metalúrgico experimento N° 5.....	105
Tabla 33. Balance Metalúrgico experimento N° 6.....	105
Tabla 34. Balance Metalúrgico experimento N° 7.....	106
Tabla 35. Balance Metalúrgico experimento N° 8.....	106
Tabla 36. Combinación experimental del diseño 23 con respuesta	106
Tabla 37. Método de Tukey sobre el Agua a una confianza del 95%	108
Tabla 38. Método de Tukey sobre el tiempo de cosecha a una confianza del 95%....	110
Tabla 39. Método de Tukey sobre la frecuencia del motor a una confianza del 95%	111
Tabla 40. Optimizar Respuesta	116



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rangos de tamaño tratados por equipos de concentración gravimétrica	28
Figura 2. Intervalo aproximado de aplicación de varios equipos de concentración (M = Malla Tyler)	29
Figura 3. Representación de la fuerza centrípeta y centrífuga.....	31
Figura 4. Representación gráfica del concentrador Knelson	40
Figura 5. Presentación grafica de alimentación - descarga de concentrado y relave equipo Falcon SB	42
Figura 9. Vista en la mínima magnificación de la muestra Alimento Planta. Es posible apreciar que el principal mineral metálico en la muestra es pirita (py), y esta tanto libre como asociada a ganga (GGs) principalmente.	51
Figura 10. Intercrecimiento de pirrotita (po), con inclusión de arsenopirita (apy). La arsenopirita presenta a su vez, inclusión de lolingita (lol), y diseminaciones de oro nativo (Au), la pirrotita presenta en uno de sus bordes ganga (GGS) asociada.	52
Figura 11. Oro nativo (Au) incluido en ganga (GGS).....	54
Figura 12. Intercrecimiento lateral de oro nativo (Au) y pirrotita (po).	56
Figura 13. Partícula de oro nativo (Au) incluido en matriz de ganga (GGS).	57
Figura 14. Partículas de oro nativo (Au) y electrum (el), incluidas en matriz de arsenopirita (apy). La arsenopirita (apy) se encuentra asociada en sus bordes exteriores con pirita (py).....	59
Figura 15. Ubicación geográfica del lugar de estudio.	66
Figura 16. Diseño factorial 2^3 y su representación geométrica.	71
Figura 17. Esquema general de pruebas.	73
Figura 18. Esquema de prueba de moliendabilidad.....	74



Figura 19. Esquema de prueba de gravimetría.	76
Figura 20. Esquema de prueba de Cinética de Flotación.....	78
Figura 21. Cinética de Flotación.....	79
Figura 22. Cinética de Flotación Cruz de Oro (100%).....	79
Figura 23. Cinética de Flotación Pomarani (100%)	80
Figura 24. Esquema de pruebas Cíclicas	81
Figura 25. Esquema de pruebas de GRG.....	82
Figura 26. Descripción del proceso operativo planta concentradora Cori Puno SAC..	84
Figura 27. Diagrama de Pareto con la importancia de las variables.....	99
Figura 28. Gráfico Comparativo, % recuperación experimental vs % recuperación modelo.....	101
Figura 29. Grafica del diseño factorial 2^3 , y su representacion geometrica con los resultados de la combinacion experimental.	107
Figura 30. Grafica de intervalos de % de recuperación en base al factor agua (m ³ /hr)	109
Figura 31. Grafica de intervalos de % de recuperación en base al factor tiempo de cosecha.....	110
Figura 32. Grafica de intervalos de % de recuperación en base al factor frecuencia del motor	112
Figura 33. Grafica del efecto Frecuencia del motor con respecto a la recuperación..	113
Figura 34. Grafica del efecto alimentación de agua con respecto a la recuperación..	114
Figura 35. Grafica del efecto tiempo de cosecha con respecto a la recuperación.	115
Figura 36. Grafica de optimización, para las distintas variables.	116



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Ai	: Índice de Abrasión
CC	: Criterio de Concentración
GE	: Gravedad Específica
GRG	: Gravity Recovery Gold (Recuperación Gravimétrica de Oro)
G	: Gravedad
Gr/l	: Gramos litro
Gr/tm	: gramos por tonelada métrica
Hz	: Hertz
kWh/tc	: Kilowatts hora por tonelada corta
kg	: Kilogramos
m³	: Metros al cubo
m³/hr	: Metros cúbicos hora
Min	: Minutos
Mm	: Milímetros
O/Z	: Over Size (Sobre Tamaño)
Rpm	: Revoluciones por minuto
RR	: Radio Reducción
TM/DIA	: Toneladas métricas día
Ton/hora	: Toneladas hora
TMH	: Toneladas Métricas húmedas.
Under Flow	: Flujo por debajo
Wi	: Work Index (índice de trabajo)
µm	: Micrómetro
%	: Porcentaje



RESUMEN

El presente trabajo de investigación, fue realizado en las instalaciones de la planta concentradora Cori Puno SAC, esto debido a que hubo cambio de frentes de minado y por ende también hubo cambios de mineralización de las mismas, las cuales se vieron reflejadas en la baja recuperación del oro en comparación con los años anteriores de los frentes de minado ya explotados; específicamente el problema de la baja recuperación en el concentrador gravimétrico Falcon SB 2500, el cual se encontró alrededor de 37% hace que desarrolle el presente trabajo de investigación. En tal razón el objetivo principal de investigación es optimizar la recuperación en concentración gravimétrica de los frentes Pomarani cruz de oro, donde se utilizó el concentrador Gravimétrico FALCON SB 2500, trabajándose para ello con el método de investigación experimental de tres variables; en donde se evaluó, mejoró y optimizó los parámetros y variables influyentes como el tiempo de cosecha, cantidad de ingreso de agua y fuerza centrífuga; como resultado se determinó que el tiempo de cosecha óptimo es 15 minutos, la cantidad de ingreso de agua 21 m³/hora y los Hertz para generar fuerza centrífuga es 47. Se concluye que la recuperación del oro se incrementó de 37 % a 42 %, optimizándose en un 5 %, la capacidad productiva y por ende el beneficio económico.

Palabras Clave: Concentración, gravimetría, Oro, recuperación y concentración.



ABSTRACT

The present research work was carried out in the facilities of the Cori Puno SAC concentrator plant, this is due to the fact that there was a change in mining fronts and therefore there were also changes in their mineralization, which were reflected in the low recovery of gold compared to previous years of already exploited mining fronts; Specifically, the problem of low recovery in the Falcon SB 2500 gravimetric concentrator, which was found around 37%, leads me to develop this research work. For this reason, the main research objective is to optimize the recovery in gravimetric concentration of the Pomarani Cruz de Oro fronts, where the FALCON SB 2500 Gravimetric concentrator was used, working for this with the three-variable experimental research method; where the influencing parameters and variables such as harvest time, amount of water intake and centrifugal force were evaluated, improved and optimized; As a result, it was determined that the optimum harvest time is 15 minutes, the amount of water input is 21 m³/hour and the Hertz to generate centrifugal force is 47. It is concluded that the recovery of gold increased from 37% to 42%, optimizing by 5%, the productive capacity and therefore the economic benefit.

Key Words: Gravimetric, concentration, gold, recovery and concentration.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En metalurgia extractiva se estudia y trabaja el performance de un mineral frente a diferentes procesos metalúrgicos tales como la concentración gravimétrica u otros procesamientos relacionados a la extracción de minerales propiamente dicho, el propósito del presente estudio es determinar las condiciones de operación, que harán factible, un posible alto grado de extracción y por ende una óptima recuperación.

La concentración gravitacional o gravimétrica es una de las tecnologías que se utiliza en las industrias minero metalúrgico para la concentración de minerales de gran importancia en este caso oro. El mecanismo principal que utiliza la concentración gravitacional es utilizar la densidad de un fluido o pulpa junto con la fuerza de gravedad para así separar partículas entre livianas y pesadas. Sin embargo, en algunos casos se presentan demasiadas partículas finas lo que implica un mayor tiempo de separación, afectando la eficiencia de la concentradora gravitacional, bajo estas circunstancias se lleva a cabo la utilización de la fuerza centrífuga en la separación, debido a que esta es de mayor magnitud que la fuerza gravitacional.

En la concentración centrífuga, los equipos están diseñados para aumentar la fuerza gravitacional considerablemente, lo cual hace que estos equipos sean más eficientes que los convencionales, por lo tanto, se hacen más fácil la separación de partículas con mayor peso específico.

El objetivo estructurado fue el de mejorar la recuperación del oro en el proceso de concentración gravimétrica centrífuga utilizando como herramientas los diseños experimentales de selección de variables y de superficie respuesta.



El presente trabajo de investigación se centró en determinar la recuperación óptima en el proceso de la concentración gravimétrica centrífuga de la planta de tratamiento de minerales CORI PUNO SAC, Ubicado en el Departamento de Puno, Provincia de Sandia, para el trabajo experimental se determinó los parámetros y variables para su optimización. Es por ello el trabajo de investigación, tiene un aporte de tipo experimental, optimizando el % de recuperación e incremento económico para el beneficio social y operacional de la planta de tratamiento de minerales CORI PUNO SAC.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planta concentradora Cori Puno SAC, procesa 1800 tm/día para el tratamiento de mineral de oro con una ley de cabeza de 2.70 gr/tm.

El procesamiento de mineral se realiza a través de dos procesos; concentración gravimétrica en concentradores gravimétricos centrífugos y flotación de minerales, en un proceso continuo, primero se realiza la concentración gravimétrica y los relaves de la gravimetría pasa al proceso de flotación.

Para el año 2020, operaciones Mina en coordinación con geología alimenta a operaciones planta minerales de dos nuevos frentes de minado; Pomarani y Cruz de Oro, de acuerdo al programa para el año 2020. En los años anteriores los frentes de minado eran Cerro La Torre, Pullucunuyuc, Santa Rosa, la olla, Yesica.

Al haber cambio de frentes de minado también hubo cambios de mineralización de las mismas, las cuales se ven reflejadas en la baja recuperación en comparación con años anteriores con los frentes de minado anterior, específicamente la baja recuperación en el concentrador gravimétrico Falcon SB 2500, el cual se



encontró alrededor de 37%. Las posibles causas de esta baja recuperación podrían ser, el tipo de mineral, problemas operacionales y parámetros operativos del equipo.

Para el desarrollo del presente trabajo se realizó el análisis para optimizar los parámetros en el equipo Falcon SB 2500, se hicieron pruebas metalúrgicas a nivel laboratorio, caracterización del mineral, pruebas de gravimetría GRG (Gravity Recovery Gold), el cual determina la máxima recuperación por gravimetría para cada uno de estos frentes de minado y pruebas metalúrgicos a nivel industrial.

El tratamiento de los minerales de oro por gravimetría es un proceso en los cuales es necesario la conjugación de muchos factores y variables, que permita determinar los parámetros o condiciones óptimas para el control de los procesos mencionados, de tal manera que permita obtener una buena calidad de concentrados.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Se podrá optimizar la recuperación de concentración gravimétrica de Au, de los frentes Pomarani – Cruz de Oro, Cori Puno S.A.C?

1.2.2. Problema específico

¿Cuáles son las características mineralógicas, granulométricas, químicas que presentan los frentes de minado Pomarani – Cruz de Oro?

¿Cómo se establecerá el tiempo de cosecha óptimo para un mayor % de recuperación en la concentración gravimétrica en la planta de tratamiento Cori Puno SAC?



¿Cómo determinar la cantidad de ingreso de agua óptimo para tener mayor % de recuperación en la concentración gravimétrica en la planta de tratamiento Cori Puno SAC?

¿Cómo determinar los HERTZ necesarios para generar la fuerza centrífuga óptimo y tener mayor % de recuperación en la concentración gravimétrica en la planta de tratamiento Cori Puno SAC?

1.3 JUSTIFICACION

La optimización es necesaria debido a la baja recuperación en concentración gravimétrica en operaciones planta, esto hace que haya perdidas de oro en el relave, afectando directamente al costo beneficio de operaciones en la unidad minera.

Es necesario realizar el siguiente trabajo para fortalecer, complementar y dar a conocer las características mineralógicas de los frentes de minado Pomarani – Cruz de Oro, al mismo tiempo el tratamiento metalúrgico de estos y el control de los parámetros de operación serán más eficientes.

Se prueba con el siguiente trabajo la optimización de la recuperación en concentración gravimétrica de Au, de los frentes de minado Pomarani – Cruz de Oro

1.4 OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Optimizar la recuperación en concentración gravimétrica de oro, de los frentes de Pomarani – Cruz de Oro, Cori Puno SAC.

1.4.2. Objetivo Especifico



- Conocer las características mineralógicas, granulométricas del oro, químicas que presentan los frentes de minado Pomarani – Cruz de Oro.
- Establecer el tiempo de cosecha óptimo para un mayor % de recuperación en la concentración gravimétrica en la planta de tratamiento Cori Puno SAC.
- Determinar la cantidad de ingreso de agua óptimo para tener mayor % de recuperación en la concentración gravimétrica en la planta de tratamiento Cori Puno SAC.
- Determinar los Hertz necesarios para generar la fuerza centrífuga óptima y tener mayor % de recuperación en la concentración gravimétrica en la planta de tratamiento Cori Puno SAC.

1.5 HIPOTESIS

1.5.1. Hipótesis general

Es posible optimizar la recuperación en concentración gravimétrica de oro de los frentes de minado Pomarani y cruz de oro, en la compañía minera Cori Puno SAC.

1.5.2. Hipótesis específicas

- El conocimiento de las características mineralógicas granulométricas químicas del oro, que presentan los frentes de minado Pomarani – Cruz de Oro, servirán para definir los parámetros operativos del concentrador Falcon SB 2500.



- El tiempo de cosecha óptimo indica el momento adecuado cuando se producen la mayor cantidad de intercambio de partículas y cuando se empieza a perder oro.
- Determinar la cantidad de ingreso de agua al lecho fluidizado y mantener las partículas pesadas en el cono rotatorio para impedir la compactación del concentrado o por el contrario desplazar el oro conjuntamente con el relave.
- Determinar los Hertz necesarios para la generación de fuerza centrífuga y forzar que el mineral se dirija hacia afuera de las paredes y sean atrapadas por las canaletas, mientras que las partículas ligeras (ganga), sean desplazadas fuera conjuntamente con el relave.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Se encontró antecedentes de investigación, los cuales se utilizaron como referencia para el desarrollo de la investigación; los cuales no son efectivamente relacionados al tema en desarrollo, pero serán de gran ayuda para los problemas planteados.

Trujillo y Trujillo (2020). En su tesis titulada “optimización del proceso gravimétrico del concentrador falcón para la recuperación de estaño fino a partir de relaves en la mina san Rafael”, presenta como objetivo general optimizar el proceso gravimétrico falcón a nivel planta piloto para la recuperación de estaño fino a partir de relaves en la unidad minera San Rafael, finalmente concluyo que, para determinar el tiempo óptimo de recuperación, se realizó cuatro pruebas iniciándose la primera prueba a 100, 110, 120 y 150 segundos respectivamente. Se concluye que el tiempo óptimo es de 120 segundos.

Huarecallo (2019). En su tesis titulada “optimización del proceso de recuperación de oro con un concentrador centrífugo para la pequeña minería aurífera”, en sus objetivos menciona el estudio y aplicación de los parámetros operativos de los concentradores centrífugos y optimización de un concentrador centrífugo para la recuperación de oro. Donde finalmente concluye y recomienda que este proceso de concentración es que no emplea reactivos químicos, no hay problemas de contaminación ambiental, se requiere agua en una proporción adecuada.



Carrasco y Piminchumo (2018), en su tesis titulada “Influencia de la presión de agua y la fuerza de gravedad centrífuga en la recuperación de oro mediante concentración gravimétrica centrífuga para un mineral tipo antracita procedente de la Provincia de Cajabamba”, presenta como objetivo determinar la influencia de la presión de agua y la fuerza de gravedad centrífuga en el porcentaje de recuperación de oro mediante concentración gravimétrica centrífuga para mineral carbonáceo, finalmente concluye, se ha logrado comprobar a nivel experimental la influencia directa y significativa de la presión de agua y la fuerza de gravedad centrífuga en el incremento de la ley de oro en el concentrado de mineral obtenido, de igual manera se ha comprobado el incremento del porcentaje de recuperación de oro conforme aumenta la presión de agua y la fuerza de gravedad centrífuga.

Colin y Steve (2018). A pesar de que la concentración por gravedad es el más antiguo y posiblemente la técnica más simple del hombre (aparte de la recolección manual), la experiencia ha demostrado que hay mucho que aprender sobre concentración de gravedad mejorada. (Falcon Concentrators Inc).

Durante más de cien años, la concentración de gravedad mejorada de metales preciosos ha sido el objetivo de muchos desarrolladores de equipos, pero las aplicaciones comerciales más exitosas han aparecido sólo recientemente, digamos en los últimos 15 años. La concentración de gravedad mejorada llegó para quedarse y verá un uso ampliado a medida que el equipo mejore y, lo que es más importante, se comprenda mejor.

A medida que las regulaciones ambientales y los requisitos de permisos se vuelven más estrictos, La concentración por gravedad puede convertirse en la única tecnología económicamente viable para algunos depósitos de mineral.



Azañero (2015). Los concentradores centrífugos, constituyen la principal innovación realizada a los equipos de concentración gravimétrica de oro. En un tiempo muy corto, han ganado gran aceptación para la recuperación gravimétrica de oro; frecuentemente en los circuitos de molienda para separar oro libre y evitar sobre molienda y antes de entrar a las plantas de cianuración o flotación para recuperar el oro grueso.

También existen muchos usos en plantas industriales, en la minería aurífera aluvial. Otra aplicación especial para los concentradores centrífugos es la recuperación del oro como un producto secundario, por ejemplo, en canteras de grava. Todos los concentradores centrífugos operan con el mismo principio; básicamente, un recipiente que rota y efectúa la separación gravitacional de la carga, en un campo centrífugo.

El uso de campos gravitacionales altos (hasta 300 G) y grandes capacidades, permiten que las unidades recuperen metales finos liberados, y hacen eficiente las separaciones, incluso cuando otros procesos de gravedad son inadecuados. Estos concentradores pueden recuperar partículas ultrafinas, liberadas y hacer separaciones de alta calidad, utilizando el campo gravitacional.

Ibrahim (2014). Los concentradores gravimétricos de este tipo operan con un campo centrífugo de hasta 300 Gs. Son fabricados actualmente por Falcon Concentrators Inc. Y Knelson Gold Concentrators Inc., en Canadá. Su operación consiste en introducir pulpa hasta el fondo de un reactor cónico truncado invertido, el cual gira a una velocidad de 400 rpm, para el caso de un concentrador Knelson de 30 pulgadas de diámetro y capacidad de hasta 40 ton/hora de sólidos. En el fondo del reactor, este concentrador genera cerca de 45 a 47 Gs, con lo cual se concentran



partículas de oro grueso. A medida que la pulpa asciende verticalmente, el valor de “G” aumenta para tener cerca de 68 Gs en la base del cono, creando condiciones para la concentración de partículas finas de oro. La pared del cono está acanalada, inyectándose agua en las canaletas para fluidizar las partículas presentes en ella, evitar su compactación y mejorar la eficiencia en la concentración de oro.

Llampi (2013). En su tesis titulada “estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta gravimétrica de concentración de oro aluvial en tingo maría” presenta como uno de sus objetivos determinar los parámetros técnicos de instalación de la planta gravimétrica para la concentración de oro aluvial en Minera Davis SAC, donde finalmente concluye que Según la caracterización minero grafica química de las arenas auríferas se determinó que el oro está en estado libre por lo que el método indiscutible de recuperación son por la vías gravimétricas, según las pruebas granulométricas existe oro grueso y fino por lo que se utilizaran los equipos Jigs para el oro grueso y concentradores Falcon para el oro fino.

Gee (2005). En su estudio de recuperación de partículas finas de oro usando concentrador Falcon SB, menciona que, si la molienda fina puede liberar una cantidad razonable de oro, entonces el siguiente problema importante es como estos dos constituyentes pueden ser concentrados efectivamente. La flotación garantizará una recuperación alta de sulfuros, pero es usualmente costoso. La selectividad es también un problema por incorporación. La concentración gravimétrica centrífuga continua ofrece una solución viable a la recuperación de ambos sulfuros y ganga gruesa sin embargo la selectividad es también es probable que sea un problema. La posibilidad del grado de concentración mejorado usando un separador Falcon B fue



investigado y describe el programa de pruebas efectuadas llevado a cabo en un relave de lixiviación de oro usando un separador Falcon B de laboratorio.

La aplicación de fuerzas centrífugas en procesos industriales data desde hace muchos años atrás, sin embargo, recién en los últimos años, ha encontrado una real aplicación en los diferentes procesos en la industria. Uno de ellos corresponde al enriquecimiento de minerales, cuya aplicación fue casi inmediata en la minería grande y mediana.

Honaker (1996). En su trabajo de Aplicación del concentrador Falcon para limpieza de carbón fino concluye que los valores de expulsión de azufre obtenidos en varias fracciones granulométricas de partículas formadas por una muestra de carbón -1 mm fueron superiores a las obtenidas por un concentrador en espiral y una columna de flotación. Debido a la fuerza centrífuga insuficiente, los desempeños metalúrgicos obtenidos sobre la base de expulsión de ceniza para la fracción granulométrica de -37 μm de todas las muestras de carbón fueron significantes.

2.2 GENERALIDADES

La concentración gravimétrica es esencialmente un método para separar partículas minerales de diferente peso específico, por las diferencias en movimiento en respuesta a las acciones que ejercen sobre ellas simultáneamente la gravedad y/u otras fuerzas, como la hidráulica y de fricción. Es el método más sencillo y económico de todos los métodos de concentración. Su aplicación se recomienda cuando sea practicable, porque permite la recuperación de minerales en tamaños tan gruesos como sea posible, reduciendo costos en trituración, molienda y concentración, y disminuyendo pérdidas en los finos que generalmente se forman en las operaciones de reducción de tamaños.



Los métodos de concentración gravimétrica se agrupan en tres categorías : 1) separación por medio pesado, en la cual las partículas se introducen en un fluido de densidad intermedia, de tal manera que partículas de bajo peso específico flotan y las de alto peso específico se hunden, 2) separación por corriente verticales, en la que se aprovechan las diferencias en velocidades de sedimentación, como en el caso de los Jigs y 3) separación en corrientes superficiales, como en el caso de las mesas concentradoras y los espirales (Brewis, 1995).

A tamaños finos, las fuerzas hidráulicas y de fricción rebasan a la de gravedad, por lo cual la eficiencia de separación de los concentradores gravimétricos disminuye drásticamente. Para superar esto, se han diseñado concentradores que intensifican las fuerzas gravitacionales para que la separación se lleve a cabo a un valor de varias veces la fuerza de gravedad G (Ounpuu, 1992).

Con estos concentradores, se han resuelto muchos de los problemas para la aplicación de la concentración gravimétrica en la recuperación de oro libre en circuitos de molienda; como son la recuperación de oro de tamaño fino (< 150 micras), el balance de agua, la capacidad, el mantenimiento y el control de la operación de los concentradores en los circuitos

Los concentradores gravimétricos de este tipo operan con un campo centrífugo de hasta $300 G$. Son fabricados actualmente por Falcon Concentrators Inc. y Knelson Gold Concentrators Inc., en Canadá (Brewis, 1995). Su operación consiste en introducir pulpa hasta el fondo de un reactor cónico truncado invertido, el cual gira a una velocidad de 400 rpm , para el caso de un concentrador Knelson de 30 pulgadas de diámetro y capacidad de hasta 40 ton/hora de sólidos. En el fondo del reactor, este concentrador genera cerca de 45 a $47 Gs$, con lo cual se concentran



partículas de oro grueso. A medida que la pulpa asciende verticalmente, el valor de G aumenta para tener cerca de 68 G en la base del cono, creando condiciones para la concentración de partículas finas de oro. La pared del cono está acanalada, inyectándose agua en las canaletas para fluidizar las partículas presentes en ella, evitar su compactación y mejorar la eficiencia en la concentración de oro (Knelson, 1988).

2.3 MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

2.3.1. La Concentración Gravimétrica

La concentración gravimétrica no solo es usada para separar minerales o carbón de aquellos con los que se encuentran o presentan asociados. Es también común a muchos otros procesos industriales, tales como: separación de granos, pulpa de papel, y materiales químicos; reciclamiento de desperdicios municipales; recuperación y reciclamiento de derrames (petróleo en aguas), espumas, fabricación y producción de metales, etc.

La concentración gravimétrica de metales pesados es también un proceso geológico mediante el cual la madre naturaleza ha concentrado en depósitos de placer minerales, como: oro, casiterita, ilmenita. Los métodos gravimétricos han sido usados desde hace muchos años (Fuerstenau and Han 2003).

- Egipcios hace 3 000 a.c. lavaban oro.
- Los Atenienses usan el proceso flujo de película para procesar menas de sus minas en la localidad de Laurium, a.c.
- Agrícola (1556) en la De Re-Metallica describe varios procesos y equipos de concentración gravimétrica, de uso en Europa.

- En el siglo XIX, Rittinger en Europa, realiza estudios teóricos-prácticos de concentración gravimétrica.
- Richards en Estados Unidos, establece las bases teóricas de la concentración gravimétrica.
- En 1920, Finkey (1942) establece la mayoría de las relaciones matemáticas para describir el proceso y Taggart (1945, 1951) codifica estos principios.

Figura 1.

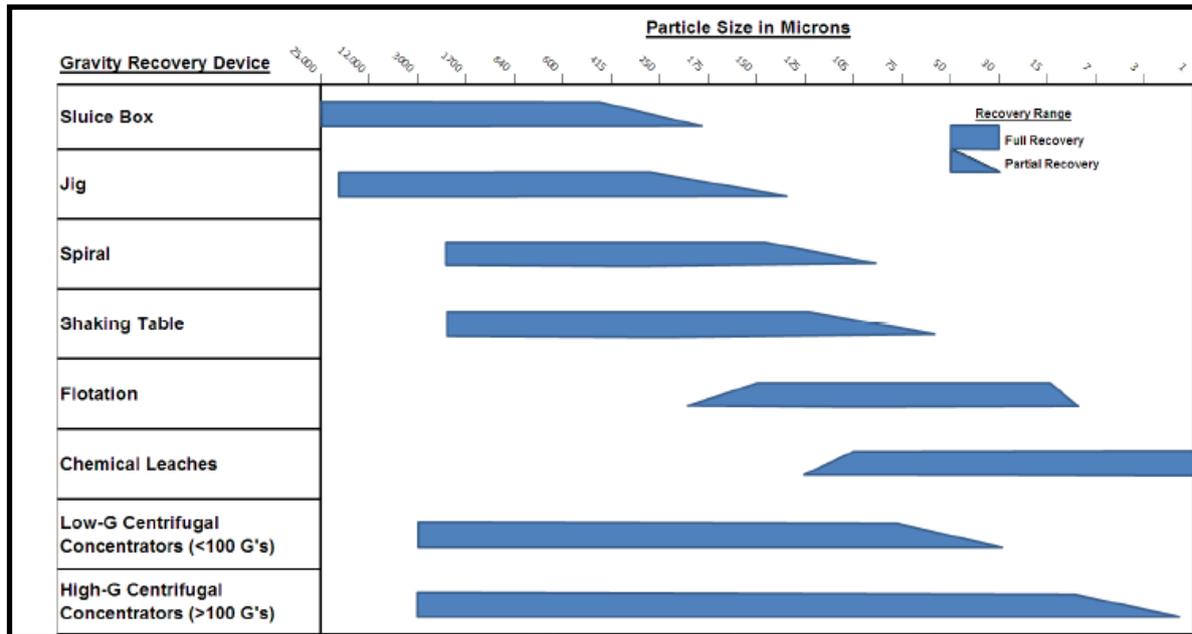
Rangos de tamaño tratados por equipos de concentración gravimétrica

Concentracion Gruesa (+1/4", 6.4mm)	Concentracion intermedia (1/4" a 100mils)	Concentracion Fina (1/4" a 100mils)
Pepeado a mano	Jigs	Jig Kelsey
Jigs	Hidrociclón medio pesado	Mesas concentradoras
Medio pesado	Clasificadores sedimentación impedida	Espirales
Hidrociclón	Jigs Kelsey	Concentrador cannon
Clasificadores sedimentación impedida	Concentradores cannon	Conos Reichert
Jigs neumaticos	Conos Reichert	Concentrador Falcon
	Concentrador Falcon	Concentrador Knelson
	Concentrador Knelson	Concentrador Bartles- Mozley
		Estructuras oscilantes
		Mesas Planas

Fuente: Aplan (2003)

Figura 2.

Intervalo aproximado de aplicación de varios equipos de concentración (M = Malla Tyler)



Fuente: Aplan (2003)

Debido al desarrollo del proceso de flotación, estos métodos declinaron en importancia en la primera mitad del siglo pasado, no obstante en años recientes hemos visto su resurgimiento; esto como consecuencia de razones como:

- Incremento en los costos de reactivos.
- Simplicidad de los procesos gravimétricos, aunado al desarrollo de nuevos equipos.
- Menor impacto ambiental.

Actualmente el desarrollo de nuevos equipos permite la eficiente concentración de minerales que tienen tamaños de partícula en el intervalo de 50 a 10 micras, lo que aunado a los grandes desarrollos en bombeo e



instrumentación de control, permiten la puesta en marcha de procesos de gran capacidad. La concentración gravimétrica de minerales a tamaños gruesos, siempre y cuando se encuentren liberados, presenta ventajas significativas para su posterior tratamiento, algunas de estas ventajas las podemos resumir a:

- Menor área superficial.
- Separaciones sólido-líquido más eficientes.
- Ausencia de químicos absorbidos, los cuales pueden interferir en el siguiente proceso.

Los métodos de separación gravimétrica separan los minerales de diferente gravedad específica en base a su movimiento relativo en respuesta a la gravedad y otras fuerzas; esta última muy frecuentemente es la resistencia ofrecida por un fluido viscoso, p.e.: aire o agua.

2.3.1 Leyes De La Fuerza Centrifuga

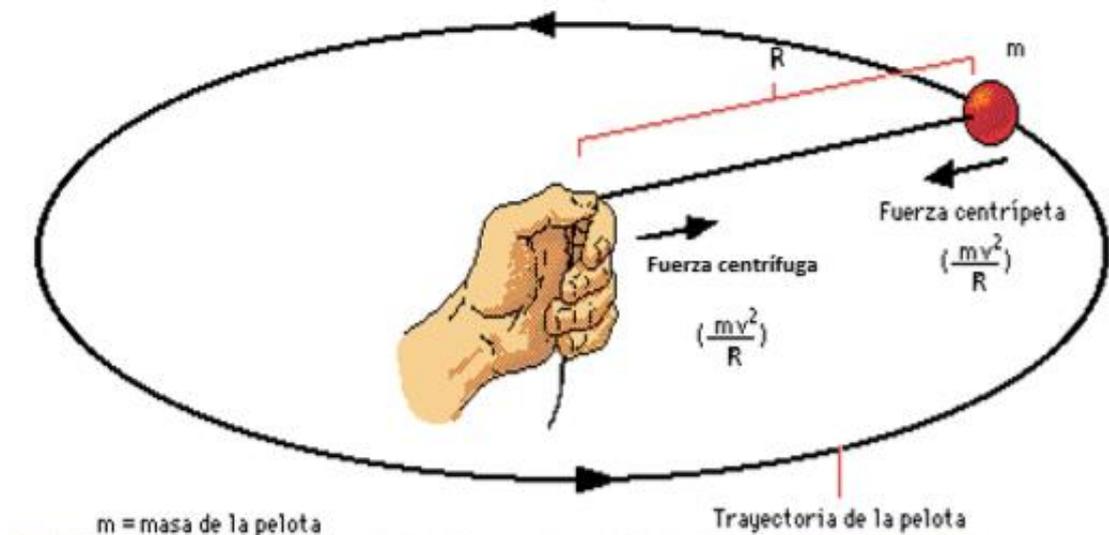
- "La fuerza centrífuga es directamente proporcional a la masa del cuerpo en movimiento circular".
- "La fuerza centrífuga es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad lineal, es decir, directamente proporcional al cuadrado de la frecuencia del movimiento circular".
- "La fuerza centrífuga es directamente proporcional al radio de la circunferencia descrita en el movimiento circular".

Cuando se hace girar en círculo una pelota, ésta es acelerada 'hacia dentro'. La aceleración se debe a una fuerza centrípeta (que tiende hacia el

centro): la tensión de la cuerda. La fuerza necesaria es igual a mv^2/R , donde m es la masa de la pelota, v su velocidad lineal y R el radio de la circunferencia descrita. La mano que tira de la cuerda experimenta una fuerza de reacción centrífuga (dirigida hacia fuera).

Figura 3.

Representación de la fuerza centrípeta y centrífuga



Fuente: Rodrigo Bravo (fuerza centrípeta y fuerza centrífuga)

2.3.2 Gravedades “G”

Está definida la fuerza “G”, como factor adimensional que expresa una medida relativa de sedimentación de un campo centrifugo a su gravitacional.

Generalmente las condiciones de operación se definen en función de los “G” que se deben aplicar.



2.3.3 Concentración Centrifuga

Todos los fenómenos y fuerzas que interaccionan en la concentración gravimétrica también en la concentración centrifuga, algunos fenómenos son de mayor importancia que otros. Cuando se desea sedimentar partículas finas, es necesario aumentar la fuerza requerida para vencer la resistencia del fluido, fuerza que es conocida como fuerza centrífuga que obedece a la ecuación.

$$F_C = (m - m')\omega^2 R - F_R = m \frac{\partial v_t}{\partial t}$$

Dónde:

F_c = Fuerza Centrifuga

m= Masa de la partícula

m'= masa del fluido desalojado

ω= velocidad angular

R= Radio de giro de la partícula

F_R= Fuerza de resistencia del fluido

V_t= Velocidad tangencial

2.3.4 Criterio de Concentración Centrifuga

Para una eficiente separación es necesario que entre los minerales a separar, además de haber liberación, exista una marcada diferencia entre sus gravedades específicas. Una idea de lo eficiente que será la concentración puede ser obtenida a partir del criterio de concentración, el cual tiene el Criterio de Concentrabilidad de Taggart, definido por la ecuación:



$$Q = \frac{Dp - Dm}{Dl - Dm}$$

Dónde:

Dp : Densidad de partículas pesadas

Dl : Densidad de las partículas livianas

Dm : Densidad del medio fluido de separación

En términos generales, cuando “Q” es mayor a 2.5 entonces la concentración por gravedad es relativamente sencilla. Cuando el valor de “Q” es menor a 2.5, la eficiencia de separación decrece, y por debajo de 1.25, la separación no es factible.

Para el Oro y la Pirrotita, por ejemplo, el criterio de concentración tendrá el siguiente valor:

$$CC = \frac{19.32 - 1}{(6.20 - 1)} = 3.52$$

Para el Oro y el cuarzo, por ejemplo, el criterio de concentración tendrá el siguiente valor:

$$CC = \frac{19.32 - 1}{(2.65 - 1)} = 11.1$$



Tabla 1.

Significado del criterio de concentración (CC)

CC	Significado
>2.5	Separación eficiente hasta 200 mallas
2.5 – 1.75	Separación eficiente hasta 100 mallas
1.75 – 1.50	Separación posible hasta 10 mallas, sin embargo, es difícil
1.50 – 1.20	Separación posible hasta ¼”, sin embargo, es difícil

Fuente: Taggart

La tabla 1. Indica la dificultad de alcanzar una separación eficiente cuando se tratan fracciones inferiores a 200 mallas (74 micrones). Debe señalarse, que el criterio de concentración fue sugerido en base a equipamientos que operan bajo la fuerza de gravedad, por lo tanto, la introducción de la fuerza centrífuga amplía la posibilidad de una separación más eficiente con materiales finos y ultrafinos.

Para una concentración gravimétrica eficiente es esencial que la alimentación sea cuidadosamente preparada, para ello es necesario tener en mente lo siguiente:

- La molienda debe ser particularmente importante, y tiene que ser la adecuada para lograr la máxima liberación.



- Es preferible que la molienda primaria se deba realizar en molinos de rodillos en circuitos abiertos.
- Para el caso de requerir molienda fina, se podrán utilizar molino de bolas en conjunto cribas, esto con la finalidad de no sobremoler aquellos materiales quebradizos.
- La presencia de lamas incrementa la viscosidad de la pulpa y por lo mismo reduce la agudeza de la separación.
- En nuestros procesos de concentración es común retirar las partículas menores a 10 micras, lo cual normalmente se hace usando hidrociclones.
- Cuando haya la posibilidad, evite usar bombas en la alimentación de pulpas.
- En concentración gravimétrica es altamente sensible el porcentaje de sólidos, así que se tiene que tener un especial cuidado y mantenerlo estable.

2.3.5 Medios Densos

El líquido ideal para utilizar como medio denso es aquel que tiene las siguientes propiedades: barato, miscible en agua, estable, no toxico, no corrosivo, de baja viscosidad y que tenga densidad ajustable en un gran intervalo.

Como no existe un líquido ideal, se han desarrollado y usado comercialmente varios medios densos para separar minerales útiles de los estériles. Prácticamente, un medio denso se debe caracterizar por lo siguiente: barato en el local de uso, estable físicamente, para que no se descomponga ni se degrade en el proceso, fácilmente recuperable, para ser reutilizado,



químicamente inerte, para no atacar ciertos minerales, fácilmente removible de los productos de separación, tener baja densidad y tener la estabilidad que pueda mantenerse en el intervalo de densidad requerida.

2.3.6 Concentradores Centrífugos

El uso de la fuerza centrífuga para mejorar la eficiencia de la concentración gravitacional de finos sería, de modo análogo, teóricamente posible, y fue motivada por la pérdida elevada de valores minerales asociados a las fracciones finas. La operación de los concentradores centrífugos se basa en el principio de aumentar el efecto gravitacional con el propósito de conseguir una mayor eficiencia en la recuperación de las partículas finas.

La utilización de concentradores centrífugos para el beneficio de menas auríferas fue una novedad tecnológica introducida en la década del 80 en el Occidente. Fueron empleados inicialmente con menas aluvionares, posteriormente tuvieron su aplicación extendida a menas primarias. La versatilidad de los concentradores centrífugos incluye:

- Modelos de capacidad variable.
- Porcentaje de sólidos en peso de la alimentación que varía de 20% a 40%.
- Mayor posibilidad de recuperación de finos, si se comparan con equipamientos convencionales de concentración gravitacional.
- Tienen un costo relativamente bajo de operación y de mantención.

Estas características asociadas al costo relativamente bajo de la operación y de la mantención, pueden explicar la larga diseminación de ese



tipo de concentradores en la industria minera a nivel mundial. Merecen destaque los concentradores centrífugos Knelson, Falcon, el jig centrífugo Kelsey y el concentrador Multi-Gravity Separator.

2.3.7 Aplicaciones en Oro de los Concentradores Centrífugos

Dependiendo de las características en que se presente el oro, los concentradores centrífugos se utilizan en las siguientes situaciones:

- Cuando los muestreos de un depósito aluvial indican presencia de oro libre.
- Cuando las pruebas metalúrgicas han confirmado la presencia de oro libre en circuitos de roca dura.
- Cuando se ha detectado la presencia de oro en las colas de los procesos de molienda.
- Cuando se ha detectado una alta cantidad de oro en la carga circulante.

Un concentrador centrífugo no debe usarse para recuperar oro en los siguientes casos: si el oro es refractario; si el oro está encapsulado; si el oro no se encuentra en su estado libre (a menos que la gravedad específica global de la partícula que contiene el oro es alta en relación a la ganga).

En relación a los circuitos de concentración de oro, los concentradores centrífugos se aplican en los siguientes casos:

- En el tratamiento de un placer con oro aluvial.
- En un circuito primario de molienda de roca dura.
- En la recuperación de oro como subproducto en circuitos de molienda de minerales metálicos.



- En la recuperación de oro de concentrados de flotación.
- En la recuperación de oro de un retratamiento de colas.
- En la recuperación de oro para elevar la ley del concentrado.
- En la recuperación secundaria de oro y metales de alta gravedad específica como plata, mercurio y platino.

2.4 CONCENTRADOR KNELSON

El concentrador Nelson es un concentrador centrífugo de forma de tazón, desarrollado por Lee Mar Industries, Inc. de Burnaby (Canadá). Es una unidad de cono acanalado que rota a alta velocidad. La pulpa conteniendo aproximadamente 25% de sólidos es alimentada por el fondo de la unidad. Como en todos los concentradores de tazón, el concentrado es retenido en el cono hasta ser limpiado, mientras que las colas; partículas ligeras y otras consideradas de ganga, son continuamente lavadas y salen por la parte superior.

El concentrador Knelson utiliza el principio de sedimentación impedida en un campo de fuerzas centrífugas. Un cono central perforado conteniendo canales horizontales a lo largo de la pared interna es rotado a velocidades superiores a las 400 rpm, a esta velocidad se genera una fuerza 60 veces más grande que la fuerza gravitacional. Las partículas pesadas son forzadas hacia fuera de las paredes siendo atrapadas por las canales o nervaduras, mientras que las partículas ligeras son acarreadas fuera por el agua de lavado. El cono está rodeado por una chaqueta de agua presurizada que inyecta agua a través de sus orificios sobre el cono, de manera que las partículas pesadas se mantengan fluidizadas. La fuerza del agua actúa contra las fuerzas centrífugas del cono rotatorio. Esta fuerza en contra es suficientemente grande para inhibir la severa compactación del concentrado colectado. La limpieza



de la unidad es realizada parando el cono, abriendo el drenaje, y lavado el concentrado hacia la salida (Meza, Hartamann et al. 1994).

De acuerdo a los conceptos básicos de física se tiene que la fuerza centrífuga es una “fuerza ficticia”, que aparece cuando se describe el movimiento de un cuerpo en un sistema de referencia en rotación, o equivalentemente la fuerza aparente que percibe un observador no inercial que se encuentra en un sistema de referencia giratorio. El calificativo de "centrífuga" significa que "huye del centro". En efecto, un observador no inercial situado sobre una plataforma giratoria siente que existe una “fuerza” que actúa sobre él, que le impide permanecer en reposo sobre la plataforma a menos que él mismo realice otra fuerza dirigida hacia el centro del eje de rotación.

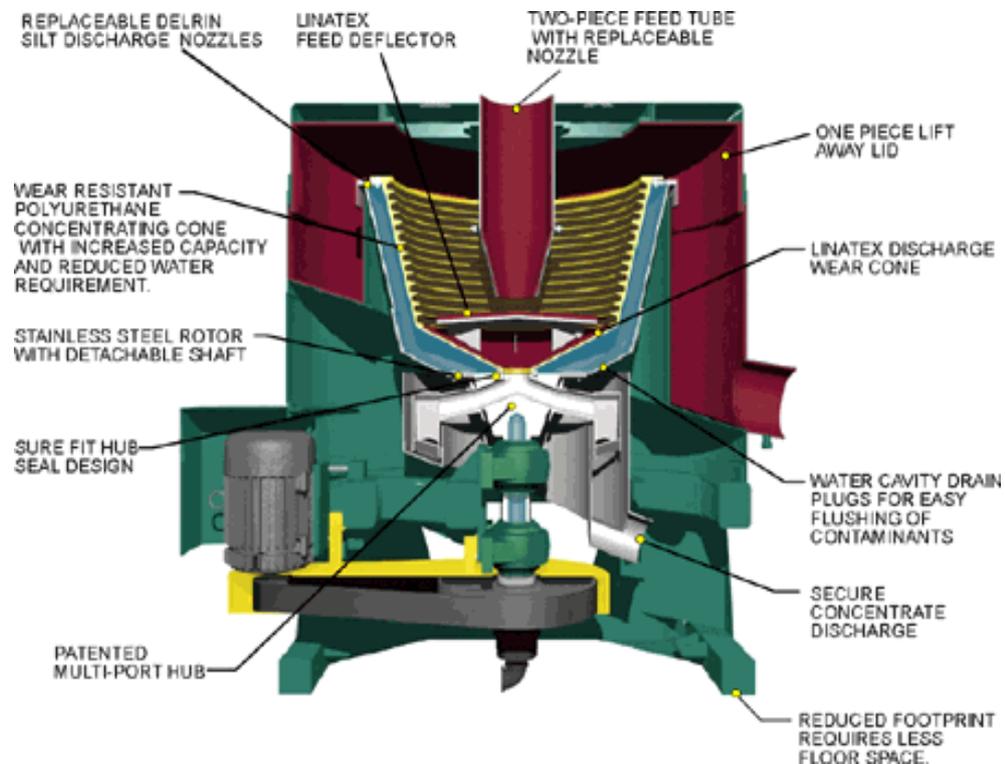
Al final de un periodo de operación del concentrador Knelson, el concentrado que queda en los anillos es colectado y se retira por el fondo del cono. La duración del ciclo de concentración varía dependiendo de la aplicación que se esté realizando. Típicamente los tiempos de duración de un ciclo de concentración serían los siguientes:

- Concentración de material aluvial: 8 a 24 horas.
- Concentración de minerales de oro de roca dura: 1 a 6 horas.

Los parámetros operacionales generalmente más manipulados en el concentrador Knelson son el porcentaje de sólidos y la presión de agua de fluidización. La granulometría de la mena también es un factor importante a ser considerado; el límite es de 6 mm, no habiendo límite inferior especificado (de acuerdo con los fabricantes). La razón másica obviamente debe ser también tomada en cuenta.

Figura 4.

Representación gráfica del concentrador Knelson



Fuente: Knelson.com

2.5 EL CONCENTRADOR CENTRÍFUGO FALCON

Son equipos que concentran las partículas pesadas principalmente en minerales provenientes de circuitos de molienda, también en arenas provenientes de depósitos aluviales. La clasificación se realiza por la diferencia de peso específico. Mediante la rotación a gran velocidad se crea una fuerza centrífuga que incrementa el peso relativo de los diferentes minerales, además se emplea presión de agua (lecho fluidizado) para producir una competencia de fuerzas, el diseño de los equipos permite que sólo los materiales más pesados sean retenidos en la canastilla de concentración, por ejemplo, el Oro.



FALCON uno de los concentradores más avanzados y reconocidos por contar con un control variable de la fuerza de gravedad y bajo consumo de agua de proceso.

El concentrador FALCON es fabricado por Sepro Mineral Systems, empresa canadiense con más de 20 años de experiencia en la fabricación de concentradores gravimétricos, cuenta con una amplia gama de equipos, desde maquinas pequeñas para pruebas de laboratorio hasta equipos que procesan hasta 400 toneladas por hora logrando esto con fuerzas de hasta 600 G.

FALCON cuenta con 3 series de equipos diseñados para las diferentes aplicaciones que requieran las plantas de procesamiento

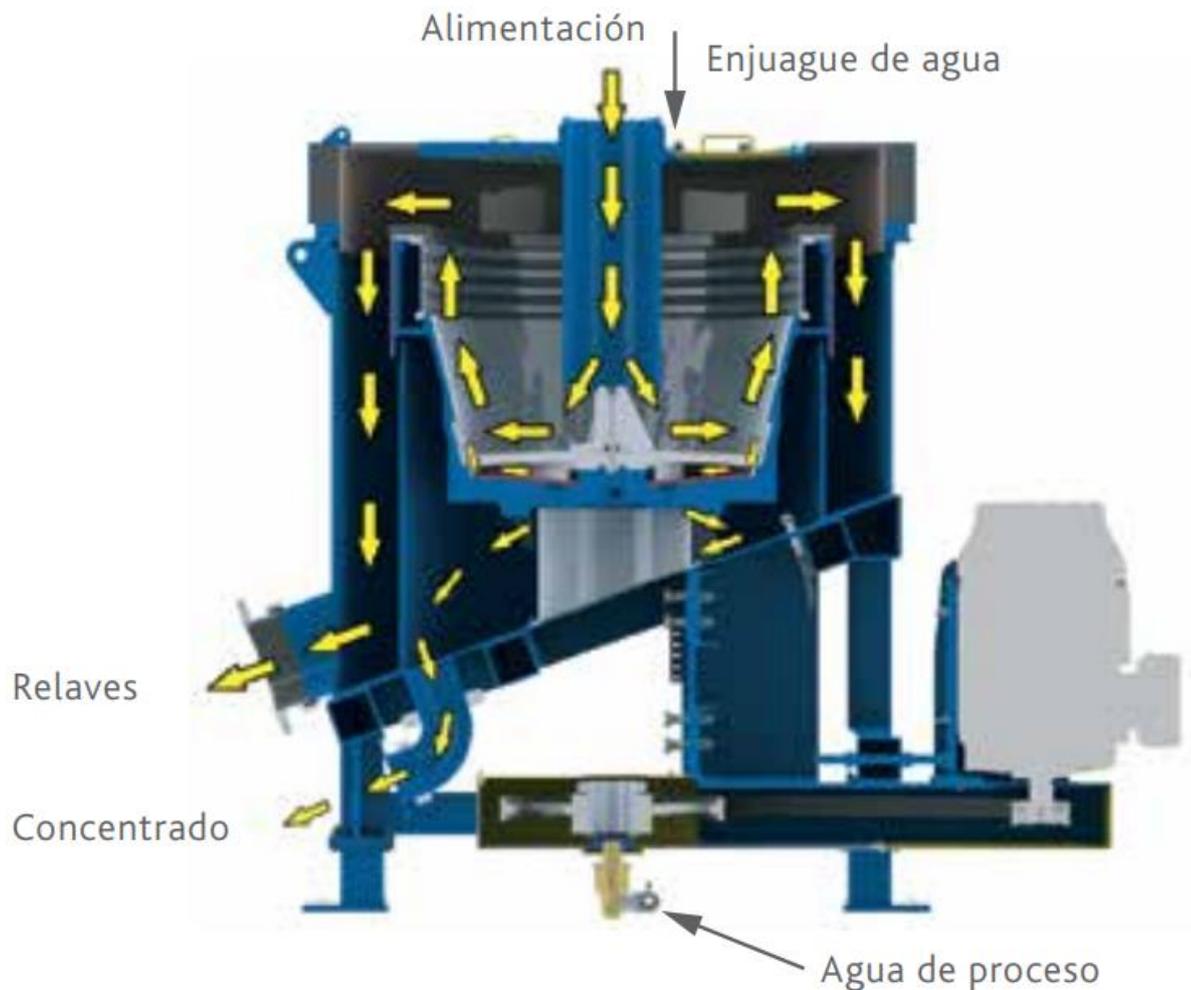
El concentrador Falcon consiste en un bolo cilíndrico -cónico que gira a alta velocidad en el interior de una camisa fija cuya función es colectar el relave. La pulpa se alimenta en el fondo del cono, es acelerada y se va estratificando a medida que asciende en el rotor. Dependiendo del tipo de modelos de serie del concentrador que se trate (Serie SB o Serie C), las partículas serán sometidas a 200 G o 300 G, y el proceso de concentración en el bolo se realizará de acuerdo a un procedimiento diferente, en forma discontinua o continua.

El concentrador se utiliza en la separación de un gran número de materiales: minerales de hierro, sulfuros, carbón, tantalio, metales nativos como oro, plata, níquel, cobre, cinc, estaño, etc.

Figura 5.

Presentación gráfica de alimentación - descarga de concentrado y relave equipo

Falcon SB



Fuente: seprosystems.com

2.5.1 Concentrador Falcon Serie SB

Los concentradores Falcon SB, se conocen como “semi-lotes” porque aceptan alimentación continuamente durante el ciclo operativo, pero solo producen concentrado durante los ciclos periódicos de enjuague.



Los tiempos de funcionamiento van de cinco minutos a varias horas, dependiendo de la aplicación. Los períodos de enjuague generalmente son de menos de un minuto, ya que los concentradores gravimétricos Falcon utilizan un sistema de frenado dinámico para desacelerar rápidamente la tolva, enjuagar el concentrado y luego volver a plena velocidad operativa. Equipado con una unidad de frecuencia variable, esta concentradora de gravedad puede operar desde 50 a 200 G.

La aplicación típica para un concentrador Falcon SB es la de recuperación de metales preciosos liberados (Au, Ag, Pt, etc.) dentro de un circuito de molienda. Fuera de los circuitos de molienda, los concentradores gravimétricos Falcon SB también se utilizan para la separación de metales preciosos de los agregados o yacimientos. El mineral de destino suele ser de muy baja concentración (gramos por tonelada) y se desea una actualización muy alta.

El concentrador Falcon serie SB se caracteriza por lo siguiente:

- Unidades con capacidades de hasta 400 ton/hora
- La unidad de frecuencia variable (VFD) y un sistema de frenado dinámico se utilizan para reducir considerablemente el tiempo de desconexión para el lavado de concentrado
- El diseño modular de tapa plana aumenta la vida útil y reduce el tiempo de inactividad y los costos de mantenimiento
- El control de fluidización estándar actualizado se traduce en un mayor grado de gestión de la máquina



- Las altas fuerzas G (las más altas en la industria de procesamiento de minerales) permiten una mayor eficiencia y recuperación de material muy fino
- Menor consumo de agua, ya que solo se fluidifica la sección de la tolva que corresponde a la zona de recolección
- Completamente automatizado, funciona con “solo pulsar un botón” que proporciona la menor cantidad de tiempo de tiempo sin conexión y la más alta seguridad de concentrados posible
- Es un concentrador discontinuo.
- Utiliza agua de fluidización.
- Permite la recuperación de partículas muy finas, en algunos casos menores a 5 micrones.
- Con este equipo se obtienen concentrados de alta ley
- Se logran recuperaciones en peso de concentrado de cerca del 1%.
- Permite la recuperación de partículas liberadas finas y ultrafinas.

Las aplicaciones del concentrador Falcon modelo SB se pueden resumir en lo siguiente:

- Recuperación de oro libre, plata y platino.
- Tratamiento de flujos de descarga o alimentación a ciclones en circuitos de molienda.

- Limpieza de concentrados.

- Retratamiento de relaves.

- Tratamiento de materiales aluviales y placeres.

Figura 6

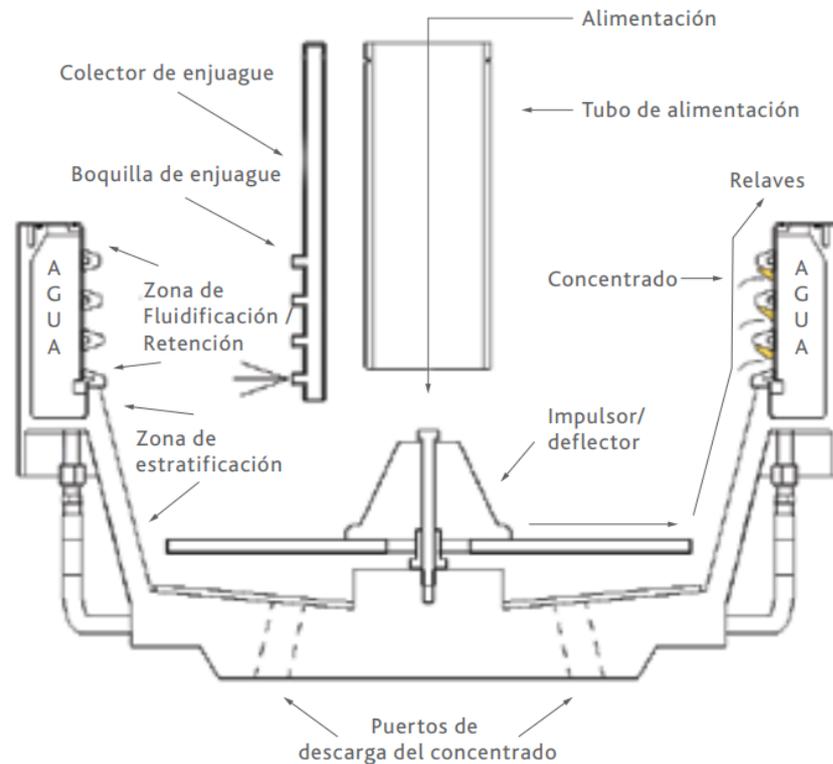
Especificaciones de los modelos de concentradores FALCON y sus parámetros operativos.

Modelo		SB1350	SB2500
Capacidad recomendada de solidos	t/h	50-150	100-250
Capacidad máxima de pulpa	m ³ /hr	200	300
Área de superficie de concentración	m ²	1.08	2.14
Rango Fuerza G	Superior	200	200
	Inferior	50	50
Peso de la maquina	kg	2900	4560
Potencia del motor	kW(HP)	18(25)	45(60)
Consumo de agua del proceso	m ³ /hr	12-20	15-28
Presión de abastecimiento de agua	bar	2-3	2-3
Tamaño máximo de partículas (alimentación)	mm	2	2
Porcentaje de solidos	%	55-70	55-70

Fuente: seprosystems.com

Figura 7.

Presentación grafica de las partes principales del concentrador centrifugo Falcon SB



Fuente: seprosystems.com

2.5.2 Funcionamiento Del Concentrador Falcon Serie SB

Estos equipos operan en discontinuo y ocupan una zona de retención de lavado en la parte superior del rotor, requiriendo de la adición de agua de proceso. Estas unidades pueden tratar partículas de hasta 6 mm, pero también son eficientes en la recuperación de tamaños finos. Las partículas que ingresan al equipo son sometidas a una fuerza de gravedad de hasta 200 G y son segregadas de acuerdo a su gravedad específica mientras se desplazan por la pared lisa del rotor. Las capas más pesadas pasan a la zona en que el concentrado queda retenido, que son las ranuras que presenta el equipo en la parte superior del rotor. La adición de agua a través de las ranuras presentes en la zona de concentrado permite que algunas partículas migren y sean retenidas solamente las más pesadas. (seprosystems.com)



Las partículas más livianas son eliminadas como relave por la parte superior del rotor. Cuando el concentrado ha llegado a alcanzar una ley adecuada, la alimentación se detiene por aproximadamente 30 segundos. El rotor disminuye su velocidad y mediante presión de agua se lava en concentrado, el cual se descarga por la parte baja del rotor y es conducido a una canaleta.

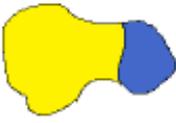
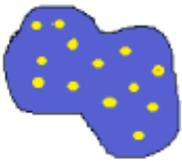
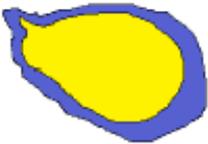
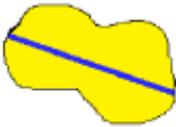
2.5.3 Partes Del Concentrador

- **Tubo de alimentación.** - es un tubo vertical por donde ingresa la pulpa que va a ser sometida a la separación gravimétrica centrífuga.
- **Impulsor.** - propulsor mecánico que produce una fuerza, o empuje, a lo largo del eje de rotación, gracias a su geometría y la gran velocidad con que esta gira.
- **Cono concentrador.** - es un recipiente de forma cónica, el cual gira a grandes velocidades; en la parte superior se encuentran los anillos y en parte inferior el impulsor.
- **Anillos de retención.** - son dos bandas que se encuentran en la parte superior del cono concentrador que contiene orificios por donde ingresa agua a presión hacia la parte interior del cono.

2.6 MICROSCOPIA DEL MINERAL

Figura 8.

Arreglos textuales y liberación de partículas

ARREGLOS TEXTURALES Y LIBERACIÓN DE PARTÍCULAS		
DESCRIPCIÓN	DIAGRAMA	LIBERACIÓN
Ocluido/Incluido		Cuando un mineral aparece contenido en otro. A diferencia del tipo diseminado, se observan pocas partículas en el interior del mineral de mayor área.
Asociación lateral		Asociación en donde los minerales aparecen de forma adyacente. Desde un punto de vista metalúrgico, su liberación por vía conminución de ambos minerales es mucho más factible.
Diseminado		Cuando un mineral aparece en forma de varias y pequeñas inclusiones dentro de otro de mayor fase. La liberación de estas partículas es mucho más compleja, lo cual hace de su recuperación prácticamente inviable por procesos de molienda y flotación.
Corona		Es una asociación en donde un mineral recubre de manera total a parcial la fase que se encuentra en su interior. La recuperación está supeditada a la naturaleza fisicoquímica del mineral que realiza el "coating" ya que puede pasivar o activar dicho intercrecimiento
Vetilla		Asociación en donde un mineral aparece "cortado" por una o varias vetillas de otro mineral (posterior). La liberación del mineral interior es difícil.

Fuente: Cori Puno SAC (BizaLab SAC).

Tabla 2.*Nomenclatura de los minerales prioritarios, abreviatura y formula*

Nombre	Abreviatura	Formula
Pirita	PY	FeS ₂
Gangas	GGs	Composicion variada
Calcopirita	cp	CuFeS ₂
Esfalerita	ef	ZnS
Galena	gn	PbS
Pirrotita	po	Fe _(1-x) S
Rutilo	rt	TiO ₂
Magnetita	mt	Fe ₃ O ₄
Oro Nativo	Au	Au
Sulfosales	SFSs	Composicion Variada
Electrum	el	(Au,Ag)

Fuente: Cori Puno SAC (BizaLab SAC)

2.6.1 Alimento Planta

La muestra Cabeza general presento principalmente en su mineralogía metálica pirrotita, que se encuentra liberada y asociada con gangas y arsenopirita, principalmente. En menor proporción se observó pirita, arsenopirita, ilmenita. Se ha detectado oro nativo diseminado en lolingita y arsenopirita. Los tamaños de las partículas de oro nativo son inferiores a los 15 micrones.



Tabla 3.

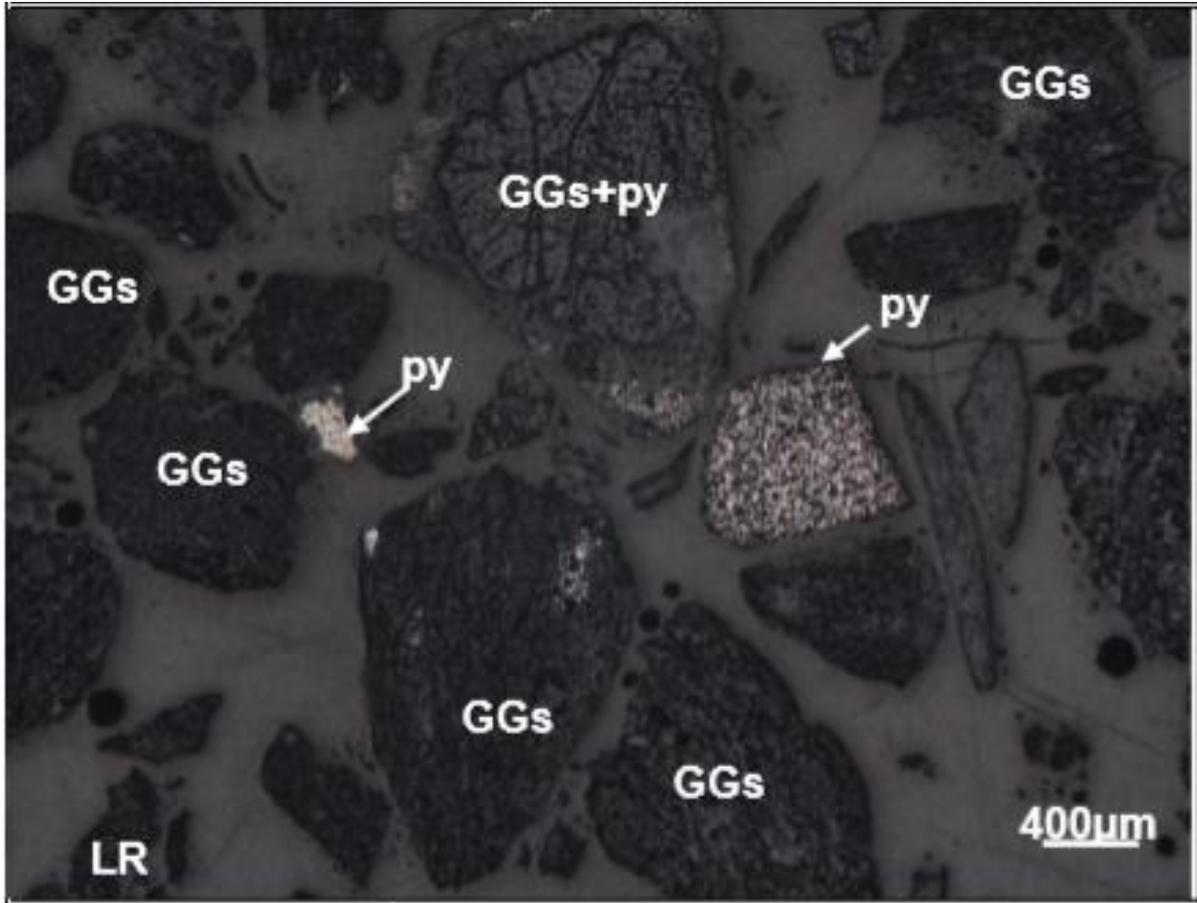
Composición mineralógica global, de la muestra Alimento Planta

Simbologia	Formula Quimica	Composicion	
		Mineralogica	Porcentajes (%)
		global	
GGs	Composicion variada	Gangas	95.76
po	$Fe_{(1-x)}S_x$	Pirrotita	1.17
goe	FeO.OH	Goethita	Traza
py	FeS ₂	Pirita	Traza
apy	FeAsS	Arsenopirita	Traza
il	FeTiO ₃	Ilmenita	Traza
lol	FeAs ₂	lollingita	Traza
Au	Au	Oro nativo	Traza
		TOTAL	100.00

Fuente: Cori Puno SAC (BizaLab SAC)

Figura 6.

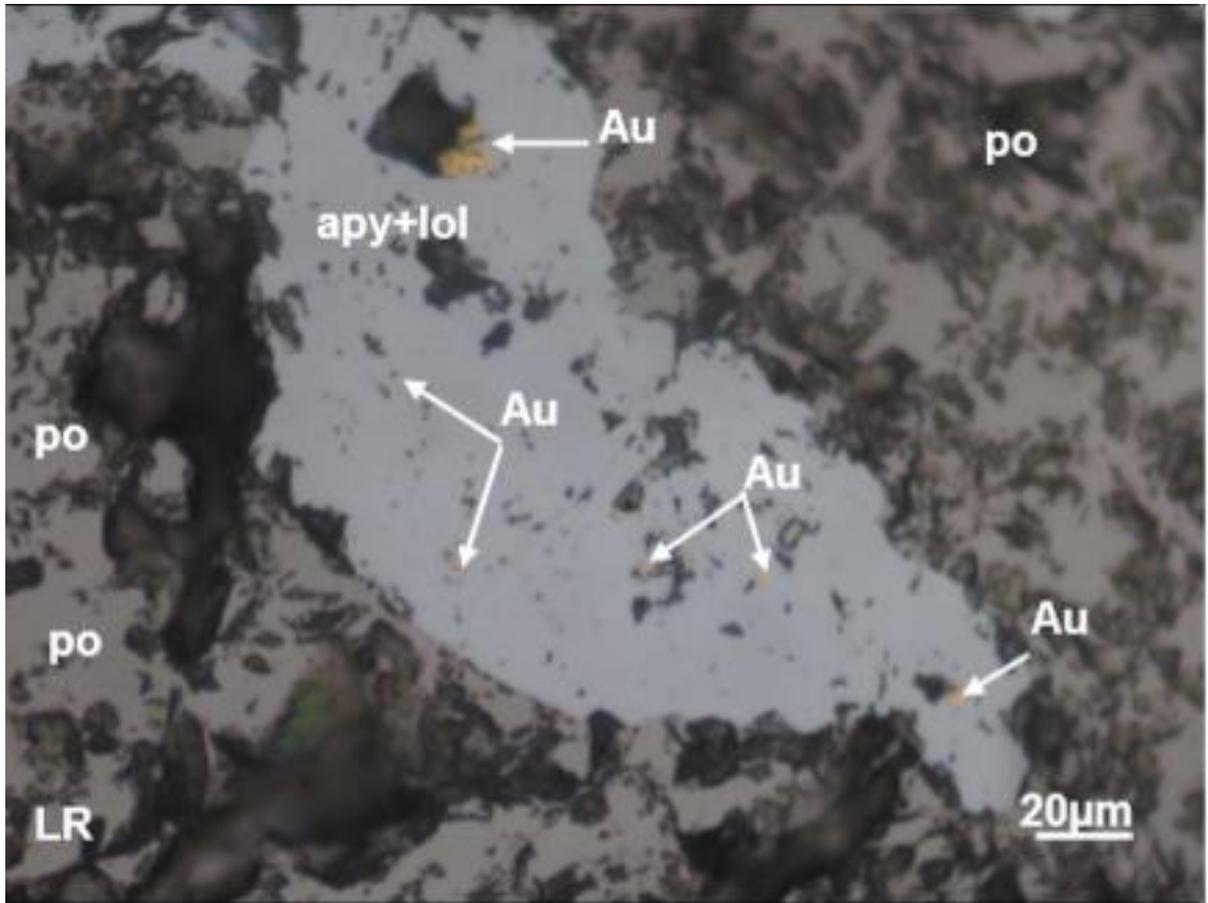
Vista en la mínima magnificación de la muestra Alimento Planta. Es posible apreciar que el principal mineral metálico en la muestra es pirita (py), y esta tanto libre como asociada a ganga (GGs) principalmente.



Fuente: Cori Puno SAC (BizaLab SAC).

Figura 7.

Intercrecimiento de pirrotita (po), con inclusión de arsenopirita (apy). La arsenopirita presenta a su vez, inclusión de lolingita (lol), y disseminaciones de oro nativo (Au), la pirrotita presenta en uno de sus bordes ganga (GGS) asociada.



Fuente: Cori Puno SAC (BizaLab SAC).

2.6.2 Over Flow (Relave Gravimétrico)

Se determinó que el principal mineral metálico identificado es la pirrotita, teniendo casi un 1% acorde a su composición mineralógica global. La microscopía óptica ha detectado una partícula de oro nativo, teniendo un tamaño aproximado inferior a 5 micrones.

2.6.3 Relave Final

La muestra Relave final presento principalmente en su mineralogía metálica rutilo, que se encuentra liberada y asociada con gangas, principalmente. En menor proporción se observó pirita, pirrotita, ilmenita, arsenopirita y esfalerita. Se ha detectado oro nativo incluido en gangas. El tamaño del oro nativo es de 10 micrones aproximadamente.

Tabla 4.

Composición mineralógica global, de la muestra Relave Final.

Simbologia	Formula Quimica	Composicion	Porcentajes
		Mineralogica global	(%)
GGs	Composición variada	Gangas	95.63
rt	TiO ₂	Rutilo	1.18
py	FeS ₂	Pirita	0.69
po	Fe _(1-x) S _x	Pirrotita	Traza
il	FeTiO ₃	Ilmenita	Traza
apy	FeAsS	Arsenopirita	Traza
ef	(Zn,Fe)S	Esfalerita	Traza
hm	Fe ₂ O ₃	Hematita	Traza
goe	FeO.OH	Goethita	Traza
Au	Au	Oro nativo	Traza
		TOTAL	100.00

Fuente: Cori Puno SAC (BizaLab SAC).

Figura 8.

Oro nativo (Au) incluido en ganga (GGS)



Fuente: Cori Puno SAC (BizaLab SAC)

2.6.4 Concentrado Flotación

La muestra Concentrado de flotación presento principalmente en su mineralogía metálica pirrotita, que se encuentra liberada y asociada con arsenopirita, calcopirita e ilmenita principalmente. En menor proporción se observó pirita, arsenopirita, calcopirita, galena, ilmenita, esfalerita, covelita y lollingita. Se ha detectado oro nativo en asociación lateral con pirrotita con un tamaño de 50 micrones e incluido en matriz de arsenopirita y lollingita, presentando un tamaño aproximado de 14 micrones.



Tabla 5.

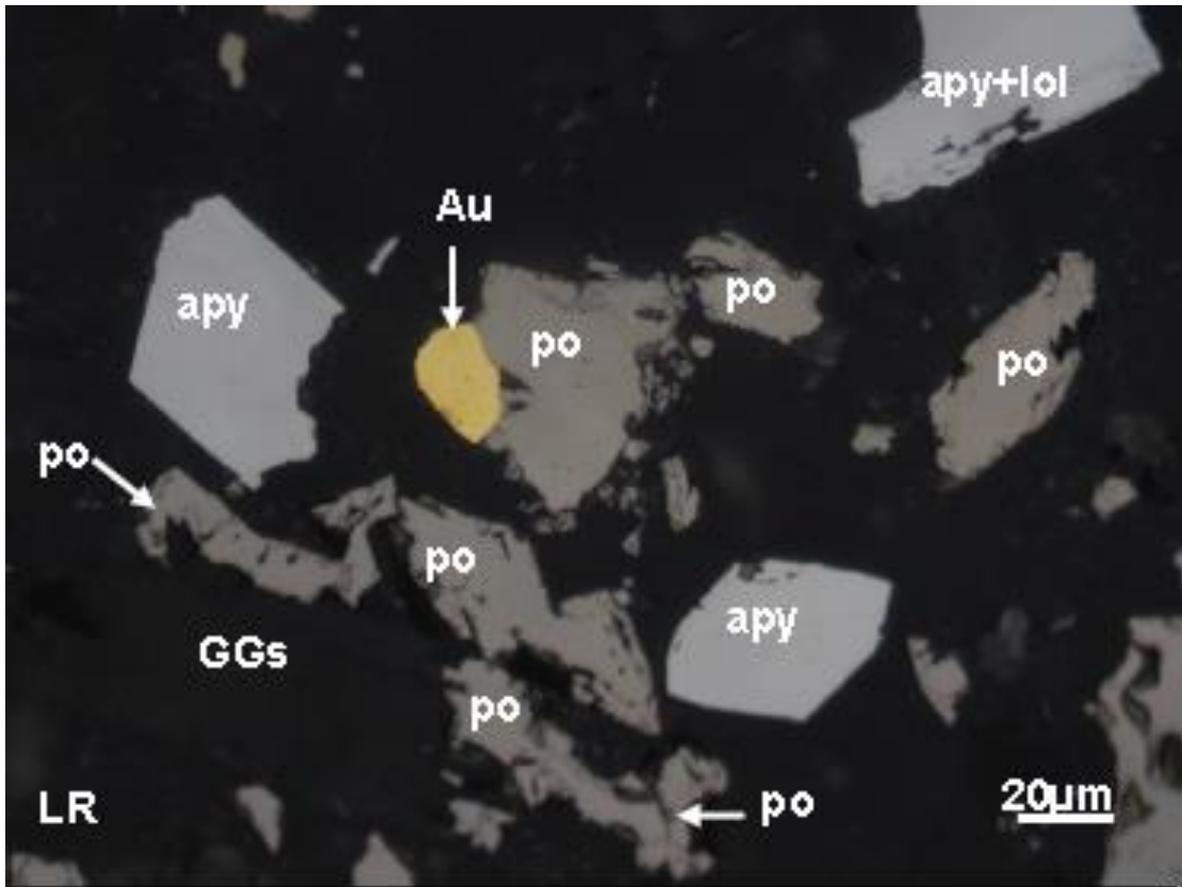
Composición mineralógica global, de la muestra Concentrado Flotación.

Simbologia	Formula Quimica	Composicion	
		Mineralogica	Porcentajes (%)
		global	
GGs	Composición variada	Ganga	59.41
po	$Fe_{(1-x)}S_x$	Pirrotita	34.19
py	FeS_2	Pirita	3.07
apy	$FeAsS$	Arsenopirita	Traza
cp	$CuGFeS_2$	Calcopirita	Traza
goe	$FeO.OH$	Goethita	Traza
gn	PbS	Galena	Traza
il	$FeTiO_3$	Ilmenita	Traza
ef	$(Zn,Fe)S$	Esfalerita	Traza
cv	CuS	Covelita	Traza
lol	$FeAs_2$	Lollingita	Traza
Au	Au	Oro nativo	Traza
		TOTAL	100.00

Fuente: Cori Puno SAC (BizaLab SAC).

Figura 9.

Intercrecimiento lateral de oro nativo (Au) y pirrotita (po).



Fuente: Cori Puno SAC (BizaLab SAC)

2.6.5 Mineral Pomarani

La muestra Pomarani presentó principalmente en su mineralogía metálica pirrotita, que se encuentra liberada y asociada con gangas y pirita principalmente. En menor proporción se observó pirita, goethita, rutilo, galena e ilmenita. Se ha detectado oro nativo de 9 micrones incluido en gangas.

Tabla 6.

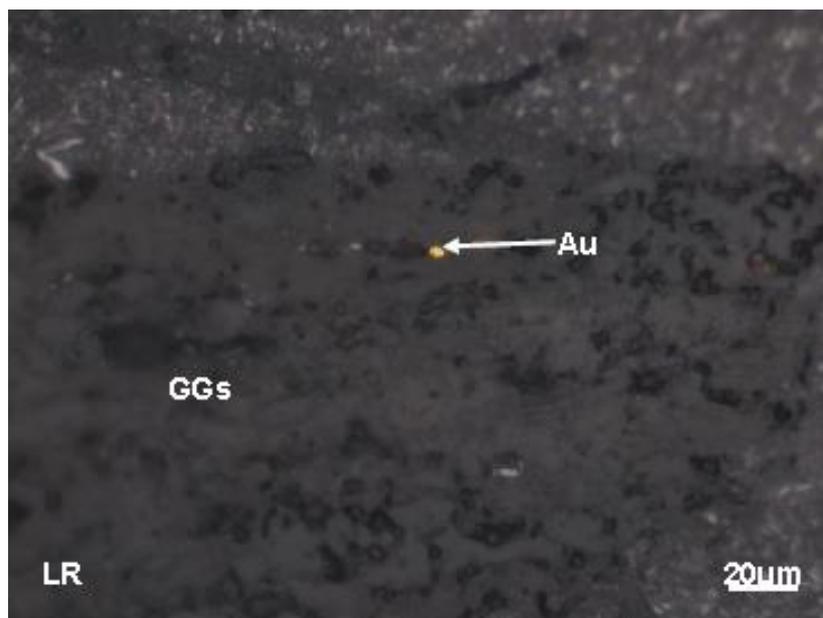
Composición mineralógica global, de la muestra mineral Pomarani.

Simbología	Formula Quimica	Composicion Mineralogica global	Porcentajes (%)
GGs	Composición variada	Ganga	96.06
po	$Fe_{(1-x)}S_x$	<i>Pírrrotita</i>	1.83
py	FeS_2	<i>Pirita</i>	Traza
goe	$FeO.OH$	<i>Goethita</i>	Traza
rt	TiO_2	<i>Rutilo</i>	Traza
apy	$FeAsS$	<i>Arsenopirita</i>	Traza
il	$FeTiO_3$	<i>Ilmenita</i>	Traza
Au	Au	<i>Oro nativo</i>	Traza
TOTAL			100.00

Fuente: Fuente: Cori Puno SAC (BizaLab SAC)

Figura 10.

Partícula de oro nativo (Au) incluido en matriz de ganga (GGs).



Fuente: Cori Puno SAC (BizaLab SAC).

2.6.6 Mineral Cruz de Oro

La muestra Cruz de oro, presento principalmente en su mineralogía metálica pirita, que se encuentra liberada y asociada con gangas principalmente. En menor proporción se observó rutilo, pirrotita, goethita, rutilo, oro nativo y arsenopirita. Se ha detectado oro nativo y electrum diseminado en matriz de arsenopirita. Tanto el oro nativo como el electrum presentan tamaños inferiores a los 50 micrones.

Tabla 7.

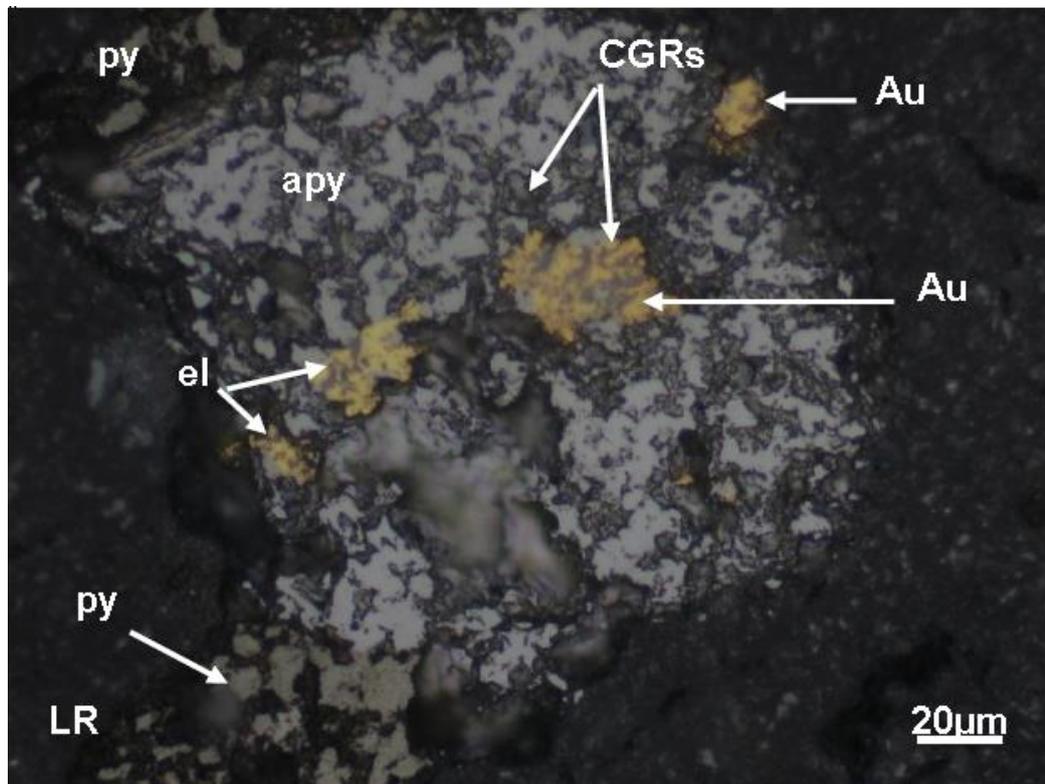
Composición mineralógica global, de la muestra Cruz de Oro.

Simbologia	Formula Quimica	Composicion	
		Mineralogica global	Porcentajes (%)
GGs	Composición variada	Ganga	96.87
py	FeS ₂	Pirita	1.51
rt	TiO ₂	rutilo	0.63
po	Fe _(1-x) S _x	Pirrotita	Traza
goe	FeO.OH	Goethita	Traza
apy	FeAsS	Arsenopirita	Traza
lol	FeAs ₂	Lollingita	Traza
Au	Au	Oro nativo	Traza
el	(Au,Ag)	Electrum	Traza
		TOTAL	100.00

Fuente: Cori Puno SAC (BizaLab SAC).

Figura 11.

*Partículas de oro nativo (Au) y electrum (el), incluidas en matriz de arsenopirita (apy).
La arsenopirita (apy) se encuentra asociada en sus bordes exteriores con pirita (py)*



Fuente: Cori Puno SAC (BizaLab SAC)

2.7 VARIABLES EN EL PROCESO DE OPERACIÓN

2.7.1 Factor Tiempo De Cosecha

Durante el ciclo de trabajo va ocurriendo un intercambio de partículas en la zona de concentración del cono. Dependiendo principalmente del tonelaje, ley y la mayor o menor presencia de otros contaminantes pesados (pirita, pirrotita, etc.), llega un momento en el que ya no se produce mayor intercambio de partículas, el equipo deja de ser efectivo y se empieza a perder oro (recuperable gravimétricamente), en el relave. Esto indica que se debe encontrar el tiempo óptimo de ciclo, el cual se encontró mediante análisis del concentrado y relave del equipo por ejemplo cada 15 minutos. Es fácil



encontrar un cambio en la ley del concentrado y relave que empieza a subir. El tiempo óptimo de ciclo será inmediatamente antes de que esta saturación ocurra.

2.7.2 Factor Fuerza Gravitacional o Fuerza “G”

El concentrador centrífugo Falcon utiliza el principio de sedimentación impedida en un campo de fuerzas centrífugas. Un cono central perforado conteniendo canales horizontales a lo largo de la pared interna es rotado a velocidades superiores a las 400 rpm, a esta velocidad se genera una fuerza 60 veces más grande que la fuerza gravitacional. Las partículas pesadas son forzadas hacia fuera de las paredes siendo atrapadas por las canales o nervaduras, mientras que las partículas ligeras son acarreadas fuera por el agua de lavado.

2.7.3 Factor Ingreso De Agua

El cono está rodeado por una chaqueta de agua presurizada que inyecta agua a través de sus orificios sobre el cono, de manera que las partículas pesadas se mantengan fluidizadas. La fuerza del agua actúa contra las fuerzas centrífugas del cono rotatorio. Esta fuerza en contra es suficientemente grande para inhibir la severa compactación del concentrado colectado. La limpieza de la unidad es realizada parando el cono, abriendo el drenaje, y lavado el concentrado hacia la salida.

2.8 CARACTERISTICAS DEL ORO

El oro, de símbolo Au, cristaliza en el sistema cúbico centrado en las caras con una dimensión de célula de 4.0701 Å. Posee una dureza de 2.5 a 3 en la escala de



Mohs y densidad de 19.32 g/cm³. Su punto de fusión es a 1064.18 °C y el de ebullición a 2856.85 °C.

No se oxida en el aire ni en el oxígeno a ninguna temperatura; de ahí la expresión metal noble que se le aplica.

Resiste completamente a los ácidos clorhídrico, nítrico y sulfúrico a las temperaturas ordinarias y a 100 °C, también resiste el ataque de los ácidos bromhídrico, yodhídrico y fluorhídrico.

Como es un metal blando, son frecuentes las aleaciones con plata, cobre, paladio y otros metales con el fin de proporcionarle dureza. La triple aleación de oro, cobre y plata es muy maleable y su color es muy semejante al del oro fino, las aleaciones que contienen platino o paladio forman el oro blanco, a menudo usado con piedras preciosas, el oro blanco es usualmente más duro y durable que otras aleaciones de oro, el zinc y el níquel son otros dos metales comúnmente aleados con el oro para crear nuevas características. La cantidad de oro en estas aleaciones se expresa generalmente en quilates. El oro puro es de 24 quilates.

El oro y sus aleaciones se emplean en joyería y orfebrería por su excelente apariencia y mínimo deterioro. Además, por su buena conductividad térmica y eléctrica, y alta resistencia a la corrosión encuentra su uso en la industria electrónica, médica y mecánica; debido a que ejerce funciones críticas en ordenadores, comunicaciones, naves espaciales, motores de aviones a reacción, también se emplea como pintura dorada en cerámica. El oro coloidal (nanopartículas de oro) se ha desarrollado con fines médicos y biológicos, así como su aplicación en empastes dentales. También es usado como activo financiero.



En la actualidad, no hay metales o aleaciones que posean todas las características y propiedades deseables del oro. En caso de déficit de este metal noble, podrían usarse algunos materiales como sustitutos de emergencia. El platino y el paladio reemplazan el oro en joyería. En los componentes electrónicos, la plata es un sustituto y el aluminio tiene un uso potencial para algunos fines. Los aceros níquel-cromo y cromo-cobalto tienen su aplicación en ortodoncia, en sustitución de las aleaciones de oro labradas en forma de alambre.

2.9 MINERALES AURÍFEROS

El oro rara vez se encuentra en la naturaleza formando compuestos, a diferencia de otros metales como cobre o zinc, siendo el telurio y posiblemente el selenio los únicos elementos que se le combinan en la naturaleza. Sus presentaciones habituales son en estado nativo o formando aleaciones, generalmente con plata (electrum). Aparece en la naturaleza diseminado en pequeñas cantidades y se halla corrientemente en filones que tienen relación genética con rocas ígneas de tipo silíceo. La principal fuente de oro son los llamados filones hidrotermales de cuarzo y oro, donde junto con la pirita y otros sulfuros, el oro fue depositado por soluciones minerales ascendentes que lo contenían. El oro está simplemente mezclado mecánicamente con los sulfuros y no en forma de combinación química alguna. En la superficie terrestre y cerca de ella, los sulfuros que contienen oro normalmente están oxidados, dejándolo libre y haciendo así su extracción muy fácil. En la mayoría de los filones, el oro está finamente bien dividido y distribuido de forma tan uniforme, que su presencia no puede ser detectada por simple inspección. Los filones que contienen oro, sometidos a la acción del tiempo y meteorizados, liberan el oro que, o bien queda en el manto del suelo, arenas fluviales, o es arrastrado a los arroyos



vecinos para formar placeres. Debido a su gran peso específico, el oro se separa mecánicamente de los materiales más ligeros, de las arenas y lechos de la corriente.

Si bien existen distintas clasificaciones geológicas, se pueden proponer siete grupos: vetas de oro-cuarzo, depósitos epitermales, placeres jóvenes, placeres fósiles, depósitos con oro diseminado, oro en menas de metales no ferrosos y oro en agua de mar.

También se ha propuesto una clasificación de las menas de oro orientada a la extracción del metal:

- Menas de oro nativo, en las cuales el metal precioso puede recogerse mediante separación por gravedad, amalgamación y/o cianuración.
- Oro asociado con sulfuros, donde el oro se puede encontrar en forma de partículas libres o diseminadas en los sulfuros.
- Teluros de oro, generalmente aparecen junto con oro nativo y sulfuros.
- Oro en otros minerales, con arsénico y/o antimonio, minerales de plomo y zinc y con materiales carbonáceos.

Aunque éstas son algunas de las clasificaciones que se pueden encontrar, desde el punto de vista de la extracción de oro se pueden considerar dos grandes grupos de minerales de oro, los no refractarios y los refractarios.

2.10 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS AURÍFEROS

El primer paso en la obtención de un metal es descubrir el lugar donde exista uno de sus minerales en cantidad adecuada, es decir un yacimiento.



La tecnología actual nos provee de diversas herramientas para ubicar estos posibles depósitos minerales mediante fotos aéreas, interpretación de datos de satélites y la prospección geoquímica y geofísica.

Una vez ubicado el yacimiento donde exista el mineral o mena metalífera se hace las consideraciones necesarias para determinar su explotación económica.

La etapa del arranque se sitúa al comienzo de las operaciones, y tiene por objeto el obtener, por medio de los explosivos y/o medios mecánicos, bloques generalmente voluminosos.

Los fragmentos de roca procedentes de las operaciones de minado contienen dos componentes principales:

Componente valioso: el cual contiene compuestos metálicos o no metálicos de interés económico.

Componente no valioso o estéril con muy poco o nada de compuestos de interés económico y al cual se denomina comúnmente ganga.

Es decir, cuando el mineral es extraído de la mina, contiene grandes cantidades de sustancias estériles (ganga), en la mayoría de los casos se debe someter a un tratamiento previo de separación (por trituración y molienda, gravimetría, flotación, separación magnética, etc.). Estas operaciones previas por lo general no producen alteraciones en la identidad del mineral.

El producto final de los tratamientos mineralúrgicos es el concentrado de la especie valiosa, mencionándose la especie de mayor importancia económica.



La siguiente etapa son procesos químicos que se efectúan a altas temperaturas o bien se utilizan soluciones acuosas o corriente eléctrica, esto con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de impurezas.

Después que los metales son refinados, se les somete a diferentes tratamientos físicos y químicos para obtener de ellos determinadas cualidades, adaptándolas a las aplicaciones que se les va a dar.

2.11 METODOS DE CONCENTRACION

Una vez que el material se ha triturado y clasificado de forma adecuada, está listo para los siguientes procesos, para obtener el producto final. El material presenta tres tipos de partículas:

- Con interés económico (el mineral propiamente dicho).
- Sin interés económico (estéril).
- Partículas con parte de mineral y parte de estéril (mixtos).

En general, el mineral está constituido en su mayor parte (en ocasiones hasta en un 99%) por estéril, por lo que resulta imprescindible que el tratamiento metalúrgico posterior, así como el transporte hasta dicha industria metalúrgica, se efectúe únicamente a los componentes que posean interés económico.

CAPITULO III

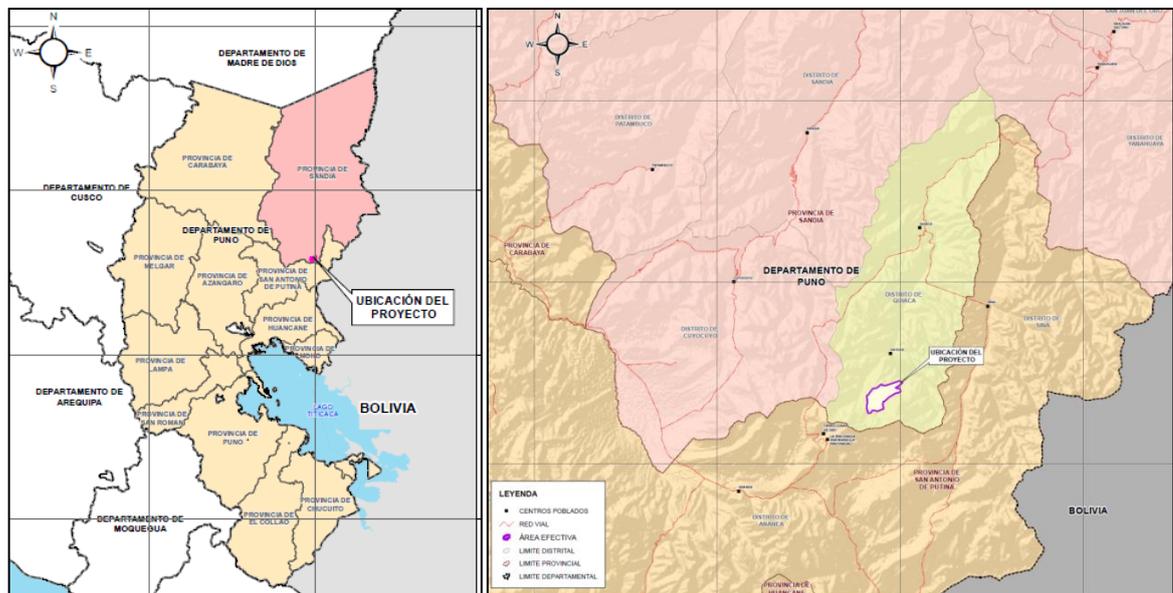
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACION GEOGRAFICA DEL ESTUDIO

La Unidad Untuca, se ubica en las estribaciones orientales de la Cordillera Oriental del Sur del Perú, en terrenos de C.C. Untuca; distrito de Quiaca; Provincia de Sandía y Departamento de Puno; Cuadrángulo “la Rinconada”; Hoja topográfica “30 Y” con altitudes que van de 4000 a 5000 m.s.n.m., y las coordenadas UTM. Centrales del proyecto son: Este 458549.452, Norte 8’387490.45, cota: 4331.632 msnm.

Figura 12.

Ubicación geográfica del lugar de estudio.



Fuente: Cori Puno SAC.



3.2 PERIODO DE DURACION DEL ESTUDIO

Para lograr los objetivos planteados se realizó el siguiente procedimiento que plantea la metodología: diseño del experimento, realizar la caracterización del mineral en laboratorio, aplicación en planta, durante los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio del 2020.

3.3 PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO

La materia prima para el estudio proviene de los frentes de minado Pomarani y Cruz de oro, el cual es para el procesamiento diario de Planta Concentradora Cori Puno SAC. dónde:

El mineral de Pomarani, presenta principalmente en su mineralogía metálica pirrotita, que se encuentra liberada y asociada con gangas y pirita principalmente y con ayuda del ensayo por microscopia óptica se ha detectado oro nativo y electrum diseminado en matriz de arsenopirita.

El mineral de Cruz de Oro presenta principalmente en su mineralogía metálica pirita, que se encuentra liberada y asociada con gangas principalmente. En menor proporción se observa rutilo, pirrotita, goethita, rutilo, oro nativo y arsenopirita. Con ayuda del ensayo por microscopia óptica se ha detectado oro nativo y electrum diseminado en matriz de arsenopirita.

3.4 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.4.1 Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación que se aplicó para el siguiente trabajo es de tipo experimental con enfoque cualitativo, aplicado mediante la



correlación de datos extraídos durante el trabajo de día a día, la información tomada sirve para reconocer las variables más importantes, los cuales fueron experimental aplicativo a nivel industrial.

Usando el diseño factorial de tres variables, determinados el comportamiento y posibles efectos de cada una de las variables, permite elaborar las conclusiones de la optimización del concentrador centrífugo Falcon SB 2500.

3.4.2 Método de la investigación

El concentrado metálico pasara a ser detallado como recuperación lo cual implica que se evaluara el proceso gravimétrico y tener un objetivo comercial. Por lo mismo el estudio y programa de optimización será de gran importancia.

La cantidad de variables que inciden para un resultado metalúrgico de un proceso de concentración gravimétrica son: la cantidad de agua alimentada, el tiempo de cosecha, y los Hertz necesarios para generar la fuerza “G”, necesaria.

3.5 DISEÑO ESTADÍSTICO DE LOS EXPERIMENTOS

El diseño estadístico de experimentos es precisamente la forma más eficaz de hacer pruebas. El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras.



El saber diseño de experimentos y otras técnicas estadísticas, en combinación con conocimientos del proceso, sitúan al responsable del mismo como un observador perceptivo y proactivo que es capaz de proponer mejoras y de observar algo interesante (oportunidades de mejora) en el proceso y en los datos donde otra persona no ve nada.

El objetivo de los métodos estadísticos es lograr que el proceso el de generar conocimiento y aprendizaje sea lo más eficiente posible.

3.5.1 Tratamiento de Datos

Para el tratamiento de los datos en la presente investigación se aplicaron el método diseño estadístico factorial de tres variables; en la cual se identifica la influencia de las variables, en la recuperación en concentración gravimétrica de Oro.

3.5.2 Formulación del diseño de experimentos y análisis estadístico

Los diseños factoriales completos 2^k (k factores con dos niveles de prueba cada uno), que es una de las familias de diseños de mayor impacto en la industria y en la investigación, debido a su eficacia y versatilidad. Las factoriales 2^k completos son útiles principalmente cuando el número de factores a estudiar está entre dos y cinco ($2 \leq k \leq 5$), rango en el cual su tamaño se encuentra entre cuatro y 32 tratamientos; esta cantidad es manejable en muchas situaciones experimentales.

3.5.3 Diseño Factorial

Para estudiar la manera en que influye cada factor sobre la variable de respuesta es necesario elegir al menos dos niveles de prueba para cada uno de ellos. Con el diseño factorial completa se corren aleatoriamente todas las posibles combinaciones que pueden formarse con los niveles de los factores a investigar.

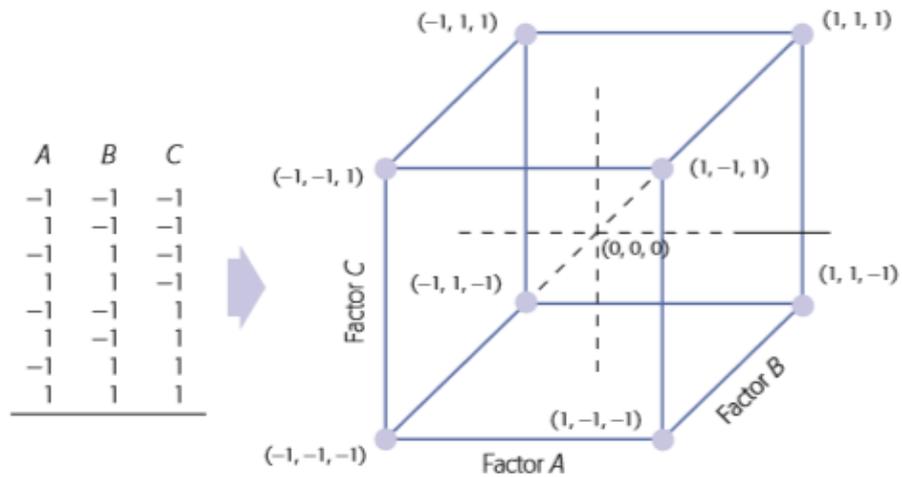
Con el diseño factorial 2^3 se estudian tres factores en dos niveles cada uno. Consta de $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$ tratamientos diferentes.

Los tratamientos del diseño 2^3 y su representación geométrica se muestran en la figura 16. La región experimental es un cubo regular centrado en el origen $(0, 0, 0)$, cuyos vértices son los ocho tratamientos. La matriz de diseño se construye fácilmente alternando el signo menos y el signo más en la primera columna, dos menos y dos más en la segunda columna, y cuatro menos y cuatro más en la tercera; el diseño resulta acomodado en el orden estándar o de Yates.

Con este diseño se pueden estudiar los $2^3 - 1 = 7$ efectos: tres efectos principales A, B, C; tres interacciones dobles AB, AC, BC y una interacción triple ABC. Por lo general, el interés se enfoca en estudiar los efectos principales y las interacciones dobles. Sin embargo, aunque de antemano se puede considerar la interacción triple ABC en el diseño 2^3 como un efecto ignorable, es recomendable asegurarse de que su valor se mantiene pequeño, además de que al incluirla en el análisis, puede ayudar a mejorar la perspectiva de algunas gráficas.

Figura 13.

Diseño factorial 2^3 y su representación geométrica.



Fuente: Humberto Gutierrez Pulido – Roman de la Vara Salazar.

3.6 OPERACIÓN DE VARIABLES

Los factores pueden ser de tipo cualitativo (máquinas, tipos de material, operador, la presencia o ausencia de una operación previa, etc.), o de tipo cuantitativo (temperatura, humedad, velocidad, presión, etc.), uno de los objetivos particulares más importantes que en ocasiones tiene un diseño factorial es determinar una combinación de niveles de los factores en la que el desempeño del proceso sea mejor.

3.6.1 Variable dependiente

Y1 = % de recuperación

3.6.2 Variable Independiente

X1 = Agua (m^3/hr)

X2 =Tiempo de cosecha (min)

X3 = Frecuencia del motor (Hz)



3.7 POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

Para realizar los estudios de caracterización se realizó las coordinaciones con el área de Geología para el muestreo del mineral en cancha de gruesos, de acuerdo a las indicaciones del área de Geología se realizó el muestreo de los frentes de Cruz de Oro y Pomarani.

Para el desarrollo del estudio metalúrgico a nivel laboratorio se preparó un Blending conformado con 30% de mineral de Pomarani y 70% con mineral de Cruz de Oro, así como también se realizó un estudio con 100% mineral de Cruz de Oro y 100% de mineral de Pomarani. El desarrollo de las caracterizaciones en laboratorio se realizó en forma paralela.

La muestra que se consideró en los diferentes tipos de pruebas fue el mineral proveniente de la cancha de gruesos. El tamaño de la muestra considera equivale a la capacidad actual de planta.

3.8 PROCEDIMIENTO PARA LA CARACTERIZACION DEL MINERAL

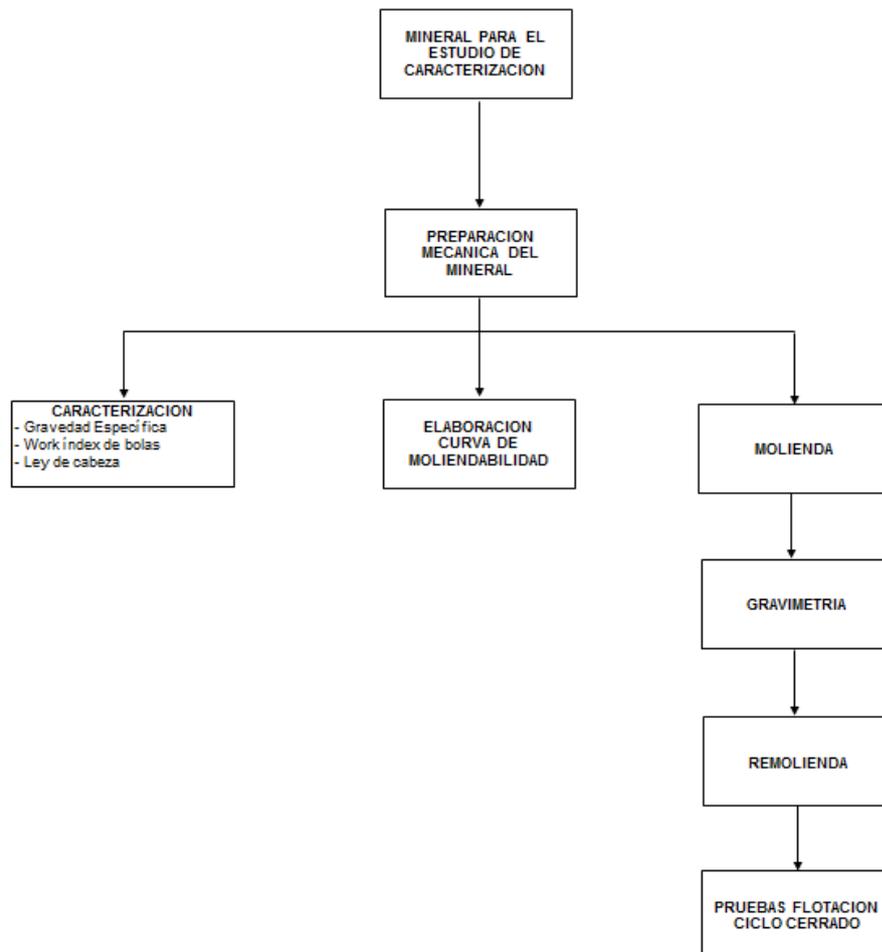
Una vez tomadas las muestras se procedieron a la preparación mecánica del mineral hasta obtener una granulometría de 100% -10m Serie Tyler (1.7 mm) y posterior homogenización. Una fracción de la muestra se ingresó a laboratorio químico para el análisis de ley de cabeza como referencia.

Posteriormente se realiza la gravedad específica del mineral y determinación del Work Index de bolas mediante el método comparativo de Bond. Posteriormente otra fracción de las muestras preparadas se utiliza para realizar la curva de moliendabilidad con el fin de obtener el tiempo óptimo de molienda de laboratorio a una granulometría de 50% -200m, para realizar la prueba de gravimetría. La prueba

de gravimetría produce concentrados y colas: los concentrados conforman el concentrado gravimétrico y con las colas se realiza una nueva curva de moliendabilidad con el fin de obtener el mineral a una granulometría de 80% -200m (similar a planta). Luego el mineral de P80 de 75 μm (80% -200m), se utiliza para realizar pruebas de flotación de ciclo cerrado (cíclicas), con el fin de evaluar la recuperación y calidad del concentrado en un circuito continuo.

Figura 14.

Esquema general de pruebas.



Fuente: Elaboración Propia.

3.8.1 Pruebas de Moliendabilidad

La prueba de moliendabilidad permitió obtener el tiempo requerido de molienda a nivel de laboratorio para obtener la granulometría requerida. Para el estudio la granulometría requerida es de 50%-200m para las pruebas de gravimetría. Las colas de gravimetría pasan a una remolienda hasta obtener 80%-200m Serie Tyler, con este producto se realizan las pruebas de flotación. El esquema de la prueba de moliendabilidad se presenta en la Figura 15.

Figura 15.

Esquema de prueba de moliendabilidad.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8.

Tiempos de moliendabilidad Pomarani-Cruz de Oro (70/30).

Malla	% -200 m	Tiempo (seg)
50 % -200m	50.00	13min 47seg
80 % -200m	80.00	33min 51seg

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 9.

Tiempos de moliendabilidad Cruz de Oro (100%).

Malla	% -200 m	Tiempo (seg)
50 % -200m	50.00	14min 50seg
80 % -200m	80.00	33min 24seg

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10.

Tiempos de moliendabilidad Pomarani (100%).

Malla	% -200 m	Tiempo (seg)
50 % -200m	50.00	15min 42seg
80 % -200m	80.00	30min 16seg

Fuente: Elaboración Propia

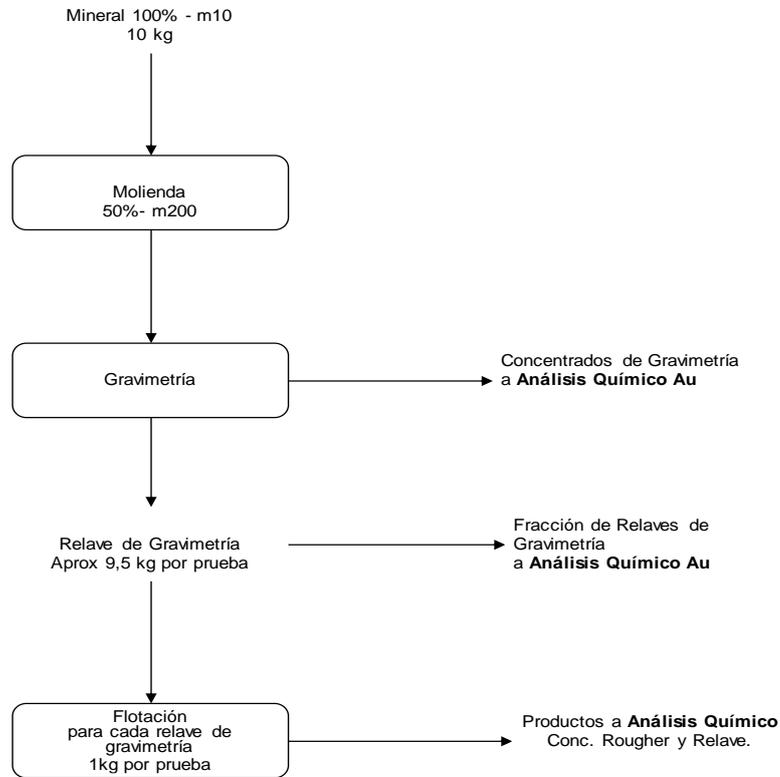
3.8.2 Pruebas de Gravimetría

Las pruebas de gravimetría a nivel de laboratorio se realizaron con un concentrador centrífugo marca FALCON modelo ICON L40 con 60 kg de muestra aproximadamente a 40 Hz de revoluciones y 4 PSI de presión de agua.

La prueba de gravimetría se realizó bajo el esquema de trabajo que se presenta en la Figura 16.

Figura 16.

Esquema de prueba de gravimetría.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11.

Balance de Gravimetría Pomarani-Cruz de Oro (70%/30%).

Producto	peso (gr)	Peso (%)	Ley (g/t)	Finos g.Au	Distribución (%)
Cabeza ensayada	100.00		3.12		
Concentración Gravimétrica	1706.60	2.90	32.49	0.01	29.70
Relave Final	58050.50	97.10	2.26	0.13	70.30
Cabeza Calculada	59.76	100.00	3.12	0.19	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12.

Balance de Gravimetría Cruz de Oro (100%).



Producto	peso (gr)	Peso (%)	Ley (gr/t)	Finos g.Au	Distribución (%)
Cabeza ensayada	100.00		1.72		
Concentración gravimétrica	1873.90	4.46	14.50	0.03	37.30
Relave Final	40124.10	95.50	1.14	0.05	62.70
Cabeza Calculada	41998.00	100.00	1.74	0.07	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13.

Balance de Gravimetría Pomarani (100%).

Producto	peso (gr)	Peso (%)	Ley (g/t)	Finos g.Au	Distribución (%)
Cabeza ensayada	100.00		2.33		
Concentración gravimétrica	1729.60	4.98	10.96	0.02	23.50
Relave Final	33026.40	95.00	1.87	0.06	76.50
Cabeza Calculada	34756.00	100.00	2.32	0.08	100.00

Fuente: Elaboración Propia

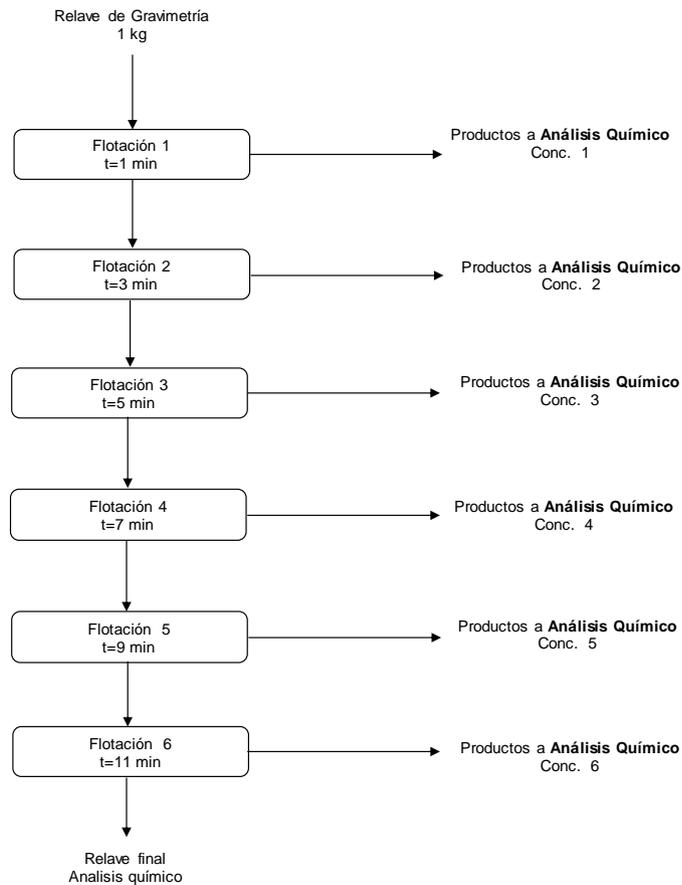
3.8.3 Pruebas de Flotación

Las pruebas flotación a nivel de laboratorio se realiza en celdas de flotación modelo Denver de capacidad de 2 kg, con un % de sólidos de 32%. Se realizar pruebas de cinética de flotación y pruebas cíclicas de flotación. Los reactivos utilizados para las pruebas son AP – 4037; Sulfato de cobre (CuSO₄), y Xantato Z-6, las pruebas se desarrollaron a pH natural.

Las pruebas de cinética de flotación se realizaron con el fin de determinar el tiempo de flotación óptimo a nivel de laboratorio, el cual es escalado con un factor que oscila entre 2 a 4 a nivel industrial. El esquema de la prueba Cinética de flotación se presenta en la Figura17:

Figura 17.

Esquema de prueba de Cinética de Flotación

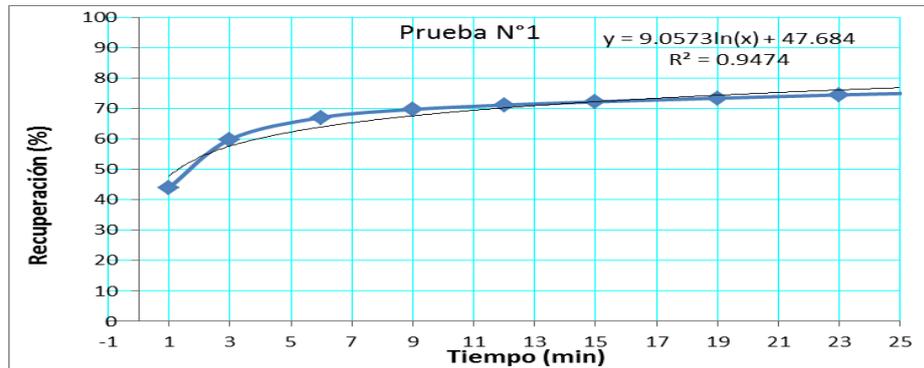


Fuente: Elaboración Propia

El tiempo óptimo de flotación a nivel de laboratorio fue de 18.51 minutos aproximadamente para el blending 70/30. La curva de Cinética de flotación se presenta en la Figura 18:

Figura 18.

Cinética de Flotación

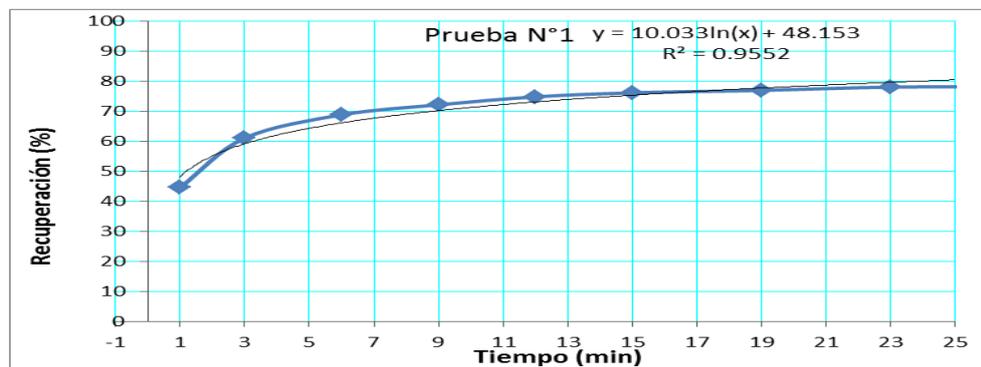


Fuente: Elaboración Propia

El tiempo óptimo de flotación a nivel de laboratorio fue de 16.01 minutos aproximadamente para el frente cruz de Oro. La curva de Cinética de flotación se presenta en la Figura 19:

Figura 19.

Cinética de Flotación Cruz de Oro (100%)

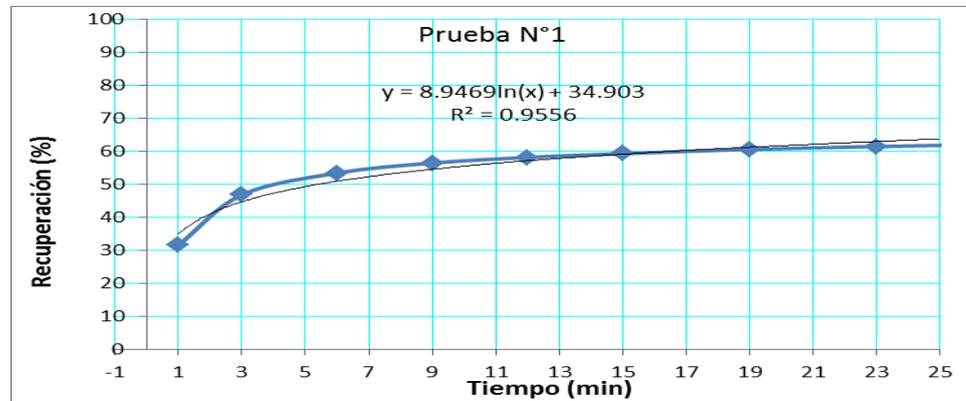


Fuente: Elaboración Propia

El tiempo óptimo de flotación a nivel de laboratorio fue de 19.50 minutos aproximadamente para el frente Pomarani. La curva de Cinética de flotación se presenta en la figura 20.

Figura 20.

Cinética de Flotación Pomarani (100%)

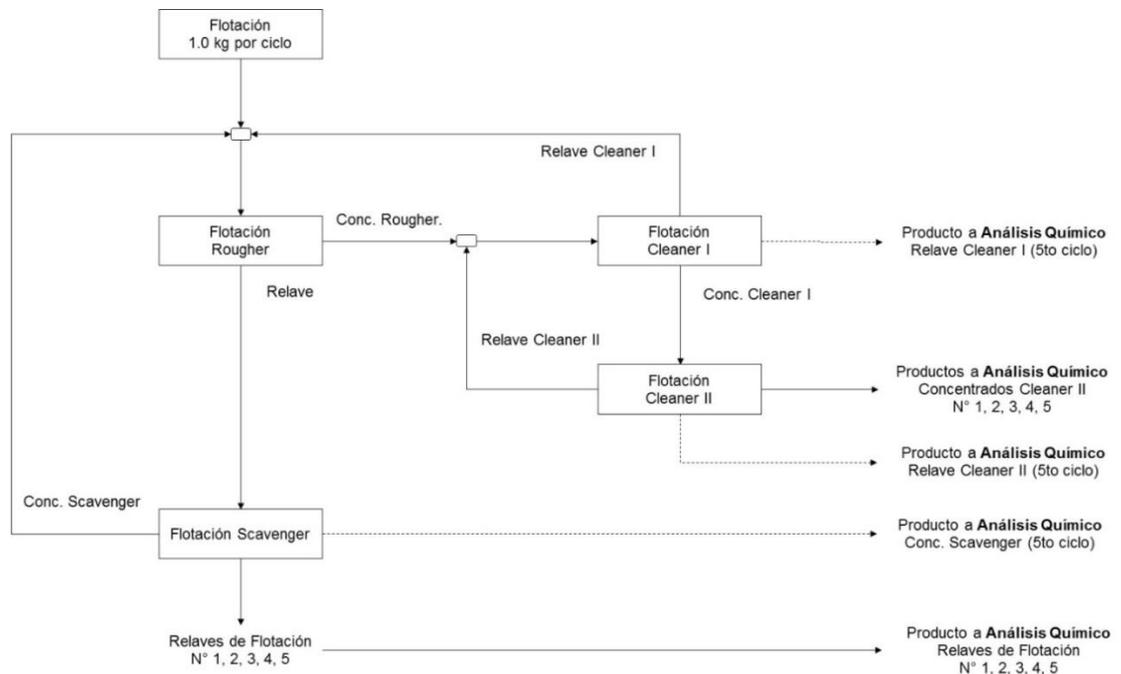


Fuente: Elaboración Propia

Se realizó pruebas de flotación cíclicas (Cerradas) por duplicado con el fin de simular a nivel laboratorio un circuito continuo (5 ciclos) con un esquema similar al de Planta, en el cual los flujos son recirculados en el circuito. Esto genera que los resultados sean de mayor semejanza a los resultados que se puedan obtener en Planta. En la Figura 21; se presenta el esquema de las pruebas cíclicas:

Figura 21.

Esquema de pruebas Cíclicas



Fuente: Elaboración Propia

3.8.4 Test GRG (Gravity Recovery Gold)

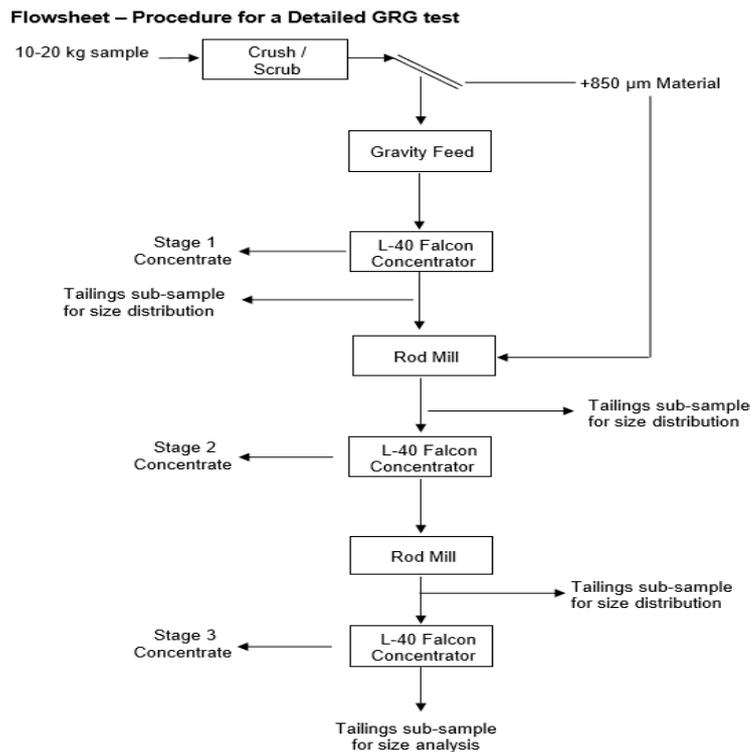
GRG es un acrónimo de “Oro recuperable por gravedad”, y es una medida de la cantidad teórica máxima de oro (Expresada como % total), que se puede recuperar de un mineral mediante tecnología de concentración por gravedad. La prueba GRG proporciona información valiosa sobre los datos de liberación, potencial de recuperación por gravedad, así como un método de comparación de minerales con respecto a sus características.

Los resultados de una prueba GRG se pueden utilizar para modelar la recuperación a escala de planta y ayudar a dilucidar las variables importantes que afectan la recuperación de oro de los circuitos de concentración por

gravidad. Esta información se puede utilizar más para optimizar los circuitos de concentración por gravedad.

Figura 22.

Esquema de pruebas de GRG.



Fuente: Metsolve Laboratories Inc.

3.9 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA A NIVEL INDUSTRIAL

Para el procedimiento de la prueba a nivel industrial:

Se inicia la prueba:

- Coordinación con el superintendente de planta concentradora, y explicar los objetivos de la prueba.
- Iniciar la prueba a nivel industrial.
- Toma de datos, de las variables en evaluación.



- Se realiza la prueba y seguimiento de sus resultados.
- Se realiza el balance metalúrgico con los resultados obtenidos y reportes de laboratorio químico.

Las pruebas a nivel industrial fueron realizadas en las instalaciones de planta concentradora Cori Puno SAC.

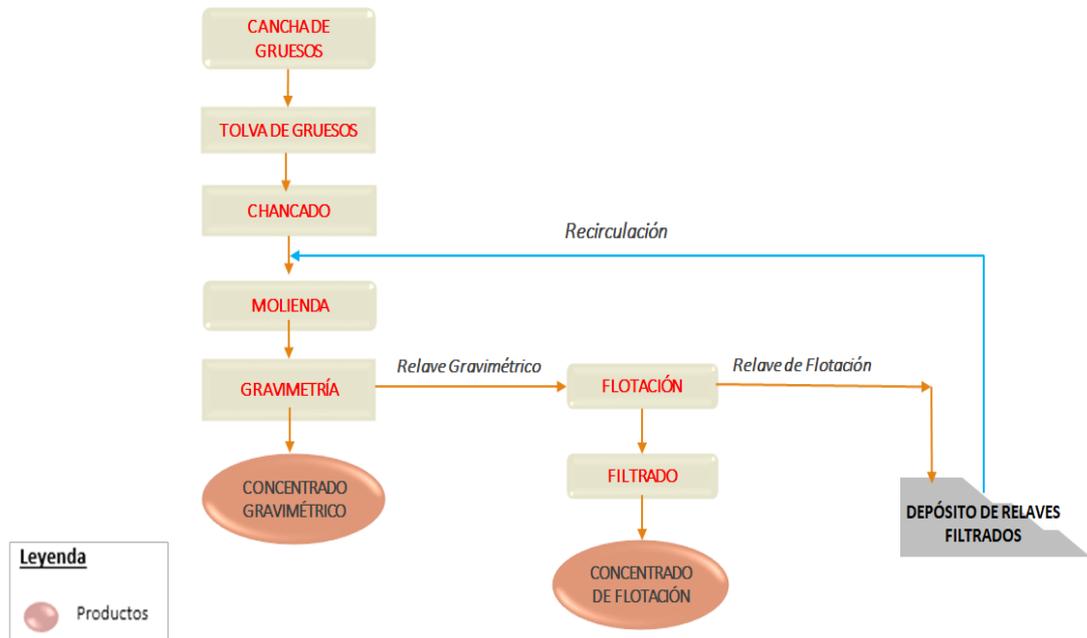
3.9.1 Descripción General del proceso Metalúrgico

El proceso productivo consta de los siguientes circuitos:

- Chancado
- Molienda – Gravimetría
- Flotación
- Filtrado
- Relavera

Figura 23.

Descripción del proceso operativo planta concentradora Cori Puno SAC.



Fuente: Elaboración Propia.

3.9.2 Chancado

El mineral procedente de mina se acumula en la cancha de gruesos de 10000 TM de capacidad. Luego de un Blending el cargador Frontal (CAT 980), alimenta la Tolva de gruesos de 140 TMH de capacidad que cuentan con una parrilla de 8” de abertura, la tolva N° 1 alimenta a la Faja N° 1. Los bancos con dimensiones mayores a 8” son machacados o quebrantados por el operador de tolva de gruesos.

El circuito consta de los siguientes equipos:



Tabla 14.

Equipos de Chancado

N°	DESCRIPCION
1	Tolva de gruesos capacidad 140 toneladas
2	Alimentador reciprocante
3	Faja transportadora N° 01
4	Zaranda Fima 6'X14' DD
5	Chancadora de Quijadas Nordberg C-100 30" x 40".
6	Faja transportadora N° 02
7	Faja transportadora N° 03
8	Faja transportadora N° 04 A
9	Faja transportadora N° 04 B
10	Zaranda FACCO 6'x16' DD
11	Chancadora Cónica Nordberg HP-200
12	Faja transportadora N° 05
13	Faja transportadora N° 06
14	Faja transportadora N° 07
15	Zaranda Terex 7'X20' DD
16	Chancadora Cónica Nordberg HP-200
17	Faja transportadora N° 08
18	Faja transportadora N° 09
19	Faja transportadora N° 10
20	Faja transportadora N° 11
21	Faja transportadora N° 12
22	Faja transportadora N° 13
23	Tolva de finos capacidad 120 toneladas
24	Faja transportadora N° 14
25	Faja transportadora N° 15
26	Faja transportadora N° 19
27	Faja transportadora N° 20
28	Tolva de finos capacidad 120 toneladas
29	Faja transportadora N° 21

Fuente: Cori Puno SAC



3.9.3 Chancado Primario

El mineral proveniente de la tolva de gruesos es alimentado mediante el alimentador reciprocante hacia la Faja N° 1 quien a su vez transporta a una zaranda FIMA 6 x 14 DD de dos pisos (abertura piso superior 1 ½” y 8 mm del piso inferior), donde el rechazo de la malla superior ingresa hacia la Chancadora de Quijadas Nordberg C100 30” x 40”.

El rechazo de la malla inferior (8 mm) se junta con el producto de la chancadora C100, los finos de la zaranda (100 % tamaño -8 mm) son transportados mediante la faja N° 9, 12, 13 y 21 a tolva de finos para la etapa de molienda.

3.9.4 Chancado Secundario

El producto del chancado primario es transportado mediante las fajas N° 2, 19,3 y 4A, hacia la zaranda FACCO 6’ x 16’ DD de dos pisos (abertura del piso superior 1” y 8mm del piso inferior), el O/Z de las dos mallas de esta zaranda ingresa hacia la Chancadora cónica NORDBERG HP200 secundaria, los finos (malla inferior 8 mm) son transportados mediante la faja N° 10 y completa su circuito con la faja N° 11, 12, 13 y 21 a tolva de finos para la etapa de molienda.

3.9.5 Chancado Terciario

Los productos de la chancadora HP200 secundaria se transportan mediante las fajas N° 5, 6 y 7 hacia la zaranda TEREX 7’ x 20’ DD de dos pisos (abertura del piso superior 1” y 8 mm del piso inferior).El O/Z de las dos mallas se alimentan a la Chancadora HP200 terciaria cuyo producto



trabaja en circuito cerrado con una carga circulante de 100 %, y son transportados mediante las fajas N° 7 y 8.

Los pasantes de la zaranda (malla inferior 8 mm) son transportados mediante la faja N° 10 y completa su circuito con la faja N° 11, 12, 13 y 21 a tolva de finos para la etapa de molienda.

3.9.6 Molienda – Gravimetría

El circuito de molienda comienza con la descarga de las tolvas de finos N° 1 y N° 2 a las fajas transportadoras N° 14 y N° 21 , los mismos que alimentan a la faja transportadora N° 15 y consecuentemente a la faja transportadora N° 16, los cuales a su vez alimentan al Molino Denver (H3075Aa) 8’x10’ N° 1 y Molino Denver (H3075Aa) 8’x10’ N° 2, el tonelaje de alimentación es regulado mediante una balanza electrónica instalados en la faja transportadora de alimentación. N° 15 y faja transportadora N° 16.

Tabla 15.

Parámetros operativos de molienda primaria.

MOLINO	F80 µm	P80 µm	RR
Molino 8'x10' N°1	6931.50	583.83	11.87
Molino 8'x10' N°2	6979.22	623.21	11.20

Fuente: Cori Puno SAC

Al ingreso de mineral hacia los molinos se agrega agua a la molienda primaria para regular la densidad de la descarga a 1720 gr/lit, con un porcentaje de sólidos de 69.7%. La descarga de los molinos primarios pasa a



las Zarandas Primarias sizer 5' X 8' N° 1 y N° 2, con una malla de 1.5mm, los Over Size de la zaranda pasan al circuito de Remolienda. El producto Under Size de las Zarandas Sizer pasa hacia las bombas Krebs 8"x6" N° 3 y 4 donde inicia la sección de gravimetría.

El circuito de remolienda lo comprenden: Molino Denver (H3075Aa) 8'x10' N° 3, el molino COMESA 6'x6' N° 1, el molino COMESA 6'x6' N° 2 y el molino COMESA 6'x7'.

Los Over Size de las zarandas van hacia un cajón de bombas Krebs 8" x 6" N° 1 o Krebs 8" x 6" N° 2 con motores de 100 HP, estas bombas impulsan la pulpa hacia la batería de hidrociclones Gmax D15 (03 ciclones + 03 en stand By), el Under Flow de esta batería con una densidad de 1890 gr/lit descarga hacia un distribuidor de pulpa N°1 , para luego repartir la carga hacia el Molino de Bolas 8' x 10' N° 3, y distribuidor de pulpa N° 2. La descarga del molino 8' x 10' N° 3 va hacia la Zaranda Sizer 5' X 8' N° 3 y Zaranda Sizer 5' X 8' N° 4 respectivamente, el Over Size de estos regresa al cajón de bombas Krebs 8" x 6" N° 1 o Krebs 8" x 6" N° 2 para trabajar en circuito cerrado.

Del distribuidor de pulpa N° 2, la carga es distribuida hacia los molinos COMESA 6'x7' y molino COMESA 6'X6' N°1 y molino COMESA 6'X6' N°1 y molino COMESA 6'X6' N° 2.

Tabla 16.*Parámetros operativos de molienda secundaria.*

MOLINO	F80 µm	P80 µm	RR
Molino 8'x10' N°3	398.35	297.98	1.34
Molino 6'x7'	420.65	227.50	1.85
Molino 6'x6' N° 1	400.98	193.39	2.07
Molino 6'x6' N° 2	426.13	191.14	2.23

Fuente: Cori Puno SAC.

El producto del molino COMESA 6'x7' y molino COMESA 6'X6' N°1 y molino COMESA 6'X6' N°2, va hacia la Zaranda Sizetec 2'x8', el Over Size la zaranda va hacia la bomba Warman 6''X6'' N° 1 o Warman 6''X6'' N° 2, quien impulsa la pulpa hacia el cajón de bombas Krebs 8''X6'' N° 1 y 2, quien a su vez impulsa la pulpa hacia la batería de hidrociclones Gmax D15, los Under Flow del nido de ciclones haciendo circuito cerrado.

La sección gravimetría lo comprenden los concentradores centrífugos Falcon SB 2500 N° 1 y Falcon SB 2500 N° 2, el concentrador centrifugo falcon SB 1350 y los concentradores centrífugos Vymssa N° 1 y Vymssa N° 2.

Los Under Size de las zarandas Sizetec 5' X 8' N° 1, 2, 3 y 4 ingresan al cajón de bombas Krebs 8'' x 6'' N° 3 o bomba Krebs 8'' x 6'' N° 4, que impulsan este material como alimento del concentrador centrifugo Falcon SB 2500 (sección gravimetría), este concentrador realiza la concentración de los metales pesados en este caso el oro.

Tabla 17.*Parámetros operativos del equipo Concentrador Falcon SB 2500*

Densidad (gr/lit)	G.E.	Flujo Agua (m ³ /hr)	Tiempo Cosecha (min)	Frecuencia Motor (Hertz)
1650	2.75	25	20	45

Fuente: Elaboración Propia

El relave del concentrador Falcon 2500 N° 1 o Falcon 2500 N° 2, se dirige hacia el cajón de las bombas Krebs 8”X6” N° 1 o bombas Krebs 8”X6” N°2, los mismos que impulsan la pulpa hacia la batería de hidrociclones Gmax D15, los Under Flow del nido de ciclones haciendo circuito cerrado.

Los Under Size la Zaranda 2’X8’, van hacia el cajón de bomba ASH 5”X4” N° 3 y bomba ASH 5”X4” N°4, quien impulsa la pulpa hacia los concentradores gravimétricos Vymsa N° 1 y concentrador Gravimétrico Falcon SB 1350.

Tabla 18.*Parámetros operativos de los equipos de concentración.*

EQUIPO	Densidad (gr/lit)	G.E.	Flujo Agua (m ³ /hr)	Tiempo Cosecha (min)
Falcon SB 1350	1650	2.75	10	50
Vymsa N° 1	1650	2.75	5	60

Fuente: Elaboración Propia

El relave de los concentradores centrífugos Falcon 1350 y Vymsa N° 1, descarga al cajón de la bomba Warman 6”X6” N° 1 o Warman 6”X6” N° 2, el cual impulsa la pulpa hacia las bombas Krebs 8”X6” N° 1 o Krebs 8”X6” N° 2.



Los concentrados producidos como producto final de los concentradores centrífugos descargan en conos de sedimentación para eliminar un porcentaje del agua.

EL Over Flow de los ciclones con una densidad de 1280 gr/lit (P80 = 75 μ m) es alimento a la flotación.

3.9.7 Flotación

La sección flotación comienza en el Over Flow del nido de Hidrociclones Gmax D15 con una densidad de 1280 gr/lit (P80 = 75 μ m) alimenta al acondicionador 10' x 10' N° 1, este acondicionador alimenta al circuito Rougher que comprende cuatro celdas TC 20, donde por acción de los colectores y espumantes se flota los minerales valiosos obteniéndose dos productos, un concentrado Rougher que es descargado a la bomba vertical 2 1/2" x 36" N° 9, esta bomba a su vez bombea la carga al concentrador Vymisa N° 2 el cual realiza concentración de los metales pesados en este caso el oro, se trabaja con agua de fluidización con una presión de 2.5 PSI, el ciclo de concentración es de 30 minutos luego se hace un by pass de la carga por medio de válvulas y se procede a parar el concentrador para realizar la descarga de concentrado; el relave del Vymisa N° 2 es alimentado al circuito Cleaner, banco de cuatro celdas Sub A 30 N° 1, del circuito cleaner se obtiene dos productos: el relave que descarga al cajón de la bomba ASH 4"x3" N° 5 o bomba ASH 4"x3 N° 6 y es retornado al circuito Rougher, su concentrado se envía al circuito recleaner que comprende un banco de cuatro celdas Sub A 30 N° 2 para su limpieza final, el relave de este circuito descarga al cajón de la bomba vertical 2 1/2" x 36" N° 9 retornando al circuito Cleaner, el concentrado de este circuito se descarga a la bomba vertical 2 1/2" x 36" N°



10, el cual representara el concentrado final de flotación. El relave del circuito Rougher descarga en el cajón de las bombas Krebs 6" x 6" N° 7 ó Krebs 6" x 6" N° 8 la cual bombea la pulpa hacia el circuito de flotación Scavenger, que comprende cuatro celdas TC 20, de esta etapa se obtienen dos productos: el concentrado que descarga a la bomba ASH 4" x 3" N° 5 o ASH 4" x 3" N° 6, el cual impulsa la pulpa al circuito Rougher; el relave del circuito Scavenger es el relave final que es enviado a la presa de relaves mediante tuberías de 8" y 6" para su almacenamiento y recuperación de agua.

3.9.8 Filtrado

La sección Filtrado receptiona los concentrados del Circuito de Flotación en el Holding Tank (8'x10'), donde se homogeniza y almacena para luego mediante un ciclo automático de filtrado sea cargado al Filtro Prensa CIDELCO, a la cual se impulsa con un Bomba Warman 3/2 y 2 1/2"x2" , para realiza el carguío de concentrado en el filtro Prensa mediante un control de peso carga hasta llegar al peso de 950 Kg. aproximadamente donde corta la alimentación e inicia el proceso de secado.

El proceso de secado se inicia con la etapa de presurización donde se inflan las placas membranas diseñadas para ese trabajo y por aplastamiento eliminan un porcentaje de agua del concentrado.

Luego se inicia cuatro etapas de secado una tras otra, que consiste en insuflar aire al interior del filtro y en diversas direcciones lo que hace que el agua evacue el concentrado hasta alcanzar una humedad aproximada de 12 % al terminar con las etapas de secado.



Luego de culminar con las etapas de secado se inicia la despresurización y se abre el filtro donde el operador inicia la operación de descarga mediante una faja transportadora N° 17, de 18” de ancho que traslada el concentrado a los BIG BAG que contienen una bolsa plástica en el interior para evitar pérdidas de concentrado, se descarga placa por placa hasta culminar con todas las cámaras donde se aloja el concentrado, aquí es donde se obtiene el concentrado final de la Planta Concentradora.

El agua evacuada del filtro mediante un dren se junta con el relave final de flotación y es enviada a la relavera para posteriormente ser recuperada y recirculada para el proceso de la Planta Concentradora.

3.9.9 Relavera

La Planta Concentradora procesa actualmente 1800 tm/día, generando relaves de flotación en pulpa luego de pasar por los procesos de gravimetría y flotación. La cantidad de relave producido es aproximadamente el 98% del tonelaje procesado en la Planta, que es enviado en tuberías de HDPE por gravedad a la presa de relaves a una densidad de 1,250 gr/lit aproximadamente y en el cual es almacenado continuamente. El sistema de descarga de relaves cuenta con 3 tuberías, de las cuales una de ellas es de 8 pulgadas y dos de ellas de 6” (una línea operativa y otra en stand by) las cuales están instaladas en un cajón de relaves. La relavera está debidamente impermeabilizada con geomembrana HDPE para evitar filtraciones de agua, para lo cual se cuenta con sistemas de control de piezómetros, hitos de control de desplazamiento y estudios de estabilidad de la presa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACION DEL MINERAL

Tabla 19.

Caracterización el mineral

Parámetro	Unid	Valor
Densidad Aparente	t/m ³	1.52
Gravedad Especifica	GE	2.75
Work Index de Bond	kWh/tc	13.9
Índice de abrasión	Gr.	0.0402

Fuente: Elaboración propia.

4.2 SELECCIÓN DE VARIABLES PARA LA RECUPERACION DE ORO

Las variables que se tomaron en consideración para el control operativo en el concentrador falcon SB 2500 fueron: la alimentación de agua (m³/Hr), el tiempo de cosecha (min), la frecuencia del motor (Hz) y como variable respuesta el % de recuperación de oro.

Tabla 20.

Nivel de Varianza

Variables	Nivel Mínimo	Nivel Máximo
X1: Agua (m ³ /Hr)	21	25
X2: Cosecha (min)	15	25
X3: Frecuencia Motor (Hz)	43	47

Fuente: Elaboración propia



En la tabla 20, se observa cada una de las variables tomadas a consideración en el trabajo con un nivel mínimo y un nivel máximo con las cuales se realizó las pruebas.

Tabla 21.

Combinación experimental del diseño 2³

Corrida	A	B	C
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+
9	0	0	
10	0	0	0

Fuente: software minitab 17

Se observa que cuando una letra está presente en su nivel máximo (+); cuando está ausente la variable se mantiene en su nivel mínimo (-).

Tabla 22.*Regresión actorial de las variables interpoladas.*

Termino	Efecto	Coefficiente	Error Estándar	VIF
Constante		39.7475	0.125	1.00
A: Agua	-1.41	-0.7050	0.125	1.00
B: Cosecha	-0.61	-0.3050	0.125	1.00
C: Frecuencia motor	2.3050	1.1525	0.125	1.00
AB	-0.075	-0.0375	0.125	1.00
AC	-0.00	-0.00	0.125	1.00
BC	0.24	0.12	0.125	1.00
ABC	0.375	0.1875	0.0125	1.00
Punto Central		0.3075	0.028	1.00

Fuente: software minitab 17

En la tabla 22, 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. También note que el factor de inflación de la varianza (VIF) es igual a 1.00, los (VIF) miden en qué medida la varianza de los coeficientes de regresión estimados han sido inflados. Factores de 10 a más se interpreta como indicativo de confusión entre los efectos.

Al interpretar los efectos de cada una de nuestras variables podemos definir:

Que el efecto de la variable de mayor prioridad es el de frecuencia del motor (Hz) con un valor de 2.305 seguido del efecto de la variable agua (m^3/hr) con un

valor de -1.41, y en menor importancia el efecto de la variable tiempo de cosecha (min) con un valor de -0.61.

El efecto de las interacciones entre las variables deduce que el de mayor importancia es la interacción entre las tres variables agua, tiempo de cosecha y frecuencia del motor, seguido de la interacción de las variables tiempo de cosecha y frecuencia del motor y en menor importancia la interacción de las variables agua y tiempo de cosecha.

Tabla 23.

Análisis de Varianza para la recuperación

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
A: Agua	1	3.9762	3.9762	3180.96	0.011
B: Cosecha	1	0.7442	0.7442	595.36	0.026
C: Frecuencia	1	10.6260	10.6260	8500.84	0.007
Motor					
AB	1	0.0113	0.0113	9.00	0.205
AC	1	0.0000	0.0000	0.00	1.000
BC	1	0.1152	0.1152	92.16	0.066
ABC	1	0.2812	0.2812	225.00	0.042
Error Total	1	0.0012	0.0012		
Total	9	15.9067			
(Corregido.)					

Fuente: software minitab 17.

En la tabla 23. Los grados de libertad (GL), son afectados por el tamaño de la muestra y el número de parámetros de su modelo, La cantidad de información



suministrada por sus datos que se puede "gastar" para estimar los valores de parámetros desconocidos de población y calcular la variabilidad de estos estimados.

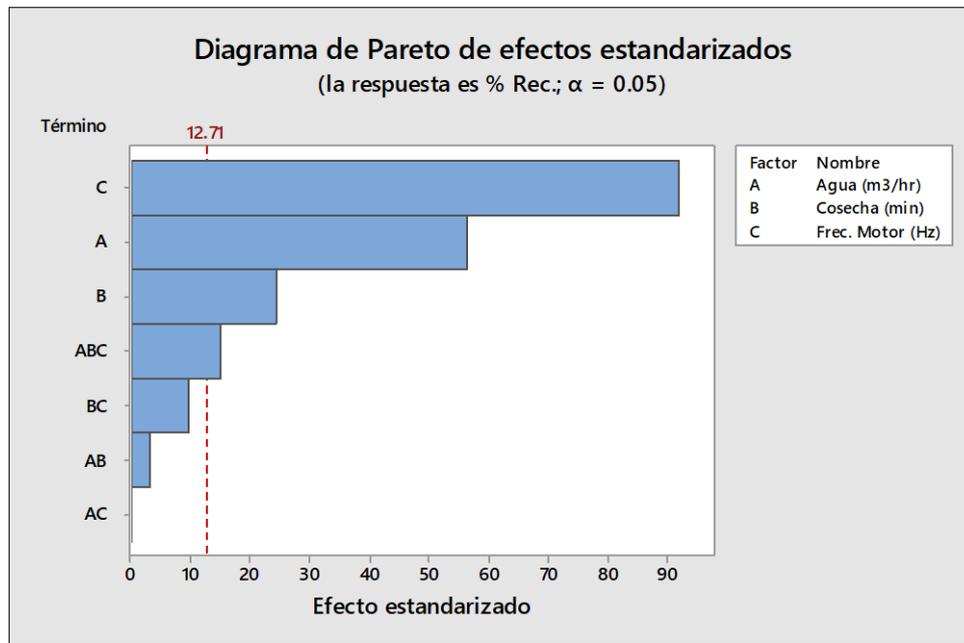
los valores P se utilizan en muchas áreas de la estadística, entre las que figuran la estadística básica, los modelos lineales, la confiabilidad y los análisis multivariados, entre muchos otros, si el valor P es menor a 0.005, existe una fuerte relación entre la variable dependiente (recuperación) y las independientes (agua, cosecha, frecuencia del motor), para el análisis de la tabla 23, indica que existe una fuerte relación entre el porcentaje de recuperación y la frecuencia del motor, el valor de P es 0.007.

4.2.1 Diagrama de Pareto de los efectos para el porcentaje de recuperación

El diagrama de Pareto permite clasificar gráficamente la información de mayor a menor relevancia, con el objetivo de reconocer las variables de mayor importancia en el estudio.

Figura 24.

Diagrama de Pareto con la importancia de las variables



Fuente: software minitab 17.

En la figura 24, el diagrama de Pareto y con ayuda de la línea de Durbin Watson el cual indica que el de mayor importancia es la variable Frecuencia del motor seguido de la variable ingreso de agua y la variable tiempo de cosecha respectivamente.

Tabla 24.

Coefficiente de regresión para recuperación

Coefficiente	Estimado
Constante	23.21
A: Agua (m ³ /hr)	-0.3525
B: Cosecha (min)	-0.0610
Frecuencia Motor (Hz)	0.5762

Fuente: Elaboración propia

$$\text{RECUPERACION} = 23.21 - 0.3525 * \text{Agua (m}^3\text{/hr)} - 0.0610 * \text{Cosecha (min)} + 0.5762 * \text{Frec. Motor (Hz)}$$

El primer valor se refiere a la media global, el segundo valor al efecto del factor A (Agua), seguido del factor B (Cosecha) y por ultimo al tercer factor C (Frecuencia del motor).

Tabla 25.

Estadística de la regresión

Coeficiente de correlación múltiple	0.98
Coeficiente de determinación R^2	0.96
R^2 ajustado	0.95
Error típico	0.31
Observaciones	10.00

Fuente: Elaboracion Propia

En resumen del modelo, se observa que el R^2 es de 96.48 %, el cual indica que el grado de confianza del modelo es alto y por ende aceptable.

Tabla 26.

Análisis de los residuales

Orden	% Recuperación (experimental)	% Recuperación (modelo)	Residuo
1	39.50	39.67	-0.17
2	38.54	38.26	0.28
3	39.10	39.06	0.04
4	37.24	37.65	-0.41
5	41.94	41.67	-0.03
6	40.23	40.56	-0.33
7	21.27	41.36	-0.09

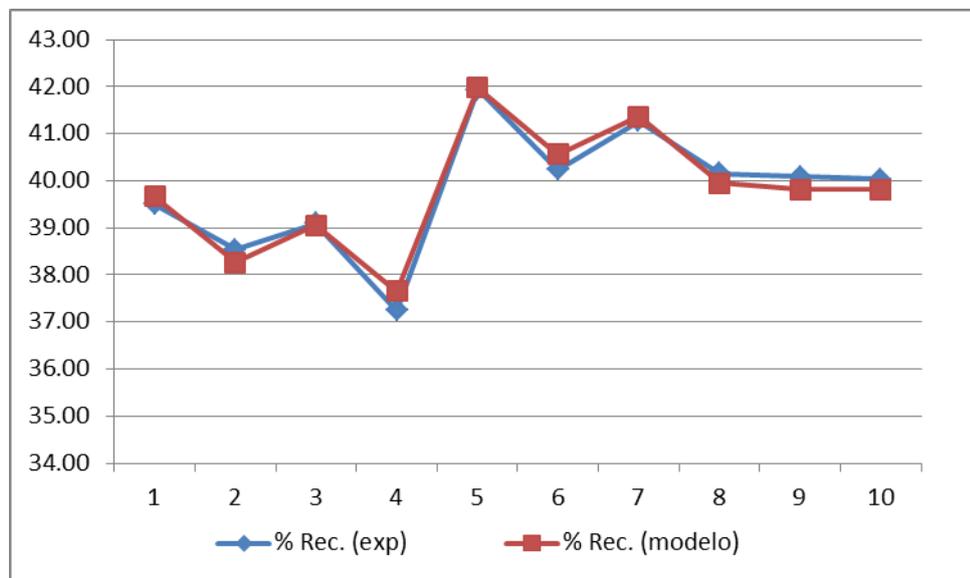
8	40.16	39.95	0.21
9	40.08	39.81	0.27
10	40.03	39.81	0.22

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 26, se visualiza la comparación entre el porcentaje de recuperación experimental con el porcentaje de recuperación del modelo, como análisis del residuo.

Figura 25.

Gráfico Comparativo, % recuperación experimental vs % recuperación modelo



Fuente: Elaboración propia

En la figura 25, se observa el gráfico comparativo del porcentaje de recuperación experimental con el porcentaje de recuperación del modelo, notándose que ambos gráficos tienen gran similitud, esto es corroborado por el R^2 , donde indica el grado de confiabilidad del experimento.

4.3 EVALUACION DEL PROCESO

La evaluación dentro de las principales variables tomados en consideración para la recuperación de oro, se vieron reflejados en el control operativo del concentrador Falcon SB 2500, como son el agua, el tiempo de cosecha y la frecuencia del motor, el cual indica una mejora considerable en la recuperación de oro, según la matriz del diseño con los resultados de la experimentación.

4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PRUEBAS

Tabla 27.

Combinación experimental del diseño 2³

Alias	Orden	Agua (m ³ /Hr)	Cosecha (min)	Frecuencia Motor (Hz)
I	1	21	15	43
A	2	25	15	43
B	3	21	25	43
C	4	25	25	43
AB	5	21	15	47
AC	6	25	15	47
BC	7	21	25	47
ABC	8	25	25	47

Fuente: Elaboracion Propia

4.5 RESULTADOS OBTENIDOS

Prueba N° 1

Ingreso de Agua (m ³ /hr)	: 21
Tiempo de Cosecha (min)	: 15
Frecuencia del Motor (Hz)	: 43



Tabla 28.

Balance metalúrgico de la prueba N° 1.

	TMS	Ley	Finos	%DISTR	RATIO
Cabeza calculada	1832.22	2.80	5128.80	100.00	
Concentrado flotación	24.07	79.42	1911.38	37.27	68
Concentrado gravimétrico	2.74	738.86	2025.91	39.50	
Relave	1805.41	0.66	1191.51	23.23	

Fuente: Elaboracion Propia

Prueba N° 2

Ingreso de Agua (m³/hr) : 25

Tiempo de Cosecha (min) : 15

Frecuencia del Motor (Hz) : 43

Tabla 29.

Balance metalúrgico de la prueba N° 2.

	TMS	Ley	Finos	%DISTR	RATIO
Cabeza calculada	1834.87	2.66	4872.65	100.00	
Concentrado flotación	23.73	75.90	1801.35	36.97	69
Concentrado gravimétrico	2.90	647.26	1877.92	38.54	
Relave	1808.24	0.66	1193.37	24.49	

Fuente : Elaboración Propia

Prueba N° 3

Ingreso de Agua (m³/hr) : 21

Tiempo de Cosecha (min) : 25

Frecuencia del Motor (Hz) : 43



Tabla 30.

Balance metalúrgico de la prueba N° 3

	TMS	Ley	Finos	%DISTR	RATIO
Cabeza calculada	1817.02	2.30	4170.75	100.00	
Concentrado flotación	19.94	75.66	1508.45	36.17	80
Concentrado gravimétrico	2.91	559.84	1630.76	39.10	
Relave	1794.17	0.57	1031.54	24.73	

Fuente: Elaboración Propia

Prueba N° 4

Ingreso de Agua (m³/hr) : 25

Tiempo de Cosecha (min) : 25

Frecuencia del Motor (Hz) : 43

Tabla 31.

Balance metalúrgico de la prueba N° 4

	TMS	Ley	Finos	%DISTR	RATIO
Cabeza calculada	1827.63	2.62	4788.31	100.00	
Concentrado flotación	26.46	76.56	2025.92	42.31	60
Concentrado gravimétrico	3.94	452.56	1783.18	37.24	
Relave	1797.23	0.54	979.21	20.45	

Fuente: Elaboración Propia

Prueba N° 5

Ingreso de Agua (m³/hr) : 21

Tiempo de Cosecha (min) : 15

Frecuencia del Motor (Hz) : 47

Tabla 32.*Balance metalúrgico de la prueba N° 5*

	TMS	Ley	Finos	%DISTR	RATIO
Cabeza calculada	1833.25	2.84	5207.22	100.00	
Concentrado flotación	22.46	84.31	1893.38	36.36	72
Concentrado gravimétrico	2.97	736.13	2183.91	41.94	
Relave	1807.83	0.63	1129.93	21.70	

Fuente: Elaboración Propia

Prueba N° 6Ingreso de Agua (m³/hr) : 25

Tiempo de Cosecha (min) : 15

Frecuencia del Motor (Hz) : 47

Tabla 33.*Balance metalúrgico de la prueba N° 6.*

	TMS	Ley	Finos	%DISTR	RATIO
Cabeza calculada	1819.14	2.62	4773.34	100.00	
Concentrado flotación	21.13	82.77	1748.72	36.64	76
Concentrado gravimétrico	2.74	701.01	1920.32	40.23	
Relave	1795.27	0.62	1104.30	23.13	

Fuente: Elaboración Propia

Prueba N° 7Ingreso de Agua (m³/hr) : 21

Tiempo de Cosecha (min) : 25

Frecuencia del Motor (Hz) : 47

Tabla 34.*Balance metalúrgico de la prueba N° 7.*

	TMS	Ley	Finos	%DISTR	RATIO
Cabeza calculada	1810.80	2.68	4854.21	100.00	
Concentrado flotación	24.64	75.93	1871.00	38.54	64
Concentrado gravimétrico	3.75	534.73	2003.34	41.27	
Relave	1782.42	0.55	979.88	20.19	

Fuente: Elaboración Propia

Prueba N° 8Ingreso de Agua (m³/hr) : 25

Tiempo de Cosecha (min) : 25

Frecuencia del Motor (Hz) : 47

Tabla 35.*Balance metalúrgico de la prueba N° 8.*

	TMS	Ley	Finos	%DISTR.	RATIO
Cabeza calculada	1798.14	2.53	4543.66	100.00	
Concentrado flotación	19.29	92.15	1777.84	39.13	80
Concentrado gravimétrico	3.13	582.77	1824.74	40.16	
Relave	1775.72	0.53	941.08	20.71	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 36.*Combinación experimental del diseño 2³ con respuesta*

Alias	Orden	Agua (m3/Hr)	Cosecha (min)	Frec Motor (Hz)	% Rec.
I	1	21	15	43	39.50
A	2	25	15	43	38.54
B	3	21	25	43	39.10

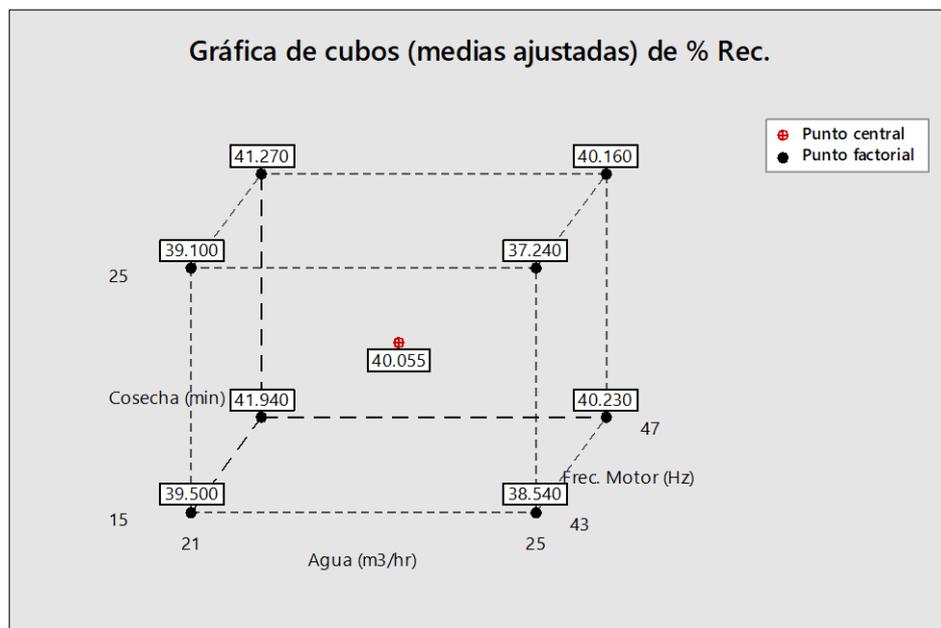
C	4	25	25	43	37.24
AB	5	21	15	47	41.94
AC	6	25	15	47	40.23
BC	7	21	25	47	41.27
ABC	8	25	25	47	40.16

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 36, es el diseño experimental realizado por el software minitab 17, diseño de cribado factorial 2^3 , donde se realizó las pruebas según los parámetros establecidos por cada experimento y la recuperación es el porcentaje que se obtuvo en las pruebas industriales en planta concentradora para su optimización.

Figura 26.

Grafica del diseño factorial 2^3 , y su representacion geometrica con los resultados de la combinacion experimental.



Fuente: Software Minitab 17.

En la figura 26, se reporta el rendimiento predicho por el modelo en cada combinación de los tres factores incluidos. En particular, la mejor recuperación se predice una recuperación promedio de 41.27 %.

4.5.1 Análisis de Varianza con las variables al 95 % (prueba Tukey).

La prueba Tukey; se define un solo comparador, resultante del producto del error estándar de la media por el valor tabular en la tabla de Tukey usando como numerador el número de tratamientos y como denominador los grados de libertad del error.

4.5.2 Prueba Tukey de alimentación de agua

El análisis de varianza mediante la prueba Tukey donde el dato más óptimo de agua es de 21, donde se obtiene un factor de recuperación de 40.5 % a una confiabilidad del 95%, la agrupación de las medias en agua se muestra un solo grupo donde se muestra la mayor eficiencia 21 m³/hr, siendo el más óptimo en la recuperación del Au.

Tabla 37.

Método de Tukey sobre el Agua a una confianza del 95%

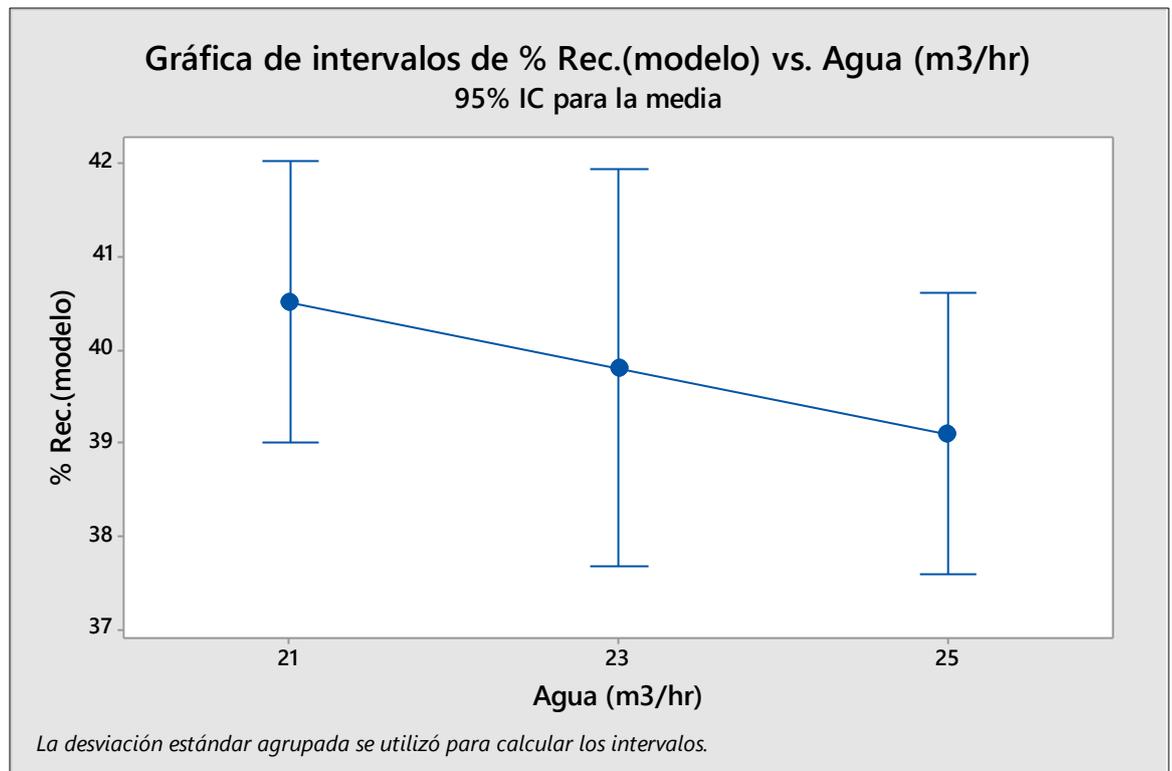
Agua (m ³ /hr)	N	Media	Agrupación
21	4	40.517	A
23	2	39.81	A
25	4	39.107	A

Fuente, Elaboración propia.

Nota: las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 27.

Gráfica de intervalos de % de recuperación en base al factor agua (m^3/hr)



Fuente: Software Minitab 17.

En la figura 27, muestra los gráficos de la prueba Tukey, donde la gráfica de intervalos muestra el porcentaje de recuperación, donde el dato más alto se tiene en 21 m^3/hr de ingreso de agua llegando a mostrar una probabilidad de llegar hasta 42 % de recuperación.

4.5.3 Prueba Tukey del tiempo se cosecha

El análisis de varianza mediante la prueba Tukey donde el dato más óptimo del tiempo de cosecha es de 15 minutos, donde se obtiene un factor de recuperación de 40.117 % a una confiabilidad del 95%, la agrupación de las medias el tiempo de cosecha se muestra un solo grupo donde se muestra la mayor eficiencia 15 min, siendo el más óptimo en la recuperación del Au.

Tabla 38.

Método de Tukey sobre el tiempo de cosecha a una confianza del 95%

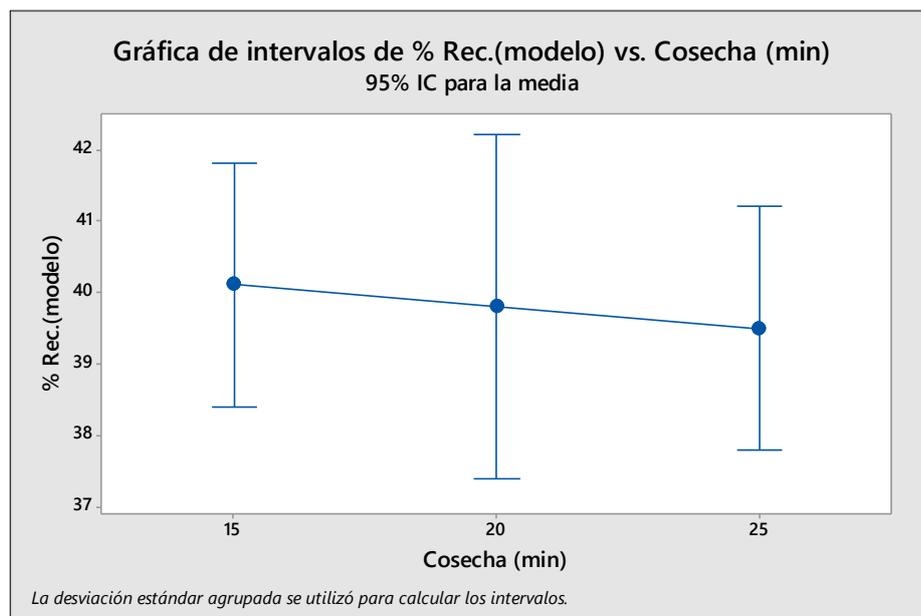
Cosecha (minutos)	N	Media	Agrupación
15	4	40.117	A
20	2	39.81	A
25	4	39.507	A

Fuente: Elaboración propia

Nota: las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 28.

Gráfica de intervalos de % de recuperación en base al factor tiempo de cosecha



Fuente: Software Minitab 17.

En la figura 28, muestra los gráficos de la prueba Tukey, donde la gráfica de intervalos muestra el porcentaje de recuperación, donde el dato más alto se tiene en 20 minutos de ingreso de agua, se tiene la estimación teórica de poder alcanzar a los 42 % de recuperación.



4.5.4 Prueba Tukey para la frecuencia del motor

Por el método Tukey realizado el análisis de varianza se define dos grupos de comparación de medias donde los más eficientes y diferentes cuando la frecuencia del motor es de 47 Hz, donde tiene mayor porcentaje de recuperación cuyo valor es de 40.964, siendo el óptimo para la recuperación del oro.

El otro grupo conformado por (B), se tiene como 43 (Hz), el cual tiene un porcentaje de recuperación muy por debajo del óptimo.

Tabla 39.

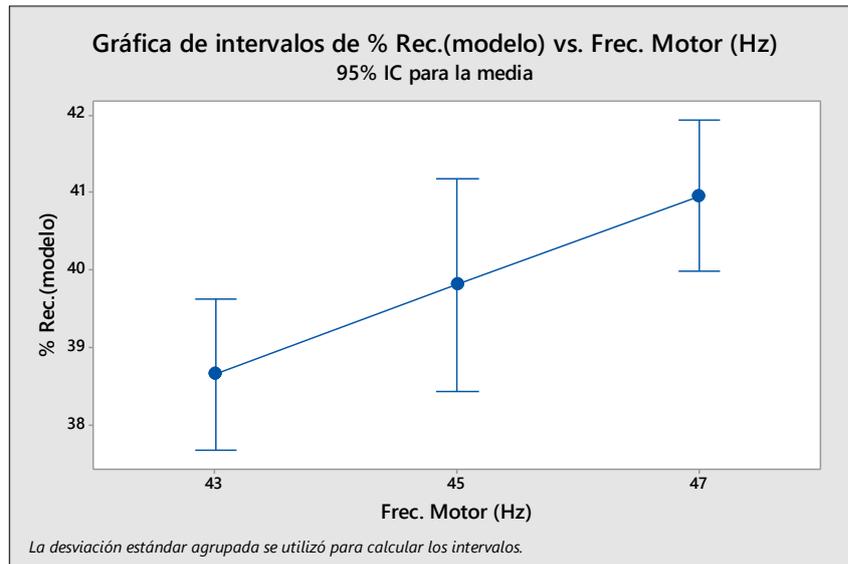
Método de Tukey sobre la frecuencia del motor a una confianza del 95%

Frec. Motor (Hz)	N	Media	Agrupación
47	4	40.964	A
45	2	39.81	AB
43	4	38.659	B

Fuente: Elaboración propia (software minitab 17)

Figura 29.

Grafica de intervalos de % de recuperación en base al factor frecuencia del motor

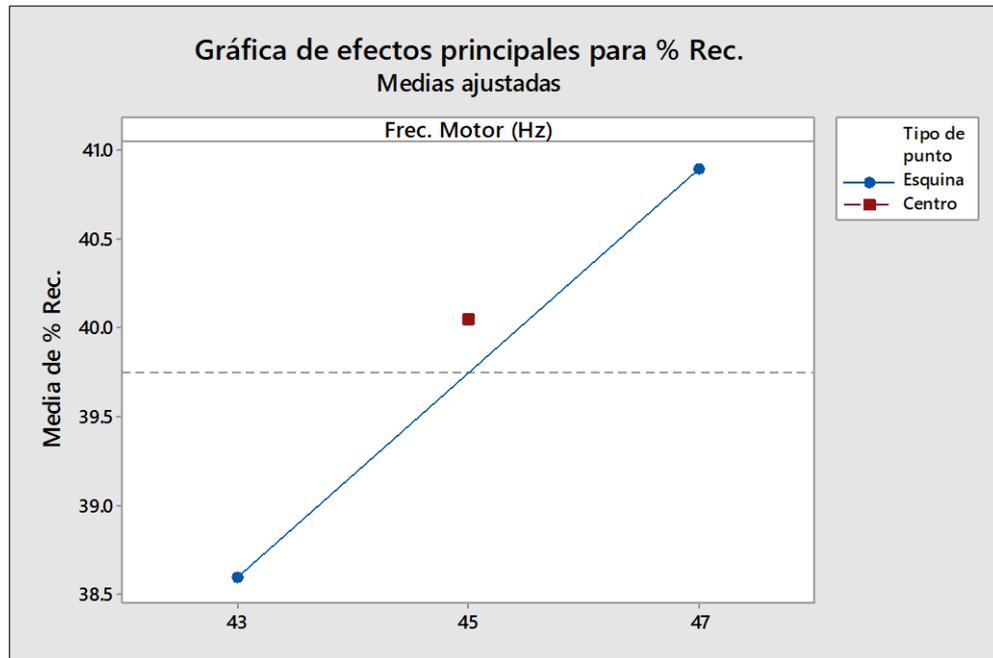


Fuente: Software Minitab 17.

La figura 29, muestra los gráficos de la prueba Tukey, donde la gráfica de intervalos muestra el porcentaje de recuperación, el dato más alto se tiene en 47 Hz de frecuencia del motor, se tiene la estimación teórica de poder alcanzar a los 42 % de recuperación.

Figura 30.

Gráfica del efecto Frecuencia del motor con respecto a la recuperación.

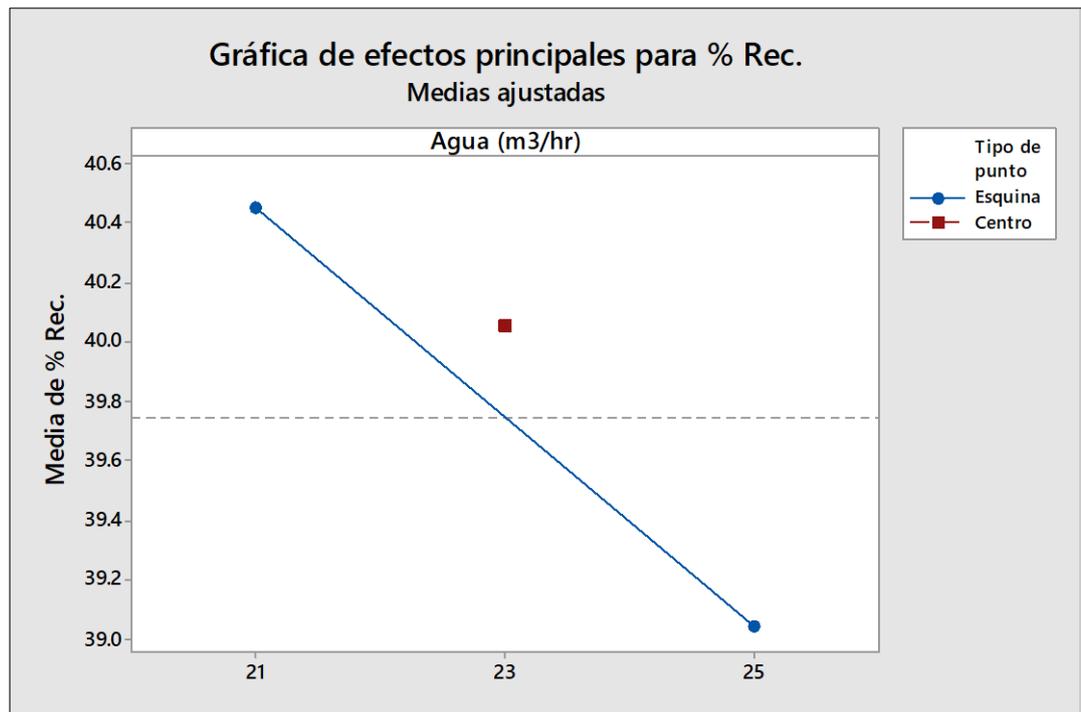


Fuente: Software Minitab 17.

La figura 30, indica que a medida que aumenta los Hertz de la frecuencia del motor, aumenta la recuperación.

Figura 31.

Gráfica del efecto alimentación de agua con respecto a la recuperación.

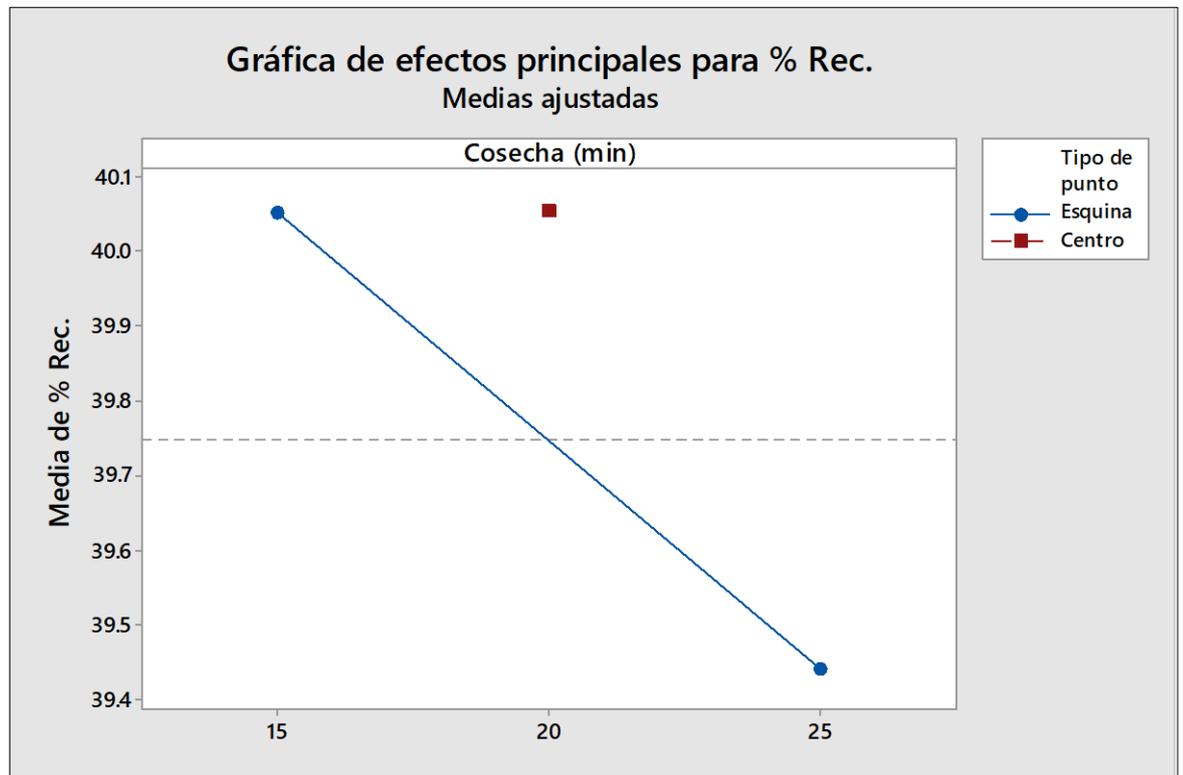


Fuente: Software Minitab 17.

La figura 31, indica que a medida que se aumenta la cantidad de agua, va disminuyendo el porcentaje de recuperación.

Figura 32.

Grafica del efecto tiempo de cosecha con respecto a la recuperación.



Fuente: Software Minitab 17.

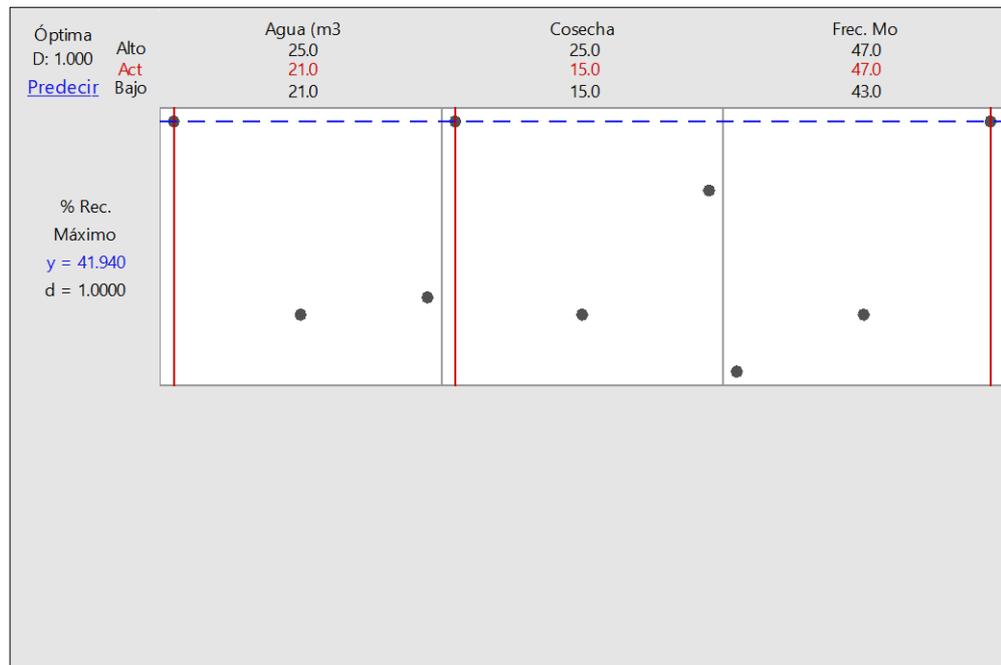
La figura 32, indica que a medida que se aumentan los tiempos de cosecha el porcentaje de recuperación también tomada una línea descendente.

4.5.5 Interpolación De Variables Para Hallar Valores Óptimos

Mediante el software Minitab se realizó la interpolación de variables donde, se muestra la interpolación del agua de alimentación, el tiempo de cosecha y la frecuencia del motor, donde el grafico de optimización muestra un factor de recuperación máxima de 41.94 % con una alimentación de agua 21 m³/hr, el tiempo de cosecha 15 minutos y la frecuencia del motor 47 Hz.

Figura 33.

Grafica de optimización, para las distintas variables.



Fuente: Software minitab 17.

Tabla 40.

Optimizar Respuesta

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Agua (m ³ /hr)	21	25	21
Cosecha (min)	15	25	15
Frec. Motor (Hz)	43	47	47

Fuente: Elaboración propia

La tabla 40, muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza la recuperación sobre la región indicada.

Meta: Maximizar la RECUPERACIÓN.

4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis general que establece optimizar el proceso gravimétrico de minerales auríferos en el concentrador



centrífugo Falcon SB 2500 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, obteniendo resultados positivos.

El resultado guarda cierta relación con lo que sostiene Carrasco, Piminchumo, (2018), en su tesis de grado titulada “Influencia de la presión de agua y la fuerza de gravedad centrífuga en la recuperación de oro mediante concentración gravimétrica centrífuga para un mineral tipo antracita procedente de la Provincia de Cajabamba”, Universidad Nacional De Trujillo, donde sus resultados indican que a medida que aumenta la presión de agua (psi) y la fuerza gravimétrica centrífuga (G) se incrementa la recuperación de oro, obteniéndose la más alta recuperación de oro de 57.94% a 9 psi y 150 G, siendo la más baja de 13.94% de recuperación de oro a 5 psi y 80 G.

De igual manera con los autores Trujillo, Trujillo, (2020). En su tesis titulada “optimización del proceso gravimétrico del concentrador falcon para la recuperación de estaño fino a partir de relaves en la mina san Rafael”, Universidad Nacional Del Altiplano, donde unos de sus resultados trabajo en base al tiempo óptimo de recuperación, en el cual se realizó cuatro pruebas iniciándose la primera prueba a 100, 110, 120 y 150 segundos respectivamente, evidenciándose que el tiempo optimo es de 120 segundos.

De la misma manera con el autor Huarecallo, (2019), en su trabajo de tesis titulado “optimización del proceso de recuperación de oro con un concentrador centrífugo para la pequeña minería aurífera”, los resultados de sus pruebas en el concentrador falcon L40, se observa que a medida que a mayor flujo de agua se



obtiene menor recuperación y en otra de sus pruebas tiene como resultado a menor flujo de agua se obtiene mayor recuperación de oro.



V. CONCLUSIONES

1. La recuperación del oro se incrementó de 37 % a 42 %, optimizándose en un 5 %, la capacidad productiva y por ende el beneficio económico.
2. La caracterización del mineral microscópica, indican que el tamaño de grano del Au: en el alimento a planta son menores a 15 micrones, en el mineral Pomarani son menores a 9 micrones, y en el mineral de Cruz de oro son menores a 50 micrones.
3. El tiempo de cosecha en la optimización de la recuperación en concentración gravimétrica fue de 15 minutos, donde se mejoró el porcentaje de recuperación al 41.94 % en el concentrado gravimétrico de la CIA CORI PUNO SAC.
4. El ingreso de agua en la optimización de la recuperación en concentración gravimétrica es de 21 m³/hr, donde se mejoró el porcentaje de recuperación al 41.94 % en el concentrado gravimétrico de la CIA CORI PUNO SAC.
5. La frecuencia del motor en la optimización de la recuperación en concentración gravimétrica es de 47 Hz, donde se mejora el porcentaje de recuperación al 41.94%, en el concentrado gravimétrico de la CIA CORI PUNO SAC.



VI. RECOMENDACIONES

Realizar un estudio geo metalúrgico para predecir las condiciones y parámetros de producción tales como capacidad de procesamiento en planta, ley, % de recuperación, parámetros de trabajo de los equipos, ley de concentrados, etc. Optimización del rendimiento de planta con respecto a la variabilidad del mineral.

Mejorar al momento de realizar el blending, para mantener una ley de cabeza constante de Au al ingreso a planta concentradora y poder tener una estabilidad en el proceso gravimétrico, de tal manera que no haya cambios significantes en los parámetros operativos y tener un proceso eficazmente estable y poder mantener un porcentaje de recuperación óptimo.

Es recomendable mantener estable los parámetros operativos de planta en los concentradores centrífugos como son el ingreso de agua, el tiempo de cosecha y los Hertz en la frecuencia del motor.

La influencia de las interacciones de las variables seleccionadas tiene gran importancia debido a que tienen alta significancia estadísticamente como se muestra en el análisis de varianza.



VII. REFERENCIAS

Armando, D., Alberto, J. (2017), *Recuperación de oro en minerales sulfurados de baja ley en la provincia de Casma*. Universidad Nacional Mayor De San Marcos

<https://hdl.handle.net/20.500.12672/6475>

Azareño, A. (2015). “*Flotación y concentración de minerales*” (1a ed.). Lima: Editorial colecciones Jóvic.

<https://docplayer.es/95494731-De-minerales-angel-azanero-ortiz.html>

Azañero, A. (2009). *Factores que afectan la selección del proceso metalúrgico para beneficiar minerales complejos de oro*. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. Vol.12, N.º 24, 49-55 (2009) UNMSM. Lima.

https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v12_n24/pdf/a05v12n24.pdf

Arrelusea et al., (2018). *Métodos de concentración gravimétrica*. Universidad privada del Norte.

https://www.academia.edu/40426722/INFORME_M%C3%89TODOS_DE_CONCENTRACION_GRAVIMETRICA

Alvarez, A. (2006). *Tecnología de la concentración centrífuga*. Universidad Mayor de San Andrés.

<https://silo.tips/download/tecnologia-de-la-concentracion-centrifuga>



Alvarez, A. (s.f.). *La concentración centrífuga, una alternativa para recuperar oro fino a partir de residuos gravimétricos y su relación con la mitigación ambiental*.
Universidad Mayor de San Andrés.

<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1211/1/193-207.pdf>

Bustamante, A., Gaviria, C., Restrepo, J. (2008). *Concentración de Minerales*.
Universidad Nacional de Colombia

https://minas.medellin.unal.edu.co/centroeditorial/cuadernos/download/24_5a1004a32dcbd619453c3eed562725f0

Carrasco, C., Piminchumo, K. (2018), “*Influencia de la presión de agua y la fuerza de gravedad centrífuga en la recuperación de oro mediante concentración gravimétrica centrífuga para un mineral tipo antracita procedente de la Provincia de Cajabamba*”, Universidad Nacional De Trujillo Facultad De Ingeniería

<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11025>

Colin Sprake, B. Steve McAlister, P. (2018)

Elorza, E. (2020), “concentración gravimétrica, Universidad de Guanajuato.

https://www.academia.edu/44541749/CONCENTRACION_GRAVIMETRICA

Falcon Concentrator INC., “Centrifugal gravity Concentrators for fine particle 313 recovery, setting new standards in gravity recovery”.



Fuerstenau, M. C. and K. N. Han (2003). Principles of Mineral Processing, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.

https://www.academia.edu/40297824/PRINCIPLES_OF_MINERAL_PROCESSING_Fuerstaneau_and_Han

Gee, B. (2005). *Recovery of Fine Gold Particles Using a Falcon 'B' Separator*. Canadian Instit. of Mining, Metallurgy and Petroleum. Montreal.

<http://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:9451>

Gutierrez, H., De la Vara., R. (2008). “*Análisis y diseño de experimentos*”. (2ª ed.). Mexico. Editorial McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES.

https://www.academia.edu/39839677/Analisis_y_Dise%C3%B1o_de_Experimentos_Gutierrez_y_De_La_Vara

Honaker RQ, Wang D, Ho K. *Application of the Falcon Concentrator for fine coal cleaning Minerals Engineering*.

[https://doi.org/10.1016/0892-6875\(96\)00108-2](https://doi.org/10.1016/0892-6875(96)00108-2)

Huarecallo, A. (2019), “*optimización del proceso de recuperación de oro con un concentrador centrífugo para la pequeña minería aurífera*”. UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

Suzan S. Ibrahim (2014) *Separation of Pyritic Sulfur from Egyptian Coal using Falcon Concentrator. Particulate Science and Technology: An International Journal*.

Obtenido

de:

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02726351.2014.933458#.U37f15Mpp>



<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3581>

Lum, A. (2011). *Gravity Recoverable Gold (GRG) Test Version 2.0*. Met-Solve Laboratories Inc.

Llampi, S. (2013). “*Estudio de pre factibilidad para la instalación de una planta gravimétrica de concentración de oro aluvial en Tingo Maria*”. Universidad Nacional del Altiplano Puno

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2722>

López, A. (1999). *Concentración gravimétrica centrífuga de oro y plata. Su implementación en el circuito de molienda de minera el pilon*. XXIII Convención AIMMGM, Acapulco, Gro.

https://www.academia.edu/11493632/CONCENTRACION_GRAVIMETRICA_CENTRIFUGA_DE_ORO_Y_PLATA_SU_IMPLEMENTACION_EN_EL_CIRCUITO_DE_MOLIENDA_DE_MINERA_EL_PILON

Lobe, C. (2018). *Concentración de magnetita y oro libre, en los suelos aluviales de inguro (bellavista, jaén, cajamarca) por el método gravimétrico, como una alternativa ambiental*. Universidad Nacional De Cajamarca Escuela De Posgrado

<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2445>

Manuel, E. (2015). *Recuperación gravimétrica de Au en el proceso de flotación de sulfuros masivos*. Instituto Politécnico Nacional.

<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/18247>



Misari, F. (1993). *Metalurgia del oro*. Lima: Centro de Estudios y Promoción en Ciencias de la Tierra.

Pacheco, J. (2018). “Optimización en la recuperación por diseño experimental placket burman en el proceso de extracción de oro por gravimetría y flotación del mineral de untuca – minera coripuno, efectos de la molienda-sobremolienda y liberación de oro”, Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9833>

Palomino, E. Ramos, R. (2008). *Evaluación en la recuperación del oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo minera koricolque*. Universidad Nacional Mayor De San Marcos

<https://hdl.handle.net/20.500.12672/2118>

Pavéz, O. (2008). *Concentradores centrífugos*. Apuntes concentración de minerales II, Dpto. de Ingeniería Metalúrgica Universidad de Atacama, Atacama

https://www.academia.edu/8000760/UNIVERSIDAD_DE_ATACAMA_FACULTAD_DE_INGENIERIA_DEPARTAMENTO_DE_METALURGIA_APUNTES_CONCENTRACION_DE_MINERALES_II

Ros, A. (2017). *Recopilación sobre la Metalurgia del Oro*.

https://issuu.com/antonioros/docs/metalurgia_del_oro_au

Santos, E. Medina, L. (2017). *Influencia de la presión de agua y el porcentaje de sólidos en la recuperación de oro mediante concentración gravimétrica*



centrífuga para un relave tipo óxido procedente de la Provincia de Sánchez Carrión. Universidad Nacional de Trujillo.

<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9398>

Sepro Mineral Systems Corp. (s.f.) *Concentradores Falcon (Sb) Semi Lote.*
www.seprosystems.com.

Taggart, A. (1985). *Preparación Mecánica de Minerales*, (3ª ed.). México. Editorial Reverte.

Urday, J. (2015). *Influencia de la fuerza de rotación gravimétrica del mineral con alta concentración de alabandita de la u.p.uchuzchacua.* Universidad Nacional de San Agustín.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2609>

Trujillo, L, Trujillo, D, (2020). *Optimización del proceso gravimétrico del concentrador falcon para la recuperación de estaño fino a partir de relaves en la mina san Rafael.* Universidad Nacional del Altiplano Puno

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14863>

Vargas, E. (2017). “*Evaluación de la granulometría y flotación en la CIA Cori-Puno*”
Universidad Nacional de Asan Agustín – Arequipa

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2561>

Vargas J. (1990) “*Metalurgia del oro y la plata*”, Edit. San Marcos, Lima

Valderrama, L., Santander, M., Ossandon, J., Olgún, D. (2012). *Recuperación de oro grueso en concentrador centrífugo knelson.* Universidad de Atacama.



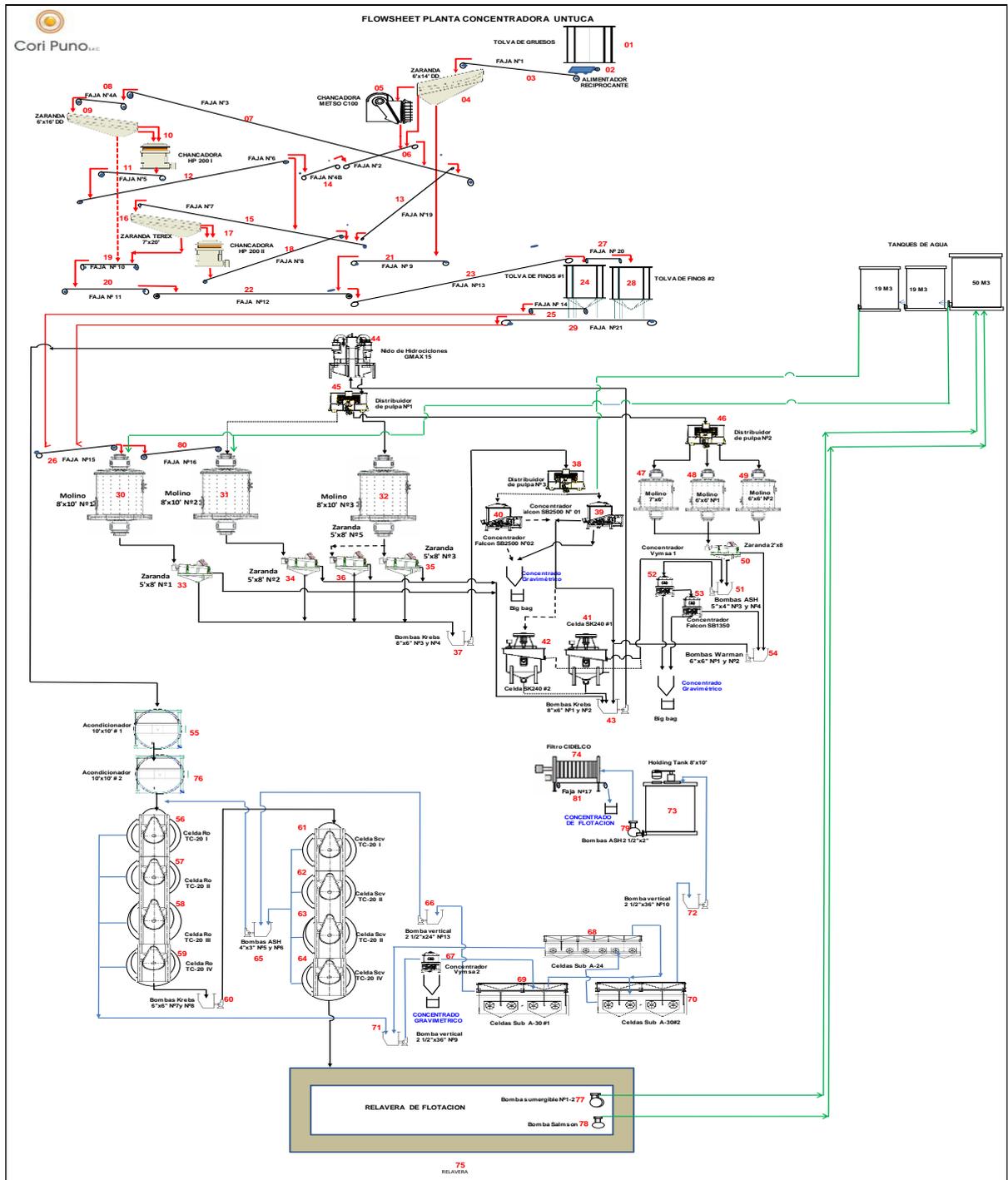
<http://www.revistaingenieria.uda.cl/Publicaciones/280005.pdf>

Zurita, I. (2013) “Manual de operación de los concentradores gravimétricos centrífugos icon orientados a la pequeña y mediana minería”. Futura Technologies SAC
Lima.

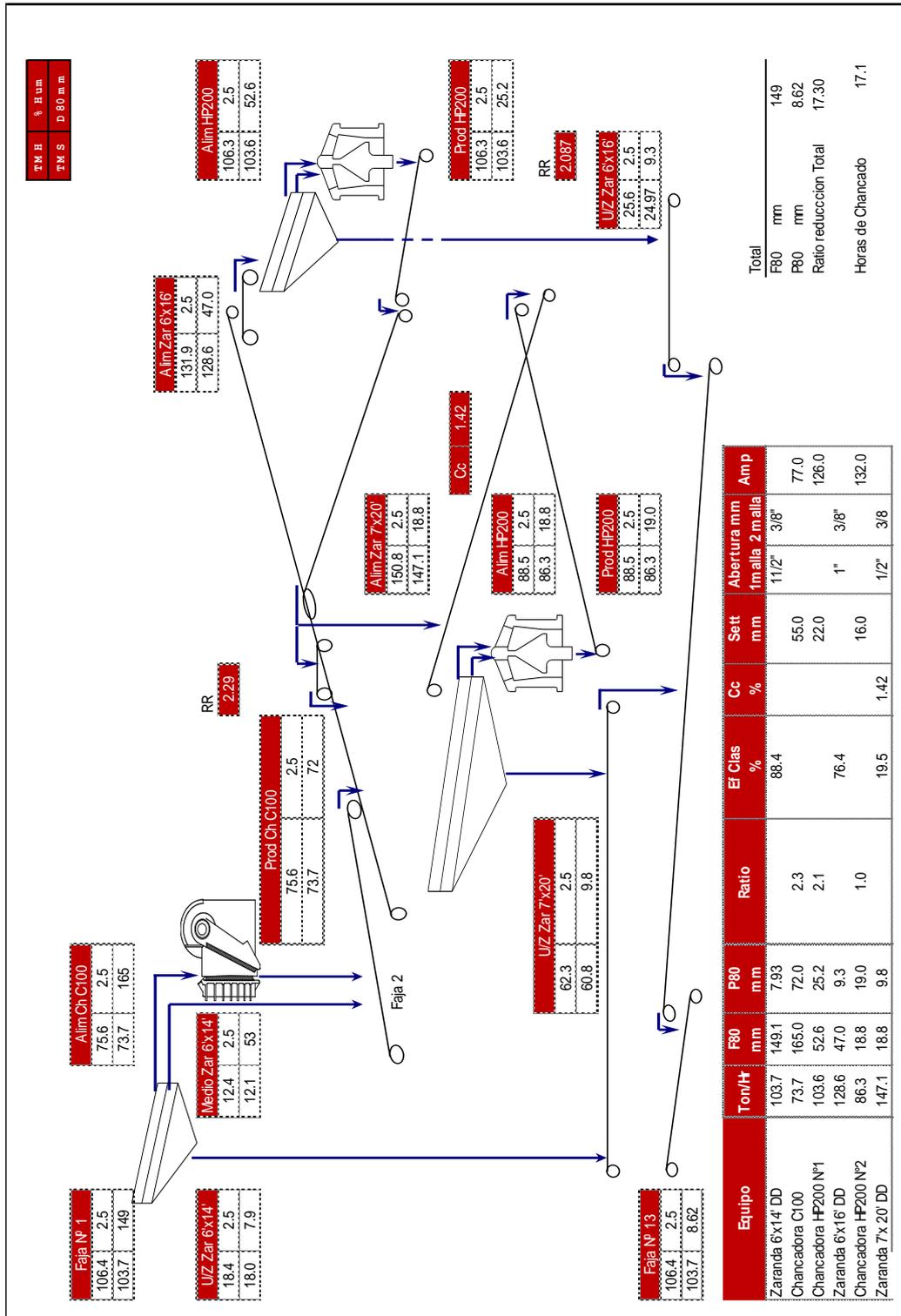
<https://es.scribd.com/document/421917380/Manual-de-Gravimetria-operacion-Icon-futura-Technologies>

ANEXOS

Anexo 1. Flowsheet de la planta concentradora Cori Puno SAC.



Anexo 2. Balance de masa del circuito chancado





Anexo 5: Reporte de leyes del circuito planta concentradora (Experimento N° 1)



Cori Puno S.A.C.

REPORTE DE RESULTADOS DE CIRCUITO DE PLANTA-CORI-PUNO SAC

CLIENTE: PLANTA CONCENTRADORA
TIPO DE MUESTRAS: MINERAL, CONCENTRADOS Y RELAVE
PROCEDENCIA: Circuito de Planta Concentradora
ESTADO DE LAS MUESTRAS: Se reciben en bolsas de Polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN: 4/03/2018
FECHA DE REPORTE: 5/03/2018
HORA DE REPORTE: 11:00:00

TIPO DE MUESTRA	1 TURNO		2 TURNO	
	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)
CABEZA GENERAL FAJA Nº 15	2.79	2.15	2.85	2.10
CABEZA DE FLOTACION	1.75	-	1.84	-
CONC. FLOTACION	77.86	11.86	80.96	11.17
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 1	1108.47	18.34	1248.32	18.51
CONC.GRAVIMETRICO FALCON 2500	680.80	18.12	728.21	17.87
CONC.GRAVIMETRICO. FALCON SB 1350	734.08	17.85	709.18	17.36
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 2	939.72	19.43	591.49	19.04
RELAVE GENERAL	0.63	-	0.69	-

METODO DE ENSAYO:

ANALITO	METODO	DESCRIPCION
Au	CP-05-LQ	DETERMINACIÓN DE ORO EN MINERALES Y CONCENTRADOS POR ENSAYOS AL FUEGO- GRAVIMETRIA
H ₂ O	CP-11-LQ	DETERMINACION DE HUMEDAD EN MINERALES POR GRAVIMETRIA

1 TURNO	2 TURNO
07:00PM-7:00AM	7:00AM-07:00PM

CC. SUPERINTENDENCIA GENERAL
ARCHIVO

Ing. A. Daniel Plasencia Becerra
JEFE DE LABORATORIO QUIMICO



Anexo 6: Reporte de leyes del circuito planta concentradora (Experimento N° 2)



Cori Puno S.A.C.

REPORTE DE RESULTADOS DE CIRCUITO DE PLANTA-CORI-PUNO SAC

CLIENTE: PLANTA CONCENTRADORA
TIPO DE MUESTRAS: MINERAL, CONCENTRADOS Y RELAVE
PROCEDENCIA: Circuito de Planta Concentradora
ESTADO DE LAS MUESTRAS: Se reciben en bolsas de Polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN: 7/03/2018
FECHA DE REPORTE: 8/03/2018
HORA DE REPORTE: 11:00:00

TIPO DE MUESTRA	1 TURNO		2 TURNO	
	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)
CABEZA GENERAL FAJA Nº 15	2.82	1.91	2.64	2.16
CABEZA DE FLOTACION	1.79	-	1.63	-
CONC. FLOTACION	79.73	12.85	72.07	12.63
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 1	1154.25	18.44	1197.27	19.37
CONC.GRAVIMETRICO FALCON 2500	635.67	17.46	609.85	17.50
CONC.GRAVIMETRICO FALCON SB 1350	700.49	17.01	588.50	16.18
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 2	308.73	18.70	547.24	18.52
RELAVE GENERAL	0.67	-	0.65	-

METODO DE ENSAYO:

ANALITO	METODO	DESCRIPCION
Au	CP-05-LQ	DETERMINACIÓN DE ORO EN MINERALES Y CONCENTRADOS POR ENSAYOS AL FUEGO- GRAVIMETRIA
H2O	CP-11-LQ	DETERMINACION DE HUMEDAD EN MINERALES POR GRAVIMETRIA

1 TURNO	2 TURNO
07:00PM-7:00AM	7:00AM-07:00PM

CC. SUPERINTENDENCIA GENERAL
ARCHIVO

Ing. A. Daniel Plasencia Becerra
JEFE DE LABORATORIO QUIMICO



Anexo 7: Reporte de leyes del circuito planta concentradora (Experimento N° 3)



Cori Puno_{SAC}

REPORTE DE RESULTADOS DE CIRCUITO DE PLANTA-CORI-PUNO SAC

CLIENTE: PLANTA CONCENTRADORA
TIPO DE MUESTRAS: MINERAL, CONCENTRADOS Y RELAVE
PROCENDENCIA: Circuito de Planta Concentradora
ESTADO DE LAS MUESTRAS: Se reciben en bolsas de Polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN: 10/03/2018
FECHA DE REPORTE: 11/03/2018
HORA DE REPORTE: 11:00:00

TIPO DE MUESTRA	1 TURNO		2 TURNO	
	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)
CABEZA GENERAL FAJA Nº 15	2.29	2.12	2.54	2.08
CABEZA DE FLOTACION	1.39	-	1.52	-
CONC. FLOTACION	72.29	10.34	79.08	11.62
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 1	1366.13	18.41	1338.06	19.98
CONC.GRAVIMETRICO FALCON 2500	474.06	16.87	529.66	17.80
CONC.GRAVIMETRICO FALCON SB 1350	635.92	16.46	582.65	16.90
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 2	274.40	18.25	441.10	19.00
RELAVE GENERAL	0.56	-	0.59	-

METODO DE ENSAYO:

ANALITO	METODO	DESCRIPCION
Au	CP-05-LQ	DETERMINACIÓN DE ORO EN MINERALES Y CONCENTRADOS POR ENSAYOS AL FUEGO - GRAVIMETRIA
H₂O	CP-11-LQ	DETERMINACION DE HUMEDAD EN MINERALES POR GRAVIMETRIA

1 TURNO	2 TURNO
07:00PM-7:00AM	7:00AM-07:00PM

CC. SUPERINTENDENCIA GENERAL
ARCHIVO

Ing. A. Daniel Plasencia Becerra
JEFE DE LABORATORIO QUIMICO



Anexo 8: Reporte de leyes del circuito planta concentradora (Experimento N° 4)



REPORTE DE RESULTADOS DE CIRCUITO DE PLANTA-CORI-PUNO SAC

CLIENTE: PLANTA CONCENTRADORA
TIPO DE MUESTRAS: MINERAL, CONCENTRADOS Y RELAVE
PROCEDENCIA: Circuito de Planta Concentradora
ESTADO DE LAS MUESTRAS: Se reciben en bolsas de Polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN: 13/03/2018
FECHA DE REPORTE: 14/03/2018
HORA DE REPORTE: 11:00:00

TIPO DE MUESTRA	1 TURNO		2 TURNO	
	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)
CABEZA GENERAL FAJA Nº 15	2.68	2.84	2.61	2.66
CABEZA DE FLOTACION	1.62	-	1.51	-
CONC. FLOTACION	74.73	9.61	77.12	9.20
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 1	1032.17	19.73	1128.19	19.40
CONC.GRAVIMETRICO FALCON 2500	529.56	19.64	492.33	19.27
CONC.GRAVIMETRICO FALCON SB 1350	592.22	18.50	516.18	16.74
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 2	275.34	19.20	243.90	17.17
RELAVE GENERAL	0.59	-	0.51	-

METODO DE ENSAYO:

ANALITO	METODO	DESCRIPCION
Au	CP-05-LQ	DETERMINACIÓN DE ORO EN MINERALES Y CONCENTRADOS POR ENSAYOS AL FUEGO- GRAVIMETRIA
H₂O	CP-11-LQ	DETERMINACION DE HUMEDAD EN MINERALES POR GRAVIMETRIA

1 TURNO	2 TURNO
07:00PM-7:00AM	7:00AM-07:00PM

CC. SUPERINTENDENCIA GENERAL
ARCHIVO

Ing. A. Daniel Plasencia Becerra
JEFE DE LABORATORIO QUIMICO



Anexo 9: Reporte de leyes del circuito planta concentradora (Experimento N° 5)

TIPO DE MUESTRA	1 TURNO		2 TURNO	
	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)
CABEZA GENERAL FAJA N° 15	2.89	2.07	2.84	2.07
CABEZA DE FLOTACION	1.72	-	1.66	-
CONC. FLOTACION	95.14	10.28	75.54	8.76
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 1	1079.25	19.83	1051.76	18.12
CONC.GRAVIMETRICO FALCON 2500	733.04	18.33	680.48	17.98
CONC.GRAVIMETRICO FALCON SB 1350	900.12	17.10	690.75	17.37
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 2	774.65	20.14	471.05	18.65
RELAVE GENERAL	0.64	-	0.61	-

METODO DE ENSAYO:

ANALITO	METODO	DESCRIPCION
Au	CP-05-LQ	DETERMINACIÓN DE ORO EN MINERALES Y CONCENTRADOS POR ENSAYOS AL FUEGO- GRAVIMETRIA
H2O	CP-11-LQ	DETERMINACION DE HUMEDAD EN MINERALES POR GRAVIMETRIA

1 TURNO	2 TURNO
07:00PM-7:00AM	7:00AM-07:00PM

CC. SUPERINTENDENCIA GENERAL
ARCHIVO

Ing. A. Daniel Plasencia Becerra
JEFE DE LABORATORIO QUIMICO



Anexo 10: Reporte de leyes del circuito planta concentradora (Experimento N° 6)



Cori Puno S.A.C

REPORTE DE RESULTADOS DE CIRCUITO DE PLANTA-CORI-PUNO SAC

CLIENTE: PLANTA CONCENTRADORA
TIPO DE MUESTRAS: MINERAL, CONCENTRADOS Y RELAVE
PROCEDENCIA: Circuito de Planta Concentradora
ESTADO DE LAS MUESTRAS: Se reciben en bolsas de Polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN: 19/03/2018
FECHA DE REPORTE: 20/03/2018
HORA DE REPORTE: 11:00:00

TIPO DE MUESTRA	1 TURNO		2 TURNO	
	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)
CABEZA GENERAL FAJA Nº 15	2.70	2.14	2.61	2.36
CABEZA DE FLOTACION	1.56	-	1.58	-
CONC. FLOTACION	90.40	11.61	76.04	12.28
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 1	1120.22	18.51	1268.67	19.11
CONC.GRAVIMETRICO FALCON 2500	763.65	17.82	649.75	18.03
CONC.GRAVIMETRICO FALCON SB 1350	500.76	16.94	615.58	18.18
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 2	312.01	17.79	619.22	20.17
RELAVE GENERAL	0.63	-	0.60	-

METODO DE ENSAYO:

ANALITO	METODO	DESCRIPCION
Au	CP-05-LQ	DETERMINACIÓN DE ORO EN MINERALES Y CONCENTRADOS POR ENSAYOS AL FUEGO- GRAVIMETRIA
H₂O	CP-11-LQ	DETERMINACION DE HUMEDAD EN MINERALES POR GRAVIMETRIA

1 TURNO	2 TURNO
07:00PM-7:00AM	7:00AM-07:00PM

CC. SUPERINTENDENCIA GENERAL
ARCHIVO

Ing. A. Daniel Plasencia Becerra
JEFE DE LABORATORIO QUIMICO



Anexo 11: Reporte de leyes del circuito planta concentradora (Experimento N° 7)


Cori Puno_{S.A.C.}

REPORTE DE RESULTADOS DE CIRCUITO DE PLANTA-CORI-PUNO SAC

CLIENTE: PLANTA CONCENTRADORA
TIPO DE MUESTRAS: MINERAL, CONCENTRADOS Y RELAVE
PROCEDENCIA: Circuito de Planta Concentradora
ESTADO DE LAS MUESTRAS: Se reciben en bolsas de Polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN: 22/03/2018
FECHA DE REPORTE: 23/03/2018
HORA DE REPORTE: 11:00:00

TIPO DE MUESTRA	1 TURNO		2 TURNO	
	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)
CABEZA GENERAL FAJA Nº 15	2.68	2.64	2.77	2.10
CABEZA DE FLOTACION	1.70	-	1.59	-
CONC. FLOTACION	74.02	8.71	79.07	7.53
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 1	970.90	19.60	1005.60	19.28
CONC.GRAVIMETRICO FALCON 2500	477.16	18.17	394.09	18.89
CONC.GRAVIMETRICO FALCON SB 1350	410.83	18.14	409.17	18.55
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 2	226.64	18.05	275.91	17.49
RELAVE GENERAL	0.60	-	0.49	-

METODO DE ENSAYO:

ANALITO	METODO	DESCRIPCION
Au	CP-05-LQ	DETERMINACIÓN DE ORO EN MINERALES Y CONCENTRADOS POR ENSAYOS AL FUEGO- GRAVIMETRIA
H2O	CP-11-LQ	DETERMINACION DE HUMEDAD EN MINERALES POR GRAVIMETRIA

1 TURNO	2 TURNO
07:00PM-7:00AM	7:00AM-07:00PM

CC. SUPERINTENDENCIA GENERAL
ARCHIVO

Ing. A. Daniel Plasencia Becerra
JEFE DE LABORATORIO QUIMICO



Anexo 12: Reporte de leyes del circuito planta concentradora (Experimento N° 8)



Cori Puno S.A.C.

REPORTE DE RESULTADOS DE CIRCUITO DE PLANTA-CORI-PUNO SAC

CLIENTE: PLANTA CONCENTRADORA
TIPO DE MUESTRAS: MINERAL, CONCENTRADOS Y RELAVE
PROCEDENCIA: Circuito de Planta Concentradora
ESTADO DE LAS MUESTRAS: Se reciben en bolsas de Polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN: 25/03/2018
FECHA DE REPORTE: 26/03/2018
HORA DE REPORTE: 11:00:00

TIPO DE MUESTRA	1 TURNO		2 TURNO	
	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)	Ley Au (g/t)	HUMEDAD (%)
CABEZA GENERAL FAJA N° 15	2.35	2.06	2.48	2.49
CABEZA DE FLOTACION	1.41	-	1.42	-
CONC. FLOTACION	88.09	6.63	95.67	7.77
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 1	1007.78	18.75	1133.52	19.20
CONC.GRAVIMETRICO FALCON 2500	577.78	17.85	548.49	17.81
CONC.GRAVIMETRICO. FALCON SB 1350	527.62	16.79	567.86	17.51
CONC.GRAVIMETRICO VYMSA 2	366.03	16.57	472.77	18.94
RELAVE GENERAL	0.52	-	0.54	-

METODO DE ENSAYO:

ANALITO	METODO	DESCRIPCION
Au	CP-05-LQ	DETERMINACIÓN DE ORO EN MINERALES Y CONCENTRADOS POR ENSAYOS AL FUEGO- GRAVIMETRIA
H₂O	CP-11-LQ	DETERMINACION DE HUMEDAD EN MINERALES POR GRAVIMETRIA

1 TURNO	2 TURNO
07:00PM-7:00AM	7:00AM-07:00PM

CC. SUPERINTENDENCIA GENERAL
ARCHIVO

Ing. A. Daniel Plasencia Becerra
JEFE DE LABORATORIO QUIMICO

Anexo 13: Sección Chancado



Anexo 14. Sección Molienda



Anexo 15. Sección Gravimetría



Anexo 16. Control de Válvulas automáticas de Concentrador Falcon 2500

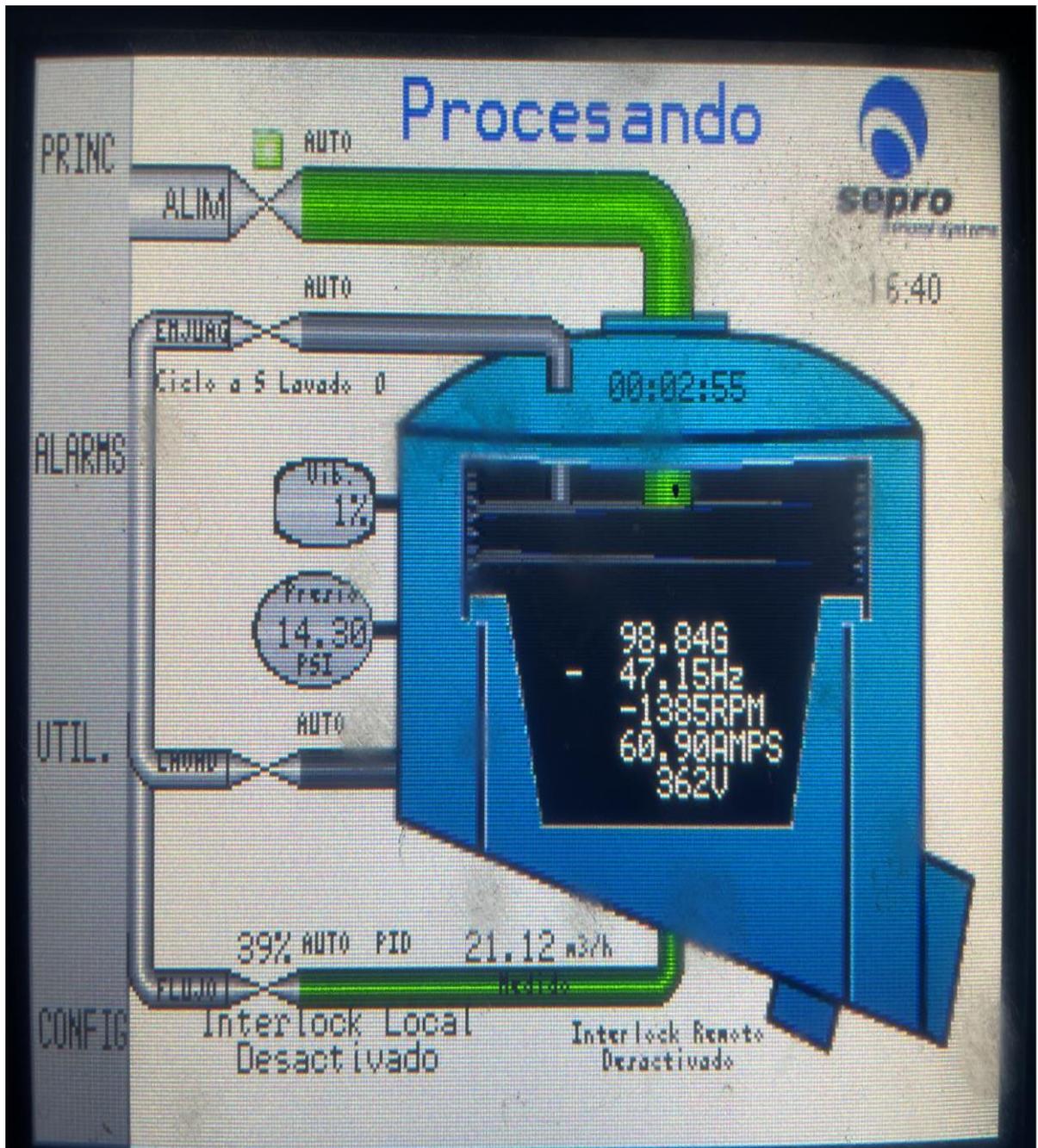




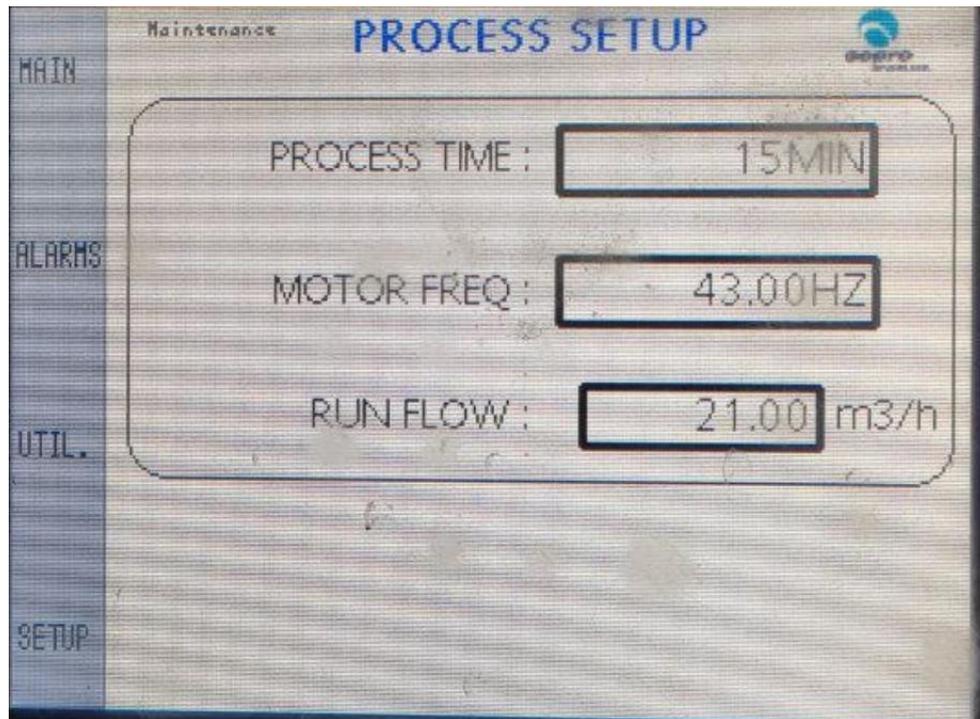
Anexo 17. Celdas de Flotación Scavenger



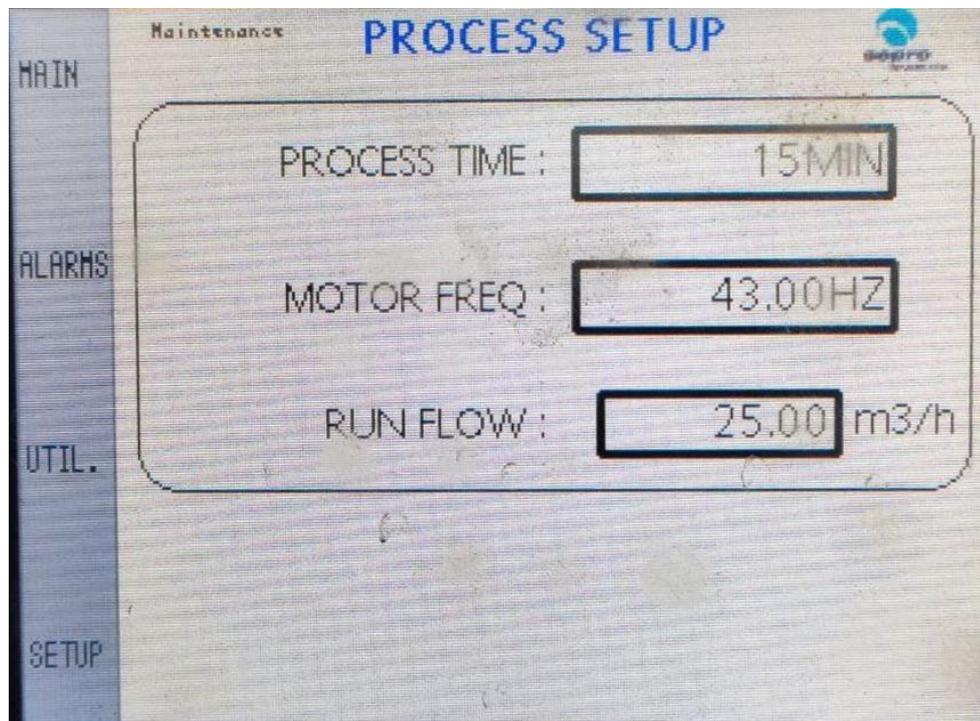
Anexo 18. Tablero control de concentrador Falcon 2500



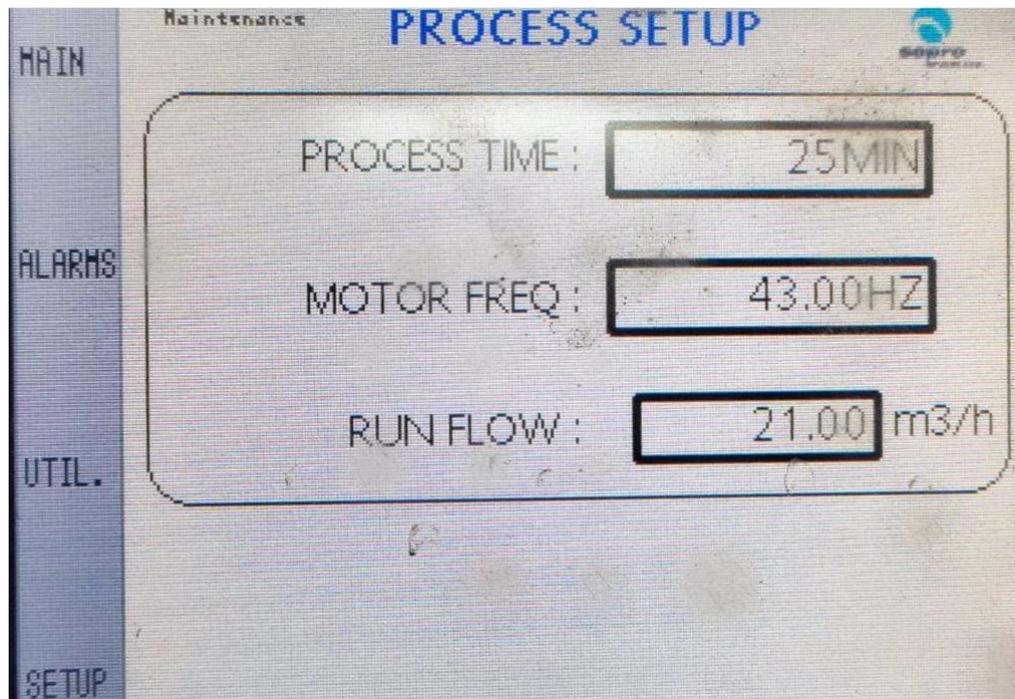
Anexo 19. Parametros del experimento 1, en el tablero electronico de Falcon SB 2500



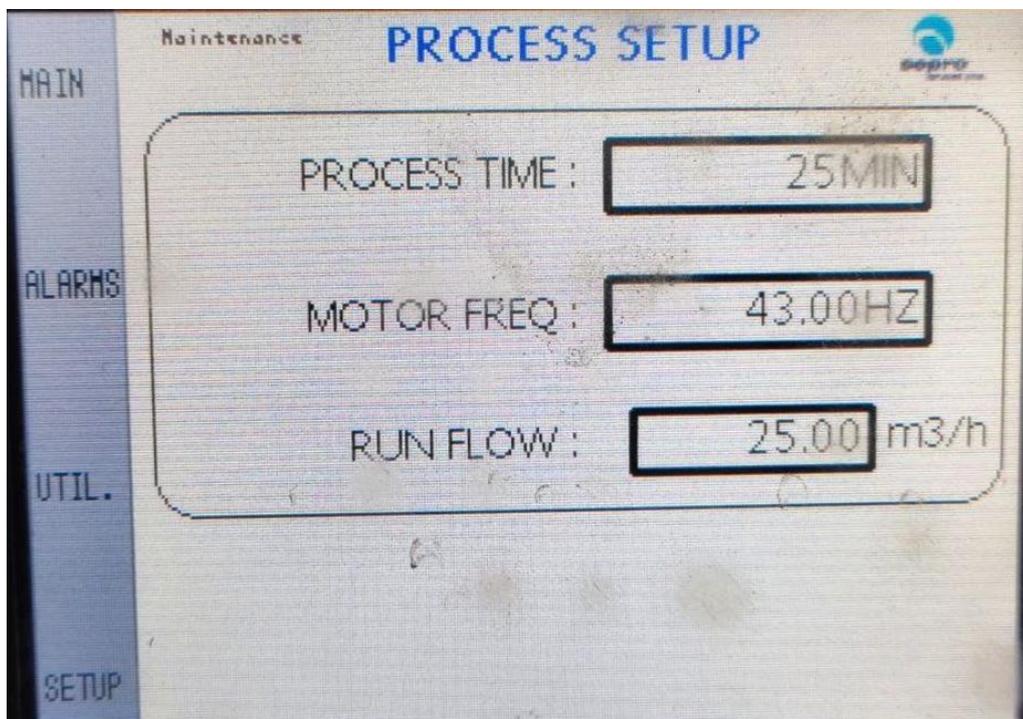
Anexo 20. Parametros del experimento 2, en el tablero electronico de Falcon SB 2500



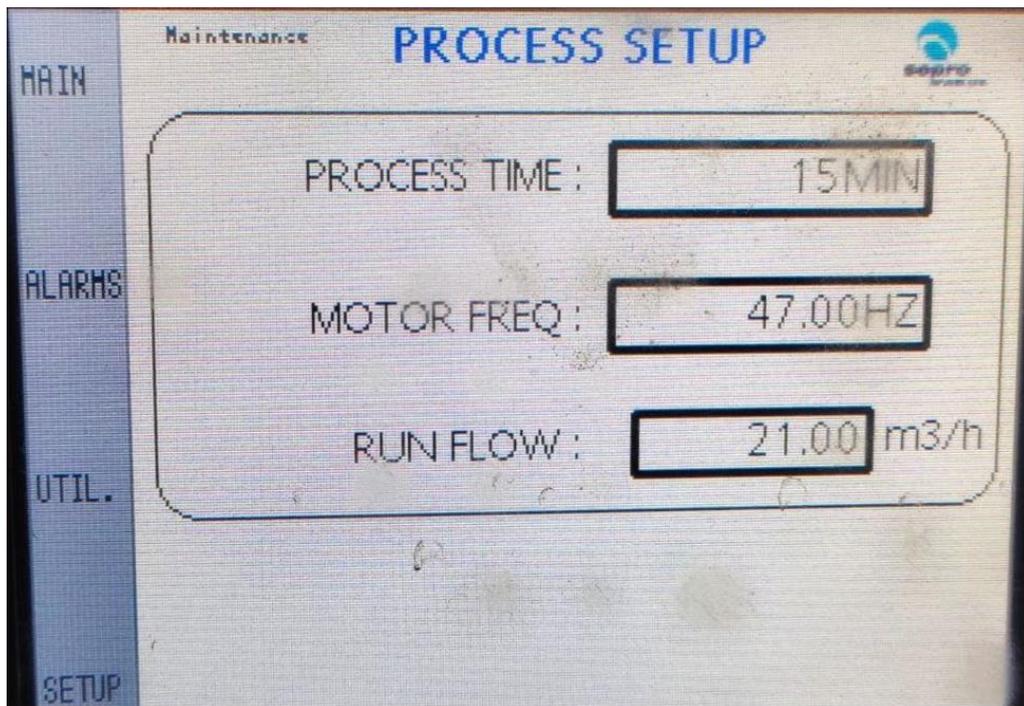
Anexo 21. Parametros del experimento 3, en el tablero electronico de Falcon SB 2500



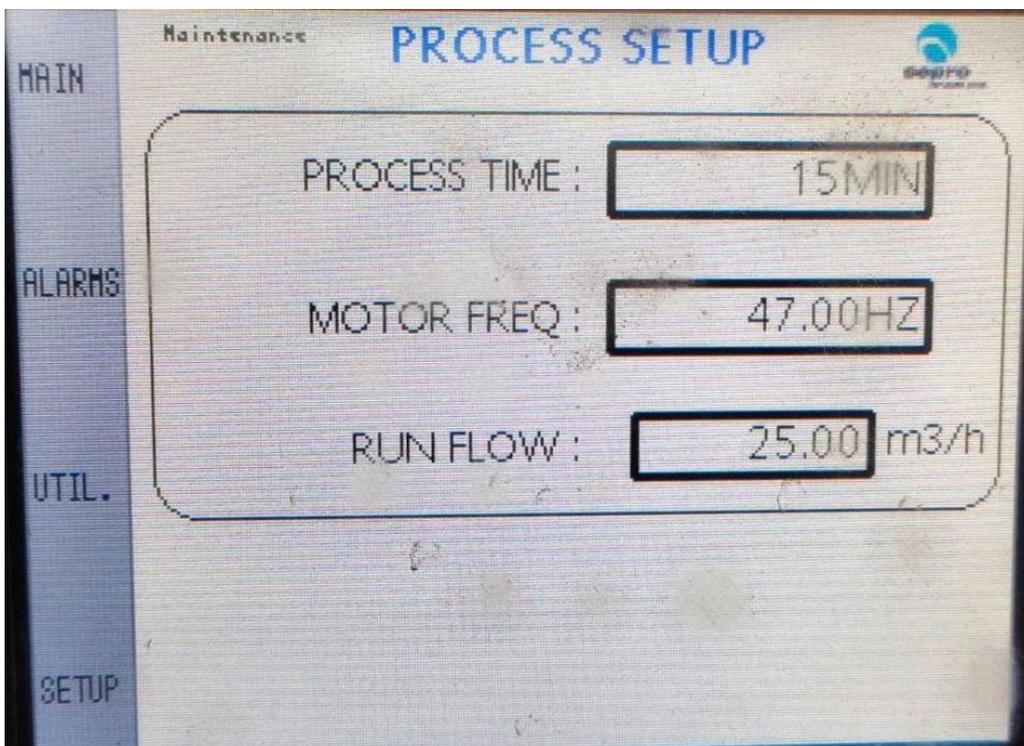
Anexo 22. Parametros del experimento 4, en el tablero electronico de Falcon SB 2500



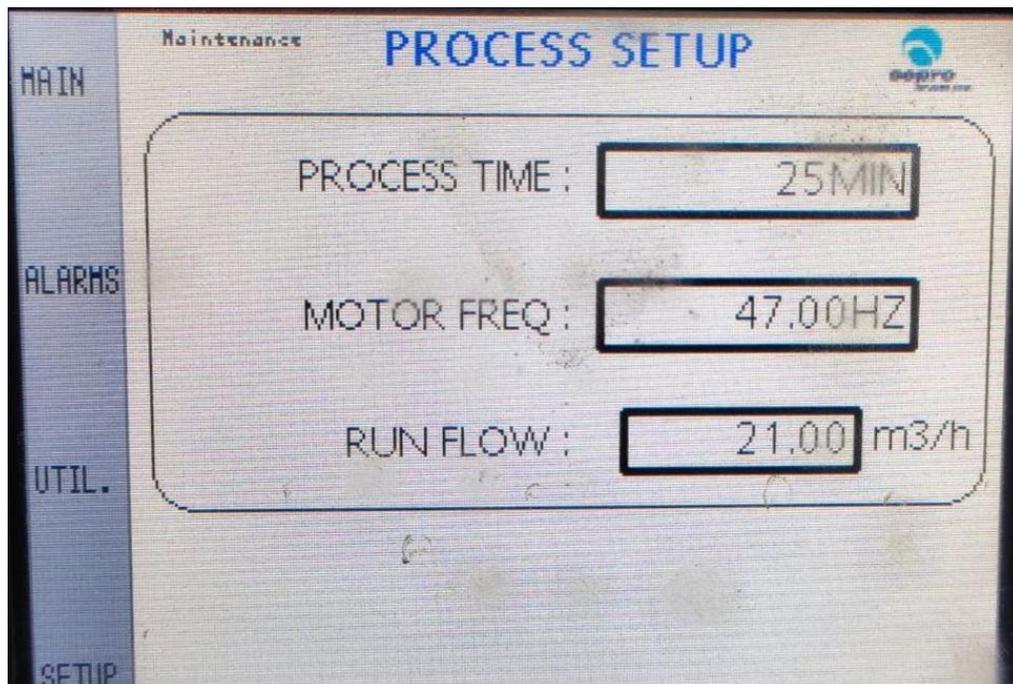
Anexo 23. Parametros del experimento 5, en el tablero electronico de Falcon SB 2500



Anexo 24. Parametros del experimento 6, en el tablero electronico de Falcon SB 2500



Anexo 25. Parametros del experimento 7, en el tablero electronico de Falcon SB 2500



Anexo 26. Parametros del experimento 8, en el tablero electronico de Falcon SB 2500

