

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



TESIS

**RECUPERACION DE ORO POR EL METODO DE FLOTACION POR ESPUMA
DEL YACIMIENTO MINERO LLAUCHI VISCACHANI DEL DISTRITO DE
CARHUAYO – QUISPICANCHI – CUSCO (INVESTIGACION TECNOLOGICA)**

PRESENTADO POR:

Br. WILLIAM FLORES LATORRE

Br. ISAAC HUILLCA PERALTA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
METALURGICO**

ASESOR:

Ing. PORFIRIO CARRASCO TAPIA

CO ASESOR:

Ing. Dr. PEDRO CAMERO HERMOZA

FINANCIADO POR RECURSOS CANON UNSAAC

CUSCO – PERU

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: Recuperación de oro por el método de flotación por espuma del yacimiento mineral Hauchi Viscachani del distrito de Corhuayo - Quispacancha - Cusco (Investigación Tecnológica)

presentado por: William Florel Latorre con DNI Nro.: 23982667 presentado por: Isaac Huilca Peralta con DNI Nro.: 23964802 para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Metalúrgico

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 14 de NOVIEMBRE de 2024



Firma

Post firma Juliana Carrasco Tapia

Nro. de DNI 24002881

ORCID del Asesor 0000-0002-4360-9866

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:403445433

NOMBRE DEL TRABAJO

RECUPERACIÓN DE ORO POR FLOTACION POR ESPUMA DEL YACIMIENTO MINERO LLAUCHI-VISCACHANI.PDF

AUTOR

William Flores Latorre e Isaac

RECUENTO DE PALABRAS

38091 Words

RECUENTO DE CARACTERES

204518 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

198 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.0MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 8, 2024 5:31 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 8, 2024 5:33 PM GMT-5**● 10% de similitud general**

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

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 27 palabras)

PRESENTACIÓN

Señor:

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR

Con el fin de optar al título profesional de INGENIERO METALÚRGICO, ponemos a vuestra consideración la TESIS, intitulada:

**“RECUPERACION DE ORO POR EL METODO DE FLOTACION POR ESPUMA
DEL YACIMIENTO MINERO LLAUCHI VISCACHANI DEL DISTRITO DE
CARHUAYO – QUISPICANCHI – CUSCO”
(INVESTIGACION TECNOLOGICA)**

Esperamos que la presente tesis sea base para impulsar la minería responsable en esta localidad.

Flores Latorre, William
Huillca Peralta, Isaac

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental recuperar oro por el método de flotación por espumas. El método de investigación utilizada usa el enfoque cuantitativo experimental cuyo diseño es descriptivo y explicativo.

Para la evaluación del presente estudio se recolecto aproximadamente 100 kg de muestras de mineral mediante la técnica de canaletas transversales al eje de la veta para luego obtener en el laboratorio de preparación mecánica de minerales 25 muestras representativas de 1 kg de mineral a una malla -10 para realizar todas las pruebas posibles. La ley de cabeza de nuestro mineral es de 7,54 g/TM de Oro según los resultados enviados por laboratorios analíticos del sur.

Según las pruebas experimentales realizadas y sus resultados reportadas por laboratorios analíticos del sur. Indica que la prueba experimental Nro 4 nos da un porcentaje de recuperación de 66.85% de oro. Con tres parámetros importantes para este proceso de flotación como el pH en 7.5, la granulometría en 72.2% (malla -100) y densidad de pulpa en 1250 g/L.

En las instalaciones del laboratorio metalúrgico de la UNSAAC se realizó todas pruebas metalúrgicas experimentales de flotación por espuma del mencionado mineral llegando a determinar las variables que tienen mayor influencia como: pH, granulometría y la densidad de pulpa, variables que han sido determinantes para conseguir óptimos resultados y proseguir con el diseño factorial 2³.

El modelo matemático de regresión natural obtenido para la recuperación del oro es:

$$\hat{y} = 25302 - 3702pH - 390.1Granulometria - 18.381Densidad + 57.46pH \\ * Granulometria + 2.692pH * Densidad + 0.2840Granulometria \\ * Densidad - 0.04184pH * Granulometria * Densidad$$

Palabras clave: flotación, oro, pH, granulometría, pulpa.

ABSTRACT

The fundamental objective of this work is to recover gold by the foam flotation method. The research method used uses the experimental quantitative approach whose design is descriptive and explanatory.

For the evaluation of this study approximately 100 kg. of mineral samples were collected using the channel technique transversal to the beta axis and then obtained in the mechanical mineral preparation laboratory 25 representative samples of one kg. of mineral at a -10 mesh to carry out all possible tests. The head grade of our ore is 7.54 gr/TM of gold according to the results sent by laboratorios analiticos del sur.

According to the experimental test carried out and their result reported by laboratorios analiticos del sur indicates that experimental test number 4 give us a recovery percentage of 66.85% of gold. With 3 important parameters for this flotation process such as pH at 7.5, granulometry at 72.2% (mesh -100), pulp density at 1250 gr/L,

In the metallurgical laboratory facilities of the UNSAAC all the experimental metallurgical foam flotation test of the aforementioned mineral was carried out, determining the variables that have the greatest influence such as: pH, granulometry and variable pulp density that have been decisive in achieving optimal results and continuing with the 23 factorial design.

the model regression obtained to predict the recovery of gold is:

$$\hat{y} = 25302 - 3702pH - 390.1Granulometria - 18.381Densidad + 57.46pH \\ * Granulometria + 2.692pH * Densidad + 0.2840Granulometria \\ * Densidad - 0.04184pH * Granulometria * Densidad$$

Keywords: flotation, gold, pH, granulometry, pulp.

INTRODUCCION

En la concesión minera “Llauchi viscachani”, ubicada en el distrito de Carhuayo, provincia de Quispicanchi y departamento del cusco, se encuentran el yacimiento de minerales de oro.

La flotación es un proceso físico-químico de separación de minerales finamente molidos. Basados en las propiedades superficiales de los minerales (mojabilidad) que hace que un mineral o varios se queden en una fase o pasen a otra. Las propiedades pueden ser modificadas a voluntad o con ayuda de reactivos. El proceso de flotación se basa en las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los minerales. Se trata fundamentalmente de un fenómeno de comportamiento de sólidos frente al agua.

Inicialmente los pobladores e inversionistas interesados en la explotación del presente yacimiento y su posterior recuperación de oro fracasaron en sus intentos debido a sus experiencias empíricas donde solamente aplicaban la técnica de gravimetría y amalgamación donde recuperaban aproximadamente un 20% de oro, contribuyendo también de esta manera a la contaminación de ellos mismos y al medio ambiente. Es así que el presidente de la comunidad campesina Junuta nos contacta para investigar y solucionar profesionalmente con la ayuda de la Universidad Nacional San Antonio abad del cusco el problema de recuperación de oro de los yacimientos auríferos que se encuentran ubicados en su comunidad.

Es así que después de haber estudiado la mineralización de dicho yacimiento con la ayuda del ingeniero Elías Macrobio Espinoza Cárdenas del departamento académico de ingeniería geológica de la UNSAAC y luego de haber conocidos los resultados de los ensayos químicos determinados en laboratorios del sur, laboratorio químico privado y acreditado oficialmente llegamos a determinar el método más adecuado para el tratamiento de este mineral es por flotación por espumas.

DEDICATORIA I

El presente trabajo lo dedico con profundo agradecimiento y mucho amor a mi querida madre VIGILIA LATORRE DELGADO, quien en el transcurso de mi vida y formación profesional ha sido pieza fundamental para el logro de todos mis objetivos.

A mi querido tío FELICIANO T. LATORRE DELGADO y su esposa, mi tía REINA M. TACA AZA por sus constantes apoyos emocionales y sabios consejos para mi realización personal y culminación de mi carrera profesional.

A la memoria de mis abuelos ANGELICA y LUIS, a mi tía LELIA LATORRE DELGADO (mama LELIA), quienes en todo momento de su vida me dieron mucho amor y ejemplo de cómo debe ser un ser humano en la sociedad.

A todos los integrantes de mi familia, la familia LATORRE que me han brindando su apoyo en todo momento de mi vida, mi formación profesional y la culminación del presente trabajo.

Finalmente quiero agradecer a todos mis amigos, compañeros de estudio, docentes y personal administrativo que han pasado por nuestra carrera profesional que en todo momento me apoyaron en la realización del presente trabajo de tesis.

WILLIAM

DEDICATORIA II

A Dios, por darme vida y salud.

En memoria de mi papá NICANOR HUILLCA
AYMARA, por su ejemplo de trabajo y
dedicación.

A mi mamá, CARMEN PERALTA
SILQUIHUA

A mi esposa FLOR y mis hijos CH'ASKA,
JOSUE e ISABELA que son la razón de mi
existencia.

A mis hermanos, familiares y amigos
por su apoyo incondicional.

ISAAC.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios por permitirnos llegar hasta donde estamos actualmente, agradecemos a nuestra alma mater la Universidad Nacional de san Antonio Abad del Cusco y a la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica.

Agradecemos a nuestro asesor y amigo en todo momento Ing. Porfirio Carrasco Tapia, que gracias a su profesionalismo, experiencia, motivación y mucha paciencia se culminó satisfactoriamente el presente trabajo de investigación.

A todos nuestros docentes de la escuela profesional de Ing. metalúrgica que en todo el transcurso de nuestra formación profesional nos supieron transmitir sus conocimientos con entrega y mucho profesionalismo del cual estamos muy agradecidos en esta etapa de nuestras vidas.

Agradecemos finalmente a todos nuestros compañeros de estudios, amigos, familiares y toda la familia metalúrgica que han sido cómplices y artífices para continuar con nuestros estudios y formación profesional.

INDICE

PRESENTACIÓN	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
INTRODUCCION.....	IV
DEDICATORIA I	V
DEDICATORIA II	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
SIMBOLOGIA	XVII

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación Problemática	1
1.2. Formulación del Problema.....	2
1.2.1. Problema General	2
1.2.2. Problemas Específicos	2
1.3. Justificación	2
1.3.1. Conveniencia	2
1.3.2. Relevancia social	3
1.3.3. Relevancia económica	3
1.3.4. Relevancia ambiental.....	3
1.3.5. Relevancia Tecnológica.....	3
1.3.6. Valor teórico	4
1.3.7. Utilidad metodológica.....	4
1.4. Objetivos de la Investigación	4
1.4.1. Objetivo General.....	4

1.4.2. Objetivos Específicos	4
------------------------------------	---

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes internacionales	5
2.2. Antecedentes Nacionales	7
2.3. Bases teóricas	9
2.3.1. Introducción	9
2.3.2. El oro.....	10
2.4. Procesamiento de minerales	13
2.4.1. Definiciones Generales	13
2.4.2. Preparación del Mineral.....	16
2.4.3. Concentración (separación solido-solido)	16
2.4.4. Comercialización de concentrados	18
2.4.5. Flotación de minerales	18
2.4.5.1. Flotación por espumas.....	18
2.4.5.2. Mecanismo de flotación por espumas.	19
2.4.5.3. Elementos de la flotación	19
2.4.5.4. Termodinámica de la flotación.....	20
2.4.5.5. Cinética de la flotación.....	22
2.4.5.6. Funciones de las celdas de flotación	29
2.4.5.7. Variables operativas del proceso de flotación.....	29
2.4.5.8. Tipos de máquinas de flotación.....	32
2.4.5.9. Factores que intervienen en la flotación.....	34
2.4.5.10. Reactivos de flotación	36
2.4.5.11. Los alimentadores de reactivos	62
2.4.5.12. Equipos de instrumentación	62
2.4.5.13. Técnicas de operación de la flotación	62

2.4.5.14. Efectos de los reactivos	63
2.4.5.15. Análisis gravimétrico	64
2.4.5.16. Flotación de minerales de oro	65
2.4.5.17. Controles metalúrgicos en los circuitos de flotación	67
2.5. Definición de términos básicos.....	70

CAPITULO III

HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis	71
3.1.1. Hipótesis General.....	71
3.1.2. Hipótesis Específicas	71
3.2. Variables.....	71
3.2.1. Variables dependientes	71
3.2.2. Variables independientes	71
3.3. Indicadores.....	71
3.4. Operacionalización de variables.....	71
Tabla 5. Operacionalización de variables.....	71

CAPÍTULO IV

METODOLOGIA

4.1. Ámbito del estudio: localización política y geográfica	72
4.2. Diseño de Investigación	73
4.2.1. Tipo de investigación.....	73
4.2.2. Nivel de investigación	73
4.2.3. Método de investigación.....	74
4.3. Población de estudio: Muestra y técnicas de selección e instrumentos de recolección de datos.....	74
4.3.1. Población	74
4.3.2. Muestra	74

4.3.3. Validez y confiabilidad de instrumentos.....	74
4.3.4. Plan de análisis de datos	75

CAPÍTULO V

PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1. Introducción.....	76
5.2. Diagrama de flujo de las pruebas experimentales	77
5.3. Recolección de muestras	78
5.4. Preparación de muestras para las pruebas experimentales	78
5.5. Análisis químico de la muestra.....	79
5.6. Determinación de la gravedad específica o peso específico de la muestra	80
5.7. Análisis granulométrico del mineral de la descarga del molino.....	81
5.8. Determinación del grado de liberación cualitativo.....	83
5.9. Cálculo del tiempo óptimo de molienda en seco.....	84
5.10. Preparación de la pulpa para la alimentación a la celda de flotación.....	88
5.11. Preparación de reactivos.....	90
5.12. Dosificación de reactivos.....	91
5.13. Procedimiento de las 8 pruebas experimentales de flotación en laboratorio.....	93
5.14. Resultados de las 11 pruebas experimentales según laboratorio químico.....	107
5.15. Diseño factorial 2^k	108
5.16. Matriz final del diseño factorial 2^3	113

CAPITULO VI

ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS

6.1. Análisis de experimentos por diseños experimentales	114
6.2. Resultados de las pruebas metalúrgicas	114
6.2.1. Variables involucradas	114
6.2.2. Representación geométrica de las combinaciones	116
6.2.3. Diseño factorial aplicada al proceso de flotación de oro	117

6.3. Condiciones del análisis de datos	118
6.3.1. Modelo estadístico experimental.....	118
6.3.2 Hipótesis de interés	119
6.3.3 Adición de los puntos centrales.....	120
6.4. Análisis y cálculo de los contrastes	121
6.5. Análisis de los efectos estimados	123
6.5.1. Significancia de los efectos	123
6.5.2. Cálculo de los efectos.....	124
6.5.3. Grafica de efectos.....	125
6.5.4. Contribución de los efectos	128
6.6. Análisis y cálculo de los cuadrados medios	130
6.7. Análisis de varianza.....	133
6.7.1. Grados de libertad del diseño experimental	133
6.7.2. Cálculo de los cuadrados medios	134
6.7.3 Calculo de F de FISHER.....	135
6.7.4. Formulación de ANOVA	138
6.8 Diagrama de pareto.....	140
6.8.1. Diagrama de Pareto normal.....	140
6.8.2. Diagrama de Pareto estandarizado	140
6.9. Modelo matemático	142
6.9.1. Determinación de los coeficientes de regresión.....	143
6.9.2. Formulación del modelo de regresión.....	144
6.10 Cálculo del coeficiente de determinación y.....	146
6.11. Estudio de los residuos	147
6.12 Intervalos de confianza.....	147
6.13 Grafica de superficie.....	149
6.14. Optimización del diseño	150

CONCLUSIONES.....	152
RECOMENDACIONES	154
BIBLIOGRAFÍA	155
ANEXOS.....	158
A. MATRIZ DE CONSISTENCIA	158
B. INFORME DE ENSAYOS	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cinética de flotación	23
Figura 2. Recuperación de valioso VS. tiempo de flotación	25
Figura 3. Mapa Geográfico y Político de Carhuayo	73
Figura 4. Ecuación cinética de molienda	86
Figura 5. Cubo de combinación de los factores A, B y C	117
Figura 6. Caja negra del proceso de recuperación del oro por flotación con espuma	118
Figura 7. Representación geométrica de los efectos principales	126
Figura 8. Efectos de interacción de las variables independientes	127
Figura 9. Representación geométrica de los efectos principales y de interacciones del diseño 2^3	128
Figura 10. Valores de distribución de F de Fisher	137
Figura 11. Distribución F de Fisher para la recuperación de oro	139
Figura 12. Diagrama de Pareto normal para la recuperación del oro	140
Figura 13. Diagrama de Pareto estandarizado para la recuperación el oro	141
Figura 14. Gráfico de residuos de la recuperación del oro	147
Figura 15. Grafica de superficie para la recuperación de oro	150
Figura 16. Determinación de la optimización de la recuperación del oro	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de Ditiófosfatos	43
Tabla 2. Dosificación de los espumantes	63
Tabla 3. Dosificación de los colectores.....	64
Tabla 4. Dosificación de los modificadores	64
Tabla 5. Operacionalización de variables.....	71
Tabla 6. Análisis Químico para Determinar Ley de Cabeza	79
Tabla 7. Determinación de la Gravedad Especifica del Mineral.....	81
Tabla 8. Promedio Gravedad Especifica del Mineral.....	81
Tabla 9. Análisis Granulométrico de la Descarga del Molino (tiempo de molienda=10 min.).....	83
Tabla 10. Análisis de Grado de Liberación Cualitativo	84
Tabla 11. Tiempo Optimo de molienda en Seco (100 gr.).....	85
Tabla 12. Variables Para Determinar Ecuación de Cinética de Molienda	86
Tabla 13. Variables y Datos Para Determinar Tiempo Promedio de la Cinética de Molienda	87
Tabla 14. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 01	96
Tabla 15. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 02	97
Tabla 16. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 03	98
Tabla 17. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 04	99
Tabla 18. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 05	100
Tabla 19. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 06	101
Tabla 20. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 07	102
Tabla 21. Dato y Resultados de Prueba de Flotación N° 08.....	103
Tabla 22. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 09	104
Tabla 23. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 10	105
Tabla 24. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 11	106
Tabla 25. Resultado de las 11 Pruebas de Flotación Para Utilizar en el Diseño Factorial 2 ³	107
Tabla 26. Resultado de la Ley de Relave de la Pruebas de Flotación 1	107

Tabla 27. Variables del Proceso de Flotación para el Diseño Factorial 2^3	110
Tabla 28. Replicas Centrales para el Diseño Factorial 2^3	110
Tabla 29. Combinación Experimental del Diseño Factorial 2^n	111
Tabla 30. Planificación del Diseño Factorial 2^3	112
Tabla 31. Matriz Final del Diseño Factorial 2^3	113
Tabla 32. Resumen del diseño factorial completo	115
Tabla 33. Matriz de diseño en orden estándar.....	116
Tabla 34. Arreglo de signos para el diseño factorial 2^3	121
Tabla 35. Contribución porcentual de los efectos	129
Tabla 36. Total de grados de libertad del modelo factorial.....	134
Tabla 37. ANOVA para la flotación de minerales de oro	138
Tabla 38. Coeficientes de regresión codificados.....	143
Tabla 39. Optimización de la recuperación del oro.....	151

SIMBOLOGIA

Au: Oro

Pb: Plomo

Zn: Zinc

Ag: Plata

Cu: Cobre

DT-404: Ditioposfato 404

g/TM: gramos/Tonelada Métrica

mg/L: miligramos/Litro

CaO: Cal

Na₂CO₃: sosa calcinada

NaOH: sosa caustica

Ca (OH)₂: cal hidratada

H₂SO₄: ácido sulfúrico

HF: ACIDO FLUORHÍDRICO

NaCN: Cianuro de Sodio

NaHSO₃: Bisulfito de Sodio

ZnSO₄: Sulfato de zinc

FeSO₄: Sulfato de Hierro

C₆H₁₀O₅: Almidón

NaS: Sulfuro de Sodio

NaHS: sulfito de Sodio

BaS: Sulfuro de Bario

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación Problemática

En la Provincia de Quispicanchis, distrito de Carhuayo, se desarrolla una profunda actividad minera del Oro, que tiene como protagonistas a todos los mineros informales y pequeños empresarios mineros quienes están a cargo de las distintas operaciones metalúrgicas en toda esta zona minera que participan directamente en el procesamiento del mineral en forma empírica con limitada información teórica y práctica del proceso y su respectiva aplicación en los minerales.

Para el provecho de estos minerales de oro, se emplea mayormente el proceso de Gravimetría- Amalgamación a todos los minerales que tienen alto contenido en oro (7 – 10 g Au/TM) y en algunos lugares utilizan también el proceso de extracción del oro por cianuración con resultados favorables que hacen rentables su extracción.

Los análisis químicos del mineral del yacimiento minero LLAUCHI VISCACHANI del distrito de Carhuayo dan como resultados 7.54 g/TM. La extracción del oro del mineral de esta zona se realizó por los mismos comuneros utilizando los mismos procesos que emplean en sus otros yacimientos como la Gravimetría- Amalgamación y cianuración sin lograr resultados técnicos y económicos favorables.

De continuar con esta situación de la no explotación de este recurso mineral por los pobladores de esta zona continuaran sin poder beneficiarse de este recurso preciado que poseen.

Por estas consideraciones es necesario resolver el problema procediendo a realizar las pruebas exploratorias utilizando los procesos de cianuración y flotación, de los cuales se comprueba que empleando el proceso de cianuración se obtuvo recuperaciones bajas aproximadamente alrededor del 20%, en cambio mediante el proceso de flotación

se obtuvo recuperaciones favorables aproximadamente del 66.85%. Por lo tanto: planteamos el proceso de flotación por espuma del mineral que se estudia del yacimiento minero LLAUCHI VISCACHANI ubicado en el distrito de Carhuayo.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Será factible optimizar la recuperación de oro a partir de los minerales del yacimiento minero LLAUCHI VISCACHANI del distrito de Carhuayo mediante el proceso de flotación?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Los minerales de oro presentes en la zona de estudio poseen leyes que justifiquen emplear el proceso de flotación para una recuperación óptima?

¿Cuáles son los parámetros adecuados para la flotación óptima en la recuperación del oro?

¿Cuál es la caracterización del mineral del yacimiento minero LLAULLI VISCACHANI del distrito de Carhuayo para su adecuada recuperación del oro?

1.3. Justificación

1.3.1. Conveniencia

El trabajo se realiza con la finalidad de poder recuperar oro con tecnología modernas que evitan la contaminación ambiental, ya que en estas zonas utilizan el cianuro o en su defecto amalgamas de mercurio que contaminan tanto el proceso, al personal como al ambiente.

El avance del trabajo es de gran consideración porque aporta a nivel tecnológico a mejorar la concentración y extracción del oro del yacimiento minero LLAULLI VISCACHANI del distrito de Carhuayo, obteniendo los mejores rendimientos técnicos y económicos de los recursos mineros.

1.3.2. Relevancia social

La zona de influencia de LLauchi Viscachan del distrito de Carhuayo, explota el mineral de oro artesanalmente, sin considerar los riesgos de salud que pueden afectar a los trabajadores. Presentando nuevas alternativas con tecnologías limpias, los trabajadores se sentirán aliviados y libres de contaminación de manera que estarán muy seguros de su trabajo y sus familias ya no estarán preocupados.

1.3.3. Relevancia económica

Mediante el presente trabajo existirá ahorro económico tanto en la compra de reactivos y en la venta del metal oro. Ya que el proceso seleccionado extraerá mayor recuperación de oro que elevará las condiciones de vida de todos los trabajadores y pobladores, demostrando la factibilidad del proceso.

1.3.4. Relevancia ambiental

Al tener claro el método de recuperación de oro de ese yacimiento por el método que aplicamos en el presente trabajo estaremos demostrando y persuadiendo a los mineros informales para no explotar en esa zona, por consiguiente, no habrá alteraciones y daño alguno al medio ambiente.

1.3.5. Relevancia Tecnológica

El desarrollo de este trabajo se considera que tendrá un gran interés por el aporte tecnológico, porque la propuesta ayudará a mejorar la concentración y extracción del oro del yacimiento minero LLAULLI VISCACHANI del distrito de Carhuayo, adquiriendo mejor rendimiento técnico y económico de los recursos mineros, teniendo como base la solución de problemas técnicos con planteamiento de buena tecnología.

1.3.6. Valor teórico

Al dar el conocimiento del principio de la flotación por espumas, sin duda, permitirá a los trabajadores y comuneros conocer una buena alternativa para la extracción del oro.

1.3.7. Utilidad metodológica

La metodología desarrollada es la más adecuada, porque permite captar datos desde la caracterización del mineral y el efecto que tendrán las variables en el proceso de flotación hasta obtener oro.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Recuperar el oro mediante el proceso de flotación por espumas a partir de los minerales en el yacimiento minero LLAUCHI VISCACHANI del distrito de Carhuayo - Quispicanchi - Cusco.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la composición química y descripción mineralógica con su respectiva interpretación del mineral en estudio.
- Caracterizar el mineral del yacimiento minero.
- Determinar los parámetros que intervienen en el proceso de flotación conducente a la recuperación óptima del oro.
- Caracterizar el mineral del yacimiento minero.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes internacionales

- (Pavez, Valderrama, Bravo, & Contreras, 2004) *“Efecto de diferentes almidones en la flotación de minerales hematita y cuarzo que forman parte de una mina”*. Chile.

Trabajo realizado en la Universidad de Atacama, cuyo objetivo es someter a flotación minerales de hematita y cuarzo y flotar con reactivos almidones para obtener oro. Dependiendo de las características mineralógicas del mineral de oro, el proceso de flotación se puede combinar con un proceso de extracción o concentración.

El proceso de flotación es el más adecuado para la recuperación de oro puro asociado con gangas silíceas y sulfuros metálicos simples o complejos. (Araya, 1984). Los minerales de hierro como hematita, limonita y magnetita, cuarzo, minerales arcillosos comunes, mica y feldespato son los más comunes en el mineral de la ganga. En el proceso de flotación se utiliza como depresores a los almidones de tipo orgánico en la flotación de fierro con colectores catiónicos, flotación de carbón, flotación de oxi-minerales, etc.

En el presente documento se estudia el efecto que poseen algunos almidones en la flotación de minerales que forman las menas de oro, hablando en específico del cuarzo y hematita. Además, se utilizan los colectores del tipo tiocompuestos que mayormente son utilizados para la flotación de las menas auríferas que se encuentran en las plantas de tratamiento de minerales, incluyendo, un colector catiónico del tipo aminos.

- (Guanuchi Ocampo & Romero Tacury, 2020) ***“Recuperación de metales por flotación de relaves auríferos en la sociedad civil minera Goldmins ubicada en el cantón Zaruma”*** Machala, Ecuador.

Investigación realizada en la Universidad Técnica de Machala con el objetivo de optimizar la recuperación de los metales que están en los relaves auríferos que provienen del proceso de flotación por espuma donde se procedió a hacer caracterizaciones químicas de los relaves.

Los resultados obtenidos mostraron que hay la presencia de Pb(plomo) y Zn(zinc) además se realizaron pruebas físicas, donde se halló la densidad de pulpa, pH, densidad aparente y granulometría, en las pruebas de flotación para el plomo se obtuvieron una mayor recuperación utilizando el colector Ditiofosfato 404 o DT-404 y para el zinc utilizando el colector Xantato amílico de potasio Z – 6.

Se concluye que haciendo uso del sulfato de cobre se obtiene mayores recuperaciones ya que puede lograr romper los enlaces de zinc – cianuro que son deprimidos por adsorción iónica o por oxidación, permitiendo que haya una mayor activación del zinc.

- (Orozco López, 2012) ***“Estudio del efecto del tipo y concentración de espumante en la selectividad del proceso de flotación a escala laboratorio”*** Santiago, Chile.

Esta investigación se realizó en la Universidad de Chile con el objetivo de estudiar el efecto que sostiene los espumantes sobre la relación que existe entre la recuperación de agua y la recuperación por arrastre de partículas hidrofílicas dentro de una celda de flotación a escala de laboratorio.

Los resultados obtenidos muestran una clara diferencia de comportamiento entre los polietilenglicoles y los alcoholes, en cuanto a la recuperación de agua, los polietilenglicoles investigados aportan más agua al concentrado que los alcoholes.

Si se recupera por arrastre, el alcohol del concentrado separa las partículas más duras.

Se concluye que además de la diferencia en las constantes cinéticas, se obtiene una mayor ley acumulado en el caso del uso del polietilenglicol.

2.2. Antecedentes Nacionales

- (ESPINOZA AGUILAR & GUERREROS SURICHAQUI, 2012) ***“Influencia del estado de oxidación de la pirita y la arsenopirita en la flotación de un mineral sulfurado aurífero en la mina Cobriza”*** Huancayo, Perú.

Investigación realizada en Universidad Nacional del Centro del Perú. Cuyo objetivo es determinar la influencia que poseen la pirita y arsenopirita de un mineral sulfurado. Los relaves de flotación estudiados fueron de un mineral con valores metálicos de oro, plata y cobre, y se obtuvieron 94% cobre, 55% plata y 10% oro por flotación de oro y plata a escala de laboratorio. El examen de escoria y la caracterización mineralógica, ampliada 200X, indicó 54 % de pirita, pirrotita y 43 % de escoria sin oro detectable, el análisis químico arrojó 3,74 g/TM de oro y 4,18 oz/TC plata. Los experimentos de cianuración directa con molienda repetida a -45 micrones dieron recuperaciones muy bajas de hasta el 10%, datos que respaldan la suposición de que los metales preciosos están en solución sólida en la pirita. En base a estos resultados se desarrolló un ensayo de lixiviación con cianuro para obtener una solución de cianuro al 40% de las muestras después de la oxidación con aire y la oxidación pirometalúrgica, oxidadas con aire en medio alcalino, en el segundo caso si es posible recuperar el 90% de el oro probado por calcinación a 600 °C, lavado del calcinado para reducir el consumo de reactivos, seguido de cianuración por agitación. En este trabajo de investigación, se investigó la influencia de los estados de oxidación de pirita y arsenopirita en la flotación de minerales sulfurados

auríferos utilizando diferentes métodos. Además, se investigaron las recuperaciones de oro y sulfuro en celdas de electrólisis a escala de laboratorio en función del potencial de la pulpa y la concentración del reactivo. Se confirmó la presencia de productos de oxidación en la superficie de los minerales de sulfuro, lo que requiere concentraciones de colector más altas para lograr una recuperación de sulfuro satisfactoria.

- (Canal Cespedes, 2018) del artículo de investigación ***“Simulación del proceso de flotación inversa de concentrados de minerales de wolframio y pirita”*** Cusco, Perú. Artículo de investigación realizado en la Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco, Su propósito es simular el proceso de flotación inversa de pirita en una muestra de concentrado de wolframio en una mesa gravimétrica para aumentar el grado de WO_3 a obtener en colas y flotar pirita. La granulometría de la muestra es 100 % -20 malla y fue molida a 64.8 % -200 malla (75 μ). Para la flotación, todas las variables son porcentaje de sólidos, dosificación de colector que en este caso es el Xantato isopropílico sódico y pH. El número de experimentos de flotación determinado por el diseño experimental factorial 2k es de ocho experimentos factoriales repetidos tres veces en el punto central, para obtener más datos experimentales se realizaron más de seis experimentos en el punto centrado en la cara y la matriz. contiene diecisiete experiencias para ajustarse mejor al modelo propuesto. En la prueba central, la mayor recuperación alcanzada fue del 89,43% de pirita. Combinando con los resultados experimentales y corrigiendo con el método de mínimos cuadrados, se puede obtener un modelo matemático. Se realizaron simulaciones de flotación con valores óptimos de 30,43% de sólidos, 8,23 g/TM de colector y 8,90 de pH. El incremento de WO_3 , es alrededor de 12 puntos, alcanzando así el mejor valor que es 49.14 %.

- (Dance Juarez, 2017) *“Evaluación del proceso de flotación en la planta concentradora Xstrata Tintaya S.A.”* Arequipa, Perú.

Este trabajo de investigación fue realizado en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa con la finalidad de evaluar todo el proceso de flotación en la Planta concentradora de Xstrata Tintaya S.A. ya que exige una tecnología de uso intensivo y de un proceso de evaluación en las diferentes áreas que lo conforman.

El resultado del estudio de estos parámetros ayudara a una recuperación dentro del programa establecido. Se concluye que el tamaño de la partícula se ve forzado ya que para cumplir con lo establecido se tuvo que bajar la malla del chancado primario y los parámetros con mayor importancia en el proceso fueron optimizados por medio de diseños experimentales.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Introducción

Perú cuenta con recursos minerales de considerable valor gracias al desarrollo de diversas regiones desde la época prehispánica. Durante el período colonial se produjeron minas de oro y plata de alta calidad, dando como resultado grandes ciudades; desafortunadamente, estas reservas se agotaron y comenzaron a buscarse nuevos métodos de procesamiento de minerales de menor calidad. Hablando de los metales preciosos, nos ubicamos alrededor del año 1890, en este año se empezó a utilizar el proceso de cianuración utilizando cianuro de sodio en medio alcalino para la disolución de los valores de oro y plata en minerales que tenían baja ley. Casi paralelamente se creó la técnica de cementación con zinc, esta técnica está establecida en la hidrometalurgia de metales preciosos y es utilizado para la recuperación de estos valores.

Posteriormente, a fines de la década de 1970, se comenzó a emplear la adsorción con carbón para diluir soluciones alcalinas de cianuro. El intercambio iónico como opción del proceso de recuperación de oro ha recibido poca atención. En los últimos años se han incrementado las operaciones de lixiviación para recuperar oro de minerales de baja ley.

La combinación de estos factores llevó a todas las empresas de fabricación de reactivos a emprender varios proyectos de investigación para desarrollar un disolvente que sea adecuado para el proceso de extracción de intercambio iónico en la recuperación de oro, comenzando con soluciones típicas de lixiviación con cianuro de oro.

2.3.2. El oro

Es el metal precioso más conocido actualmente, se encuentra en la tabla periódica de los elementos químicos con el símbolo 'Au'. Es un elemento perteneciente a los metales de transición y es poco reactivo.

Es un metal no ferromagnético, debido a sus características de maleabilidad y ductilidad que lo hacen apto para fabricar distintos tipos de objetos, ya que se puede fundir y retomar su dureza al lograr enfriarse. Durante mucho tiempo el oro fue utilizado para producir monedas.

En su mayoría, el oro está bajo tierra, en los depósitos aluviales en pequeñas acumulaciones o en forma de pepitas, se encuentra en estado de pureza y junto a otros minerales que son explorados y explotados por la minería.

El rol que cumple en la sociedad humana es sinónimo de riqueza, gloria, poderío, triunfo y vanidad. Por eso se ha utilizado el oro para fabricar trofeos, joyas y emblemas patrios y respaldar a las monedas de los países.

Se denominó la 'fiebre del oro' a los tiempos en que se buscó de manera desenfrenada este mineral en distintos países.

A. Propiedades atómicas del Oro

El oro es representado con el símbolo 'Au' en la tabla periódica de los elementos. Está ubicado entre los metales de transición, en el grupo 11, entre el mercurio y el platino.

Tiene como número atómico 79, con un peso atómico de 196.967 u y un peso específico de 19,3 gr/cm³. Sus números de oxidación son +1 y +3 y en la escala de Pauling tiene electronegatividad de 2.54

B. Apariencia del Oro

El oro puro tiene un color amarillo brillante y conserva este aspecto cuando se alea con otros metales. Y debido a que tiene tan pocos estados de oxidación, no se empañará con el tiempo.

C. Propiedades Físicas del Oro

El oro es el más maleable de todos los elementos, lo que lo hace ideal para hacer joyas y moldear diversas formas decorativas. Tiene un punto de fusión de 1064 grados centígrados y es un buen conductor de electricidad y calor.

Por otro lado, el oro puro es demasiado blando, por lo que el oro a menudo se alea con otros metales para endurecerlo para uso comercial, industrial o decorativo. También es resistente a la corrosión y oxidación.

D. Reactividad del Oro

El oro tiene una reactividad química muy baja a excepción cuando se compara con el cianuro (CN⁻), el cloruro (Cl⁻) y el bromuro. (Br⁻). Varios de los compuestos son utilizados en minería para identificar la presencia del oro, y esto lleva a un enorme impacto ambiental. También puede disolverse en compuestos ácidos y alcalinos, como el agua regia (HNO₃ y HCl) y algunos cianuros.

E. Origen del Oro

La palabra “oro” tiene origen en el latín: aurum, que significa ‘brillante’. Se menciona que el oro tiene origen debido a la fusión de los núcleos de elementos como el hierro estelar en metales más pesados como el uranio, pero no los crea. de manera natural en el planeta tierra.

Y, sin embargo, aunque desde épocas antiguas los distintos alquimistas y científicos buscaron la forma de producir oro a partir de metales inferiores, no tuvieron éxito.

F. Primeros Usos del Oro

Inicialmente La gente ha utilizado el oro con fines decorativos y comerciales desde la Edad del Cobre, se llega a esta conclusión porque fue encontrado en tumbas antiguas y en monedas mesolíticas pertenecientes a la civilización china.

La actividad humana de comercialización y extracción se ha realizado durante milenios, así como su conexión con la riqueza y el poder.

G. Otras aplicaciones del Oro

Debido a sus propiedades de conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión, el oro se ha utilizado recientemente como un componente útil en la electrónica.

También se utiliza como material para la producción de amalgamas dentales y prótesis dentales y para el tratamiento de la artrosis con sales de oro.

H. Toxicidad del Oro

En su estado puro, el oro es inofensivo, ya que no se han presenciado casos de alergias moderadas a este metal. Pero debido a que no es muy reactivo, no es un peligro, pero se tiene que tener cuidado con su composición de sales tóxicas como el cloruro de oro (AuCl_3).

I. Isotopos

El oro tiene un único isótopo estable, que es el ^{197}Au , y tiene un origen natural. Cabe mencionar que se consiguió crear numerosos radioisótopos del oro en distintos laboratorios, pero desgraciadamente ninguno de estos isótopos supera los 186,1 días de vida.

J. Aleaciones de Oro

Se identifican 7 aleaciones del oro en joyería:

- Oro amarillo, es resultado de la mezcla de oro en un 75%, plata en un 12,5% y cobre de igual manera en un 12,5%.
- Oro rojo, está compuesto por oro en un 75% y cobre en un 25%, además tiene el color rojizo perteneciente al cobre.
- Oro rosa, esta aleación está compuesta por oro en un 75%, cobre en un 20% y plata en un 5%.
- Oro blanco, es el resultado de la aleación del oro en un 75%, paladio en un 16% y plata en un 9%.
- Oro gris, es fabricado a partir del oro en un 75%, níquel en un 15% y cobre en un 10%.
- Oro verde, está compuesto por oro en un 75% y plata en un 25%.
- Oro azul, es la aleación de oro en un 75% y de hierro en un 25%.

2.4. Procesamiento de minerales

2.4.1. Definiciones Generales

a) El Mineral

Es una sustancia inorgánica constituido por dos más elementos metálicos y no metálicos y tienen una composición química definida y se encuentran en estado natural, también se pueden encontrar en la superficie o en el interior de la corteza, y su evolución

es útil en la vida humana. En el sector minero, el mineral viene a ser el resultado de la explotación de un yacimiento minero con valor económico y comercial o no tenga ningún valor. El mineral está constituido por dos elementos: la mena y la ganga.

b) La Mena (parte valiosa)

La mena está fundamentada por especies que son valiosas, es decir aquellos que tienen un valor comercial y sus valores metálicos pueden ser recuperados por un proceso de beneficio económico.

c) La Ganga

La ganga es la parte inservible o estéril, casi siempre son las especies minerales terrosas o pétreas, en su gran mayoría está el cuarzo y las calizas, también puede estar constituido por algunos minerales metálicos que tienen casi o nada de valor como pirita y otros que son altamente negativos como la arsenopirita, el oropimente, la estibina y el rejalgar.

d) Cabeza

Es el mineral bruto que se alimenta a una operación o proceso para su tratamiento y lograr su recuperación de mineral valioso.

e) Concentrado

Es el material útil que es obtenido por el proceso de concentración, constituida por la mayor parte de la especie mineralógica que tiene valor económico y comercial.

f) Relave

Viene a ser el producto de la concentración de minerales y está constituida por la parte que no tiene valor económico con pequeña cantidad de mineral útil.

g) Mixtos o Intermedios

Los mixtos son los productos intermedios que no lograron alcanzar el grado de liberación adecuada y que paulatinamente deberá ser sometido a una operación adicional para su tratamiento.

h) Recuperación

Es la parte del elemento valioso que ha sido obtenido en el concentrado y se expresa en porcentaje. Esta es una medida de la eficiencia del proceso, ya que el objetivo de todos los métodos de concentración es extraer tantos elementos valiosos como sea posible en el concentrado.

i) Peso específico

Es importante conocer la gravedad específica porque sin este dato no es posible realizar ningún método de beneficio por gravedad debido a que la gravedad específica de los minerales que se procesan no difiere.

j) Pulpa y su constitución

La pulpa es una mezcla matemática de una parte sólida con casi el mismo tamaño de partícula y otra parte líquida (generalmente agua). Dado que es una mezcla de sólidos y agua, tiene sus propias propiedades y características físicas, como la gravedad específica, la densidad, el volumen y el peso, expresados como porcentaje en peso o porcentaje en volumen de los constituyentes.

k) Muestreo

El muestreo es una operación que permite el control metalúrgico obligatoria que se realiza en todas las plantas concentradoras y consiste en obtener una pequeña muestra representativa de todo el tonelaje que es procesado, es decir el muestreo da como resultado una muestra representativa que permite evaluar todas las características utilizando un enorme grupo de minerales de los que se deriva. Por tanto, la finalidad de

realizar esta operación es controlar y determinar las condiciones en las que se realizan todas las operaciones del proceso metalúrgico de extracción.

2.4.2. Preparación del Mineral

Consiste en realizar operaciones que permitan la reducción de tamaño, además de utilizar procesos de separación de partículas (tamizado, molienda gruesa y fina), para obtener la liberación de todos los minerales valiosos de los estériles y preparación del tamaño correcto.

2.4.3. Concentración (separación solido-solido)

Es la separación de minerales valiosos y estériles; Tiene una gran importancia en la metalurgia, porque se puede utilizar para adquirir productos con un mayor contenido en elementos valiosos, que se procesan en diferentes fundiciones y refinерías para lograr la obtención de metales o elementos muy puros. El proceso de concentración se puede realizar de una de las siguientes formas:

a) Flotación

Su uso se fundamenta en las diferencias en sus propiedades superficiales de partículas hidrofobias e hidrofílicas. Las especies valiosas o rentables son una pequeña proporción del mineral, mientras que, por otro lado, las especies inútiles o estériles forman la mayor parte del mineral.

b) Minerales Hidrofílicos

Se pueden humedecer con agua e incluyen: silicatos, óxidos, carbonatos, sulfatos y otros minerales que forman la mayor parte de los minerales estériles. Cuando los mojas, se quedan en la pulpa y finalmente se hunden.

c) Minerales Hidrofóbicos

Significa que no pueden ser mojados fácilmente por el agua, como ejemplo podemos citar los elementos metálicos naturales, sulfuros metálicos, carbón

bituminoso, talco y otras sustancias que impiden que las partículas minerales sean mojadas y se puedan adherir a las burbujas de aire y puedan ascender.

Los minerales hidrófobos son aerofílicos, es decir que tienen afinidad por las burbujas de aire, por otro lado, los minerales hidrófilos son aerofóbicos, por lo general no se adhieren a las burbujas de aire. Por último, la flotación es el método de concentración con más relevancia y se puede utilizar para obtener concentrados de carbonato, sulfuro, óxido, silicato, fosfato y elementos naturales como el oro, cobre y carbón.

d) Gravimetría

Implica la separación de sólidos utilizando la diferencia entre las densidades de los minerales; especialmente adecuado para la concentración de distintos minerales como el plomo, estaño, oro, carbón, tungsteno, y otros minerales.

e) Magnetismo

Un método de concentración que utiliza la diferencia de la susceptibilidad magnética de los minerales. Está encontrando más y más aplicaciones a medida que se desarrollan dispositivos que permiten la separación de materiales con susceptibilidad magnética extremadamente baja.

f) Electrostática

Funciona en minerales específicos que se pueden separar debido a sus propiedades conductoras de electricidad.

g) Escogido o Pallaqueo

Es sin duda el método de concentración más antiguo y consiste en la selección de minerales valiosos a mano o con la ayuda de máquinas, aprovechando sus diferencias de fluorescencia, color, brillo de minerales estériles.

h) Lixiviación de metales

Es un tipo de extracción donde una mezcla homogénea como una solución sólida o una sal doble, se separa en sus componentes, o en la que los componentes valiosos se separan del sólido mediante el tratamiento del líquido. Los sólidos lixiviados vienen en una variedad de formas físicas que a menudo necesitan ser fragmentadas para crear una interfaz más grande con el solvente.

2.4.4. Comercialización de concentrados

En nuestro país, somos un importante productor de concentrados que actualmente pueden venderse a fundiciones y refinerías locales como Cajamarquilla, La Oroya, Sider Perú, Ilo, y de no venderse, se comercializa principalmente a fundiciones y refinerías extranjeras ubicadas en Japón, Estados Unidos, Europa y Brasil.

2.4.5. Flotación de minerales

2.4.5.1. Flotación por espumas

La flotación por espuma es un proceso fisicoquímico utilizado para concentrar minerales que están finamente molidos. El proceso consta del tratamiento químico de la pulpa para lograr crear condiciones favorables para la unión de ciertas partículas con las burbujas de aire. Su propósito es separar finamente los minerales de la suspensión acuosa en función de su afinidad por el agua o propiedades repulsivas. Las especies valiosas o útiles constituyen una pequeña proporción del mineral, mientras que las especies menos valiosas o estériles constituyen la mayoría.

La propiedad hidrofílica hace que las partículas se humedezcan, permanezcan suspendidas en la pulpa y finalmente se hundan. Las propiedades hidrófobas o repulsivas evitan la humectación de las partículas minerales que logren adherirse a las burbujas de aire y ascender. Estas propiedades ocurren naturalmente, pero pueden impartirse o determinarse mediante reactivos de flotación.

2.4.5.2. Mecanismo de flotación por espumas.

Los minerales hidrofílicos e hidrofóbicos en la composición de la pulpa a base de agua se pueden separar entre sí. Después de una molienda fina y un ajuste con reactivos químicos, las burbujas de aire pasarán a través de la pulpa, lo que hará que las propiedades hidrofílicas y la hidrofobicidad sean más evidentes. Las partículas hidrofílicas se humedecen y logran caer al fondo de la celda de flotación. De esta forma, el mineral, que en el caso más simple contiene dos componentes (uno útil y otro estéril), se puede dividir en dos productos: un concentrado de la parte valiosa y un relave que contiene toda la parte estéril.

2.4.5.3. Elementos de la flotación

La flotación está constituida tres fases o elementos: fase sólida, fase líquida y fase gaseosa.

FASE SOLIDA. -Representado por un sólido separable que es el mineral, generalmente mediante una estructura cristalina que es el resultado de interacciones químicas que forman moléculas, iones y átomos, todos los cuales son objetos complejos.

En cuanto a los sólidos, los factores importantes en el proceso de flotación son:

- Carácter de la superficie aireada en la ruptura del sólido, está relacionada con el tipo de superficie y las fuerzas residuales de enlaces).
- Contaminantes que provienen de los sólidos, líquidos y gases.
- Imperfecciones existentes en la red cristalina.

FASE LIQUIDA. - Es agua porque es abundante y barata; y es un agente ideal para tales separaciones. La estructura molecular del agua estudiada por espectroscopia es muy compleja; con un aproximado del 46% de los enlaces parecen ser covalentes y el 54% iónicos.

Por último, hay que destacar la importancia de las impurezas y la contaminación presentes en agua natural o industrial. Primero, hay que mencionar la contaminación

natural provocada por las sales de magnesio, calcio y sodio. Estas sales y otros contaminantes no solo alteran las propiedades de flotabilidad de ciertos minerales, sino que casi siempre provocan un consumo significativo de reactivos de flotación, con los que a menudo forman sales solubles. Además de la contaminación inorgánica, la contaminación orgánica, especialmente las aguas residuales, pueden ser más importantes y peligrosas.

FASE GASEOSA. - constituida por el aire que ingresa a la pulpa de forma mecánica o neumática, para crear burbujas de aire, que son los centros a los que se unen las partículas sólidas. El papel del aire en la flotación tiene varios aspectos, los más importantes son:

El aire tiene un efecto químico en el proceso de flotación, también es un medio de transporte de partículas minerales a la superficie de la pulpa, además el aire es una mezcla de nitrógeno en 78,10 % y oxígeno en un 20,96 % con una pequeña cantidad de dióxido de carbono (0,04 %) y gases inertes como el argón, etc.

2.4.5.4. Termodinámica de la flotación

Primero, debe haber contacto físico (colisión) entre la burbuja y la partícula. Para que la colisión tenga éxito, la película líquida que los separa debe adelgazarse y romperse, y debe formarse una nueva interfaz mineral/aire en el corto tiempo de la colisión. Que esta fase se produzca espontáneamente y depende de la hidrofobicidad del mineral para que la adhesión entre la partícula y la burbuja sea estable en el tiempo.

La propiedad que controla la hidrofobicidad es la tensión superficial. Termodinámicamente, la tensión superficial y la energía libre superficial se definen como:

$$G_s = \gamma = \left(\frac{\partial G}{\partial A} \right)_{T,p,n}$$

Donde:

A= es el área inter facial

n= el número de moles presentes en el sistema

p y T la presión y temperatura absoluta

La flotación ocurre cuando el balance de tensión superficial en el sistema trifásico mineral/gas/líquido es favorable.

Termodinámicamente, viene dada por una expresión que conceptualiza el cambio en la energía libre superficial para que ocurra la adhesión de partículas/burbujas en un medio acuoso.

$$\Delta G^0_{adh} = \gamma_{SG} - (\gamma_{SL} + \gamma_{LG})$$

$$\Delta G^0_{adh} = \gamma_{SG} - \gamma_{SL} - \gamma_{LG}$$

Donde:

ΔG^0_{adh} : Variación de energía libre durante la adhesión de partícula mineral/burbuja.

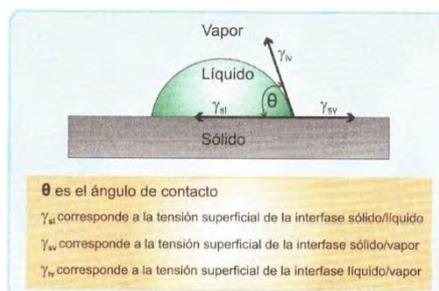
$\gamma_{SG} - \gamma_{SL} - \gamma_{LG}$: Tensiones inter faciales de solido/gas, solido/liquido, liquido/gas.

ECUACION DE YOUNG

Young ofreció considerar el ángulo de contacto de una gota de líquido situada sobre una superficie sólida plana como un equilibrio mecánico de las tensiones interfaciales sólido/líquido, sólido/gas y líquido/gas.

La ecuación final es la siguiente:

$$\gamma_{LG} \cos \theta = \gamma_{SG} - \gamma_{SL}$$



Por lo tanto, el ángulo de contacto, viene a ser el ángulo formado entre el plano tangencial al interfaz líquido/gas y el plano formado por los sólidos en el contacto trifásico sólido/líquido/gas. Es decir, cuando un líquido moja completamente un sólido, el ángulo de contacto es igual a cero, por otro lado, un ángulo de contacto mayor que cero indica humectación y por lo tanto un mayor grado de hidrofobicidad.

RELACION ENTRE LA ENERGIA LIBRE SUPERFICIAL DE ADHESION PARTICULA BURBUJA Y EL ANGULO DE CONTACTO

Si tenemos que:

$$\Delta G_{adh}^0 = \gamma_{LG}(\cos\theta - 1)$$

Así para:

$$\theta=0, \quad \Delta G_{adh}^0 = 0$$

$$\theta > 0^\circ, \quad \Delta G_{adh}^0 < 0$$

Por lo tanto, un mineral con un ángulo de contacto cero con el agua se define como hidrofílico y termodinámicamente no es flotable. Por el contrario, es cierto para los minerales con ángulos de contacto mayores que cero. Debe quedar claro, que el ángulo de contacto es el estado termodinámico o de equilibrio del sistema. Existen minerales con flotabilidad natural como grafito o talco. La mayoría de los minerales son completamente humectables con agua y, para flotar, necesitan un reactivo químico que los haga lo suficientemente hidrofóbicos para flotar.

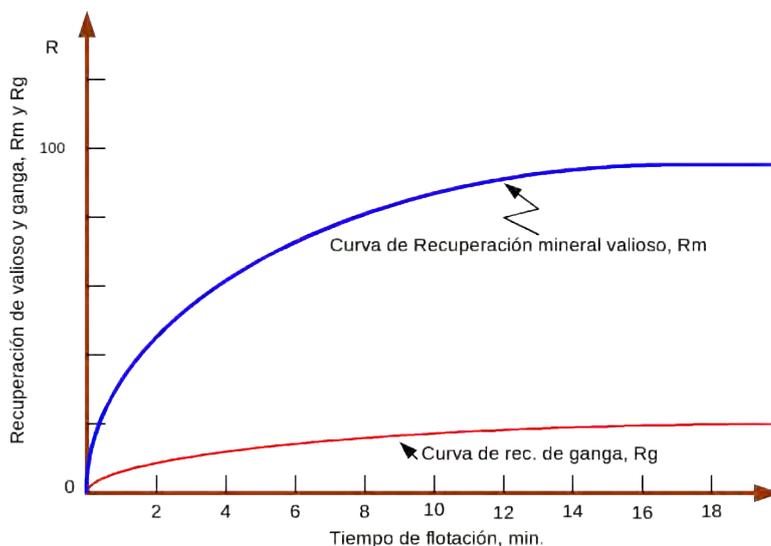
2.4.5.5. Cinética de la flotación

La cinética de flotación es el cambio en la cantidad de producto obtenido en la espuma de flotación con respecto al tiempo de flotación. Debido a los fenómenos físico-químicos encontrados en el proceso de flotación, debe recordarse que las reacciones químicas producidas en los acondicionamientos (minerales y colectores/modificadores) y las propias reacciones de flotación (acondicionamiento de superficies minerales y

burbujas de aire) tienen ciertas cinéticas, por lo tanto, necesitan un tiempo prolongado en continuar.

En ambos casos, la dinámica se rige por la ley de acción de masas o también llamado el principio de Gulderg y Waage, esto nuevamente se basa en un concepto probabilístico que calcula la probabilidad de que las partículas minerales colisionen con moléculas depuradoras o burbujas de aire. Para estimar la eficiencia del proceso de flotación, es de suma necesidad determinar su velocidad y selectividad con la que flotan las partículas minerales, es decir, recuperación dependiente del tiempo de minerales en la espuma.

Figura 1. Cinética de flotación



Nota. Fuente: <http://procesaminerales.blogspot.com/2012/10/cinetica-flotacion.html>

La cinética de flotación por espumado se conceptualiza como la cantidad de minerales que llevan las espumas como concentración extraída por la máquina por unidad de tiempo, para lo cual a partir de esa determinación se busca un modelo matemático que defina el proceso de flotación basada en supuestos teóricos u observaciones empíricas de hechos confirmados por estudios del mecanismo de flotación. La cinética de flotación habla de la tasa de interacción partícula-burbuja, lo que macroscópicamente significa la tasa de flotación de partículas que alcanza la

concentración. El tiempo de flotación es una variable clave del diseño y corresponde al tiempo máximo que se le debe dar a las partículas más lentas para removerlas de la pulpa. El tiempo de residencia está relacionado con el flujo de aire, por lo que el flujo debe ser alto para recoger todas las partículas. Existe una relación entre el tiempo de espera y la probabilidad de flotar, entonces, si es alto y si el flujo de aire es adecuado, la recuperación esperada debería ser aceptable.

FUNDAMENTO TEORICO DE CINÉTICA DE FLOTACIÓN

Si estamos planeando crear un circuito de flotación, necesitamos saber cómo se comportará el mineral en condiciones favorables de flotación, como el grado de molienda y la calidad del concentrado, lo que nos permitirá lograr una recuperación aceptable. Por lo tanto, los minerales muy espesos ocultarán los minerales útiles en la matriz y no fluirán. Por otro lado, un tiempo de flotación demasiado largo puede provocar la aparición de partículas no deseadas en el concentrado y por lo tanto reducir su calidad. De ahí la necesidad de determinar la recuperabilidad y calidad de nuestros productos y ajustar los parámetros de operación para que la operación sea óptima desde el punto de vista económico.

En otras palabras, por ejemplo, no se debe moler más de lo que sea necesario en la primera etapa y luego repita los pasos de lijado y limpieza. Luego se pasa a ajustar otras variables como el pH, densidad de pulpa, reactivos, etc. Al realizar experimentos de flotación a nivel de laboratorio y extraer fracciones de concentrado en diferentes tiempos de flotación, se puede notar que tanto la calidad como la cantidad del concentrado cambiarán con el tiempo. Los cálculos de la recuperación acumulada mostrarán que aumenta con mayor rapidez en los primeros minutos de flotación y luego la curva se vuelve asintótica con el tiempo sin llegar a alcanzar la recuperación total.

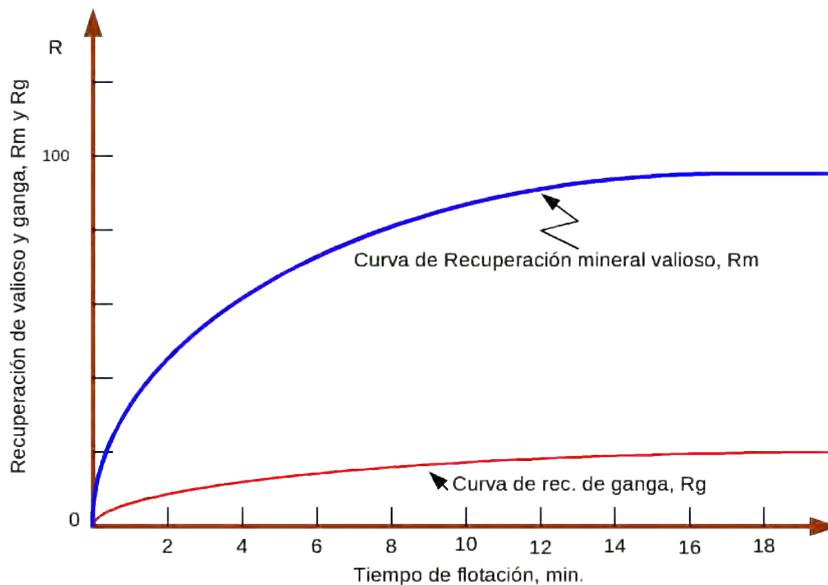
MODELOS MATEMATICOS PARA LA CINETICA DE FLOTACION

Estudia la velocidad de la flotación, es decir. el nivel de metales recuperados en el concentrado cuando está en función del tiempo. En esta sección, revisamos los primordiales modelos matemáticos que pueden describir las tasas de flotación de minerales y los cálculos de parámetros cinéticos. Existen cuatro modelos cinéticos:

- a) Modelo empírico
- b) Modelo semiempírico
- c) Modelo analógico
- d) Modelo analítico

El modelo semi empírico ' más utilizada en un proceso discontinuo es el modelo de García Zúñiga

Figura 2. Recuperación de valioso VS. tiempo de flotación



Nota. Fuente: <http://procesaminerales.blogspot.com/2012/10>

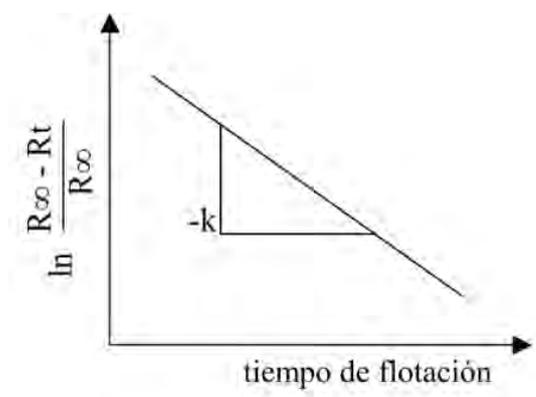
Aquí en la imagen de arriba, puedes ver que la recuperación tiende a ser constante durante un tiempo infinito. También se puede definir como la cantidad de minerales extraídos del equipo por la espuma como unidad de tiempo para los concentrados, a partir de este concepto, de acuerdo a los supuestos basados en la teoría, buscar el modelo matemático que defina el proceso de flotación a partir de los hechos determinados a

partir del mecanismo de flotación, u observar a partir de la experiencia. Entre ellos, hemos creado un modelo dinámico para realizar tareas más sencillas. Dos modelos se utilizan con mayor frecuencia para ajustar los datos experimentales y calcular los parámetros de flotación cinética:

MODELO DE GARCIA-ZUÑIGA

$$R_t = R_\infty (1 - e^{-kt})$$

$$\ln\left(\frac{R_\infty - R_t}{R_\infty}\right) = -kt$$



Donde:

R : es la recuperación parcial a cualquier tiempo t de flotación (%).

R_∞ : recuperación a tiempo infinito (%) correspondiente a la máxima recuperación obtenida de la especie.

k : constante específica de la velocidad de flotación (1/min).

t : tiempo de flotación.

e : 2.71828² (es la base de logaritmos naturales)

Nota: Se sugiere utilizar este método para tiempos de flotación cortos.

MODELO ANALÓGICO

La velocidad de flotación puede estar expresada de la misma forma que la cinética química mediante la siguiente expresión

$$\frac{dc}{dt} = -KC^n$$

Donde:

C, es la concentración de especies flotables.

C₀, es la concentración inicial de las especies flotables, o sea para tiempo = cero

n, es el orden de la reacción.

k, es la constante específica de la velocidad de flotación (Esta constante tiene en cuenta varias variables, como la geometría de la celda de flotación, la energía suministrada a la celda, el tamaño de las burbujas de aire y partículas líquidas producidas, la concentración de reactivos y aire en la pulpa.

El valor de la constante k es importante para poder comparar distintas condiciones de reactivos (k será diferente para cada uno de los reactivos y dosis por celda). También se puede evaluar diferentes celdas de flotación que manejan la misma pulpa, ya que cada celda de flotación tiene sus propias características y valor. el valor correspondiente de k. Es de suma importancia recalcar que esta constante no es una medida para la recuperación de mineral en operaciones de beneficio; la recuperación es una función de k y del tiempo de flujo. Si el exponente presente en la primera ecuación toma el valor 1, será una ecuación de primer orden, donde integrada toma el siguiente valor.

$$\ln \frac{C_0}{C} = kt$$

Donde:

C₀, es la concentración inicial que existe en la celda de flotación de la especie que se flota; si el tiempo de flotación se prolongara de manera indefinida, entonces se deducirá que no flotara todo el material que debería flotar, o dicho de otra manera, la recuperación no será de 100% por lo que al finalizar una flotación de un tiempo prolongado se hará la observación de que en nuestra pulpa tendremos una concentración final; es la concentración inicial de la especie que se flota en la celda de flotación; si el tiempo de flotación se extiende indefinidamente, se encontrará que no todo el material

que debería flotar sale flotando o la tasa de recuperación no es del 100%, al final, debemos observar que tendremos muestra pulpa con una concentración final C .

Es por ello, que la expresión anterior se convierte en:

$$-\frac{dC}{dt} = -K[C - C_{\infty}].$$

Donde C_{∞} es la concentración de todo material existente que no flotara aun cuando el tiempo de flotación sea indefinido.

Solucionando la ecuación diferencial. Se obtiene:

$$\int_{C_0}^C \frac{dC}{C - C_{\infty}} = \int_0^t -k dt$$

De donde se tiene la siguiente ecuación matemática.

$$\ln \frac{C_0 - C_{\infty}}{C - C_{\infty}} = kt$$

En este punto precisaremos la recuperación de la especie valiosa en las espumas y será expresada por:

$$R = \frac{C_0 - C}{C_0}$$

$$R_{\infty} = \frac{C_0 - C_{\infty}}{C_0}$$

Entonces para lograr evaluar la recuperación, procedemos a hablar a que la concentración de nuestro mineral *este* en función de la recuperación.

$$C = C_0 (1 - R)$$

$$C_{\infty} = C_0(1 - R_{\infty})$$

Remplazando todos estos valores en la ecuación inicial. Logra obtenerse lo siguiente:

$$\frac{dR}{dt} = -K[R_{\infty} - R]$$

De donde finalmente se obtiene la siguiente ecuación para hallar la recuperación en función del tiempo.

$$R_t = R_\infty (1 - e^{-kt})$$

Esta ecuación está representada con una aproximación razonable los resultados de experimentos de flotación discontinua a nivel de laboratorio donde no hay flujo de alimentación ni relaves.

2.4.5.6. Funciones de las celdas de flotación

Los dispositivos en los que se llevan a cabo los procesos de flotación se denominan celdas de flotación y están diseñados para facilitar el proceso con las siguientes funciones:

- Mantener una suspensión de partículas de toda la pulpa que ingresan a la cámara de flotación, evitando que los sólidos se separen por tamaño o densidad.
- Formar y distribuir pequeñas burbujas de aire en la celda; la cantidad requerida de aire depende del peso del material dado.
- Facilita las colisiones que existe entre las partículas minerales y las burbujas de aire, de modo que la densidad de la serie mineral-burbujas es baja y puede subir desde la masa hasta la región de la espuma, que se retira de la celda que contiene el concentrado.

Las condiciones quietas en la columna de espuma contribuyen a la estabilidad, además permite la eliminación adecuada de residuos y concentrados, así como también permite un fácil control del nivel de lodo, aireación y mezcla en el tanque. De acuerdo con lo mencionado anteriormente, la celda de flotación presenta tres zonas:

ZONA DE MEZCLA; aquellas donde las partículas de los minerales entran en continuo contacto con las burbujas de aire.

ZONA DE SEPARACION; donde las burbujas de aire se condensan entre sí y proceden a eliminar partículas no deseadas que pueden ser arrastradas o transportadas de otra manera

ZONA DE EESPUMAS; donde la espuma mineralizada debe ser estabilizada y seguidamente pasar a ser removida de las celdas que contienen todo el concentrado.

2.4.5.7. Variables operativas del proceso de flotación

Existen muchas variables operativas del proceso de flotación que los hace más complejos su tratamiento, según Stherland y Wark los clasificaron estas variables según sus etapas:

Variables que están relacionadas con la materia prima, es decir con el mineral:

- La forma mineralógica que tiene el mineral.
- La asociación que tiene con otros componentes.
- La cantidad de agua útil utilizada en la cristalización.

- El pH natural del mineral.
- La presencia de impurezas y de sales solubles.
- El grado de oxidación que posee mineral.
- La oxidación durante su explotación.

Variables que están en relación a los procesos previos de la molienda y la clasificación:

- Grado de dureza que tienen los minerales.
- Durante el proceso de molienda, el mineral está expuesto a sufrir oxidación.
- Se realiza la adición de reactivos durante el proceso de molienda.
- Se hace una molienda diferencial.
- Tamaño de liberación que define la fineza de partículas.
- Tiempo transcurrido en el circuito de molienda.

Variables que están relacionadas al agua:

- Grado de alcalinidad o acidez que presenta el agua, es decir, el pH.
- Impurezas disueltas y muy a menudo no se purifican antes de su uso; esto puede tener tanto efectos positivos como negativos.
- Dureza que presenta el agua.
- Presencia de gases disueltos. Como: H₂S y SO₂

Variables relacionadas con el acondicionamiento:

- Tamaño de todos los acondicionadores y de todas las celdas de flotación.
- La densidad de la pulpa.
- Agitación
- Puntos de adición de los reactivos.
- Temperatura
- Grado y forma de adición que presenta los reactivos.

- Tiempo transcurrido de acondicionamiento.

Variables relacionadas con la flotación:

- La densidad de la pulpa.
- El nivel de espuma.
- Los reactivos que serán utilizados para cada circuito y su dosis respectiva.
- El pH de la pulpa.
- El tamaño que debe presentar la partícula.
- La temperatura de la pulpa y del agua.
- La carga circulante.
- El Tiempo de flotación.
- El grado y tipo de aireación.

Variables relacionadas a todas las máquinas de flotación:

- El tipo de máquina.
- El grado de aireación.
- La altura de la zona de espumas.
- La agitación.
- La potencia que ha sido consumida.

2.4.5.8. Tipos de máquinas de flotación

Se clasificará a las máquinas de flotación en dos tipos: Mecánicas y Neumáticas.

CELDAS MECANICAS.

Son muy utilizados en nuestro sector; cuentan con un agitador mecánico que logra mantener la pulpa en suspensión y dispersar el aire en ella. Esta categoría incluye las siguientes celdas: Denver, Agitair, Outokumpu, Morococha (WS), Wenco, entre otras; pueden funcionar por separado como las WS, con flujo abierto o dividirse en varios compartimentos.

Los bancos están divididos en celdas por paredes intermedia como es el caso de las DENVER SUB A, que son utilizados en su gran mayoría en las plantas pequeñas, donde el impulsor debe actuar como una bomba o también en etapas donde es necesario tener un control estricto de niveles de la pulpa. Los bancos de flujo libre dan ventajas por su construcción y mantenimiento que es mucho más simple y posee mejor suspensión para las partículas gruesas al lograr eliminarse las paredes intermedias.

CELDAS NEUMÁTICAS.

No poseen impulsor mecánico; la pulpa es agitada gracias al aire comprimido.

Los modelos occidentales (ciclo cell, Heyl y Petterson Inc) son tanques rectangulares sin baffles y de flujo abierto con tuberías de difusión de aire instaladas normalmente al flujo de la pulpa.

Un tipo de celda neumática que posee una aplicación importante en las columnas y que fueron utilizadas en Canadá desde el año 1961. Estas celdas dan un proceso en contracorriente; donde el alimento se introduce hasta la mitad de la columna y el aire es introducido por la parte inferior a través de un fondo que es poroso. De igual manera se incluye agua al lavado por la parte superior, al nivel de espumas, el mineral al lograr caer localiza las burbujas en la zona 3 y se produce la mineralización de burbujas. En la zona 2 se hace el lavado con agua añadida a la altura de las espumas, esto logra evitar que el material estéril sea atrapado por las espumas que están rebosando fuera de la celda por la zona número 1, arrastrando consigo el concentrado. El relave sale de la celda por la parte inferior cayendo sobre los espacios vacíos que están entre los ductos porosos.

Las celdas columnas tienen un problema de la obstrucción de los insufladores de aire.

2.4.5.9. Factores que intervienen en la flotación

En un proceso de flotación intervienen participan 4 factores principales que son: la pulpa, aire, las agitaciones mecánicas y las reactivas.

LA PULPA

Es una mezcla de minerales básicos y agua que contiene todos los elementos que componen los minerales y por lo tanto forman los elementos básicos de flotación. La pulpa tiene que tener ciertas condiciones, es decir, el mineral debe estar debidamente molido y el tamaño de partícula no debe ser mayor a malla 48 ni menor a 270, las partes valiosas de sulfuro se pueden recuperar de manera efectiva en este rango de tamaño de partícula.

Si la pulpa tiene partículas gruesas, una molienda deficiente tenderá a depositar estas partículas en el fondo del tanque de flotación y puede obstruir las ruedas del tanque, obstruyendo las tuberías y causando más trabajo de lo normal.

Cuando la pulpa posee partículas muy finas, la recuperación de los valiosos sulfuros no será muy efectiva ya que se perderán en forma de lamas: como la pulpa es acuosa, el flotador debe asegurarse de que la espuma salga correctamente y que no haga demasiada espuma en el banco Scavenger. Si la pulpa es muy fina, también tiene que estar muy diluida, por lo que tenemos menos tonelaje, por lo que perdemos capacidad.

EI AIRE

Este es un factor muy importante que contribuye a la formación de las burbujas de aire necesarias en las celdas. De esta manera, el aire ayuda a que la pulpa se mezcle.

Las espumas son las encargadas de hacer flotar los elementos valiosos hasta la superficie de la pulpa, en cada celda.

El aire es obtenido a través de ventiladores llamados blowers que ingresan a bajar la presión al interior de las celdas de flotación que están llenas de pulpa. O también la

aireación en los tipos de celdas sub-A, estas se dan de manera natural o del medio ambiente que ingresan a bajar presión al interior.

Si se utiliza mucho aire es porque se está haciendo una excesiva agitación y eso provoca que la espuma se reviente antes de rebozar por los labios de la celda o salgan en conjunto con la pulpa rebasando las celdas llevándose con ellos a la ganga que no es necesaria.

Cuando se utiliza poco aire, la columna de espuma es baja y no es suficiente ya que no se puede recuperar todos los elementos valiosos y se pierde en el relave. La cantidad de aire es regulada de acuerdo a las necesidades que son requeridas en el proceso.

En síntesis, no se debe utilizar ni poco ni mucho aire, debe ser medido. Si se da un buen control

del aire y de la altura de las compuertas obtendremos siempre una excelente espuma.

LOS REACTIVOS

Estos son productos químicos utilizados para recuperar sulfuros valiosos, reducir o suprimir el crecimiento de gangas e insolubles. Usando reactivos, logramos seleccionar elementos valiosos en los respectivos concentrados. De acuerdo a la función que cumplen los reactivos de flotación los podemos agruparlos en tres categorías principales: espumantes, colectores y modificadores.

LA AGITACION

La agitación de la pulpa ayuda a que exista la generación de las espumas de aire que son requeridas para la flotación, y es necesario para conseguir la mezcla uniforme de los reactivos con los elementos que forman parte del mineral de la pulpa, que se encuentra dentro de la celda. Además, la agitación, evita el asentamiento de los sólidos que han sido contenidos en la pulpa.

La agitación que hay en una celda de flotación tiene que ser moderada. Si es excesiva entonces la pulpa rebalsa de las celdas y si es poco entonces las burbujas no podrían formarse.

Cuando la agitación no es buena, se procede a disminuir el nivel de espuma y no logra alcanzar a rebalsar, las espumas se achican y esto ocurre normalmente cuando los impulsores están gastados.

Existe una deficiencia en la agitación de la pulpa en una celda, cuando el Impulsor de la celda está demasiado gastada, cuando el estabilizador esta malogrado y también cuando las fajas en “V” del sistema de movimiento están flojas, esto hace que toda la velocidad del impulsor disminuya.

2.4.5.10. Reactivos de flotación

Cuando son agregados al sistema, realizan ciertas funciones que permiten extraer minerales valiosos de la ganga. Sin embargo, el uso correcto de estos reactivos no siempre es fácil debido a las dificultades técnicas encontradas durante el proceso. En flotación, el desempeño de los reactivos, ya sean colectores o espumantes, depende en gran medida de la composición y composición mineralógica del mineral.

Clasificación de los reactivos

Los reactivos de flotación se clasifican en: Colectores, Espumantes, y Modificadores.

Colectores. - son los reactivos más fundamentales del proceso de flotación ya que estos producen la película hidrofóbica que existe sobre la partícula del mineral.

Espumantes. – Son reactivos orgánicos heteropolares que tienen la función de crear una espuma capaz de mantener las burbujas cargadas de mineral hasta llegar a la extracción en la máquina de flotación.

Modificadores. - Actúan como depresores, también como reguladores de pH, activadores y dispersores. Facilitan la acción del colector para poder flotar el mineral que es valioso, evitando que actúe a todos los otros minerales como la ganga.

Reactivos colectores

Son compuestos orgánicos que contienen un grupo polar y un grupo no polar en una molécula. El anión o catión del grupo polar hace que los iones colectores se adsorban en la superficie del mineral, que también es polar. En cambio, la orientación de los grupos no polares, o hidrocarburos, permanece hacia la fase acuosa, lo que hace que el mineral sea hidrofóbico, y esta orientación conduce a la formación de una película de hidrocarburo hidrofóbico en la superficie del mineral.

En consecuencia, el colector tiene la función de hidrofobizar las partículas del mineral para que puedan adherirse a las burbujas de aire que están subiendo, y arrastran con ellos el mineral hacia la superficie de la pulpa. Estos reactivos están más relacionados con los sulfuros y el aire, pero menos relacionados con la ganga.

Durante la adsorción del colector sobre la superficie del mineral, la parte no polar se enfrenta a la fase mineral; y esto logra impermeabilizar eficazmente la superficie del mineral. Así, el colector se convierte en el principal factor de la cadena de flotación. Por lo tanto, se requiere la combinación más adecuada de colector y modificador para lograr el mejor efecto metalúrgico.

CLASIFICACION DE LOS COLECTORES:

COLECTORES ANIONICOS SULHIDRICOS.

Estos colectores son adecuados para minerales sulfurados. Todas las sustancias que poseen al menos un átomo de azufre en la parte polar del anión pertenecen a este grupo. Esto les da una fuerte afinidad por todos los minerales de sulfuro, lo que les permite separarse muy selectivamente del resto de la ganga. Este grupo es el más grande e importante.

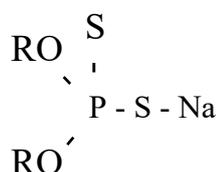
XANTATOS



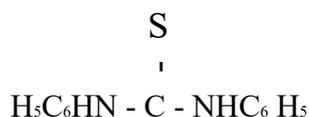
TIONOCARBONATOS



DITIOFOSFATOS



TIOCARBONILIDA



COLECTORES ANIONICOS OXHIDRILICOS.

Todas las sustancias que tienen al menos un átomo de hidrógeno en su grupo polar pertenecen a esta clase de colectores. Los productos más importantes son los ácidos grasos con uno o más dobles enlaces en sus partes no polares, como el ácido oleico, el ácido linoleico y el ácido linólico o sus mezclas industriales.

Propiedades de los colectores aniónicos

Los colectores aniónicos como los XANTATOS, son solubles y se definen como electrolitos totalmente ionizados para las concentraciones del orden de los empleados en la flotación.

La oxigenación que se da a las superficies de los sulfuros afecta en gran medida la cantidad de burbujas de gas adheridas a la superficie del mineral; la oxidación de la superficie del sulfuro determina la adsorción de los xantatos.

COLECTORES CATIONICOS PARA MINERALES NO SULFUROSOS

La adsorción que tiene el mineral con los colectores catiónicos es débil y la adsorción se puede hacer minimizando la concentración por dilución de la pulpa.

La adsorción es diferente para los xantatos.

PODER COLECTOR Y SELECTIVIDAD

La capacidad del recolector de los agentes de flotación se mide por la dosis por unidad colectora utilizada y la complejidad de la flotación del mineral.

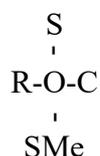
Para los xantatos, Durante mucho tiempo se pensó que esta propiedad era una función de la cantidad de átomos de carbono y, por lo tanto, un colector más fuerte. Sin embargo, hay algunas limitaciones a esta regla.

Tomando como ejemplo, se sabe que varios minerales sulfurados responden en forma diferente a la adsorción de los colectores, los poderes colectores relativos de estos tipos de xantatos deben ser distintos de un mineral a otro, como ha resultado ser el caso. Así pues, el Z-6 se utiliza en lugar del Z-3 como colector del elemento de cobre, porque difiera a la regla general, el Z-6 flota menos pirita que el Z-3.

La selectividad que tiene un colector hace referencia a su habilidad para poder recubrir en forma selectiva, y lograr flotar el mineral deseado sin flotar los que son indeseados. También se puede controlar de manera fácil mediante la utilización de agentes modificantes adecuados logrando así una separación con éxito de la mayor parte de las combinaciones de minerales.

XANTATOS

Los xantatos o también llamados xantogenatos son sales de ácido xantogenico y su fórmula química es la siguiente:



Siendo Me catión K^+ , Na^+ ó H^+

Los xantatos están entre los primeros colectores orgánicos que logran ser solubles en agua y de aquí que su aplicación fue de inmediato.

Los xantatos pueden llegar a oxidarse y se convierten en dialquil xantogenurs. Las soluciones acuosas de los xantatos se logran hidrolizar formando los ácidos xantogénicos. La hidrólisis de los xantatos va en aumento con la reducción del pH del medio; por otro lado, las soluciones acuosas de xantatos en medios alcalinos son muy estables. Su producción en el área industrial está basada en la reacción de una cantidad equimolar de alcohol y bisulfuro de carbono según la siguiente ecuación:



TOXICIDAD

Los xantatos son altamente tóxicos. La concentración limite que se permites en las aguas residuales en de 0.01mg/L.

TIPOS DE XANTATOS

Xantato etílico de potasio Z-3 y Xantato etílico de sodio Z-4.

Estos xantatos son similares al momento de actuar como un colector en flotación, pero hay cierta preferencia por el Z-3. Ambos se preparan iniciando del alcohol etílico, se aplica cuando se busca la máxima selectividad.

Xantato amílico de potasio Z-6

Este Xantato es fuerte, debido a esto, se utiliza mayormente en aquellas operaciones de flotación que necesiten el más alto grado de poder colector. Es un colector muy apropiado para la flotación de sulfuros u oxidados de cobre y para minerales de plomo. Además, se emplea en el tratamiento de la pirrotita, arsenopirita, sulfuros de hierro conteniendo oro, sulfuros de cobalto y níquel

Xantato isopropílico de sodio Z-11. El Xantato es el más utilizado de todos los xantatos debido a su bajo costo y alta capacidad de recolección. Generalmente un poco más lento que el Xantato de etilo. Se ha utilizado con gran éxito para la flotación de casi todos los minerales sulfurados.

Utilizado para flotación de cobre, plomo y zinc; En los minerales compuestos de plomo-zinc y cobre-hierro, los principales minerales sulfurados son la calcocita, esfalerita, calcopirita, marmatita, enargita, galena, pirrotita y pirita.

Xantato butílico secundario de sodio Z-12

Este Xantato se utiliza en la flotación combinada de todos los minerales sulfurados y debe estar en condiciones adecuadas para flotar selectivamente minerales de cobre y esfalerita para luego detener la activación con sulfato de cobre.

Xantato isobutílico de sodio Z-14.

Este Xantato es altamente activo y no selectivo frente a todos los minerales sulfurados. Adecuado para la flotación de pirita en bucles naturales, es decir, bucles donde el pH no se ajusta con ácido o cal, actualmente reemplazado por Z-11.

APLICACIONES DE LOS XANTATOS

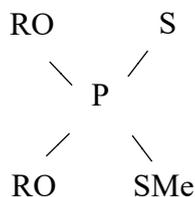
Los xantatos se acoplan a la flotación de los minerales sulfurosos y los elementos metálicos como Cu, Ag y Au, así también como un gran número de metales oxidados de Pb y Cu. La flotación mayormente se lleva a cabo en una pulpa alcalina, pero en algunos casos se usan pulpas que son un poco acidas. Los xantatos suelen descomponerse en soluciones que presentan un pH inferior a 6.

Los xantatos no son espumantes; por tanto, se pueden emplear en cualquier cantidad que sea necesaria, sin correr el riesgo de espumación excesiva; y pueden prepararse en cualquier concentración deseada por ser fácil y completamente solubles en agua. Generalmente se usan soluciones a 5% y 10% pero a veces pueden ser ventajosas mayores dosis en aquellas plantas que usan grandes cantidades de colector. Las soluciones de xantatos, al igual que todos los demás agentes de flotación, deben agregarse a una velocidad constante.

DITIOFOSFATOS

Estos son compuestos químicos del tipo sulfuro que se procesan en operaciones mineras como promotores para la separación de minerales sulfurados y minerales metálicos.

Los ditiofosfatos son, ácidos aril - ditiofosfóricos y contiene sales de ácido alquil-ditiofosfóricos, estos son conocidos en la práctica con la denominación de aerofloats. Su estructura se puede representar con la siguiente fórmula general:



R es el radical hidrocarburo aromático y Me, es el átomo de hidrogeno o el metal alcalino o también llamado ion amonio. Estos compuestos son bastante solubles en agua y, además, forman sales relativamente solubles con metales pesados. Tienen un ligero olor a azufre y buena solubilidad en diversas soluciones acuosas alcalinas y disolventes orgánicos. Cuando se encuentran en ambientes acuosos y alcohólicos, se denominan ácidos fuertes. Aún no se sabe mucho sobre el mecanismo del efecto de acumulación durante la formación de espuma de sulfuro.

Mayormente el efecto de los ditiofosfatos se identifica con el efecto de los xantatos, también es bien conocido en la aplicación que los ditiofosfatos y los colectores son significativamente diferentes de los xantatos porque tienen un efecto selectivo sobre diferentes sulfuros cuando se encuentran en presencia de pirita.

TIPOS DE DITIOFOSFATOS

Tabla 1. Clasificación de Ditiofosfatos

DITIOFOSFATOS NOMBRE COMERCIALES			
AMERICAM		CYANAMID	REACTIVOS NACIONALES S.A.
(CANT. USUAL: K/TM)			"RENASA"
Aeroflot	25	0.02-0.09	Ditiofosfato AR-125
Aeroflot	31	0.02-0.09	Ditiofosfato AR-131
Aeroflot	33	0.02-0.08	Ditiofosfato AR-133
Aeroflot	208	0.005-0.05	Ditiofosfato AR-1208
Aerofloat	211	0.02-0.09	Ditiofosfato AR-1211
Aerofloat	238	0.02-0.09	Ditiofosfato AR-1238
Aerofloat	242	0.009-0.07	Ditiofosfato AR-1242
Aerofloat	404	0.009-0.07	Ditiofosfato AR-1404
Sodium Aerofloat			Sodium ditiofosfato

Nota. Fuente: Porras Castillo David L., (1997), Procesamiento de minerales, Cerro de Pasco, Perú

CARACTERISTICAS DE LOS DITIOFOSFATOS

Los ditiofosfatos o Aerofloats A-25, A-31 y A-242 son ácidos aril-ditiofosfóricos. Dichos colectores tienen propiedades espumantes y su intensidad disminuye en el orden en que anotan: A-24, A-31, A-33 y A-242. El ditiofosfato AR-1242 adquiere propiedades espumantes que son muy débiles. Además, es importante mencionar que el color que presenta es café oscuro negro.

El A-25 es utilizado generalmente como promotor selectivo para la aplicación de la flotación de los sulfuros y también combina las propiedades promotoras y espumantes. El A-31 y A-33 tienen características físicas bastante similares al A-25 pero estos son colectores mucho más enérgicos.

El A-242 es un promotor demasiado fuerte, es soluble en agua y tiene algunas características espumantes; es muy útil cuando es necesario un promotor que aparte de selectivo, sea rápido y activo, y también es utilizado cuando no es para nada posible acondicionar el promotor con la pulpa.

Dado que los ditiofosfatos A-25, A-31 y A-33 tienen una solubilidad limitada en contacto con el agua, debe consumirse en su forma original. Se pueden mezclar en todas las combinaciones posibles, incluido el ácido cresílico, si se necesita más espuma. Por su solubilidad parcial en agua y para mejores resultados, se adiciona al acondicionador o en todo caso al molino de bolas, para que sea tratado completamente con la pulpa antes de ingresar a las celdas de procesamiento.

Los ditiofosfatos A-208, A-211, A-238 y Sodium, tienen una apariencia similar, pero por claras razones tienen diferente composición química. Son no espumantes y muy solubles en agua, Además, se emplean ampliamente en la flotación de menas de que contienen Cu, Pb y Zn, donde es necesario una acción rápida que este en combinación con la selectividad respecto a sulfuros de Fe y/o Zn.

USOS Y APLICACIONES

Aerofloat A-25 o Ditioposfato AR-125

Aeroflot cresílico con contenido total de fosforo y azufre 25%.

Es usado mayormente como un promotor para los minerales sulfurados de Ag, Cu, Pb y Zn.

Mayormente no flota con facilidad los minerales sulfurados de Fe cuando se encuentra en un circuito alcalino. En cambio, cuando está en presencia de la cadena ácida o neutra es un agente promotor de espuma muy fuerte y no es selectivo para todos los sulfuros presentes.

Distintas investigaciones demostraron que de igual manera es útil cuando se quiere alcanzar la recuperación de sulfuros de Cu, Pb y Zn que están muy finamente molidos. Igualmente, se le ha encontrado aplicaciones en el proceso de la flotación de arena de vidrio, donde su objetivo fundamental es estabilizar la espuma.

Aerofloat A-31

Es una solución de tiocarbamilida con un 6% en A-25.

El A-31 combinado con el A-25 se utiliza para la flotación de sulfuros de Pb y Ag.

Además, es muy adecuado para la flotación de minerales de Au oxidados y minerales de azufre que contienen plata y cobre.

El A-31 y A-242 son los dos mejores promotores para usar en minerales Ag.

Aerofloat A-33

Se utiliza en la flotación de la galena. Es utilizado como colector de Au y Cu, y en sulfuros de Cu.

Es un poco más fuerte y menos selectivo que el colector A-31.

Ayuda a la flotación de partículas de minerales que no han sido liberados, así como también en las partículas gruesas que se encuentran en los sulfuros liberados.

Aerofloat A-208

La principal aplicación de este acelerador es la flotación de minerales de Au, Ag y Cu. Es uno de los mejores aceleradores desarrollados para metales como el oro, el cobre y la plata. A menudo utilizado junto con Xantato Z-12, este reactivo es un acelerador de mineral de oro ideal y se usa ampliamente para este propósito.

Es muy útil para flotar oro metálico que es fino y que fue liberado de sulfuros y ganga.

Cuando el oro está parcialmente libre y parcialmente acompañado con pirita y otros sulfuros, se usa ampliamente una combinación de A-208 y Z-12, a veces con A-15 como acelerador secundario y como espumante primario o único. También es un colector eficiente de calcocita, covelita y bornita.

Aerofloat A-211

Es la sal sódica del ácido dialquilditiofosfórico.

Este agente es semejante pero más fuerte que el ditiofosfato de sodio. También se utiliza ampliamente en la flotación de esfalerita y en la flotación de mineral de hierro y litio, donde la selectividad a la pirita es importante.

Al igual que con el ditiofosfato de sodio, el uso de xantato también es útil y generalmente se agrega en la etapa de agotamiento de la flotación.

Algunos operadores afirman haber logrado una mayor y mejor recuperación de esfalerita lamosa utilizando el acelerador A-211.

Ditiofosfato AR-1238 o A-238

Denominado científicamente como Dibutilditiofosfato de sodio

Este reactivo es similar al A-208 y, por lo tanto, es un colector eficaz de minerales de Au y sulfuro de Ag, Cu y Zn. No es un buen agente para la galena y, como otros ditiofosfatos o suspensiones, es bastante selectivo para la pirita en el ciclo alcalino. Este

reactivo es un acelerador excelente de sulfuro de cobre, especialmente en presencia de pirita cuando se quiere selectividad.

Aerofloat A-242 ó Ditiوسفato AR-1242

Aeroflot cresílico amoniacoal.

Es el ditiوسفato líquido o acelerador aerofloat más selectivo y es una forma soluble en agua del ditiوسفato AR-131 o acelerador aerofloat A-31.

Es un acelerador fuerte, en especial en presencia de esfalerita y sulfuro de hierro, y se usa ampliamente para la flotación de sulfuros de plomo y cobre donde la selectividad a estos sulfuros es un problema serio.

Es un acelerador de acción rápida ideal para alimentar circuitos de flotación por etapas.

En algunos casos se ha utilizado como acelerador de flotación de sulfuro de zinc. Además, se utiliza con otros aceleradores para lograr buenos resultados en la flotación de minerales auríferos.

En ningún caso la solución debe tener una concentración inferior al 10% antes de enviarla al circuito.

Nota - Al preparar una solución acuosa de este reactivo, el procedimiento correcto es agregar agua al A-242.

Promotor A-404 o AR-1404

Este acelerador se desarrolló inicialmente para la flotación de carbonato de plomo sin el uso de sulfuros. Desde ese entonces, fue ampliamente utilizado para la flotación de minerales de cobre después de la sulfuración.

El acelerador también se utiliza como un colector secundario con xantatos y Aerofloats o ditiوسفatos para la flotación de minerales sulfurados de cobre, plomo y zinc.

Este acelerador fue utilizado recientemente con gran éxito para la flotación de pirita en un circuito ácido a pH 4-6 y ha demostrado ser muy eficiente. Por lo tanto, el colector es considerado un excelente acelerador de flotación para la pirita aurífera.

Es recomendable utilizar A-242 o A-31. El colector tiene propiedades de baja formación de espuma.

REACTIVOS ESPUMANTES

Los agentes espumantes corresponden a la formación de espuma, que ayuda a la separación de partículas hidrofóbicas e hidrofílicas.

El principal objetivo del espumador es, mediante agitación o inyección de aire, asegurar la consistencia, de modo que las burbujas pequeñas de aire formadas en la composición de pulpa queden rodeadas por una capa absorbente, evitando que se peguen (ensamben) y no se rompan cuando estos lleguen a la superficie, formando espuma.

Además, proporciona flexibilidad, ayudando a que las burbujas de aire en crecimiento atraviesen la capa superior del agua y emerjan por completo en la interfaz agua-aire.

La molécula de los espumantes está formada por:

Una parte no polar que está formada por el radical orgánico.

Otra parte polar que está compuesta por grupos polares como: carbonil COOH, hidroxil OHC, amino – H₂, carbonil = C = O y sulfo –CHO₂OH o SO₂OH.

En la fase líquida de la pulpa, su efecto aumenta la resistencia mecánica de las burbujas, lo que contribuye a mantenerlas en estado disperso, aumentando así la superficie de adherencia de las partículas de flotación y la estabilidad de la espuma de flotación.

La estabilidad de la espuma es la cualidad que debe atribuirse a los agentes espumantes en masa mineral, ya que se ha probado que la estabilidad de la espuma aumenta con el aumento de la viscosidad y la disminución de la permeabilidad de la película fluida. La práctica de flotación muestra que las espumas llenas de partículas pequeñas son en realidad mucho más estables que las espumas vacías, en conclusión, se debe enfatizar que la estabilidad de las espumas depende tanto de la temperatura de la pulpa como del valor del pH. La efectividad del uso de ciertos espumantes depende del pH de la pulpa.

El poder espumante de un agente es mayor cuando se encuentra en forma molecular.

Por ejemplo, los fenoles se convierten en fenolatos en medios fuertemente alcalinos, que tienen un poder espumante insignificante en su forma iónica.

CLASIFICACION DE LOS REACTIVOS ESPUMANTES

Según la eficiencia del espumante a diferentes valores de pH de la pulpa, se puede dividir en:

BASICOS

Aquellas con mayores propiedades espumantes entre las pulpas alcalinas. Los principales agentes espumantes incluyen bases pesadas de piridina, que tienen un alto poder espumante en ambientes altamente alcalinos.

ACIDOS

Estas propiedades espumantes disminuyen en base de que aumenta la alcalinidad de la pulpa. Los agentes espumantes ácidos incluyen agentes fenólicos como el aceite de madera fenólico, cresol, xilenol y sulfonatos de alquilarisulfonatos como los detergentes y compuestos azolatos.

Debido a que la flotación del mineral mayormente se lleva a cabo en pulpa alcalina, los espumantes ácidos son débiles en la práctica de beneficio, pero en la mayoría de los casos son agentes altamente selectivos.

Actualmente, todos los agentes espumantes fenólicos no están incluidos de la práctica de flotación de minerales de metales no ferrosos debido a que presenta alta toxicidad.

NEUTRO

Su utilidad en flotación es prácticamente independiente del pH de la pulpa. Es el grupo más grande de sustancias espumosas debido a su número e importancia. Las combinaciones de reactivos dan excelentes resultados, especialmente cuando alguno de los reactivos incrementa la solubilidad del otro. La función es crear una espuma estable para lograr remover el concentrado de la celda de flotación; también tienen efectos importantes en el circuito de fluidos, se mencionan algunos:

- Cuando las burbujas mineralizadas se elevan a la superficie aumenta la resistencia de la película de la burbuja y la estabilidad de la espuma que está formada.
- Se mejora la dispersión de todas las burbujas de aire que están en la celda de flotación al formarse las burbujas finas.
- Afecta la acción del colector.
- Minimiza la velocidad de la burbuja cuando se dirige hacia la superficie de la pulpa.
- Previene que se cree la unión o la coalescencia de las burbujas de aire separadas.

ESPUMANTES USUALES

Cada mineral tiene propiedades diferentes y existen importantes ventajas al utilizar o elegir un espumante diferente para cada situación, y la elección se realiza mediante

pruebas metalúrgicas y de laboratorio para determinar cuál se adapta mejor a nuestras necesidades. Los siguientes espumantes más utilizados están disponibles en el mercado.

El Aceite de pino

Es un espumante muy utilizado obtenido por destilación secundaria de resina de pino, y su poder espumante depende del contenido de terpineol. Una vez que se ha identificado un proveedor de este reactivo, se debe tener mucho cuidado al sustituir, ya que no siempre se dispone de un producto con la misma composición que el producto estandarizado.

El Cresol o Acido Cresílico

Obtenido a partir de la fracción ligera de la destilación del alquitrán de hulla, es bastante exigente. Es tóxico e inflamable.

El Frother

Entre los espumantes más básicos tenemos: **F-210, F-250 y F-70**. Esta espuma tiene una excelente selectividad cuando se usa en concentraciones óptimas y es una de las mejores aplicaciones para la flotación diferencial de compuestos de plomo, plata - zinc y cobre, plomo, plata - zinc con capas de piritita y sílice. El consumo de los espumantes está entre 10 y 70 g/TM. El exceso puede afectar negativamente a la flotación, y la F-250 tiene el consumo más bajo debido a su máxima potencia. F-700 es un espumante bastante selectivo, que es su ventaja sobre F-210 y F-250.

Entre los espumantes mejorados tenemos: **F-900D, F-210D, F-800D y F-700D**.

Sus principales ventajas son su alta selectividad, es decir, no recoge y su eficacia a bajas concentraciones. Es un mineral sulfurado de plata, plomo, zinc, cobre – oro. Producen una espuma estable a la vez que son frágiles como para ser eliminados en las celdas de flotación. Son fáciles de medir del producto incluso a temperaturas muy bajas

y no requieren ningún tratamiento especial para agregarse a la pulpa en ningún momento antes de la formación de espuma.

El Dowfroth 200, Dowfroth 205, Dowfroth 1012, etc.

El éster amílico de propilenglicol es Dowfroth. Consiste en una mezcla de polipropilenglicol en monometil éter. El óxido de propileno y el metanol se logran utilizar como materias primas para la síntesis o producción de espuma. Es un líquido aceitoso de color marrón oscuro con un ligero olor y una densidad de 0,968-0,980 gr/cc. Se puede mezclar con agua con una proporción cualquiera. D-200, D-250 y D-1012 fabricados por Dow-Chemical son agentes espumantes para la flotación selectiva de minerales sulfurados de plata, plomo, zinc, cobre – oro.

El metil Isobutil Carbinol (MIBC)

Es un excelente agente espumante para la espumación selectiva de sulfuros no metálicos. Hace una espuma quebradiza.

APLICACIÓN DE LOS ESPUMANTES

En el proceso de espumado actual se utiliza una amplia variedad de agentes espumantes, cuyas condiciones se ven afectadas por el tipo de espumante y colector utilizado, el tipo de sólidos presentes y el pH de la pulpa y lodo. Por ejemplo, en la flotación, los minerales de sulfuro suelen ser una columna de 2 a 3 pulgadas de profundidad que proporciona una buena mineralización superficial. Este tipo de espuma permitirá la extracción del mineral hasta que la espuma sea casi estéril y descolorida. Esta condición similar, también se da para el caso de los no metálicos; pero es probable que, en esta flotación de no metálicos, la espuma sea aceitosa, pesada, en forma de grumos y sostenida por delgadas burbujas elásticas. Este tipo de espuma, se forma cuando se usa un ácido graso tanto como colector, así como espumante, el cual disminuye el volumen de la espuma conforme esta es extraída.

Cuando no se agrega espumante a una pulpa, las burbujas que se forma por el aire que se inyecta por el eje del impulsor de la celda de flotación llena de pulpa, se rompen al llegar a la superficie, por lo tanto, no permitiría recoger el elemento que queremos recuperar; en otras palabras, no habrá flotación.

Si a la pulpa le añadimos un espumante, las burbujas de aire se vuelven más uniformes y persistentes, ya que el agente cubre las burbujas de aire con una fina capa, evitando que estallen pronto.

Si la cantidad de agente espumante es demasiado grande, se creará mucha espuma, que es extremadamente difícil de disolver, eliminando los elementos valiosos, contaminando el concentrado y haciendo que el canal de espuma de la celda e incluso la caja de alimentación de la bomba se desborden.

El aspecto de la superficie de una buena espuma debe ser: de pequeñas burbujas, de 1 a 3 centímetros de tamaño que se cubren parcialmente con una película de partículas minerales, dejando áreas libres el tope de las burbujas. No deben ser excesivamente viscosas. El aspecto de una mala espuma significa que se dará la existencia de una lluvia ligeramente fina sobre la superficie de las espumas, indica fragilidad y pobreza de mineral. Burbujas pequeñas y pesadas o “espuma seca”, indican demasiada estabilidad la cual no permite la concentración secundaria.

REACTIVOS MODIFICADORES O REGULADORES

El papel específico de los modificadores es preparar directamente la superficie del mineral para la adsorción o desorción de ciertos reactivos y, en general, crear condiciones favorables para una flotación satisfactoria de la pulpa. Es decir, cambia la superficie de los sulfuros y la ganga para favorecer o evitar la acción de recolección sobre ellos, impidiendo así que fluyan.

CLASIFICACIÓN DE LOS REACTIVOS MODIFICADORES:

La lista de modificadores o acondicionadores utilizados para la flotación es variada; Los términos legales generales se refieren a todos los medios que no poseen una función específica de recolección o espumación. Se clasifican según sus funciones:

REACTIVO REGULADOR DE pH

Estos son agentes que modifican la acidez o alcalinidad de la pulpa. Es un agente que cambia la concentración de iones de hidrógeno en la composición de pulpa para aumentar o disminuir la adsorción del colector según sea necesario.

Con pocas excepciones, la eficiencia de todos los agentes de flotación depende mucho de la concentración de iones de hidrógeno o hidróxido en la pulpa. Uno de los principales objetivos de la investigación de flotación es encontrar el pH óptimo para cualquier combinación de reactivos y minerales. La mayoría de las plantas de flotación que procesan minerales de azufre utilizan una suspensión alcalina para garantizar los mejores resultados metalúrgicos y minimizar la corrosión. Muy pocas plantas operan en el ciclo ácido; esto sucede cuando el ácido líquido lava los minerales de los relaves.

Para medir el valor de pH de la pulpa, se utilizan dispositivos llamados potenciómetros "Beckman", estos tienen una escala. Los reguladores de alcalinidad más utilizados son: la cal \rightarrow CaO y el carbonato de sodio \rightarrow Na₂CO₃ Se puede usar sosa cáustica \rightarrow NaOH, pero es más costosa. Por su disponibilidad y bajo costo, la cal se utiliza en todos los circuitos donde los iones de calcio no provocan interferencias; incluyen la mayoría de los circuitos de cobre y zinc. Algunos minerales, especialmente la pirita y la galena, tienen una fuerte tendencia a adsorber iones de calcio en lugar de colectores y, por lo tanto, no fluyen fácilmente en las lechadas de cal. Esta dificultad se supera usando carbonato de sodio, que precipita los iones de calcio naturales y crea la alcalinidad necesaria. El control del pH ácido generalmente se realiza con ácido

sulfúrico \rightarrow H_2SO_4 debido a su bajo costo. También existen concentradores que utilizan ácido clorhídrico \rightarrow HCl , ácido fluorhídrico \rightarrow HF .

CAL

En la práctica se utilizan cal cáustica \rightarrow CaO y cal hidratada \rightarrow $Ca(OH)_2$. El hidróxido de calcio \rightarrow $Ca(OH)_2$ es una base fuerte. Se obtiene una solución acuosa con una concentración de 0,17% a una temperatura de 25°C.

La solución de cal se llama comúnmente agua de cal, lechada de cal y suspensión acuosa. La cal cáustica interactúa con el agua y libera mucho calor, la cal cáustica a menudo se produce calcinando piedra caliza en hornos de control.

HIDROXIDO DE SODIO (NaOH)

El hidrato sódico $NaOH$ (soda caustica) es una sustancia blanca, sólida, en forma de trozos irregular con una temperatura de fusión de 318.4°C, la cual es muy higroscópica. Se disuelve bien en agua (42% a 0°C), alcohol y glicerina. En soluciones acuosas el hidrato sódico se disocia casi por completo en iones Na^+ y OH^- . Pertenece a las bases más fuertes. El valor del pH en la solución acuosa de $NaOH$ al 1% es igual a 13.

El proceso industrial de obtención del hidrato sódico se basa en la electrolisis de la solución fuerte de $NaCl$.

ACIDO SULFÚRICO

El ácido sulfúrico (H_2SO_4) es un líquido higroscópico aceitoso transparente, que se mezcla con agua en cualquier proporción. Las impurezas le dan un color pardo amarillo.

El ácido químicamente puro se congela en una masa cristalina a +10°C. El ácido concentrado reactivo (densidad, 1.84 g/cc) pasa al estado sólido a una temperatura de -20°C.

La disolución del ácido sulfúrico concentrado en agua va acompañada de un considerable desprendimiento de calor con cierta reducción de su volumen. El ácido sulfúrico concentrado es un oxidante bastante fuerte. Con una concentración superior al 93%, éste no actúa sobre el hierro, lo que posibilita su transporte en cisternas de acero. El ácido diluido con facilidad disuelve el hierro desprendiendo hidrógeno.

Para la producción del ácido sulfúrico se utiliza el gas sulfuroso. El ácido se obtiene con dos procesos: el de las cámaras de plomo y el de contacto.

ACIDO FLUORHÍDRICO (HF)

Es un líquido transparente, incoloro de olor penetrante, que humea en el aire húmedo, es una solución de fluoruro de hidrogeno en agua. La mayoría de los metales y el vidrio se disuelven en el HF (excluyendo el oro, platino, metales de platino y molibdeno). El fluoruro de hidrogeno seco no actúa sobre la mayoría de los metales y no reacciona con los óxidos de los metales

REACTIVOS DEPRESORES

La función de los inhibidores es reducir la flotabilidad de los minerales haciendo que la superficie sea más hidrófila o evitando la adsorción de colectores que logren hidrofobizarse (colección inhibida). Evitan que fluyan algunos sulfuros mientras que otros lo hacen. Los iones inhibidores forman compuestos superficiales o ingresan a las redes a través del intercambio de iones para evitar la adhesión, aumentar la hidratación de las superficies minerales y separar y recolectar iones de los minerales. Ejemplos de este tipo incluyen la depresión de sulfuros de metales pesados por iones HS y la depresión de ciertos sulfuros por iones CN.

El CaO es el reactivo más utilizado para inhibir la pirita en presencia de xantato; y también se debe mencionar un importante grupo de depresores orgánicos y coloides que

ejercen una función depresora de flotaciones tan importantes como las de la molibdenita, carbones y talco.

Depresores más usuales

Cianuro de Sodio NaCN.

Son cristales granulares blancos que se utilizan para recubrir y la erosión de minerales sulfurados como el Fe, el Cu y el Zn. Los iones de estos metales forman complejos muy estables con el cianuro; también se ha establecido que los minerales con iones metálicos no forman tales compuestos con el cianuro, por ejemplo: plomo, bismuto, estaño, antimonio y arsénico no son inhibidos por el cianuro. También es un inhibidor de sílice en medios ácidos.

Bisulfito de Sodio (NaHSO₃)

Es un inhibidor de los sulfuros de zinc y hierro. Se utilizan en lugar del cianuro, especialmente en minerales de plata. En la flotación para la galena, se utiliza para controlar la sobreoxidación. Funciona muy bien con minerales que contienen cobre en ausencia de agentes reductores, ya que los minerales de cobre se oxidan fácilmente y se vuelven más solubles durante la molienda.

Los iones de cobre o plomo resultantes pueden activar la esfalerita para que flote en el concentrado de plomo. Inhibe el mineral de hierro y zinc y el sulfuro de hierro y zinc.

Resumiendo, se menciona que la adición del agente reductor sulfito de sodio o bisulfito de sodio logra evitar que se oxide y, por lo tanto, la activación de la esfalerita.

Sulfato de zinc (ZnSO₄)

ZnSO₄·7H₂O es un cristal incoloro; es uno de los reguladores más importantes y tiene un efecto anticorrosivo y se utiliza para la flotación selectiva de mineral de cobre-plomo de esfalerita. Suele utilizarse en medio alcalino débil con otros reactivos como

NaHSO₃, NaCN y NaS. Sin embargo, en la práctica, se conocen casos en los que el ZnSO₄ actúa como un inhibidor independiente de la esfalerita, lo que proporciona una inhibición eficaz del mineral; también es un depresor de pirita.

Sulfato de Hierro (FeSO₄)

Es conocida la utilización del sulfato de hierro en calidad de depresor de la pirita. En combinación con el hidrosulfuro de zinc, almidón y ácido sulfuroso, el sulfato ferroso se utiliza en algunas plantas concentradoras para la supresión de la galena. Siendo alto el consumo en medios ligeramente ácido, el sulfato ferroso ejerce una acción depresores en los sulfuros de Pb, Cu y Zn.

El proceso más eficaz para la obtención de FeSO₄ es su cristalización de soluciones corrosivas.

Silicato de Sodio

Es un depresor de ganga en la flotación de minerales sulfurados y minerales no sulfurados y de cuarzo.

En escala industrial el silicato sódico se obtiene fundiendo a 1300°-1500°C arena cuarzosa con sosa o sulfato sódico y carbón en hornos de fundir vidrios.

La solución acuosa del silicato alcalino se denomina vidrio líquido. Estas soluciones si se guardan en recipientes abiertos son bastante inestables.

Bicromato de Potasio y Bicromato de Sodio

Son depresores limitados de galena, baritina y calcita. La oxidación de galena y dicromato ocurre

a un valor de pH por debajo de 10,5 y por debajo de 8-8,5 para pirita y calcopirita. Esta diferencia es una de las principales razones por las que las sales de cromo inhiben selectivamente la galena. La oxidación de la galena va en compañía de la formación de

calcopirita y pirita en la superficie. Las películas de cromato de plomo formadas a pH 6,8-7,0 son las películas más estables.

Cal

CaO es el depresor de pirita más conocido y supera a los minerales de sulfuro. El calcio es el agente más común utilizado para recubrir la pirita y otros iones metálicos para inhibirlos y hacerlos totalmente humectables en presencia de Xantato.

NOTA. - La cal ya fue estudiada como regulador del pH.

Almidón (C₆H₁₀O₅)

Es una sustancia orgánica de alto peso molecular, cuya capacidad hidrófila es determinada por la cantidad de grupos hidroxilos, los que casi no se ionizan.

El almidón puro es un polvo blanco, insoluble en agua a temperatura normal. Se produce de productos alimenticios: de patatas, maíz, trigo y arroz.

La acción precisa de los depresores orgánicos, aun no se tiene muy claro. Se cree que ellos ejecutan su efecto depresor sobre los minerales, por formación de partículas coloides (micelles) en la pulpa. La precipitación inmediata de estas micelles en la superficie mineral, origina hidratación y por consiguiente depresión. La preparación de la solución de almidón se realiza en agua a una temperatura de 55°C.

REACTIVOS ACTIVADORES Y REACTIVADORES

Los activadores logran aumentar la flotabilidad de ciertos minerales y mejoran o promueven la adsorción del colector. Los reactivos de reactivación restauran la flotabilidad de los minerales oxidados o sedimentados.

La función de activación es opuesta a la función de depresión, y estos agentes se utilizan para incrementar la adsorción de los colectores en la superficie de los minerales o para fortalecer la unión entre el colector y la superficie.

Los iones de estos reactivos se mueven hacia la red del mineral o forman compuestos superficiales, lo que reduce la hidratación de esa superficie y aumenta la cantidad de colector adherido al mineral. (Crea una superficie "nueva" para el mineral y lo hace susceptible a la flotación).

Los activadores que son más usuales se pueden dividir en dos grupos:

CATIONICOS: Sulfato de Cobre (CuSO₄)

CuSO₄.5H₂O, sulfato de cobre hidratado, contiene 5 moléculas de agua que forman cristales triclinicos asimétricos de color azul claro con una densidad de 2,28 g/cc. Es activador de calcopirita, esfalerita, pirrotita, pirita, cuarzo y arsenopirita.

Es muy utilizado en solución saturada o solución en circuitos de flotación de zinc para reactivar el sulfuro de Zn que fue inhibido en una operación anterior (circuito de plomo). La activación es tal que los iones de cobre en el sulfato de cobre reemplazan a los iones de zinc en la celda unitaria del mineral y forman una película de CuS sobre la esfalerita; luego, la esfalerita tiene un comportamiento como un mineral de cobre y el Xantato puede adsorberse en el mineral de cobre, permitiendo que el mineral sea flotable.

ANIONICOS

En este grupo se pueden considerar al: Sulfuro de Sodio (NaS) y el sulfito de Sodio (NaHS); como activadores de los minerales oxidados. Este proceso tiene la denominación de sulfidización.

REACTIVOS FLOCULANTES

Estos son agentes que promueven la formación de coágulos en la pulpa que sedimentan con mayor facilidad para aumentar la productividad de los equipos utilizados para remover agua y secar concentrados. Estos reactivos aglomeran sólidos finamente divididos en suspensiones acuosas y de esta manera contribuye a la formación

de floculas grandes, esto se refiere al agrandamiento de las partículas que se encuentran en suspensión y se efectúa en 10 y 100 veces, los que precipitan con mayor rapidez que las partículas de la suspensión sin flocular.

Los reactivos floculantes que son más usuales son los productos químicos como Magnafloc, el Separan, el Aerofloc y la cal.

REACTIVOS DISPERSANTES

Son agentes con diferente estructura química que minimizan las fuerzas que unen las partículas minerales o aumentan las fuerzas que las repelen, creando una agitación en la pulpa para separar estas partículas minerales, que en su forma separada tienden a humedecerse y prensarse. Estos agentes están diseñados para evitar que las finas lamas minerales del proceso de molienda se adhieran a las burbujas de aire y floten en la superficie de la pulpa, provocando que estas lamas se escapen a través de los relaves.

El reactivo dispersante que es más utilizable es el silicato de sodio ya que es un dispersor de gangas lamosas.

Almidón. - Es un dispersor más enérgico.

REACTIVOS SULFIDIZANTES

La sulfidización es el proceso de cambiar las propiedades químicas de los minerales hidrofílicos, convirtiéndolos en sustancias con propiedades hidrofóbicas. Si esto ocurre, el mineral se puede tratar como un sulfuro, como en el proceso de concentración de flotación por espuma. Desde un punto de vista químico, este fenómeno consiste en la formación de una fina película de sulfuro en las zonas oxidadas del mineral. El reactivo sulfurante se utiliza para la flotación de óxidos y sulfuros de metales metamórficos no ferrosos formando una película de azufre sobre el óxido y reorganizando la película de sulfuro sobre la superficie del metal oxidado.

Los reactivos sulfurantes que más se utilizan son el Sulfuro de Sodio $\rightarrow \text{Na}_2\text{S}$ y el Sulfuro de Bario $\rightarrow \text{BaS}$

2.4.5.11. Los alimentadores de reactivos

Estas son las unidades que se usan para entregar exactamente la cantidad de reactivo que queremos usar. Los alimentadores más comunes para la dosificación de reactivos líquidos en concentradores son los siguientes:

- Los alimentadores de válvula.
- Los alimentadores de reloj que cuentan con una válvula selenoide.
- Los alimentadores de disco y copas como Clarkson.

2.4.5.12. Equipos de instrumentación

El Potenciómetro

Es un instrumento que ayuda a medir el pH de las pulpas. El potenciometro Beeckam usado, consta de partes fundamentales como los electrodos que son tubos de vidrio bastante delgados que siempre deben estar limpios para garantizar una buena lectura.

Tiene una escala de 0 al 14 que marca el pH.

Para regular estos instrumentos se usan soluciones buffer con pH determinados.

Probetas

Son utilizados para la medición de volúmenes de reactivos que se agrega al circuito de molienda y flotación. Son de 250, 500 y 1000 ml.

2.4.5.13. Técnicas de operación de la flotación

El proceso engañosamente simple de flotación viene con cierta complejidad, ya que la ley maestra cambia constantemente durante un período de 24 horas y, para ser efectiva, debe mantener:

- Los valores más óptimos de pH.

- Realizar la limpieza de los labios de las celdas de flotación.
- Mantener el buen nivel de las espumas en todos los bancos de flotación.
- Mantener un excelente grado de molienda.
- Regular permanentemente los chisguetes de agua que existen en los canales de espumas, manteniendo en cuenta que no se debe diluir mucho la pulpa; sobre todo si esta va a ser nuevamente flotada.
- Mantener un gran control en la dosificación de todos los reactivos.
- Debe existir una excelente regulación del aire en las celdas de flotación.
- Una buena regulación en todas las compuertas que están en las celdas y los bancos de flotación.
- Debe haber buena densidad de la pulpa.

2.4.5.14. Efectos de los reactivos

LOS ESPUMANTES. - D-250, Mezcla: A. Pino+D-250 ó Mezcla: M.I.B.C.+D-250, M.I.B.C., F-70, etc.

Tabla 2. Dosificación de los espumantes

EN EXCESO:	DEFECTO O FALTA DE ESPUMANTE
Produce carga circulante.	Muy baja el nivel de espuma.
Tendencia a ensuciar los concentrados.	Los sulfuros valiosos se pasan al relave.
Rebalsan los canales y las bombas.	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

LOS COLECTORES. - Xantatos, Aerofloats o Ditiolfosfatos, etc.

Tabla 3. Dosificación de los colectores

EN EXCESO	DEFECTO O FALTA DE COLECTOR
No hay selección.	Los sulfuros valiosos se pasan al relave.
Produce carga circulante	Espumas muy frágiles.
Flotan todo tipo de sulfuros.	Espumas muy pobres con concentrado limpio.
Se ensucian los concentrados.	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

LOS MODIFICADORES LECHADA DE CAL.- regulador de pH y depresor de la pirita.

Tabla 4. Dosificación de los modificadores

EN EXCESO	DEFECTO O POR FALTA
Los sulfuros se pierden en el relave.	Se espesa las espumas.
Las espumas son frágiles.	Flota pirita en exceso.
Se eleva demasiado el pH.	Se ensucia el concentrado.
Aumenta el consumo de colectores.	Se baja el pH.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

2.4.5.15. Análisis gravimétrico

Una forma práctica de saber si la flotación está funcionando bien es mediante un análisis gravimétrico con un separador manual o rotatorio llamado "plateo de lavado". El plateo es la recuperación de muestras específicas de relaves o concentrados.

En el caso de los relaves, para entender hasta qué punto se han escapado los sulfuros valiosos, y en el caso de los concentrados, para ver qué tan bien hemos removido todas las impurezas del mineral.

Una vez que la muestra está en el plato, se retira el sedimento, y cuando la muestra está libre de este lodo, el plato se gira lentamente para que los minerales con mayor gravedad específica se distribuyan en el centro del plato, mientras que los de menor peso específico se distribuyen en el borde.

Entonces, si se realizó correctamente el plateo, podemos distinguir de los bordes: primero los insolubles, luego el zinc, el cobre, el hierro y finalmente el plomo en el medio.

2.4.5.16. Flotación de minerales de oro

Si el oro contiene poco o ningún indicio de ganga, o si parte del oro está libre como metal o telururo y el resto se combina con sulfuros como pirita y arsenopirita, los métodos de tratamiento incluyen análisis gravimétrico, lixiviación y flotación.

Las dosis de reactivo comúnmente utilizadas para la flotación de mineral de oro son colectores como Aerofloat 208 y Xanthate 301 en combinación con Aerofloat 25 como espumante o colector.

Las cantidades que se usan en general son del orden de 0.05 a 0.10 lb/ton equivalente a 25 a 50 gr/ton de aerofloat a aerofloat 3477 y el Aero 301 o el xantato 317, y de 0.05 a 0.15 lbs/ton equivalente a 25 a 75 gr/ton de aerofloat 25.

Otra combinación muy interesante de reactivos para la flotación de las menas auríferas, son el aerofloat 241 o el colector 242 y los colectores Aero 404, 407 y 412. De los mencionados, los reactivos de la serie 400 actúan como los principales colectores.

En general, las partículas de oro metálico puro de menos de 65 mallas son fáciles de flotar con los reactivos anteriores. Si el mineral contiene oro, arsenopirita, pirita y pirrotita se requieren los potentes colectores no selectivos Aero 301 o Z-6, pero si los

sulfuros están parcialmente oxidados, el Aero Xanthate 317 y el Colector Serie 400 serán mucho más efectivos.

Los siguientes reactivos tienen acción depresora sobre el oro:

- Cal en exceso.
- Aero depresante 610 y 633 en exceso.
- Sulfuro de sodio
- Quebrancho y Tanino en exceso.
- Ácido sulfhídrico.
- Sulfuros alcalinos.

Otros datos son los siguientes:

- El sulfato de cobre apoya la recuperación del oro libre, en especial del oro empañado o fino.
- El Acetato de plomo o Nitrato ayudan a la recuperación del oro libre manchado.
- El nitrato de mercurio o hidróxido de sodio contribuyen a la recuperación del oro libre.
- El ácido sulfúrico apoya en la recuperación de oro que se encuentra en pulpas diluidas ya que en las pulpas espesas es menos beneficioso.
- Las cenizas de soda son usadas como reguladores de la alcalinidad.
- La cal no debería usarse, se da esta recomendación porque es un depresor de oro libre y con ello evita la flotación de la pirita.
- El uso del sulfuro de sodio debe ser moderado ya que a pesar de que es una ayuda en la flotación de sulfuros que están parcialmente oxidados, tiene acción depresora sobre el oro libre.

- El silicato de sodio es utilizado para contrarrestar la interferencia de la ganga lamosa en el proceso de la flotación ya que es un agente de dispersión
- El ácido cresílico, el aceite de pino y los alcoholes superiores, se utilizan como espumantes.
- El Barren N° 4 y el N° 634 son utilizados como modificadores de la espuma cuando se flota oro grueso de 65M y sulfuros.

2.4.5.17. Controles metalúrgicos en los circuitos de flotación

El control adecuado en este circuito es importante porque la calidad del mineral de la ley de cabeza cambia constantemente, lo que hace que la flotación sea un proceso dinámico que requiere un monitoreo constante.

RECUPERACION Y RADIO DE CONCENTRACION

Estos son indicadores de la eficiencia y selectividad del proceso de flotación, respectivamente. La recuperación es la cantidad de minerales valiosos extraídos del concentrado, expresada como porcentaje. El radio de concentración es el número de unidades de mineral a partir de las cuales se produce el concentrado.

Es técnicamente inconveniente llevar la concentración al máximo grado de enriquecimiento, porque cuanto más rica es la concentración, menor es la recuperación.

La pérdida aumenta aritméticamente con la riqueza del concentrado, y cuando se alcanza cierto límite, aumenta geométricamente.

Económicamente, este límite se puede determinar comparando el valor del concentrado y el costo de operación y la pérdida de mineral valioso para mejorar la calidad del concentrado.

El control se realiza en las plantas utilizando el plateo, que es un análisis gravimétrico; y en el laboratorio por análisis químico para reportar el balance metalúrgico

GRANULOMETRIA DEL MINERAL

El tamaño óptimo es aquel que da un buen concentrado con excelente recuperación expresada como un porcentaje negativo de malla 200. Se determina en el laboratorio.

El control está basado en el análisis de tamaño de partícula de las muestras en el clasificador y es expresado como porcentaje del mineral que pasa la malla 200.

Para minerales comunes, los controles granulométricos deben arrojar resultados que pueden variar de 55 a 65 -200 mallas.

DENSIDAD DE PULPA

El control de la densidad se realiza pesando un litro de pulpa en un densímetro y determinando así su densidad en gr/L, que luego se convierte a porcentaje de sólidos mediante una fórmula o leyendo directamente del propio densímetro.

En caso de desbordamiento de la máquina, la alimentación se controla y se bombea hacia el concentrado final y los relaves. Cuando la densidad es demasiado alta, obtenemos un mayor tiempo de flotación, baja calidad del concentrado, baja recuperación, obstrucción y desgaste de las celdas y bajo consumo de reactivos.

La densidad es demasiado baja y se obtiene como producción: un corto tiempo de flotación, buena calidad del concentrado, baja recuperación, desgaste del tanque y operación normal, alto consumo de reactivos. Dentro de un cierto límite, si la densidad del mineral es alta, las partículas son grandes y los minerales seleccionables son fáciles de flotar en la celda de flotación Rougher.

Se utiliza una densidad más baja cuando los minerales están finamente molidos, cuando el material a concentrar no fluye fácilmente y está en celdas de flotación Cleaner.

ALCALINIDAD

El control de la alcalinidad se realiza en los acondicionadores y en las celdas de flotación utilizando el potenciómetro o también llamado peachímetro, el papel indicador de pH o haciendo uso de la titulación con ácido sulfúrico al 0.049%.

REACTIVOS

El control de los reactivos se realiza utilizando una probeta y un cronometro, además se expresa en ml/min o cc/min. Para obtener la dosificación necesaria de los reactivos se procede a controlar utilizando el plateo que es el lavado en plato y también procediendo a observar el tipo y color de las espumas que dan buenos resultados. El lavado de plato se realiza a diferentes muestras de varios puntos, tales como:

La alimentación (o/f clasificadores o ciclones); para poder determinar la calidad y la ley del mineral lo más aproximado posible y poder dosificar de manera adecuada los reactivos.

Cuando la ley de cabeza es tan pequeña que no puede observarse directamente, se debe establecer junto a que mineral se encuentra la mena y por observación de este mineral puede determinarse indirectamente la riqueza de la alimentación. Tal es el caso de la galena argentífera o la pirita aurífera.

Los concentrados; para lograr determinar la calidad de concentrados y proceder a poder controlar la dosificación.

Los relaves; para lograr determinar la pérdida de todos los valores en los circuitos, de esta manera controlar y corregir la dosificación de los reactivos.

Cuando se tiene una espuma pequeña y cargada es indicador que hay demasiada dosificación o bien el colector tiene un alto poder y esto origina la flotación de la ganga.

Cuando obtenemos una espuma descargada es señal que la dosificación es muy deficiente o el colector tiene bajo poder.

Una espuma viscosa es indicadora que la dosificación de Xantato está en exceso o que hay mucho espumante, también se puede dar porque hubo un exceso de silicato de sodio.

Cuando se obtiene una espuma frágil significa que tenemos una deficiente dosificación de espumante o que hubo un exceso de cal.

Para verificar que se tiene una buena espuma, debemos observar que esta espuma este formada de burbujas de aire mineralizadas que tienen un tamaño mínimo y homogéneo, y no tiene exceso de viscosidad.

2.5. Definición de términos básicos

LECHADA DE CAL.: regulador de pH y depresor de la pirita.

PLATEO: Es el método de separación por gravimetría, donde los granos de minerales con diferentes gravedades específicas, tienen respuestas diferentes al movimiento y otras fuerzas que intervienen.

INSOLUBLE: Que no puede disolverse ni diluirse.

GANGA: Incluye minerales que acompañan al mineral, pero por los cuales no existe interés minero al momento de la extracción.

CATIONICOS: Estos son tenso activos que se descargan en solución acuosa porque sus grupos hidro filicos no pueden disociarse, por lo que no afectan el pH de la solución.

CAPITULO III

HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

Con el proceso de flotación se logra alcanzar altas recuperaciones de oro presente en el mineral del yacimiento minero LLAULLI VISCACHANI del distrito de Carhuayo - Quispicanchi – Cusco.

3.1.2. Hipótesis Específicas

- 1) La composición química del mineral ayuda eficientemente a la buena recuperación del mineral del yacimiento minero Llauchi Viscachani.
- 2) Con los parámetros determinados se extrae mayor cantidad de oro del mineral del yacimiento minero Llauchi Viscachani.
- 3) El tipo de mineral aurífero es compatible con el proceso de flotación planteado.

3.2. Variables

3.2.1. Variables dependientes

- ✓ Porcentaje de recuperación de oro

3.2.2. Variables independientes

- ✓ pH de la pulpa.
- ✓ Densidad de pulpa.
- ✓ Granulometría (tamaño de grano).

3.3. Indicadores

- ✓ %
- ✓ Concentración de hidrogeniones, (mol/L)
- ✓ g/L
- ✓ micras

3.4. Operacionalización de variables

Tabla 5. Operacionalización de variables

TIPOS DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Dependiente	Recuperación de oro (%).	Para cada prueba de flotación establecer la cantidad de recuperación de oro.	Porcentaje (%)	Análisis químico y balance de materia
Independiente	pH de la pulpa	Medir el grado de acidez o alcalinidad de cada prueba de flotación el cual debe estar en una escala de cero a catorce (0 – 14).	Carece de unidades de medida (es adimensional)	pH metro digital
Independiente	Densidad de la pulpa	Mediante el uso de fórmulas y cálculos matemáticos determinar las cantidades necesarias de mineral y agua para preparar la pulpa de mineral.	Gramos por litro (g/L).	Calculadora científica
Independiente	Granulometría	Determinar la distribución del tamaño de grano pasante y retenido con ayuda de juego de tamices ASTM	Micras	Juego de tamices ASTM

Nota. Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

METODOLOGIA

4.1. Ámbito del estudio: localización política y geográfica

El proyecto de investigación objeto de estudio se encuentra ubicado en el departamento del Cusco, provincia de Quispicanchis, distrito de Carhuayo, en el extremo sur del Perú. Dentro de las coordenadas geográficas 84 97', 039' latitud sur y 840 98', 2039' latitud este con respecto al meridiano de Greenwich, con una extensión de 200 hectáreas, cabe mencionar que el presente proyecto no se encuentra en ninguna área natural protegida y/o zona de amortiguamiento.

El acceso al lugar del proyecto de explotación es por vía terrestre desde la ciudad del Cusco.

El distrito de Carhuayo, se encuentra en la cordillera oriental de los andes peruanos que originan una serie de cadenas montañosas con picos elevados y quebradas profundas. Es parte de la cuenca del Mapacho, la cual está ubicado sobre la margen derecha del río Mapacho a 3446 m.s.n.m.

El Clima y Vegetación, presenta una gran variedad de climas entre ellos están el clima templado, clima seco, clima frígido y cálido húmedo, esto se debe a la existencia de distintos pisos ecológicos.

La temperatura promedio en la zona intermedia es de 13,6-15,5 °C, pero en la zona alto andina la temperatura promedio es de 8,1-4,5 °C.

El clima está marcado por dos estaciones al año, la de lluvias de enero a marzo y la de estiaje el resto del año.

El distrito de Carhuayo es predominantemente agrícola y ganadera en carne ovina, vacuno, entre otras, con interés actual en la crianza de alpaca por la demanda actual de

su fibra en el mercado nacional e internacional. Los principales productos cultivados en la actualidad son: la papa, oca, maíz, habas.

Figura 3. Mapa Geográfico y Político de Carhuayo



Nota. Fuente: <https://www.google.com/search?sxsrf>

4.2. Diseño de Investigación

4.2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación tiene una visión cuantitativa de tipo experimental, puesto que realiza pruebas a nivel de laboratorio hasta encontrar los parámetros necesarios para la buena recuperación del oro.

4.2.2. Nivel de investigación

Es descriptivo y explicativo, porque permite caracterizar en cada etapa las fenomenologías del proceso y será explicativo, porque realizaremos cálculos de las variables dependientes e independientes de todo el proceso. Para explicar las causas de la variabilidad de las variables independientes y los efectos de la recuperación de oro.

4.2.3. Método de investigación

Para el presente trabajo de investigación se utilizó el método analítico y aplicado. Puesto que en cada etapa del proceso se realiza un análisis de los resultados a obtener y es aplicada porque es eminentemente tecnológico de carácter ingenieril.

4.3. Población de estudio: Muestra y técnicas de selección e instrumentos de recolección de datos

4.3.1. Población

Está constituida por todos los minerales del Yacimiento de mineral ubicado en la concesión minera Llauchi Viscachani dentro del Distrito de Carhuayo Provincia de Quispicanchi.

4.3.2. Muestra

La muestra total obtenida para el presente trabajo de investigación es de 100 kilogramos con los se han realizado las pruebas experimentales en las instalaciones del laboratorio de procesamiento de minerales, de La Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

4.3.3. Validez y confiabilidad de instrumentos

La validez tiene como interpretación que, es el grado en el que una prueba da información apropiada y tiene relación con la decisión que se toma. Respecto a la confiabilidad, se deduce como la exactitud y precisión al momento de realizar los procedimientos de medición. En consecuencia, toda la información recolectada desde la caracterización del mineral, análisis granulométrico y pruebas de flotación tienen valides porque utilizamos los equipos e instrumentos de los laboratorios de la Universidad Nacional de san Antonio abad del Cusco los cuales son confiables, puesto dichos equipos e instrumentos tienen precisión y exactitud en los datos obtenidos en cada etapa del presente trabajo de investigación.

4.3.4. Plan de análisis de datos

Para obtener los datos, se utilizaron Técnicas de recolección de datos, tales como: observación, experimentación y análisis de resultados, mostrados en cuadros, diagramas y figuras.

Los materiales utilizados son: Libros, Microscopio, cámara fotográfica, filmadora, cuaderno de apuntes, materiales de medición, balanza electrónica, análisis químicos en laboratorio certificado y acreditado de la ciudad de Arequipa, juego de tamices, cuarteador de riffles, cronómetro, computadora, etc.

Utilizamos la estadística inferencial

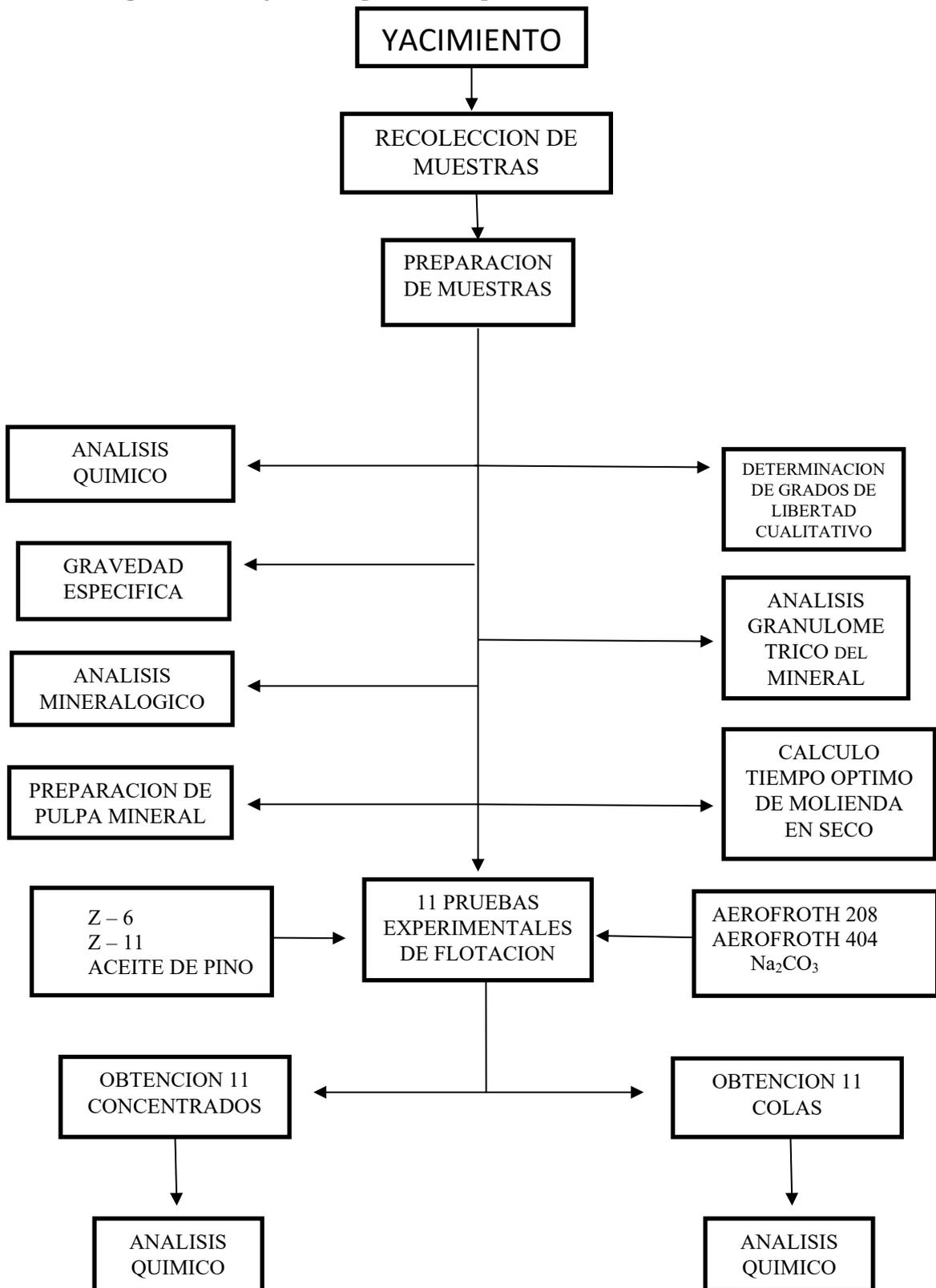
CAPÍTULO V

PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1. Introducción

Las pruebas experimentales de la presente investigación se realizaron en las instalaciones del laboratorio de preparación mecánica de minerales de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco de acuerdo al diagrama de flujo que presentamos a continuación:

5.2. Diagrama de flujo de las pruebas experimentales



5.3. Recolección de muestras

Para el presente trabajo se realizó la toma de muestras mediante la técnica de canaletas transversales al eje de la veta,

El cual consiste en excavar en un canal estrecho y continuo, las dimensiones del surco suelen ser del orden de 8-10 cm de ancho y 2-3 cm de profundidad cada 40 cm, estas dimensiones se mantienen siempre lo más constante posible. La cantidad total de material extraído de la veta se utiliza como muestra representativa. Esta muestra se recolecta en una manta lisa o una pieza de costal de polipropileno, que se coloca en el fondo del sitio, después de lo cual se recolectan múltiples muestras de la ranura en una sola muestra. En nuestro caso, la totalidad del mineral recolectado extraído por este método se lleva en conjunto al laboratorio de procesamiento de minerales.

5.4. Preparación de muestras para las pruebas experimentales

Para esta etapa del trabajo se procedió al chancado de los 100 Kg del mineral en la chancadora de quijadas MAEPSA hasta obtener tamaños de $-1/4''$. Luego pasar los 100 kg del mineral por la trituradora cónica hasta obtener tamaños por debajo de malla 10.

Muestreo

Los 100 Kg de mineral previamente reducidos a tamaño malla -10 se homogenizo 15 veces utilizando una pala.

Para obtener la muestra representativa se utilizó el método manual de cono y cuarteo que consiste en los siguientes pasos:

El mineral ya reducido a malla -10 se coloca sobre una superficie limpia. Luego, se empieza a trasladar el mineral pala por pala formando un cono. Esta operación se repite 2 o 3 veces para que las partículas se distribuyan homogéneamente respecto al eje de rotación, lo que significa que haya homogeneidad de rotación llamado también simetría respecto al eje vertical.

El material es distribuido por medio de una pala hasta lograr formar un cono para luego formar en un cono truncado, se trata de respetar la simetría alcanzada en el primer paso.

El cono truncado pasa a ser dividido en cuatro partes a lo largo de dos diagonales que son perpendiculares entre sí. Dos cuartos opuestos son separados como muestra y el par restante pasa a ser el material rechazado.

Luego volver a repetir 1 vez más los procedimientos anteriores hasta conseguir aproximadamente unos 20 a 25 Kg de mineral representativo para pasar luego al cuarteador Rifle y obtener 20 a 25 muestras representativas con un peso aproximado de 1 Kg para realizar todas las pruebas posibles a nuestro mineral a investigar.

5.5. Análisis químico de la muestra

El objetivo es determinar la ley de cabeza del mineral que vamos a tratar, en este caso nos interesa conocer la ley del oro y la plata en el mineral, para ello enviamos nuestra al laboratorio analítico del sur, el cual es un laboratorio acreditado bajo la Norma NTP ISO/IEC 17025.2006 ubicado en la ciudad de Arequipa. A continuación, presentamos los análisis químicos reportados por el laboratorio para determinar la ley de cabeza de nuestro mineral:

Donde:

MT-1: mineral tesis para ley de cabeza

Tabla 6. Análisis Químico para Determinar Ley de Cabeza

Fe	Au	Ag	Cu
%	g/TM	Oz/TC	%
9,61	7,54	0,2200	0.008

Nota. Fuente: Laboratorios analíticos del sur.

5.6. Determinación de la gravedad específica o peso específico de la muestra

La determinación de la gravedad específica del mineral nos ayuda a determinar la densidad de pulpa y por consiguiente el porcentaje de sólidos y el volumen del agua a utilizar. Para la determinación de la gravedad específica se utilizó el método de la fiola.

Materiales y equipos

- ✓ Muestra de mineral (3 g. malla -100)
- ✓ Mufla
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Embudo
- ✓ Pizeta
- ✓ Agua destilada
- ✓ Fiola de 100 ml

Procedimiento

- ✓ Secar el mineral en la mufla
- ✓ Pesar la fiola vacía
- ✓ Agregar a la fiola vacía los 3 gramos del mineral a analizar
- ✓ Agregar el agua destilada hasta la mitad de la fiola y agitar hasta conseguir que el mineral se mezcle por completo con el agua destilada.
- ✓ Luego adicionamos más agua destilada hasta llegar a los 100 ml de la fiola.
- ✓ Finalmente tomamos el peso total de la fiola mas su contenido.

Cálculos

Con los datos obtenidos procedemos a calcular la gravedad específica del mineral utilizando la siguiente formula:

$$G. E. = \frac{m}{(m + Fh - Fp)}$$

Donde:

- ✓ G.E.: gravedad especifica
- ✓ m: peso del mineral
- ✓ Fh: peso de la fiola + peso del agua
- ✓ Fp: peso de la fiola + peso del agua + peso del mineral

Tabla 7. Determinación de la Gravedad Especifica del Mineral

PRUEBAS A REALIZAR	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4
PESO SECO DEL MINERAL (malla -100)	3.0	3.0	3.0	3.0
PESO DE LA FIOLA VACIA	56.5	57.5	56.0	56.8
PESO DE LA FIOLA +AGUA	156.1	157.0	155.7	156.5
PESO DE LA FIOLA+AGUA+MINERAL	158.2	159.0	157.7	158.3

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Promedio Gravedad Especifica del Mineral

RESULTADOS G.E.	
GRAVEDAD ESPECIFICA (prueba 1)	3.3
GRAVEDAD ESPECIFICA (prueba 2)	3.0
GRAVEDAD ESPECIFICA (prueba 3)	3.0
GRAVEDAD ESPECIFICA (prueba 4)	2.5
PROMEDIO	3.0

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Por consiguiente, la gravedad especifica promedio del mineral es 3.0

5.7. Análisis granulométrico del mineral de la descarga del molino

El análisis granulométrico es una operación de importancia para el control de la eficiencia en las etapas de chancado, molienda, flotación, sedimentación, filtrado y transporte de sólidos y pulpas minerales.

El análisis granulométrico también permite efectuar la distribución metálica por tamaños de partícula. Permite determinar los tamaños máximos, promedio, etc. de partícula.

Durante esta operación es tolerable una pérdida no mayor al 1% del peso inicial de la muestra.

El análisis granulométrico para el presente trabajo se realizó con las muestras del mineral de la etapa de molienda realizado en el molino de bolas del laboratorio.

MATERIALES Y EQUIPOS

- ✓ Muestra de mineral de la descarga del molino (500 g.)
- ✓ Juego de tamices del sistema A.S.T.M
- ✓ Mallas (10, 20, 28, 48, 65, 100, 150, 200, 270)
- ✓ Balanza analítica.

PROCEDIMIENTO

- ✓ Armar en forma escalonada el juego de tamices, en la parte superior se ubicará el tamiz con mayor abertura y en la base la de menor abertura.
- ✓ Colocar en el tamiz superior la muestra de mineral de 500 g. y llevarlo al Ro-Tap.
- ✓ Poner en funcionamiento el Ro-Tap por un periodo de 15 minutos
- ✓ Pesar en la balanza analítica el peso retenido de cada malla.
- ✓ Tomar nota de los pesos y realizar los cálculos correspondientes.

Tabla 9. Análisis Granulométrico de la Descarga del Molino (tiempo de molienda=10 min.)

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA DESCARGA DEL MOLINO						
MALLA, SERIE A.S.T.M	ABERTURA		ALIMENTACION		PASANTE	
	mm	micras	PESO (g)	PESO (%)	% ACUM. (+) G(x)	% ACUM. (-) F(x)
10	2	2000	3	0.6	0.6	99.4
20	0.85	850	252.8	50.56	51.16	48.84
28	0.6	600	73.6	14.72	65.88	34.12
48	0.30	300	71.5	14.3	80.18	19.82
65	0.212	212	23.2	4.64	84.82	15.18
100	0.15	150	16.1	3.22	88.04	11.96
150	0.105	105	13.8	2.76	90.8	9.2
200	0.075	75	9.7	1.94	92.74	7.26
270	0.053	53	11.6	2.32	95.06	4.94
- 270			24.7	4.94	100	0
TOTAL			500	100		

Nota. Fuente: Elaboración propia.

$$G(x) + F(x) = 100\%$$

$$F(x) = 100\% - G(x)$$

5.8. Determinación del grado de liberación cualitativo

El grado de liberación se determinó de manera cualitativa para lo cual se utilizó diferentes mallas de la serie ASTM y con la ayuda de un microscopio estereoscópico, siendo los resultados los que se muestran en la tabla N0.10

Tabla 10. Análisis de Grado de Liberación Cualitativo

ANALISIS DE GRADO DE LIBERACION CUALITATIVO			
MALLA (SERIE ASTM)	ABERTURA		CARACTERISTICAS
	mm	micras	
28	0.6	600	pésimo
48	0.30	300	malo
65	0.210	210	regular
100	0.15	150	bueno
150	0.105	105	Muy bueno
200	0.075	75	excelente

Nota. Fuente: elaboración propia.

5.9. Cálculo del tiempo óptimo de molienda en seco

Esta etapa del trabajo se realizó en el molino de bolas por vía seca con el que cuenta el laboratorio de preparación mecánica de minerales de la universidad nacional de san Antonio abad del cusco.

Determinar el tiempo óptimo de molienda a nivel de laboratorio nos sirve para determinar la granulometría optima a la que se debe llegar en la planta de procesamiento.

En las pruebas de molienda se utiliza el molino de bolas en diferentes tiempos para observar el efecto del tiempo de molienda en relación a la granulometría del producto obtenido y la distribución de sus valores.

Para lograr definir el tiempo óptimo de molienda y el tamaño de partícula adecuado, se tomó en cuenta el grado de liberación del mineral útil que se encontraba dentro de la malla 100 y malla 200.

Materiales y equipos

- ✓ Muestra de mineral (1000 g)
- ✓ Balanza analítica

- ✓ Balanza convencional
- ✓ Molino de bolas (9.8"x7.8" con peso de bolas de 12.7 Kg)
- ✓ Ro-Tap
- ✓ Juego de mallas (MALLA 200 Y MALLA 100) del sistema A.S.T.M.

Procedimiento

- ✓ Tener listo 4 muestras de 1 Kg del mineral representativo
- ✓ Alimentar al molino 1 Kg de muestra representativa del mineral.
- ✓ Proceder a cerrar el molino y empezar con la molienda en diferentes tiempos (5, 10 y 15 minutos respectivamente para cada Kg de mineral)
- ✓ Finalizado la etapa de molienda separar 2 muestras representativas de 100 g de cada tiempo de molienda para llevarlo al Ro-Tap.
- ✓ Luego llevar al Ro-Tap las muestras de 100 gramos y poner en funcionamiento utilizando la MALLA 100 y luego la MALLA 200 del sistema A.S.T.M.
- ✓ Terminado esta etapa con ayuda de la balanza analítica pesar la +100 MALLA Y -100 MALLA para luego proseguir el mismo trabajo con la +200 MALLA y la -200 MALLA.
- ✓ Realizar los cálculos correspondientes.

Tabla 11. Tiempo Optimo de molienda en Seco (100 gr.)

MALLA 100				
TIEMPO (min.)	PESO (g)		PESO %	
	malla +100	malla -100	malla +100	malla -100
0	87.6	12.4	87.6	12.4
5	56.4	43.6	56.4	43.6
10	41.2	58.8	41.2	58.8
15	27.8	72.2	27.8	72.2

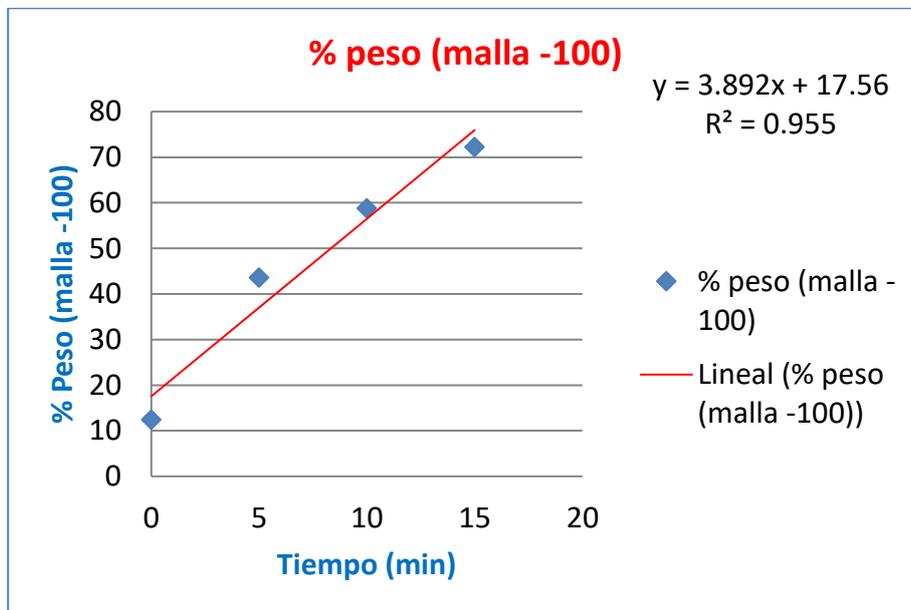
Nota. Fuente: elaboración propia.

Tabla 12. Variables Para Determinar Ecuación de Cinética de Molienda

x	y
Tiempo (min)	% peso (malla -100)
0	12.4
5	43.6
10	58.8
15	72.2

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Ecuación cinética de molienda



Nota. Fuente: Elaboración propia.

La ecuación de la cinética de molienda es:

$$Y = mX + b$$

Donde:

m: pendiente

Y: % peso (malla -100)

X: tiempo de molienda (minutos)

$$Y = 3.892X + 17.56$$

Para determinar el tiempo promedio utilizaremos la ecuación de la cinética de molienda según el siguiente procedimiento.

$$\% \text{ peso (malla - 100)} = \frac{58.8 + 72.2}{2}$$

$$\% \text{ peso (malla - 100)} = 65.50\%$$

Tabla 13. Variables y Datos Para Determinar Tiempo Promedio de la Cinética de Molienda

x = Tiempo (min)	y = % peso (malla -100)
0	12.4
5	43.6
10	58.8
X	65.5
15	72.2

Nota. Fuente: Elaboración propia.

$$Y = 3.892X + 17.56$$

$$3.892X = 65.5 - 17.56$$

$$X = 12.32$$

Entonces trabajamos en un tiempo de 12.32 minutos

Conclusiones:

- ✓ Para el presente trabajo de investigación hemos trabajado con la molienda de los 3 últimos tiempos (10, 12.32 y 15 minutos)
- ✓ Se observó en el microscopio que en el tiempo de cero y 5 minutos el oro libre y la pirita todavía están acompañados con el mineral.
- ✓ Se observó en el microscopio que en los 3 restantes tiempos (10, 12.32 y 15 minutos) el oro al igual que la pirita se encuentran liberadas del mineral.

5.10. Preparación de la pulpa para la alimentación a la celda de flotación

Después de haber determinado el peso específico del mineral y su granulometría se preparó la pulpa de mineral para realizar las pruebas experimentales de flotación a nivel de laboratorio.

MATERIALES Y EQUIPOS

- ✓ Probeta de 1000 ml.
- ✓ Pizeta
- ✓ Balanza
- ✓ Celda de flotación
- ✓ Espátulas
- ✓ Muestra de mineral
- ✓ Agua de caño

PROCEDIMIENTO

- ✓ Verificar que la celda de flotación este limpia.
- ✓ Colocar la celda de flotación en la base del agitador
- ✓ Bajar el impulsor hasta el tope.
- ✓ Medimos la cantidad de agua requerida y agregamos a la celda de flotación.
- ✓ Encendemos el agitador
- ✓ Agregamos a la celda de flotación el volumen correcto de agua y el mineral previamente pesado según sea lo requerido para cada prueba.

A continuación, pasamos a detallar los cálculos previos para esta etapa del proceso.

Para Densidad de pulpa: 1250 gr/lit				
Gravedad especifica:	3			
Volumen de celda:	2 Lt			
densidad de pulpa (W):	1250 gr/lit=	1250	1.25	Kg/lit
K = (G.E. - 1)/G.E.		%Solidos = ((W-1000)/WK)*100%		
K = (3-1)/3= 0.667		%Solidos = ((W-1000)/WK)*100%		
		%Solidos= 29.98501 0.29985		
peso del mineral:	W*%S*vol. pulpa	=	749.6252 Gr.	
Volumen del agua:	W*(1-%S)*Vol. pulpa	=	1750.375 cc	

Para Densidad de pulpa: 1350 gr/lit				
Gravedad especifica:	3			
Volumen de celda:	2 Lt			
densidad de pulpa (W):	1350 gr/lit=	1350	1.35	Kg/lit
K = (G.E. - 1)/G.E.		%Solidos = ((W-1000)/WK)*100%		
K = (3-1)/3= 0.667		%Solidos = ((W-1000)/WK)*100%		
		%Solidos= 38.86945 0.388695		
peso del mineral:	W*%S*vol. pulpa	=	1049.475 Gr.	
Volumen del agua:	W*(1-%S)*Vol. pulpa	=	1650.525 cc	

Para Densidad de pulpa: 1300 gr/lit				
Gravedad especifica:	3			
Volumen de celda:	2 Lt			
densidad de pulpa (W):	1300 gr/lit=	1300	1.3	Kg/lit
K = (G.E. - 1)/G.E.		%Solidos = ((W-1000)/WK) *100%		
K = (3-1)/3= 0.667		%Solidos = ((W-1000)/WK) *100%		
		%Solidos= 34.59809 0.345981		
peso del mineral:	W*%S*vol. pulpa	=	899.5502	Gr.
Volumen del agua:	W*(1-%S)*Vol. pulpa	=	1700.45	cc

5.11. Preparación de reactivos

Colectores

- ✓ Xantato isopropilico de sodio (Z-11) con pureza mínima de este producto al 85% de xantato activo.

Para pruebas de laboratorio preparar al 1% según recomendaciones del productor.

En un vaso de precipitación pesar 1 gramo del reactivo Z-11 en polvo y diluir en 100 ml de agua destilada con ayuda de una bagueta.

- ✓ Xantato amílico de potasio (Z-6), con pureza mínima de este producto al 90% de xantato activo. Para pruebas de laboratorio preparar al 1% según recomendaciones del productor. En un vaso de precipitación pesar 1 gramo del reactivo Z-6 en polvo y diluir en 100 ml de agua destilada con ayuda de una bagueta.

- ✓ AEROFLOAT 208 Promotor, es una solución acuosa de un colector selectivo para minerales de cobre, excelente colector para Ag, Cu, Y Au nativo.

Para pruebas de laboratorio preparar al 1% según recomendaciones del productor.

En un vaso de precipitación pesar 1 gramo del reactivo AEROFLOAT 208 y diluir en 100 ml de agua destilada con ayuda de una bagueta.

✓ **AEROFLOAT 404 Promotor**

Para pruebas de laboratorio preparar al 1% según recomendaciones del productor.

En un vaso de precipitación pesar 1 gr del reactivo AEROFLOAT 208 y diluir en 100 ml de agua destilada con ayuda de una bagueta.

MODIFICADORES

✓ **CARBONATO DE SODIO de pureza al 98%**

Para pruebas de laboratorio preparar al 1% según recomendaciones del productor.

En un vaso de precipitación pesar 1 gramo del reactivo Na₂CO₃ y diluir en 100 ml de agua destilada con ayuda de una bagueta.

ESPUMANTES

✓ **Aceite de pino**

Usualmente se utilizan puros, adicionando por gotas, por lo general se adiciona entre 10 a 100 g/TM de mineral.

5.12. Dosificación de reactivos

✓ **Para una densidad de pulpa de 1250 g/L**

$$Z - 11 = 749.6g \text{ mineral} \frac{50 g Z-11}{1 TM \text{ mineral}} \times \frac{1\% \text{ de solución}}{1 g Z-11}$$

$$Z - 11 = 749.6g \text{ mineral} \frac{50 g Z-11}{10^6 g \text{ mineral}} \times \frac{100 cc \text{ solución}}{1 g Z-11} = 3.75 cc \text{ solución}$$

$$Z - 6 = 749.6g \text{ mineral} \frac{50 g Z-6}{1 TM \text{ mineral}} \times \frac{1\% \text{ de solución}}{1 g Z-6}$$

$$Z - 6 = 749.6g \text{ mineral} \frac{50 g Z-6}{10^6 g \text{ mineral}} \times \frac{100 cc \text{ solución}}{1 g Z-6} = 3.75 cc \text{ solución}$$

$$\text{AERO FROTH 404} = 749.6g \text{ mineral} \frac{14 g \text{ AEROFROHT}}{1 TM \text{ mineral}} \times \frac{1\% \text{ de solución}}{1 g \text{ AEROFROHT}}$$

$$\text{AERO FROTH 404} = 749.6g \text{ mineral} \frac{14 g \text{ AEROFROHT}}{10^6 g \text{ mineral}} \times \frac{100 cc \text{ solución}}{1 g \text{ AEROFROHT}}$$

AERO FROTH 404 = 1.05 cc solucion

$$\text{AERO FROTH 208} = 749.6g \text{ mineral} \frac{28 g \text{ AEROFROHT}}{1 TM \text{ mineral}} \times \frac{1 \% \text{ de solucion}}{1 g \text{ AEROFROHT}}$$

$$\text{AERO FROTH 208} = 749.6g \text{ mineral} \frac{28 g \text{ AEROFROHT}}{10^6 g \text{ mineral}} \times \frac{100 cc \text{ solucion}}{1 g \text{ AEROFROHT}}$$

AERO FROTH 208 = 2.10 cc solucion

$$\text{Aceite de pino} = 749.6g \text{ mineral} \frac{40 g \text{ aceite de p}}{1 TM \text{ mineral}}$$

$$\text{Aceite de pino} = 749.6g \text{ mineral} \frac{40 g \text{ aceite de pino}}{10^6 g \text{ mineral}} \times \frac{1 cc \text{ solucion}}{0.9 g \text{ aceite pino}}$$

$$\text{Aceite de pino} = 0.0333 cc \times \frac{153 \text{ gotas de aceite pino}}{1 cc \text{ aceite de pino}} = 5.04 \text{ gota}$$

✓ Para una densidad de pulpa de 1350 g/L

$$Z - 6 = 1049.475g \text{ min} \frac{50 g Z-6}{1 TM \text{ min}} \times \frac{1 \% \text{ de solucion}}{1 g Z-6}$$

$$Z - 6 = 1049.475g \text{ mineral} \frac{50 g Z-6}{10^6 g \text{ mineral}} \frac{100 cc \text{ solucion}}{1 g Z-6} = 5.247 cc \text{ solucion}$$

$$Z - 11 = 1049.475g \text{ min} \frac{50 g Z-11}{1 TM \text{ min}} \times \frac{1 \% \text{ de solucion}}{1 g Z-11}$$

$$Z - 11 = 1049.475g \text{ mineral} \frac{50 g Z-11}{10^6 g \text{ mineral}} \times \frac{100 cc \text{ solucion}}{1 g Z-11} = 5.247 cc \text{ solucion}$$

$$\text{AERO FROTH 208} = 1049.475g \text{ min} \frac{28 g \text{ AEROFROHT}}{1 TM \text{ mineral}} \times \frac{1 \% \text{ de solucion}}{1 g \text{ AEROFROHT}}$$

$$\text{AERO FROTH 208} = 1049.475g \text{ min} \frac{28 g \text{ AEROFROHT}}{10^6 g \text{ mineral}} \times \frac{100 cc \text{ solucion}}{1 g \text{ AEROFROHT}}$$

AERO FROTH 208 = 2.938 cc solucion

$$\text{AERO FROTH 404} = 1049.475g \text{ mineral} \frac{14 g \text{ AEROFROHT}}{1 TM \text{ mineral}} \times \frac{1 \% \text{ de solucion}}{1 g \text{ AEROFROHT}}$$

$$\text{AERO FROTH 404} = 1049.475g \text{ mineral} \frac{14 g \text{ AEROFROHT}}{10^6 g \text{ mineral}} \times \frac{100 cc \text{ solucion}}{1 g \text{ AEROFROHT}}$$

AERO FROTH 404 = 1.469 cc solucion

$$\text{Aceite de pino} = 1049.475 g \text{ mineral} \frac{40 g \text{ aceite de p}}{1 TM \text{ mineral}}$$

$$\text{Aceite de pino} = 1049.475 g \text{ mineral} \frac{40 g \text{ aceite de pino}}{10^6 g \text{ mineral}} \times \frac{1 cc \text{ solucion}}{0.9 g \text{ aceite pino}}$$

$$\text{Aceite de pino} = 0.0466 \text{ cc} \times \frac{153 \text{ gotas de aceite pino}}{1 \text{ cc aceite de pino}} = 7.13 \text{ gotas}$$

✓ Para una densidad de pulpa de 1300 g/L

$$Z - 6 = 899.55 \text{ g min} \frac{50 \text{ g Z-6}}{1 \text{ TM min}} \times \frac{1\% \text{ de solucion}}{1 \text{ g Z-6}}$$

$$Z - 6 = 899.55 \text{ g mineral} \frac{50 \text{ g Z-6}}{10^6 \text{ g mineral}} \times \frac{100 \text{ cc solucion}}{1 \text{ g Z-6}} = 4.497 \text{ cc solucion}$$

$$Z - 11 = 899.55 \text{ g min} \frac{50 \text{ g Z-11}}{1 \text{ TM min}} \times \frac{1\% \text{ de solucion}}{1 \text{ g Z-11}}$$

$$Z - 11 = 899.55 \text{ g mineral} \frac{50 \text{ g Z-11}}{10^6 \text{ g mineral}} \times \frac{100 \text{ cc solucion}}{1 \text{ g Z-11}} = 4.497 \text{ cc solucion}$$

$$\text{AERO FROTH 208} = 899.55 \text{ g min} \frac{28 \text{ g AEROFROHT}}{1 \text{ TM mineral}} \times \frac{1\% \text{ de solucion}}{1 \text{ g AEROFROHT}}$$

$$\text{AERO FROTH 208} = 899.55 \text{ g min} \frac{28 \text{ g AEROFROHT}}{10^6 \text{ g mineral}} \times \frac{100 \text{ cc solucion}}{1 \text{ g AEROFROHT}}$$

$$\text{AERO FROTH 208} = 2.518 \text{ cc solucion}$$

$$\text{AERO FROTH 404} = 899.55 \text{ g mineral} \frac{14 \text{ g AEROFROHT}}{1 \text{ TM mineral}} \times \frac{1\% \text{ de solucion}}{1 \text{ g AEROFROHT}}$$

$$\text{AERO FROTH 404} = 899.55 \text{ g mineral} \frac{14 \text{ g AEROFROHT}}{10^6 \text{ g mineral}} \times \frac{100 \text{ cc solucion}}{1 \text{ g AEROFROHT}}$$

$$\text{AERO FROTH 404} = 1.259 \text{ cc solucion}$$

$$\text{Aceite de pino} = 899.55 \text{ g mineral} \frac{40 \text{ g aceite de p}}{1 \text{ TM mineral}}$$

$$\text{Aceite de pino} = 899.55 \text{ g mineral} \frac{40 \text{ g aceite de pino}}{10^6 \text{ g mineral}} \times \frac{1 \text{ cc solucion}}{0.9 \text{ g aceite pino}}$$

$$\text{Aceite de pino} = 0.0399 \text{ cc} \times \frac{153 \text{ gotas de aceite pino}}{1 \text{ cc aceite de pino}} = 6.11 \text{ gotas}$$

5.13. Procedimiento de las 8 pruebas experimentales de flotación en laboratorio

La flotación se considera como un proceso físico-químico de concentración de minerales, en el que la separación de partículas valiosas de materiales estériles tiene como objetivo tratarlas con un tratamiento modificador de la tensión superficial, en el que las burbujas de aire se distribuyen finamente y se adhieren primero, y de esta manera

enriquecerlos en una espuma mineralizada. Las variables más importantes en esta etapa de flotación son la especie mineralógica, el factor granulométrico, el tiempo, el pH, la densidad de pulpa y el tipo de reactivos a usar. Estos factores influyen sobre el grado de eficiencia del proceso. La flotación es realizada en equipos llamados celdas de flotación cuyo propósito es separar de forma exitosa el concentrado. La función que tienen las celdas será mantener en suspensión a las partículas de la pulpa para evitar la sedimentación de las partículas.

MATERIALES Y EQUIPOS

- ✓ Mineral previamente preparado para la flotación
- ✓ Reactivos de flotación (AF-208, AF-404, Z-6, Z-11, aceite de pino)
- ✓ Celda de flotación de 1000 ml
- ✓ Balanza digital
- ✓ Cronometro
- ✓ Probeta d vidrio de 1000 ml
- ✓ Bandejas de acero inoxidable
- ✓ Paletas de madera
- ✓ Papel tornasol (para medir el pH)
- ✓ Medidor de pH digital
- ✓ Picetas
- ✓ Jeringas (5 ml)

PROCEDIMIENTO

- ✓ Colocar el mineral con su peso correspondiente en la celda de flotacion
- ✓ Colocar la celda en la base del agitador DENVER
- ✓ Bajar el impulsor en forma lenta hasta el tope.

- ✓ agregar agua de acuerdo a nuestros cálculos realizados previamente para cada prueba de flotación.
- ✓ Encender el agitador por un minuto y luego verificar la medida del pH de la pulpa.
- ✓ Si la pulpa requiere que se le suba el pH agregar Na_2CO_3 hasta llegar al pH requerido.
- ✓ Luego volver a poner en funcionamiento el equipo de flotación y agregar a la pulpa los reactivos en este orden:
 - AF-208
 - AF-404
 - Z-6
 - Z-11
- ✓ Después acondicionar la pulpa con los reactivos por un tiempo de 2 minutos.
- ✓ Pasado los dos minutos agregar el último reactivo (aceite de pino) y seguir acondicionando un minuto más evitando el ingreso del aire.
- ✓ Abrir seguidamente la válvula de ingreso de aire dando lugar de esta manera a la formación de espuma llamada colchón de espuma.
- ✓ Empezar a jalar y recolectar en las bandejas las espumas 3 veces con la paleta cada 10 segundos, en total se realizará 4 veces.
- ✓ Terminado el proceso de flotación apagar el equipo y lavar el impulsor del agitador con bastante agua para evitar que quede material adherida a sus paredes internas.
- ✓ En total se harán 10 pruebas de flotación y se obtendrá 10 bandejas previamente codificadas con el concentrado y otras 10 bandejas con las colas de cada prueba de flotación (en total 20 bandejas)

- ✓ Las 20 bandejas pasaran a la etapa de secado para después ser pesadas y enviadas al laboratorio químico para su respectivo análisis químico.

RESULTADOS: Se realizaron en total 11 pruebas experimentales de flotación del mismo mineral a diferentes condiciones tal como se muestra en los siguientes cuadros:

Tabla 14. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 01

PRUEBA # 1 DE FLOTACION				
Granulometría:	58.8% (malla -100)			
pH:	6.5			
Densidad de pulpa:	1250 g/L			
cantidad de mineral a la celda:	749.5 g			
cantidad de agua fresca a la celda:	1750.3 cc			
R.P.M.	1500			
% de solidos:	29.98			
Tiempo de flotación:	8 minutos			
Tiempo de acondicionamiento:	5 minutos			
Remoción de espumas:	cada 10 segundos, 3 paletadas			
REACTIVOS A EMPLEAR:	Dosis (g/TM)	Dilución (% Solución)	Centímetros Cúbicos	
COLECTORES:				
Z-6	50	1%	3.75	
Z-11	50	1%	3.75	
PROMOTORES:				
AEROFROTH 208	28	1%	2.10	
AEROFROTH 404	14	1%	1.05	
ESPUMANTE:				
ACEITE DE PINO	40		0.033 (5 gotas)	
MODIFICADOR DE pH:				
CARBONATO DE SODIO (Na ₂ CO ₃)	40			
BALANCE METALURGICO				
PRODUCTO	PESO (g)	Ley Au (g)	Contenido Metálico (g)	% Recuperación
Cabeza	749.5	7.54	0.00565123	100
Concentrado	22.1	128.21	0.002833441	50.13848313
Relave	727.4	3.87	0.002833441	49.86151687

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 02

PRUEBA # 2 DE FLOTACION				
Granulometría:	58.8% (malla -100)			
pH:	7.5			
Densidad de pulpa:	1250 g/L			
cantidad de mineral a la celda:	749.5 g			
cantidad de agua fresca a la celda:	1750.3 cc			
R.P.M.	1500			
% de solidos:	29.98			
Tiempo de flotación:	8 minutos			
Tiempo de acondicionamiento:	5 minutos			
Remoción de espumas:	cada 10 segundos, 3 paletadas			
REACTIVOS A EMPLEAR:	Dosis (g/TM)	Dilución (% Solución)	Centímetros Cúbicos	
COLECTORES:				
Z-6	50	1%	3.75	
Z-11	50	1%	3.75	
PROMOTORES:				
AEROFROTH 208	28	1%	2.10	
AEROFROTH 404	14	1%	1.05	
ESPUMANTE:				
ACEITE DE PINO	40		0.033 (5 gotas)	
MODIFICADOR DE pH:				
CARBONATO DE SODIO (Na ₂ CO ₃)	4.5			
BALANCE METALURGICO				
PRODUCTO	PESO (g)	Ley Au (g)	Contenido Metálico (g)	% Recuperación
Cabeza	749.5	7.54	0.00565123	100
Concentrado	47.2	20.51	0.00096807	17.13028845
Relave	702.3	6.66	0.004683158	82.86971155

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 03

PRUEBA # 3 DE FLOTACION				
Granulometría:	72.2% (malla -100)			
pH:	6.5			
Densidad de pulpa:	1250 g/L			
cantidad de mineral a la celda:	749.5 g			
cantidad de agua fresca a la celda:	1750.3 cc			
R.P.M.	1500			
% de solidos:	29.98			
Tiempo de flotación:	8 minutos			
Tiempo de acondicionamiento:	5 minutos			
Remoción de espumas:	cada 10 segundos, 3 paletadas			
REACTIVOS A EMPLEAR:	Dosis (g/TM)	Dilución (% Solución)	Centímetros Cúbicos	
COLECTORES:				
Z-6	50	1%	3.75	
Z-11	50	1%	3.75	
PROMOTORES:				
AEROFROTH 208	28	1%	2.10	
AEROFROTH 404	14	1%	1.05	
ESPUMANTE:				
ACEITE DE PINO	40		0.033(5 gotas)	
MODIFICADOR DE pH:				
CARBONATO DE SODIO (Na ₂ CO ₃)	0			
BALANCE METALURGICO				
PRODUCTO	PESO (g)	Ley Au (g)	Contenido Metálico (g)	% Recuperación
Cabeza	749.5	7.54	0.00565123	100
Concentrado	18.3	94.31	0.00172587	30.5397763
Relave	731.2	5.36	0.00392535	69.4602237

Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 17. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 04

PRUEBA # 4 DE FLOTACION				
Granulometría:	72.2 % (malla -100)			
pH:	7.5			
Densidad de pulpa:	1250 g/L			
cantidad de mineral a la celda:	749.5 g			
cantidad de agua fresca a la celda:	1750.3 cc			
R.P.M.	1500			
% de solidos:	29.98			
Tiempo de flotación:	8 minutos			
Tiempo de acondicionamiento:	5 minutos			
Remoción de espumas:	cada 10 segundos, 3 paletadas			
REACTIVOS A EMPLEAR:	Dosis (g/TM)	Dilución (% Solución)	Centímetros Cúbicos	
COLECTORES:				
Z-6	50	1%	3.75	
Z-11	50	1%	3.75	
PROMOTORES:				
AEROFROTH 208	28	1%	2.1	
AEROFROTH 404	14	1%	1.05	
ESPUMANTE:				
ACEITE DE PINO	40		0.033 (5 gotas)	
MODIFICADOR DE pH:				
CARBONATO DE SODIO (Na ₂ CO ₃)	4.5			
BALANCE METALURGICO				
PRODUCTO	PESO (g)	Ley Au (g)	Contenido Metálico (g)	% Recuperación
Cabeza	749.5	7.54	0.00565123	100
Concentrado	79.6	47.46	0.00377782	66.84944693
Relave	669.9	2.79	0.00187341	33.15055307

Nota. Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 18. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 05

PRUEBA # 5 DE FLOTACION				
Granulometría:	58.8% (malla -100)			
pH:	6.5			
Densidad de pulpa:	1350 g/L			
cantidad de mineral a la celda:	1049.475 g			
cantidad de agua fresca a la celda:	1650.525 cc			
R.P.M.	1500			
% de solidos:	38.86			
Tiempo de flotación:	8 minutos			
Tiempo de acondicionamiento:	5 minutos			
Remoción de espumas:	cada 10 segundos, 3 paletadas			
REACTIVOS A EMPLEAR:	Dosis (g/TM)	Dilución (% Solución)	Centímetros Cúbicos	
COLECTORES:				
Z-6	50	1%	5.247	
Z-11	50	1%	5.247	
PROMOTORES:				
AEROFROTH 208	28	1%	2.94	
AEROFROTH 404	14	1%	1.469	
ESPUMANTE:				
ACEITE DE PINO	40		0.0466 (7 gotas)	
MODIFICADOR DE pH:				
CARBONATO DE SODIO (Na ₂ CO ₃)				
BALANCE METALURGICO				
PRODUCTO	PESO (g)	Ley Au (g)	Contenido Metálico (g)	% Recuperación
Cabeza	1049.475	7.54	0.00791304	100
Concentrado	110.7	23.66	0.00261916	33.09930827
Relave	938.775	5.63	0.00529391	66.90069173

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 06

PRUEBA # 6 DE FLOTACION				
Granulometría:	58.8% (malla -100)			
pH:	7.5			
Densidad de pulpa:	1350 g/L			
cantidad de mineral a la celda:	1049.475 g			
cantidad de agua fresca a la celda:	1650.525 cc			
R.P.M.	1500			
% de solidos:	38.86			
Tiempo de flotación:	8 minutos			
Tiempo de acondicionamiento:	5 minutos			
Remoción de espumas:	cada 10 segundos, 3 paletadas			
REACTIVOS A EMPLEAR:	Dosis (g/TM)	Dilución (% Solución)	Centímetros Cúbicos	
COLECTORES:				
Z-6	50	1%	5.247	
Z-11	50	1%	5.247	
PROMOTORES:				
AEROFROTH 208	28	1%	2.94	
AEROFROTH 404	14	1%	1.469	
ESPUMANTE:				
ACEITE DE PINO	40		0.0466 (7 gotas)	
MODIFICADOR DE pH:				
CARBONATO DE SODIO (Na ₂ CO ₃)	4.5			
BALANCE METALURGICO				
PRODUCTO	PESO (g)	Ley Au (g)	Contenido Metálico (g)	% Recuperación
Cabeza	1049.475	7.54	0.00791304	100
Concentrado	116.3	15.93	0.00185266	23.41272948
Relave	933.175	6.49	0.00606042	76.58727052

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 07

PRUEBA # 7 DE FLOTACION				
Granulometría:	72.2 % (malla -100)			
pH:	6.5			
Densidad de pulpa:	1350 g/L			
cantidad de mineral a la celda:	1049.475 g			
cantidad de agua fresca a la celda:	1650.525 cc			
R.P.M.	1500			
% de solidos:	38.86			
Tiempo de flotación:	8 minutos			
Tiempo de acondicionamiento:	5 minutos			
Remoción de espumas:	cada 10 segundos, 3 paletadas			
REACTIVOS A EMPLEAR:	Dosis (g/TM)	Dilución (% Solución)	Centímetros Cúbicos	
COLECTORES:				
Z-6	50	1%	5.247	
Z-11	50	1%	5.247	
PROMOTORES:				
AEROFROTH 208	28	1%	2.94	
AEROFROTH 404	14	1%	1.469	
ESPUMANTE:				
ACEITE DE PINO	40		0.0466 (7 gotas)	
MODIFICADOR DE pH:				
CARBONATO DE SODIO (Na ₂ CO ₃)				
BALANCE METALURGICO				
PRODUCTO	PESO (g)	Ley Au (g)	Contenido Metálico (g)	% Recuperación
Cabeza	1049.475	7.54	0.00791304	100
Concentrado	104.8	22.41	0.00234857	29.67971291
Relave	944.675	5.89	0.00556451	70.32028709

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Dato y Resultados de Prueba de Flotación N° 08

PRUEBA # 8 DE FLOTACION				
Granulometría:	72.2 % (malla -100)			
pH:	7.5			
Densidad de pulpa:	1350 g/L			
cantidad de mineral a la celda:	1049.475 g			
cantidad de agua fresca a la celda:	1650.525 cc			
R.P.M.	1500			
% de solidos:	38.86			
Tiempo de flotación:	8 minutos			
Tiempo de acondicionamiento:	5 minutos			
Remoción de espumas:	cada 10 segundos, 3 paletadas			
REACTIVOS A EMPLEAR:	Dosis (g/TM)	Dilución (% Solución)	Centímetros Cúbicos	
COLECTORES:				
Z-6	50	1%	5.247	
Z-11	50	1%	5.247	
PROMOTORES:				
AEROFROTH 208	28	1%	2.94	
AEROFROTH 404	14	1%	1.469	
ESPUMANTE:				
ACEITE DE PINO	40		0.0466 (7 gotas)	
MODIFICADOR DE pH:				
CARBONATO DE SODIO (Na ₂ CO ₃)	4.5			
BALANCE METALURGICO				
PRODUCTO	PESO (g)	Ley Au (g)	Contenido Metálico (g)	% Recuperación
Cabeza	1049.475	7.54	0.00791304	100
Concentrado	144.8	18.13	0.00262522	33.17591599
Relave	904.675	5.84	0.00528785	66.82408401

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 09

PRUEBA # 9 DE FLOTACION				
Granulometría:	65.5 % (malla -100)			
pH:	7			
Densidad de pulpa:	1300 g/L			
cantidad de mineral a la celda:	899.55 g			
cantidad de agua fresca a la celda:	1700.45 cc			
R.P.M.	1000			
% de solidos:	34.59			
Tiempo de flotación:	8 minutos			
Tiempo de acondicionamiento:	5 minutos			
Remoción de espumas:	cada 10 segundos, 3 paletadas			
REACTIVOS A EMPLEAR:	Dosis (g/TM)	Dilución (% Solución)	Centímetros Cúbicos	
COLECTORES:				
Z-6	50	1%	4.497	
Z-11	50	1%	4.497	
PROMOTORES:				
AEROFROTH 208	28	1%	2.518	
AEROFROTH 404	14	1%	1.259	
ESPUMANTE:				
ACEITE DE PINO	40		0.03998 (6 gotas)	
MODIFICADOR DE pH:				
CARBONATO DE SODIO (Na ₂ CO ₃)	2.7			
BALANCE METALURGICO				
PRODUCTO	PESO (g)	Ley Au (g)	Contenido Metálico (g)	% Recuperación
Cabeza	899.55	7.54	0.00678261	100
Concentrado	83.5	19.78	0.00165163	24.35096122
Relave	816.05	6.28	0.00513097	75.64903878

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 10

PRUEBA # 10 DE FLOTACION				
Granulometría:	65.5 % (malla -100)			
pH:	7			
Densidad de pulpa:	1300 g/L			
cantidad de mineral a la celda:	899.55 g			
cantidad de agua fresca a la celda:	1700.45 cc			
R.P.M.	1500			
% de solidos:	34.59			
Tiempo de flotación:	8 minutos			
Tiempo de acondicionamiento:	5 minutos			
Remoción de espumas:	cada 10 segundos, 3 paletadas			
REACTIVOS A EMPLEAR:	Dosis (g/TM)	Dilución (% Solución)	Centímetros Cúbicos	
COLECTORES:				
Z-6	50	1%	4.497	
Z-11	50	1%	4.497	
PROMOTORES:				
AEROFROTH 208	28	1%	2.518	
AEROFROTH 404	14	1%	1.259	
ESPUMANTE:				
ACEITE DE PINO	40		0.03998 (6 gotas)	
MODIFICADOR DE pH:				
CARBONATO DE SODIO (Na ₂ CO ₃)	2.7			
BALANCE METALURGICO				
PRODUCTO	PESO (g)	Ley Au (g)	Contenido Metálico (g)	% Recuperación
Cabeza	899.55	7.54	0.00678261	100
Concentrado	104.5	15.06	0.00157377	23.20302503
Relave	795.05	6.55	0.00520883	76.79697497

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Datos y Resultados de Prueba de Flotación N° 11

PRUEBA # 111 DE FLOTACION				
Granulometría:	65.5 % (malla -100)			
pH:	7			
Densidad de pulpa:	1300 g/L			
cantidad de mineral a la celda:	899.55 g			
cantidad de agua fresca a la celda:	1700.45 cc			
R.P.M.	1500			
% de solidos:	34.59			
Tiempo de flotación:	8 minutos			
Tiempo de acondicionamiento:	5 minutos			
Remoción de espumas:	cada 10 segundos, 3 paletadas			
REACTIVOS A EMPLEAR:	Dosis (g/TM)	Dilución (% Solución)	Centímetros Cúbicos	
COLECTORES:				
Z-6	50	1%	4.497	
Z-11	50	1%	4.497	
PROMOTORES:				
AEROFROTH 208	28	1%	2.518	
AEROFROTH 404	14	1%	1.259	
ESPUMANTE:				
ACEITE DE PINO	40		0.03998 (6 gotas)	
MODIFICADOR DE pH:				
CARBONATO DE SODIO (Na ₂ CO ₃)	2.7			
BALANCE METALURGICO				
PRODUCTO	PESO (g)	Ley Au (g)	Contenido Metálico (g)	% Recuperación
Cabeza	899.55	7.54	0.00678261	100
Concentrado	93.1	23.73	0.00220926	32.57247545
Relave	806.45	5.67	0.00457334	67.42752455

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.14. Resultados de las pruebas experimentales según laboratorio químico

Aquí mostramos el resultado de las 11 pruebas metalúrgicas experimentales según nos reporta LABORATORIOS ANALÍTICOS DEL SUR, laboratorio de ensayo acreditado por la dirección de acreditación del INACAL con registro número LE-050.

Donde:

MTC: mineral tesis concentrado

MTR: mineral tesis relave

Los resultados son como siguen:

Tabla 25. Resultado de las 11 Pruebas de Flotación Para Utilizar en el Diseño Factorial 2³

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Oro (Au)	
	g/TM	Oz/TC
CONCENTRADO DE FLOTACION N° 1	128,21	3,7403
CONCENTRADO DE FLOTACION N° 2	20,51	0,5982
CONCENTRADO DE FLOTACION N° 3	94,31	2,7513
CONCENTRADO DE FLOTACION N° 4	47,46	1,3844
CONCENTRADO DE FLOTACION N° 5	23,66	0,6901
CONCENTRADO DE FLOTACION N° 6	15,93	0,4647
CONCENTRADO DE FLOTACION N° 7	22,41	0,6536
CONCENTRADO DE FLOTACION N° 8	18,13	0,5289
CONCENTRADO DE FLOTACION N° 9	19,78	0,5770
CONCENTRADO DE FLOTACION N° 10	15,06	0,4392
CONCENTRADO DE FLOTACION N° 11	23,73	0,6923

Nota. Fuente: Laboratorios del Sur.

Tabla 26. Resultado de la Ley de Relave de la Pruebas de Flotación 1

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Fe	Oro (Au)	
	%	g/TM	Oz/TC
RELAVE DE FLOTACION N° 1	9,57	3.745	0,10925

Nota. Fuente: Laboratorios del Sur.

5.15. Diseño factorial 2^k

Al inicio del proceso de optimización, cuando aún no se conoce con exactitud el comportamiento del proceso, suele haber muchos factores o variables que pueden afectar el proceso. El objetivo fundamental de este paso es identificar aquellas variables que realmente mejoran la eficiencia del proceso. En esta etapa, los modelos de primer orden más recomendados son los factores más utilizados, especialmente los diseños factoriales 2^k y factorial fraccionarios.

Se entiende por diseño factorial aquel en el que se exploran todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores en cada experimento completo o réplica. Los niveles se refieren a los diferentes valores que pueden tomar los factores o variables. Si se consideran dos niveles, el diseño se denomina diseño factorial de dos niveles, o más bien dicho, diseño factorial 2^k .

Por lo tanto, el número total de experimentos que se realizan viene definido por la relación:

$$N = 2^k$$

Donde:

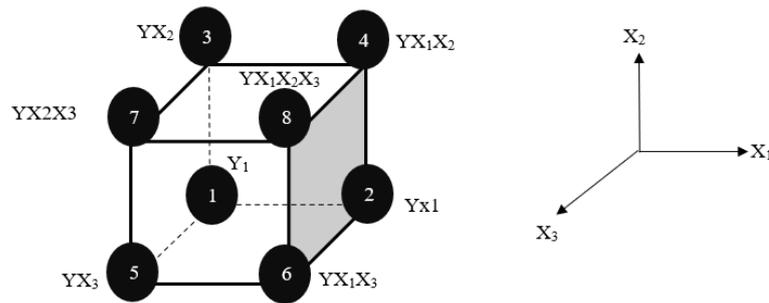
k: número de variables

N: número de experimentos

El modelo 2^k se puede representar geoméricamente, y cada combinación experimental se puede graficar donde cada uno de los cuales corresponde a puntos espaciales con coordenadas dimensionales: 1 y -1 donde su presentación matemática sigue un cierto tipo de modelo lineal:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + E \dots \dots \dots$$

Siendo la representación espacial para un diseño factorial 2^3



Diseño 2^k para $k = 3$ factores

Consta de 3 factores, cada uno de los cuales tiene 2 niveles y consta de 8 combinaciones. Geométricamente, el patrón es un cubo con 8 combinaciones de esquinas. Este modelo permite evaluar tres efectos principales (A, B y C), tres interacciones entre dos factores (AB, AC, BC) y una interacción entre tres factores (ABC).

La estimación del posible efecto principal o interacción en el modelo 2^k se determina multiplicando las combinaciones de tratamientos en la columna 1 de la Tabla 29 por los signos en la correspondiente columna del efecto principal o interacción, sumando los resultados para obtener el contraste y dividiendo ese contraste por la mitad del número total de réplicas.

Diseño factorial 2^k con replica en el punto central del diseño

Cuando se usan modelos de factores de dos niveles, puede haber un problema con la suposición de linealidad en los efectos de los factores, porque solo se usan dos niveles (nivel bajo, nivel alto) para cada factor. Aunque el sistema 2^k funciona bien, incluso si la suposición de linealidad se cumple solo aproximadamente, todavía es necesario investigar qué tan bien se cumple la suposición de linealidad. Para esto, existe un método para reproducir puntos específicos en un diseño factorial 2^k que protege contra la curvatura (falta de linealidad), además de permitir obtener estimaciones de error de forma independiente. El método mencionado consiste en colocar puntos centrales al

modelo 2^k , el cual se repite n veces en los puntos $X_i = 0$ ($i = 1, 2, \dots, k$). Estos puntos son útiles para verificar la linealidad del modelo de diseño y no afectan las estimaciones convencionales de los efectos del diseño.

Selección de variables

En el proceso de flotación existen varias variables que intervienen en el proceso y para el presente trabajo hemos visto por conveniente emplear 3 variables: pH, granulometría y densidad de pulpa. Mientras tanto las otras variables del proceso continuaran constantes en tanto dure las pruebas experimentales.

Tabla 27. Variables del Proceso de Flotación para el Diseño Factorial 2^3

VARIABLES DEL PROCESO DE FLOTACION				
DISEÑO	DESIGNACION	NIVEL (-)	NIVEL (+)	UNIDAD
A	pH	6.5	7.5	-
B	GRANULOMETRIA	58.8	72.2	%
C	DENSIDAD DE PULPA	1250	1350	g/L

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Replicas Centrales para el Diseño Factorial 2^3

REPLICAS CENTRALES (Y)		
pH	GRANULOMETRIA	DENSIDAD DE PULPA
7.0	65.5	1300

Nota. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, planteamos la combinación experimental del diseño factorial 2^n el cual utilizaremos en nuestro trabajo de investigación:

Tabla 29. Combinación Experimental del Diseño Factorial 2ⁿ

TRATAMIENTOS	COMBINACION EXPERIMENTAL			DISEÑO YATES=Y
	A	B	C	
1	-	-	-	(1)
2	+	-	-	a
3	-	+	-	b
4	+	+	-	ab
5	-	-	+	c
6	+	-	+	ac
7	-	+	+	bc
8	+	+	+	abc
REPLICAS CENTRALES				
9	0	0	0	
9	0	0	0	
9	0	0	0	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Donde:

A = pH

B = Granulometría

C = densidad de pulpa

Seguidamente procedemos a construir un experimento en el extremo y tres repeticiones en el centro del diseño, donde Y es la recuperación de Oro en las pruebas experimentales:

Tabla 30. Planificación del Diseño Factorial 2³

DISEÑO FACTORIAL 2³								
TRATAMIENTOS	COMBINACION EXPERIMENTAL			DISEÑO	(X)			RESPUESTAS (Y)
	A	B	C		pH (X ₁)	GRANULOMETRIA (X ₂)	DENSIDAD DE PULPA (X ₃)	
1	-	-	-	(1)	6.5	58.8	1250	
2	+	-	-	a	7.5	58.8	1250	
3	-	+	-	b	6.5	72.2	1250	
4	+	+	-	ab	7.5	72.2	1250	
5	-	-	+	c	6.5	58.8	1350	
6	+	-	+	ac	7.5	58.8	1350	
7	-	+	+	bc	6.5	72.2	1350	
8	+	+	+	abc	7.5	72.2	1350	

REPLICAS CENTRALES (Y)								
TRATAMIENTOS	COMBINACION EXPERIMENTAL			DISEÑO	(X)			RESPUESTAS (Y)
	A	B	C		pH (X ₁)	GRANULOMETRIA (X ₂)	DENSIDAD DE PULPA (X ₃)	
9	0	0	0		7.0	65.5	1300	
9	0	0	0		7.0	65.5	1300	
9	0	0	0		7.0	65.5	1300	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Donde:

A = pH

B = Granulometría

C = Densidad de pulpa

Los valores de las réplicas centrales se obtienen sacando el promedio del nivel bajo (-) y el nivel alto (+) de cada variable.

5.16. Matriz final del diseño factorial 2³

Aquí presentamos la matriz de las pruebas realizadas a escala natural y codificada con 3 réplicas en el centro para las pruebas en el proceso de flotación por espumas. Aclaremos que la réplica número tres con resultado de 32.57 % de recuperación de oro es un dato atípico porque escapa de la distribución muestral de los experimentos realizados por lo cual ya no se va considerar este dato en el capítulo siguiente de análisis e interpretación de datos.

Tabla 31. Matriz Final del Diseño Factorial 2³

DISEÑO FACTORIAL 2³								
TRATAMIENTOS	COMBINACION EXPERIMENTAL			DISEÑO	(X)			RESPUESTAS (Y)
	A	B	C		pH	GRANULOMETRIA	DENSIDAD DE PULPA	
1	-	-	-	1	6.5	58.8	1250	50.14
2	+	-	-	A	7.5	58.8	1250	17.2
3	-	+	-	B	6.5	72.2	1250	30.54
4	+	+	-	AB	7.5	72.2	1250	66.85
5	-	-	+	C	6.5	58.8	1350	33.1
6	+	-	+	AC	7.5	58.8	1350	23.41
7	-	+	+	BC	6.5	72.2	1350	29.68
8	+	+	+	ABC	7.5	72.2	1350	33.18

REPLICAS CENTRALES (Y)								
TRATAMIENTOS	COMBINACION EXPERIMENTAL			DISEÑO	(X)			RESPUESTAS (Y)
	A	B	C		pH	GRANULOMETRIA	DENSIDAD DE PULPA	
9	0	0	0		7.0	65.5	1300	24.35
9	0	0	0		7.0	65.5	1300	23.2
9	0	0	0		7.0	65.5	1300	32.57

Nota. Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO VI

ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS

6.1. Análisis de experimentos por diseños experimentales

El proceso metalúrgico visto como una caja negra; donde se observan flujos de materiales, uso de equipos, herramientas y flujos energéticos, con el propósito optimizar un proceso o la obtención máxima de un material. Para alcanzar estos propósitos, se recurren a los diseños experimentales, en que se manipulan a las variables controlables en laboratorio experimental o planta piloto, al respecto, se ha afirmado lo siguiente: Al inicio del proceso de optimización, cuando no se cuenta con suficiente información sobre el comportamiento de las variables que afectan el proceso de flotación y el efecto sobre la recuperación de oro, es necesario identificar las variables importantes. En esta etapa, los modelos de primer orden son los más recomendados y usan un modelo factorial simple de dos niveles 2^3 que genera un modelo matemático lineal que es insuficiente para explicar las respuestas, especialmente en el corazón del diseño. y podemos suponer la posible presencia de curvatura. Para hacer esto, agregar pruebas en el medio del diseño ayuda a proporcionar una estimación promedio del efecto de curvatura. (Castro Ch., J. A.,2005, p.56)

6.2. Resultados de las pruebas metalúrgicas

6.2.1. Variables involucradas

Aplicaremos el método de los diseños experimentales en escala natural para ordenar los datos y analizarla como consecuencia del proceso experimental para recuperar oro de los minerales provenientes del yacimiento minero Llauchi Viscachani del distrito de Carhuayo – Quispicanchi. Como consecuencia de la combinación de los factores es que se obtienen resultados que deben ser sometidos a pruebas de hipótesis y validar sus objetivos.

FACTORES CONTROLABLES, estas variables se encargan de regentar el proceso de flotación de minerales presentes en el yacimiento minero, cuyos cambios de valor son registradas para determinar las condiciones de la máxima recuperación de oro, y son las siguientes:

A = pH de la pulpa (6.5 – 7.5)

B = granulometría del mineral de descarga del molino (58.8 % – 72.2 %)

C = Densidad de pulpa (1250 g/L – 1350 g/L)

VARIABLE DE INTERES, es la variable que agrupa a los datos registrados como consecuencia de procesar los minerales por flotación y son de interés para optimizar el proceso de recuperación del oro, está representado por:

Y = Recuperación (% de rescate de oro).

La recuperación de Au por proceso de flotación por espuma del mineral del yacimiento minero Llauchi Viscachani del distrito de Carhuayo, Como consecuencia del diseño de investigación se eligio a tres factores, A (pH), B (granulometría de concentrados de minerales) y C (densidad de pulpa), cada factor con un menor y mayor nivel, por lo tanto, se eligió también, diseño factorial 2³ con puntos centrales (ver tabla 32).

Tabla 32. Resumen del diseño factorial completo

<u>Variables</u>	Niveles		
	Inferior	Central	Superior
A Ph	6.5	7	7.5
B Granulometría	58.8	65.5	72.2
C Densidad de pulpa	1250	1300	1350

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 33, se observan resultados de la recuperación del oro y las diferentes escalas de YATES y sus combinaciones: (1); a; b; ab, c; ac; bc y abc. Esta tabla contiene

columnas (X1, X2 y X3), que corresponden a la notación codificada de tres factores en estudio, también, en esta misma tabla se muestra a estos factores en escala natural (A, B y C).

Se observan combinaciones de signos negativos y positivos. Ahora, deseamos evaluar el efecto de curvatura en dos niveles para ellos consideramos los puntos medios mostrados en la Tabla 33.

Tabla 33. Matriz de diseño en orden estándar

Combinación	N° Prueba	Escala Codificada			Escala Natural			Y: % Recup. de Au
		X ₁	X ₂	X ₃	A	B	C	
(1)	1	-1	-1	-1	6.5	58.8	1250	50.14
A	2	1	-1	-1	7.5	58.8	1250	17.20
B	3	-1	1	-1	6.5	72.2	1250	30.54
AB	4	1	1	-1	7.5	72.2	1250	66.85
C	5	-1	-1	1	6.5	58.8	1350	33.10
AC	6	1	-1	1	7.5	58.8	1350	23.41
BC	7	-1	1	1	6.5	72.2	1350	29.68
ABC	8	1	1	1	7.5	72.2	1350	33.18
	9	0	0	0	7	65.5	1300	24.35
	10	0	0	0	7	65.5	1300	23.20

Nota. Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Representación geométrica de las combinaciones del modelo factorial 2³

El proceso del experimento consiste en aplicar pruebas experimentales que producen cambios en la recuperación del oro intencionada, para que puedan observarse cambios en la variable respuesta a la salida de la caja negra. Para determinar si los factores seleccionados (A, B y C) son significativos y posteriormente encontrar una combinación de niveles donde la recuperación del oro sea máxima, se decide correr un diseño factorial 2³ sin replicas y con dos puntos centrales, en este tipo de diseño se incluyen todas las posibles combinaciones mostradas en la tabla 33, si se desea ver el análisis detallado sobre la combinación de las afirmaciones expuestas, se muestra el

cubo que asocia a las combinaciones de los factores, el cubo (ver figura 4) muestra todas estas combinaciones en sus vértices el valor de la recuperación de oro.

Figura 4. Cubo de combinación de los factores A, B y C



Nota. Fuente: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602021000100036

La figura anterior muestra una zona experimental cubica con ocho vértices, representando a ocho tratamientos, que coinciden con la combinación de Yates para el diseño factorial 2^3 .

6.2.3. Diseño factorial aplicada al proceso de flotación de oro

En laboratorio metalúrgico, se realizaron diez pruebas de flotación de los minerales de oro empleando espumas para el diseño 2^3 con dos puntos centrales, con muestras de los concentrados mineralógicos del yacimiento minero Llauchi Viscachani con la finalidad de evaluar los efectos y la significancia estadística de las variables independientes que influyen en la recuperación de oro, los resultados experimentales obtenidos se muestran en la tabla 33. La figura 5 muestra la caja negra del proceso de recuperación del oro flotación por espuma de los minerales del yacimiento minero Llauchi Viscachani del distrito de Carhuayo, se observa a las variables operativas de flotación de los minerales influyendo significativamente en la recuperación del oro.

Figura 5. Caja negra del proceso de recuperación del oro por flotación con espuma



Nota.Fuente:<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/40034/3560901063511UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

6.3. Condiciones del análisis de datos

La prueba experimental está diseñada para determinar si el modelo seleccionado 2^3 con dos puntos centrales es adecuado para describir los datos observados obteniéndose resultados estadísticos que confirman que el modelo seleccionado es adecuado para la verificación de la hipótesis de investigación.

6.3.1. Modelo estadístico experimental

En un diseño (2^3) de 8 experimentos y dos puntos centrales, presenta una interacción de tercer orden, ABC que será evaluada y lo cual puede dar uso para examinar otras interacciones de segundo orden como AB, BC y AC, entonces diseño factorial con diez pruebas experimentales es de utilidad para:

- Estimar efectos de los factores A, B y C, así como de sus interacciones
- Para la estimación de los efectos de curvatura, se agregó puntos centrales en el diseño 2^3 con dos corridas. Cabe mencionar, que las dos corridas en el punto central del diseño no afectan las estimaciones usuales de los efectos para nuestro diseño 2^3 .

- Para estimar los efectos de los 3 factores explicativas, implicaron 3 interacciones de segundo orden 1 de tercer orden y todas las restantes se consideran despreciables.

Los modelos estadísticos de diseños factoriales, permiten alcanzar lo planificado en el diseño de investigación. El modelo estadístico utilizado es lineal para posibilitar el análisis de datos experimentales, mediante la siguiente ecuación:

$$Y_{ijk} = f(A, B, C, AB, AC, BC, ABC, P) + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

A, B, C = Factores principales

AB, AC, BC = Factores de interacción dobles

ABC = Factor de interacción triple

P = Punto central (curvatura)

ϵ_{ijk} = Error aleatorio ijk -ésimo (agrupa a los demás factores no controlados en el experimento).

6.3.2 Hipótesis de interés

Para la prueba de hipótesis se utiliza el estadístico F de Fisher, el cual se recomienda para muestras menores de 30, para ello utilizamos el nivel de significancia del estudio, se considera 0.05. Si el p-valor es inferior a 0,05, las variables independientes tienen mayor efecto en el resultado (Inga P., A., 2020, p.59).

Al formular el diseño de investigación se pretende verificar si los factores pH, granulometría y densidad de pulpa son los elementos que regentan la recuperación del oro por el proceso de flotación de minerales del yacimiento minero Llauchi Viscachani, por lo que, se planteó la hipótesis de investigación, que debe ser contrastada mediante el diseño experimental:

H: Es posible recuperar oro por flotación a partir de minerales del yacimiento minero Llauchi Viscachani

Esta hipótesis se formuló considerando tres factores predictores: pH, granulometría y densidad de pulpa y con la variable de interés (recuperación de oro por flotación) y mediante el diseño factorial 2^3 con dos puntos centrales, ha permitido explicar el proceso de flotación de minerales, y también, se ha formulado la hipótesis estadística nula y alternativa.

$$H_0: A = B = C = AB = AC = BC = ABC = 0$$

$$H_A: A \neq B \neq C \neq AB \neq AC \neq BC \neq ABC \neq 0$$

La hipótesis nula (H_0), muestra que los efectos estadísticamente son iguales a cero, por lo tanto, no son significativas y la hipótesis alterna (H_A), nos indica que los efectos son diferentes de cero, por lo tanto, tienen diferencias significativas respecto a la variable rendimiento de recuperación de oro.

6.3.3 Adición de los puntos centrales

En este diseño factorial para la recuperación del oro, se programó para el análisis de la curvatura 2 tratamientos en el centro del diseño cuyos valores observamos en la tabla 33.

En un modelo factorial de dos niveles, se supone que la relación entre las variables independientes y la respuesta sigue un modelo matemático lineal. Si esta suposición es correcta, el modelo debería predecir correctamente todos los puntos de diseño, incluidos los puntos medios. De lo contrario, se puede argumentar que un modelo matemático lineal es insuficiente para explicar las respuestas en el rango de variables independientes estudiadas y suponer que existe curvatura. La inclusión de los ensayos en el medio de la estructura debe proporcionar específicamente una estimación promedio de dicha curvatura (Zevallos V., G: G., 2014, p.81)

6.4. Análisis y cálculo de los contrastes

El hecho de que se puedan estimar los contrastes de los factores del experimento. Hace que se tenga una jerarquización de la importancia de los contrastes y esta posibilidad el cálculo de los efectos, con ocho tratamientos y siete contrastes ortogonales.

Tabla 34. Arreglo de signos para el diseño factorial 2^3

Combinaciones de Yates	Símbolos algebraicamente formulada para contrastos y efectos factoriales							Y (%)	
	I	A	B	C	AB	AC	BC		ABC
(1)	+	-	-	-	+	+	+	-	50.14
a	+	+	-	-	-	-	+	+	17.20
b	+	-	+	-	-	+	-	+	30.54
ab	+	+	+	-	+	-	-	-	66.85
c	+	-	-	+	+	-	-	+	33.10
ac	+	+	-	+	-	+	-	-	23.41
bc	+	-	+	+	-	-	+	-	29.68
abc	+	+	+	+	+	+	+	+	33.18

Nota. Fuente: Elaboración propia

Para realizar un diseño factorial se seleccionó dos niveles para cada uno de los factores, y se corrió los experimentos en todas las posibles combinaciones. Todos factores involucrados son cuantitativos. En la tabla 34, la disposición de los signos sigue un procedimiento cumpliendo propiedades para generar los contrastes siguiendo la notación de Yates.

Cada contraste responde a la pregunta: ¿los factores tienen algún efecto en la recuperación del oro a partir de los minerales del yacimiento minero Viscachani? La respuesta a esta pregunta se obtiene al examinar los siete valores de los contrastes ortogonales, calculados con el siguiente procedimiento:

CALCULO DE CONTRASTES PRINCIPALES:

$$\text{Contraste } A = [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc]$$

$$\text{Contraste } A = [17.2 + 66.85 + 23.41 + 33.18 - 50.14 - 30.54 - 33.1 - 29.68]$$

$$\text{Resultado del Contraste } A = -2.820$$

$$\text{Contraste } B = [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac]$$

$$\text{Contraste } B = [17.2 + 66.85 + 23.41 + 33.18 - 50.14 - 30.54 - 33.1 - 29.68]$$

$$\text{Resultado del Contraste } B = 36.400$$

$$\text{Contraste } C = [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]$$

$$\text{Contraste } C = [33.1 + 23.41 + 29.68 + 33.18 - 50.14 - 17.2 - 30.54 - 66.85]$$

$$\text{Resultado del Contraste } C = -45.360$$

CALCULO DE CONTRASTES DE INTERACCIÓN:

$$\text{Contraste } AB = [ab - b - a + abc + (1) - bc - ac + c]$$

$$\text{Contraste } AB = [66.85 - 30.54 - 17.2 + 33.18 + 50.14 - 29.68 - 23.41 + 33.1]$$

$$\text{Resultado del Contraste } AB = 82.400$$

$$\text{Contraste } AC = [(1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc]$$

$$\text{Contraste } AC = [50.14 - 17.2 + 30.54 - 66.85 - 33.1 + 23.41 - 29.68 + 33.18]$$

$$\text{Resultado del Contraste } AC = -9.560$$

$$\text{Contraste } BC = [(1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc]$$

$$\text{Contraste } BC = [50.14 + 17.2 - 30.54 - 66.85 - 33.1 - 23.41 + 29.68 + 33.18]$$

$$\text{Resultado del Contraste } BC = -23.700$$

$$\text{Contraste } ABC = [abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)]$$

$$\text{Contraste } ABC = [33.18 - 29.68 - 23.41 + 33.1 - 66.85 + 30.54 + 17.2 - 50.14]$$

$$\text{Resultado del Contraste } ABC = -56.060$$

En el proceso de flotación de los minerales auríferos, se observa el efecto en la recuperación del oro.

6.5. Análisis de los efectos estimados

Seguidamente estimamos efectos para cada uno de los factores y observamos los valores para cada uno de estos factores A, B, C, AB, AC, BC y ABC, para estimar sus niveles, que deben ser optimizados, y ubicados en sus rangos de importancia.

El efecto de cada factor implicado en el proceso de flotación de los minerales del yacimiento minero Llauchi Viscachani influyentes sobre las hipótesis de investigación, específicamente sobre las sumas de cuadrados y las estadísticas de prueba.

6.5.1. Significancia de los efectos

Cuando en la experimentación el valor de un factor hacemos variar de un nivel bajo a un nivel alto, entonces, se podrá apreciar su efecto, en este caso para el proceso de recuperación del oro por flotación con espuma, se realiza el análisis factorial, considerando lo siguiente, según (Inga P., A., 2020):

- Replicando todos los puntos de diseño, es decir, hacer el mismo diseño más de dos veces, si las condiciones lo permiten, pero en la presente investigación no se ha replicado.
- Replicando dos o más veces el punto central del diseño.
- En ausencia de réplicas, se hace una de las interacciones de orden superior (por ejemplo, AB, AC, BC, ABC), considerándolas significativas, conforme se obtengan los resultados de los cálculos estadísticos.
- La mejor manera de evaluar la importancia de las interacciones y los principales efectos que provocan es el duplicado al menos dos veces, este es el punto medio del modelo factorial (el nivel medio o nivel "o"). que tiene la ventaja de poder evaluar la posible presencia de curvatura entre niveles seleccionados de entre las variables. (p. 76)

Para el caso del diseño experimental: recuperación del oro por el método de flotación por espuma del yacimiento minero Llauchi Viscachani del distrito de Carhuayo – Quispicanchi, el número de pruebas experimentales realizados es de una corrida de 11 pruebas sin replicas por razones de economía en la experimentación, pero igualmente es válido ya que se consideran los efectos de la curvatura. Por lo cual se aplica el tercer y cuarto criterio y se asume desde un principio de que las interacciones son valiosas y de mucha importancia.

6.5.2. Cálculo de los efectos

Obtenido los contrastes, el siguiente paso es calcular los efectos principales y de interacción. “Calcular los efectos nos permite determinar cuánto afectan las variables independientes a la variable dependiente. El efecto se define como la diferencia entre los valores medios de las respuestas cuando las variables que intervienen en el proceso se encuentran en sus niveles más bajo y más alto, calculado de la siguiente manera”. (Inga P., A., 2020, p.80):

CALCULO DE EFECTOS PRINCIPALES:

$$\text{Efecto } A = \frac{1}{4n} [\text{Contraste } A] = \frac{1}{4} [-2.820]$$

$$\text{Resultado del efecto } A = -0.705$$

$$\text{Efecto } B = \frac{1}{4n} [\text{Contraste } B] = \frac{1}{4} [36.400]$$

$$\text{Resultado del efecto } B = 9.100$$

$$\text{Efecto } C = \frac{1}{4n} [\text{Contraste } C] = \frac{1}{4} [-45.360]$$

$$\text{Resultado del efecto } C = -11.340$$

CALCULO DE EFECTOS DE INTERACCIÓN:

$$\text{Efecto } AB = \frac{1}{4n} [\text{Contraste } AB] = \frac{1}{4} [82.400]$$

Resultado del efecto $AB = 20.610$

$$\text{Efecto } AC = \frac{1}{4n} [\text{Contraste } AC] = \frac{1}{4} [-9.56]$$

Resultado del efecto $AC = -2.390$

$$\text{Efecto } BC = \frac{1}{4n} [\text{Contraste } BC] = \frac{1}{4} [-23.700]$$

Resultado del efecto $BC = -5.925$

$$\text{Efecto } ABC = \frac{1}{4n} [\text{Contraste } ABC] = \frac{1}{4} [-56.060]$$

Resultado del efecto $ABC = -14.015$

De los cálculos efectuados, se aprecia que, el efecto de la variable B, y la interacción AB muestran las mejores condiciones (signo positivo). Revisando los resultados de los tratamientos, el que provoca mayor recuperación de oro en porcentaje es cuando se varió pH, granulometría del mineral y la densidad de pulpa en forma simultánea.

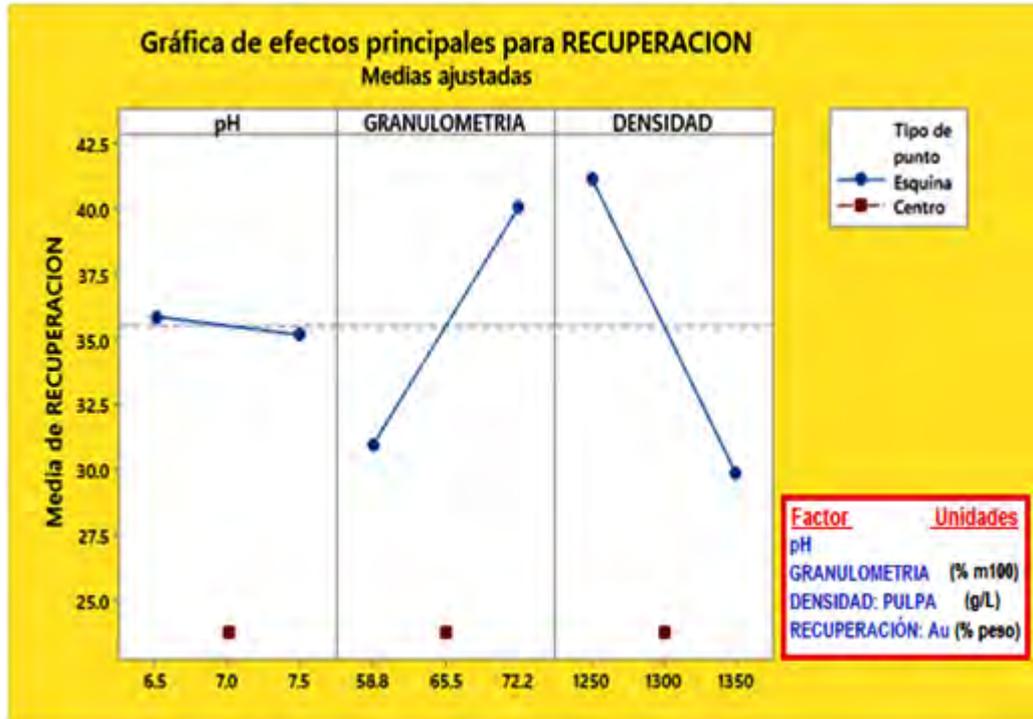
La tabla 34, considera la escala natural para la matriz de diseño factorial 3 variables predictoras (A, B y C). También, considera dos puntos centrales. En los cálculos efectuados, se visualiza que los signos de efectos del factor B y la interacción AB, “son positivos por tanto están en un nivel mínimo y deben ser maximizados es decir que ambos factores son variables y deberán ser optimizados y establecer su rango de trabajo óptimo. En cambio, el signo del efecto de los factores A, C, AC, BC, y ABC, es negativo, por tanto, están en su máximo tienen que ser minimizados, si incrementamos el vector la recuperación decae” (Castro Ch., J. A., 2005, p. 77).

6.5.3. Grafica de efectos

Las Figura 6 y figura 7, ilustran gráficamente los efectos principales y también los efectos de interacción dobles y triples; En la figura 7, se observa mayor recuperación

en las interacciones dobles de pH*granulometría y granulometría*densidad por encima de los 50 % de recuperación.

Figura 6. Representación geométrica de los efectos principales

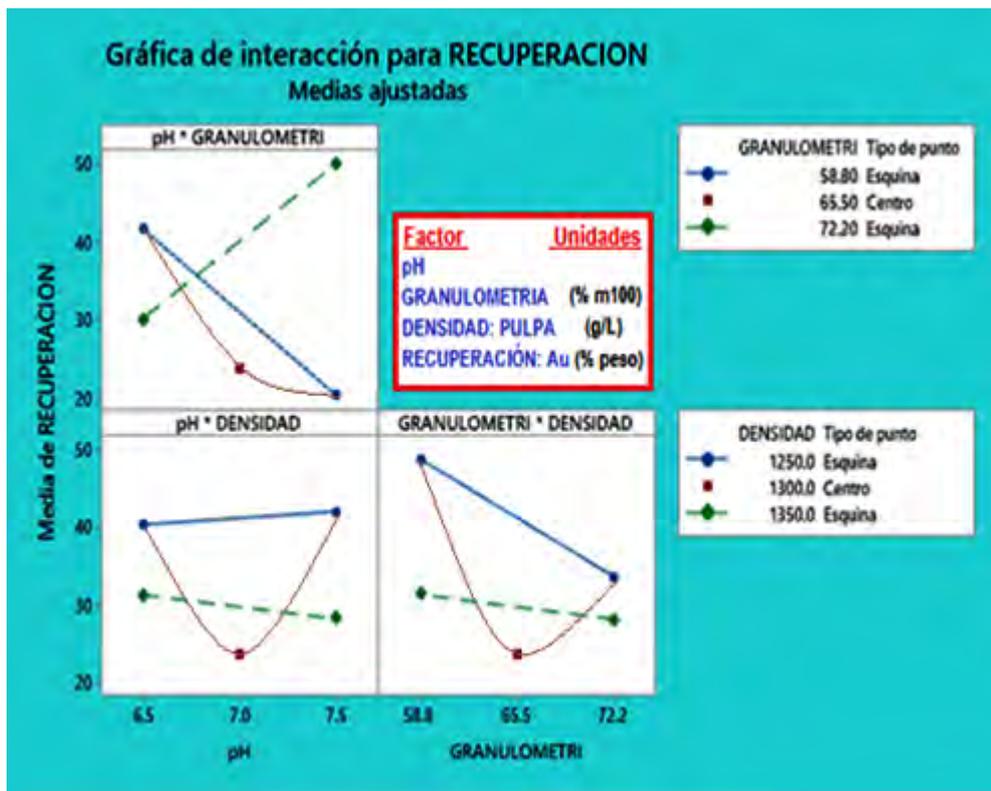


Nota. Fuente: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602021000100036

En cambio, para el efecto de la variable pH su efecto es casi nulo, al variar de 6.5 a 7.5. También, figura 6 claramente nos presenta que se alcanza mayor rendimiento de recuperación de oro por cambiar la densidad de la pulpa de 1250 a 1350 g/L. Solo el efecto principal granulometría esta con signo positivo, indicando mejora en la recuperación de oro. La figura 6, también muestra que el factor granulometría tiene inclinación pronunciada negativa y el PH tiene una interacción negativa moderada.

En la figura 6, permite interpretar que el factor granulometría es factor importante, porque tienen un impacto positivo en la maximización del proceso para recuperar oro.

Figura 7. Efectos de interacción de las variables independientes



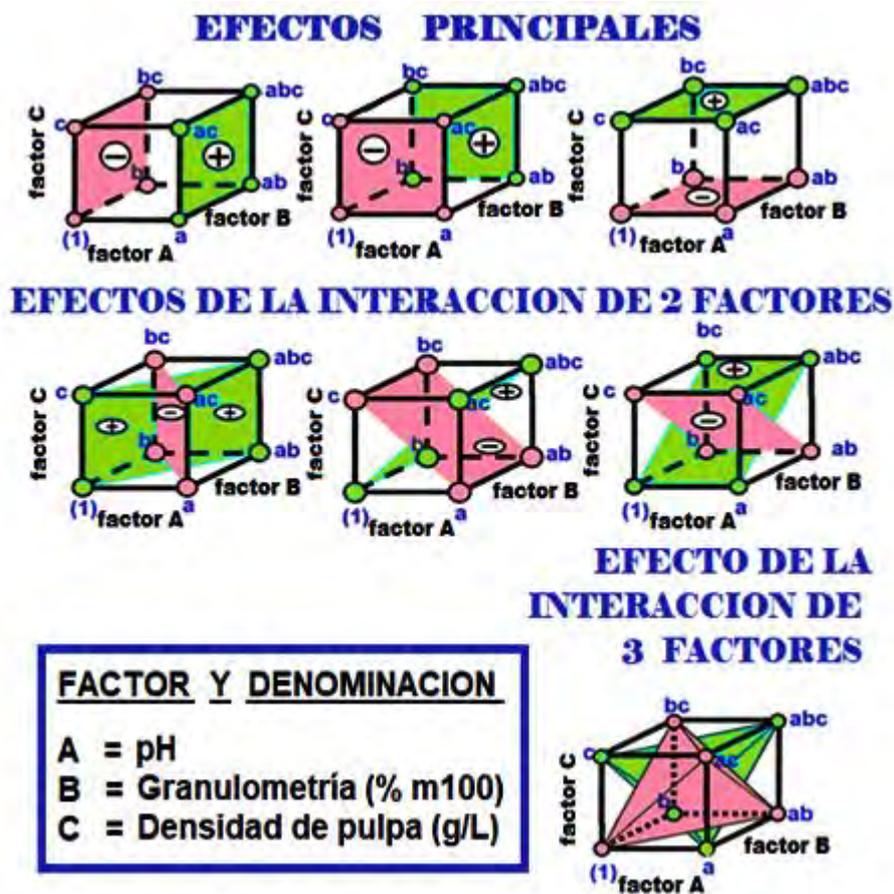
Nota. Fuente: <https://i.ytimg.com/vi/BFKB4pRc84Q/maxresdefault.jpg>

En la figura 7, se observan los efectos de interacción de pH*granulometría, pH*densidad y granulometría*densidad, y nos indica que las líneas de interacción de pH*granulometría tiene pendiente positiva y las otras líneas de pH*densidad y granulometría*densidad tienen pendientes negativas, por lo tanto, solo la interacción pH*granulometría tiene impacto positivo en la recuperación de oro.

Observamos las gráficas determinadas con el Software Minitab 19, que las pendientes negativas moderadas de las líneas de efectos de las interacciones corresponden a pH*densidad y granulometría*densidad, esto nos indica que existe significancia moderada en estas interacciones, caso contrario es la interacción pH*granulometría donde no la línea de efecto es negativa. Esto corrobora a los cálculos de los efectos realizados en la sección anterior. En la figura 8 se tiene en cada uno de los vértices del cubo factores ordenados según la notación de yates, aplicadas al proceso de flotación de minerales, se obtienen valores positivos y negativos para cada efecto.

La representación geométrica de los efectos principales se observa en las caras de los cubos de manera paralela, y los efectos de interacción están ubicadas en el cubo como planos diagonales perpendiculares entre ella, así como, el efecto de la interacción de los tres factores en el cubo se observa como planos que cortan tres vértices y entre ellas son paralelas. En consecuencia, en la figura 8 se observa los efectos gráficamente que ocurren en un diseño factorial 2^3 .

Figura 8. Representación geométrica de los efectos principales y de interacciones del diseño 2^3



Nota. Fuente: <https://docplayer.es/23931714-Capitulo-6-disenos-factoriales-2-k.html>

6.5.4. Contribución de los efectos

Efecto A: pH

Es muy importante para la recuperación de oro, los análisis indican que es un agente desactivador de la recuperación del oro, su incremento de 6.5 pH a 7.5 pH hace que se

deprima la recuperación del oro. El aumento de pH es inconveniente para su recuperación en el circuito del oro (ver figura 6).

Efecto B: Granulometría

El signo positivo del efecto de la Granulometría es típico de condición adecuada para la recuperación de oro, como se ve en a figura 6 cuando se incrementa de 58.8 % a 72.2 % pasante de la malla 100, en la línea del efecto se observa una pendiente positiva, es decir, También, se observa que promueve la recuperación de oro.

Efecto C: DENSIDAD DE PULPA

Esta relación tiene un efecto negativo ya que deprime la recuperación del oro cuando pasa de 1250 a 1350 (g/L). Se necesita mantener una densidad de pulpa mínima exigida para posibilitar la maximización de la recuperación del oro.

Tabla 35. Contribución porcentual de los efectos

Factor	Estimación del efecto		Contribución porcentual
	Valor natural	Valor absoluto	
<i>A</i>	-0.705	0.705	1.100
<i>B</i>	9.100	9.100	14.200
<i>C</i>	-11.340	11.340	17.695
<i>AB</i>	20.610	20.610	32.160
<i>AC</i>	-2.390	2.390	3.729
<i>BC</i>	-5.925	5.925	9.246
<i>ABC</i>	-14.015	14.015	21.869
TOTAL		64.085	100

Nota. Fuente: Elaboración propia

A partir de valores de efectos obtenidos en la formulas se obtiene las contribuciones porcentuales de los distintos factores que intervienen en la flotación del oro (granulometría y una interacción adecuada de pH con granulometría), Se observa que estos efectos son los más importante en la optimización de la recuperación del oro, lo

cual implica la necesidad de poner mayor atención en estos factores, En cambio, los otros factores son despreciables.

La contribución porcentual de los efectos mostradas en la tabla 35, es para mostrar la importancia relativa de cada uno de los factores del modelo. Los efectos principales B, A*B son responsables del 46.36 % (14.200 + 32.160) del efecto conductivo este proceso de flotación de minerales de oro, explicando la variabilidad total.

6.6. Análisis y cálculo de los cuadrados medios

El factor de la suma de cuadrados medios, “es la desviación de la media del nivel de factor estimado alrededor de la media general. Esto se conoce también como la suma de los cuadrados entre los tratamientos” (Zapata A., L., 2020, p55).

Las sumas de cuadrados de las fuentes de variabilidad (A, B, C, AB, AC, BC Y ABC) se calculan a partir de los efectos, considerando que cada efecto tiene un solo grado de libertad igual a 1 por tener únicamente dos niveles de variación para el diseño experimental de recuperación de oro en el modelo 2^3 con una réplica y dos puntos centrales, los valores obtenidos en la suma de cuadrados del tratamiento, representan la variabilidad de cada factor originado en los efectos del tratamiento y se calculan de la siguiente manera:

SUMA DE CUADRADOS DE LOS EFECTOS PRINCIPALES:

$$SC_A = \frac{1}{n2^3} [\text{Contraste } A]^2 = \frac{1}{8} [-2.820]^2$$

$$SC_A = 0.994$$

$$SC_B = \frac{1}{n2^3} [\text{Contraste } B]^2 = \frac{1}{8} [36.400]^2$$

$$SC_B = 165.620$$

$$SC_C = \frac{1}{n2^3} [\text{Contraste } C]^2 = \frac{1}{8} [-45.360]^2$$

$$SC_C = 257.191$$

SUMA DE CUADRADOS DE LOS EFECTOS DE INTERACCIÓN:

$$SC_{AB} = \frac{1}{n2^3} [\text{Contraste } AB]^2 = \frac{1}{8} [82.440]^2$$

$$SC_{AB} = 849.544$$

$$SC_{AC} = \frac{1}{n2^3} [\text{Contraste } AC]^2 = \frac{1}{8} [-9.560]^2$$

$$SC_{AC} = 11.424$$

$$SC_{BC} = \frac{1}{n2^3} [\text{Contraste } BC]^2 = \frac{1}{8} [-23.700]^2$$

$$SC_{BC} = 70.211$$

$$SC_{ABC} = \frac{1}{n2^3} [\text{Contraste } ABC]^2 = \frac{1}{8} [-56.060]^2$$

$$SC_{ABC} = 392.840$$

Donde:

n: número de respuestas de laboratorio para cada prueba (1).

SUMA DE CUADRADOS TOTALES, CON DOS PUNTOS CENTRALES:

En ANOVA, la suma cuadrados total, nos indica que la variación total puede atribuir a otros factores, para nuestro diseño factoriales 2^3 con dos puntos centrales, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$SC_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^3 y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{10 * n}$$

Donde:

y_{ijk} = resultado promedio del experimento bajo el tratamiento *ésimo*

$y_{...}$ = sumatoria de los resultados promedio del experimento

n = numero de itereaciones

Por lo tanto, efectuando los cálculos correspondientes, se obtiene el siguiente resultado

$$SC_T = 50.14^2 + 17.20^2 + \dots + 23.2^2 - \frac{331.65^2}{10 * 1}$$

$$SC_T = 12968^2 - \frac{331.65^2}{10 * 1}$$

$$SC_T = 1968.92$$

SUMA DE CUADRADOS DE LA CURVATURA CUADRATICA PURA

Mediante la siguiente ecuación evaluamos “La curvatura se da si el modelo tiene centros. La prueba examina la media corregida de la respuesta en los puntos medios frente a la media esperada si las relaciones entre los términos del modelo y la media son lineales” (Soporte de MINITAB 18, 2021):

$$SC_{Cuadratica\ pura} = \frac{n_F n_C (\bar{y}_F - \bar{y}_C)^2}{n_F + n_C}$$

Donde:

n_F = número de puntos del diseño factorial

n_C = numero de observaciones en el punto central

\bar{y}_F = promedio de las corridas

\bar{y}_C = *promedio de observaciones en el centro*

Por lo tanto, para el modelo con dos puntos de curvatura, reemplazamos valores correspondientes, en la anterior ecuación:

$$SC_{Cuadratica\ pura} = \frac{8 * 2 * (35.51 - 23.78)^2}{8 + 2}$$

$$SC_{Cuadratica\ pura} = 220.43$$

SUMA DE CUADRADOS DEL ERROR:

Esta suma, considera la sumatoria de los residuos cuadráticos y las variaciones producida por los resultados experimentales de la variable predictora y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_{AB} - SC_C - SC_{AC} - SC_{BC} - SC_{ABC} - SC_{Cuadratica\ pura}$$

$$SC_E = 1968.920 - 0.994 - 165.620 - 849.544 - 257.191 - 11.424 - 70.211 - 392.840 - 220.43$$

$$SC_E = 0.665$$

6.7. Análisis de varianza

El análisis de varianza (ANOVA), calcula la variación total, considerando a todas las variables consideradas en las pruebas de flotación de minerales auríferos, que afectan a las variables consideradas. Este procedimiento nos muestra la significancia de los efectos, para calcular la variabilidad total en función de la suma de cuadrados de los efectos y del error, recurrimos a la siguiente igualdad:

$$SC_{total} = SC_{efectos} + SC_{error}$$

Donde:

SC_{total} = Suma total de los cuadrados corregidos.

$SC_{efectos}$ = Suma de los cuadrados de los efectos (tratamientos).

SC_{error} = Suma de cuadrados por el error aleatorio.

La tabla 37 muestra el análisis de varianza, obtenidos con los datos calculados anteriormente. En esta tabla vemos que la mayor significancia de cada uno de los factores considerado en el análisis factorial. No requiere ajuste, luego los datos experimentales se ajustan al modelo factorial 2^3 con dos puntos centrales. Dado que el valor-p, encontrada en la tabla ANOVA es superior al nivel de significancia de 0.05, el modelo es apropiado para las condiciones del experimento de flotación de minerales de oro.

6.7.1. Grados de libertad del diseño experimental

El total de grados de libertad (GL) es un valor menos 1 de la cantidad de tratamientos en la muestra (ver tabla 36). “El análisis usa esa información para lograr estimar los valores de parámetros de población desconocidos. Los GL de un término muestran qué información usa ese término, para estimar la variabilidad de las estimaciones de los parámetros” (Soporte de minitab 18, 2021) se resume en la siguiente tabla:

Tabla 36. Total de grados de libertad del modelo factorial

Factor de variabilidad	Grados de libertad	
	Formula	Valor
A (pH)	$(a-1) = (2-1)=1$	1
B (Granulometría)	$(b-1) = (2-1)=1$	1
C (Densidad de pulpa)	$(c-1) = (2-1)=1$	1
AB	$(a-1)*(c-1) = (2-1)(2-1)=1$	1
AC	$(a-1)*(c-1) = (2-1)(2-1)=1$	1
BC	$(b-1)*(c-1) = (2-1)(2-1)=1$	1
ABC	$(a-1)*(b-1)*(c-1) = (2-1)(2-1)(2-1)=1$	1
CURVATURA	$(d-1)$	1
ERROR	$a*b*c*(n-1)$	1
TOTAL	N-1	9

Nota. Fuente: Elaboración propia

6.7.2. Cálculo de los cuadrados medios

Los cuadrados medios en el análisis de varianza “miden cuánta variación explica un término o modelo, asumiendo que todos los demás términos están en el modelo, independientemente de su orden en el modelo. A diferencia de las sumas de cuadrados, los cuadrados medios tienen en cuenta los grados de libertad. El error cuadrático medio (también llamado CME) es la varianza de los valores ajustados, es decir los cuadrados medios” (Soporte de minitab 18, 2021) para nuestro modelo tienen las cantidades siguientes:

CUADRADO MEDIO DE LOS EFECTOS PRINCIPALES:

$$CM_A = \frac{SC_A}{(a-1)} = \frac{0.994}{1}$$

$$CM_A = 0.994$$

$$CM_B = \frac{SC_B}{(b-1)} = \frac{165.620}{1}$$

$$CM_B = 165.620$$

$$CM_C = \frac{SC_C}{(c-1)} = \frac{257.191}{1}$$

$$CM_C = 257.191$$

CUADRADO MEDIO DE LOS EFECTOS DE INTERACCIÓN:

$$CM_{AB} = \frac{SC_{AB}}{(a-1) * (b-1)} = \frac{849.544}{1}$$

$$CM_{AB} = 849.544$$

$$CM_{AC} = \frac{SC_{AC}}{(a-1) * (c-1)} = \frac{11.424}{1}$$

$$CM_{AC} = 11.424$$

$$CM_{BC} = \frac{SC_{BC}}{(b-1) * (c-1)} = \frac{70.211}{1}$$

$$CM_{BC} = 70.211$$

$$CM_{ABC} = \frac{SC_{ABC}}{(a-1) * (b-1) * (c-1)} = \frac{392.840}{1}$$

$$CM_{ABC} = 392.840$$

CUADRADO MEDIO DE LA CURVATURA CUADRÁTICA PURA

$$CM_{Cuadratica\ pura} = \frac{SC_A}{(a-1)} = \frac{220.43}{1}$$

$$CM_{Cuadratica\ pura} = 220.43$$

6.7.3 Cálculo de F de FISHER

Con las estimaciones, realizamos el análisis de varianza, pero, previamente se calcula la prueba de distribución estadística F de Fisher, con el cociente de la estimación de los efectos sobre los errores, expresada como la siguiente fórmula:

$$F_0 = \frac{CM_{Efectos}}{CM_{Error}}$$

El valor estadístico de prueba resultante de la aplicación de la expresión anterior, se debe comparar con un valor tabular de F (que se encuentran en tablas), “que indicará el valor máximo del valor estadístico de prueba que ocurriría si H_0 fuera verdadera, a un nivel de significación seleccionado en 0.05, Para efectuar los cálculos se ha considerado las características de la distribución F de Fisher, tales como los grados de libertad. Y las estimaciones de F de Fisher de los factores que venimos analizando para la recuperación del oro, se aplican las siguientes expresiones:

F DE FISHER DE LOS EFECTOS PRINCIPALES:

$$F_{0(A)} = \frac{CM_A}{CM_E} = \frac{0.994}{0.665}$$

$$F_{0(A)} = 1.50$$

$$F_{0(B)} = \frac{CM_B}{CM_E} = \frac{165.620}{0.665}$$

$$F_{0(B)} = 249.18$$

$$F_{0(C)} = \frac{CM_C}{CM_E} = \frac{257.191}{0.665}$$

$$F_{0(C)} = 386.96$$

F DE FISHER DE LOS EFECTOS DE INTERACCIÓN:

$$F_{0(AB)} = \frac{CM_{AB}}{CM_E} = \frac{849.544}{0.665}$$

$$F_{0(AB)} = 1278.18$$

$$F_{0(AC)} = \frac{CM_{AC}}{CM_E} = \frac{11.424}{0.665}$$

$$F_{0(AC)} = 17.19$$

$$F_{0(BC)} = \frac{CM_{BC}}{CM_E} = \frac{70.211}{0.665}$$

$$F_{0(BC)} = 105.64$$

$$F_{0(ABC)} = \frac{CM_{ABC}}{CM_E} = \frac{392.840}{0.665}$$

$$F_{0(ABC)} = 591.05$$

F DE FISHER DE LA CURVATURA CUADRATICA PURA

$$F_{0(Cuad.pura)} = \frac{CM_{Cuad.pura}}{CM_{Error}} = \frac{220.430}{0.665}$$

$$F_{0(Cuad.pura)} = 331.65$$

F DE FISHER CRITICO

Observando la figura 9 encontramos valores de la distribución de F de Fisher tabuladas y los utilizamos para aplicar al modelo de recuperación de oro, determinada para ANOVA. Considerando $\alpha = 0.05$, de la tabla mencionada se obtiene el valor crítico de F es $F_C = F_{0,05,1,1} = 161.446$, para los correspondientes grados de libertad.

Figura 9. Valores de distribución de F de Fisher

Tabla . VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER

$$1 - \alpha = 0.95$$

v_1 = grados de libertad del numerador

$$1 - \alpha = P (F \leq f_{\alpha, v_1, v_2})$$

v_2 = grados de libertad del denominador

$v_2 \backslash v_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...
1	161.446	199.499	215.707	224.583	230.160	233.988	236.767	238.884	240.543	...
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.500	3.438	3.388	
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	
...	...									

Nota. Fuente: <http://dcb.fi-c.unam.mx/profesores/irene/Notas/tablas/Fisher.pdf>

6.7.4. Formulación de ANOVA

Para formular la tabla de ANOVA, se siguió lo manifestado por (Zapata A., L., 2020):

La prueba ANOVA o análisis de varianza es un método estadístico que permite descubrir si los resultados de la flotación de minerales provenientes de la comunidad de Carhuayo-Quispicanchis son significativos, en otras palabras, permiten determinar con eficacia si es necesario rechazar la hipótesis nula o por el contrario, aceptar la hipótesis alternativa. El uso apropiado de ANOVA en el análisis de los datos de la encuesta necesita que se cumplan algunos supuestos, incluyendo la distribución normal de la información, la independencia de los casos y la igualdad de varianza (p. 88)

Tabla 37. ANOVA para la flotación de minerales de oro

Fuente	SC	G.L.	CM	Fo	Fc	Valor-p	Ho
A (pH)	0.994	1	0.994	1.50	161.446	0.4364	SE ACEPTA
B (Granulo.)	165.620	1	165.620	249.18	161.446	0.0403	SE RECHAZA
C (Densidad)	257.191	1	257.191	386.96	161.446	0.0323	SE RECHAZA
AB	849.544	1	849.544	1278.18	161.446	0.0178	SE RECHAZA
AC	11.424	1	11.424	17.19	161.446	0.1507	SE ACEPTA
BC	70.211	1	70.211	105.64	161.446	0.0617	SE ACEPTA
ABC	392.840	1	392.840	591.05	161.446	0.0262	SE RECHAZA
CURVATURA	220.430	1	220.430	331.65	161.446	0.0349	SE RECHAZA
ERROR	0.665	1	0.665				
TOTAL	1968.92	9	1968.92	28.25			

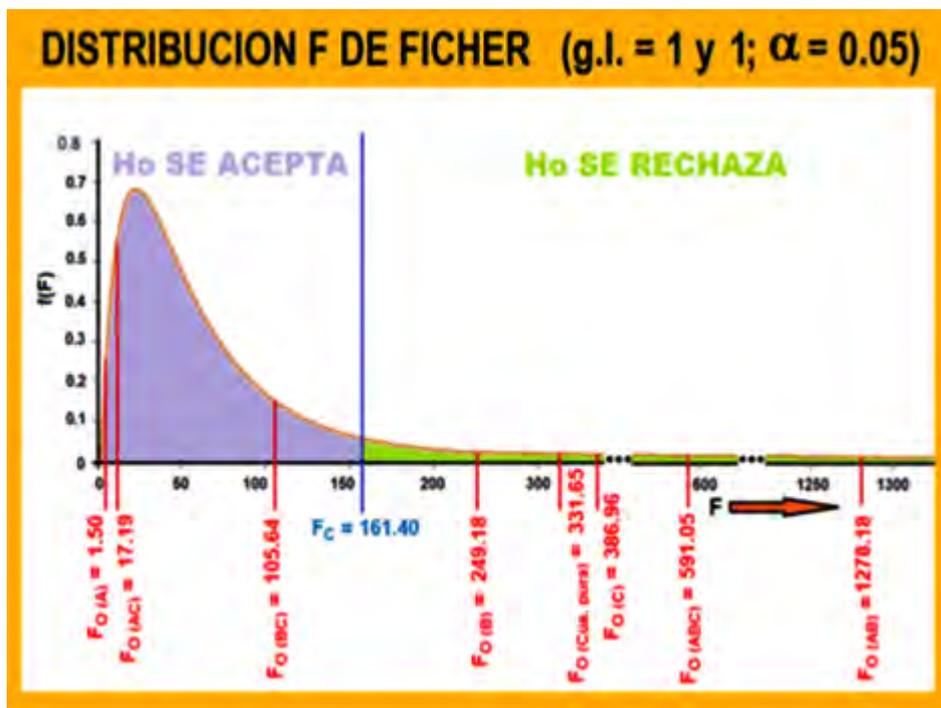
Nota. Fuente: Elaboración propia

Apreciando la tabla 37 para la recuperación del oro, el valor de test Fisher (F) crítico es 161.446 ajustado para 1 y 1 grado de libertad, con una significancia del 5 %. De la tabla (ver figura 9) el valor de F es 161.446 un valor crítico para separar las variables

significativas de las no significativas. Se observa que 3 efectos tienen un valor-p mayor que 0.05, estas, no son significativas para un nivel de significancia del cinco por ciento. Encontrando, que las variables más significativas para la recuperación de oro, es granulometría (249.18) y la interacción pH* granulometría (1278.18) y tienen efecto positivo.

La figura 10 muestra la distribución de los valores F que obtendremos para la recuperación del oro, para observar gráficamente si la hipótesis nula es verdadera y repetimos el estudio muchas veces. El área sombreada de la izquierda representa la probabilidad de observar un estadístico F que acepta la hipótesis nula en nuestro estudio. El área sombreada de la derecha rechaza la hipótesis nula, para el nivel de confiabilidad del 95%.

Figura 10. Distribución F de Fisher para la recuperación de oro



Nota. Fuente: <http://dcb.fi-c.unam.mx/profesores/irene/Notas/tablas/Fisher.pdf>

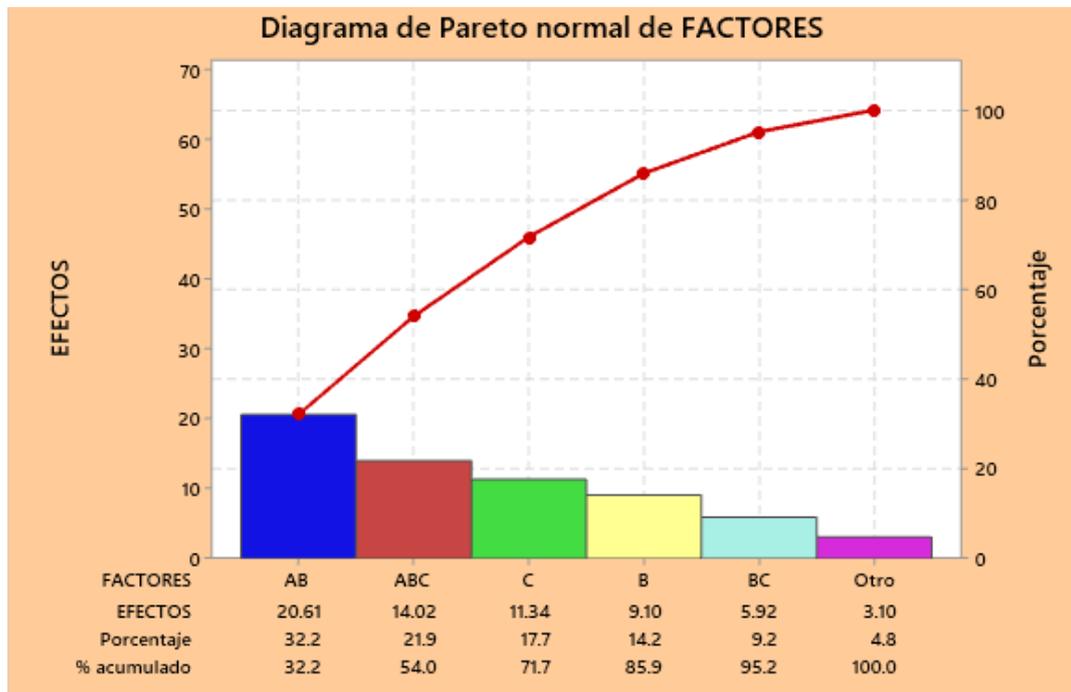
6.8 DIAGRAMA DE PARETO

6.8.1. Diagrama de Pareto normal

El diagrama de Pareto normal (ver figura 11) contiene valores absolutos para los efectos estandarizados desde un nivel alto a un nivel bajo, el diagrama nos permite:

- Clasificar aspectos en orden importancia, según la siguiente prioridad: AB, ABC, C, B, BC, AC y A
- “Representa gráficamente el principio de Pareto (pocos importantes, muchos triviales), lo que significa que hay muchos problemas menores en comparación con unos pocos muy importantes. El gráfico coloca los "pocos importantes" a la izquierda (AB, ABC, C) y los "muchos insignificantes" a la derecha” (Zapata A., L., 2020, p. 69) de (B, BC, AC y A).

Figura 11. Diagrama de Pareto normal para la recuperación del oro



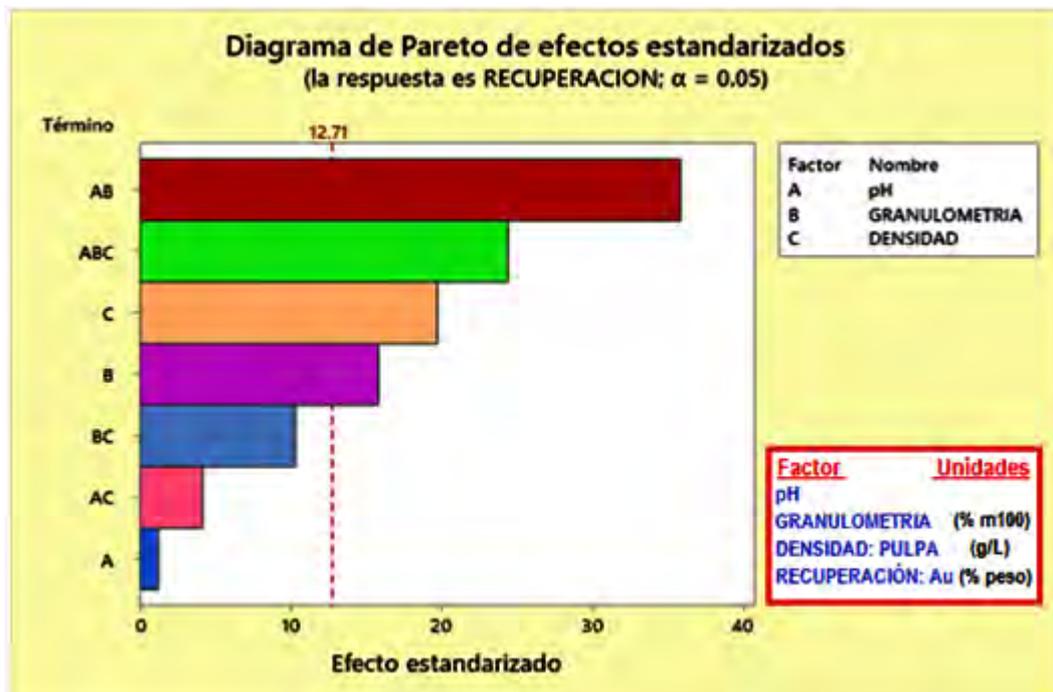
Nota.Fuente:<https://1library.co/document/y8g3gw5z-proceso-optimizacion-recuperacion-mineral-sulfurado-minera-empresa-aruntani.html>

6.8.2. Diagrama de Pareto estandarizado

La figura 12 nos muestra el diagrama obtenido con ayuda cálculos estadísticos: Pareto estandarizado, que nos indica gráficamente cuál de los factores o interacciones

son más significativas, para un 5% de significancia. Siendo las variables más significativas: AB, ABC, C y B. “El diagrama también demuestra una línea de referencia, esto se hace para indicar cuáles efectos no son estadísticamente significativos: BC, AC y A. Es decir, los efectos más distantes de 0 en el eje X tienen mayor magnitud. Los efectos más distantes de 0 son más significativos” (Soporte de minitab 18, 2021) estadísticamente, así como, vemos en la siguiente figura:

Figura 12. Diagrama de Pareto estandarizado para la recuperación el oro



Nota.Fuente:<https://1library.co/document/y8g3gw5z-proceso-optimizacion-recuperacion-mineral-sulfurado-minera-empresa-aruntani.html>

Para obtener este diagrama, se realizó mediante procedimientos estadísticos y como ejemplo aplicaremos para el efecto B (granulometría) a partir de su efecto calculado anteriormente:

$$\text{Efecto } B = 9.10$$

En el diagrama de Pareto estandarizado, calcularemos el efecto expresado como barra del efecto B, para ello se efectúa el siguiente procedimiento: calculamos el error estándar de un efecto y luego el efecto estandarizado de B, mediante la siguiente secuencia:

$$\text{Error estándar de un efecto} = \sigma_{efecto} = \sqrt{\frac{CM_{error}}{n2^{k-2}}}$$

Entonces:

$$\sigma_{efecto} = \sqrt{\frac{0.665}{2}} = 0.5766$$

Obteniendo el efecto estandarizado del factor B:

$$\text{Efecto estandarizado de B} = \frac{\text{efecto de B}}{\sqrt{\frac{CM_{error}}{n2^{k-2}}}} = \frac{9.10}{0.5766}$$

$$\text{Efecto estandarizado de B} = 15.78$$

Con este valor obtenido se grafica la barra del factor B, y así sucesivamente se calcula para las barras de los otros factores y se completa en elaborar el diagrama de Pareto estandarizado y mostrado en la figura 12.

6.9. Modelo matemático

Una vez calculada los contrastes y los efectos de la variable imparcial en la variable principal Y, se observa en la ecuación de regresión lineal las influencias que resultan significativas. El modelo de regresión (ecuación estimada) para predecir la recuperación del oro, es

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_A A + \beta_B B + \beta_C C + \beta_{AB} AB + \beta_{AC} AC + \beta_{BC} BC + \beta_{ABC} ABC + \beta_P P + \varepsilon$$

Donde:

A = pH

B = Granulometría

C = Densidad

P = Punto central

β_0 = Parámetro del modelo (ordenada en el origen).

B_i = Efecto promedio de los i -ésimo factores, manteniéndose constantes el resto de variables.

ε = Residuo o error

Para estimar los coeficientes $\beta_0, \beta_A; \dots; \beta_P$, se utilizan formulas deductivas de análisis de regresión. Luego, el modelo matemático queda evaluada y expresada en términos de los coeficientes de error.

6.9.1. Determinación de los coeficientes de regresión

La ecuación de regresión contiene a la variable dependiente en función de las variables controladas de la recuperación el oro por el proceso de flotación a partir de los minerales presentes en el yacimiento minero Llaulli Viscachani, se formula linealmente considerando los dos niveles de las variables de proceso.

Tabla 38. Coeficientes de regresión codificados

Fuente	Coeficiente en UC		Valor t	Valor-p	FIV	Ho
	Valor	EE				
Constante	35.512	0.287	123.52	0.005		
A (pH)	-0.353	0.287	-1.23	0.436	1.0	Se acepta
B (Granulometría)	4.550	0.287	15.83	0.040	1.0	Se rechaza
C (Densidad)	-5.670	0.287	-19.72	0.032	1.0	Se rechaza
AB	10.305	0.287	35.84	0.018	1.0	Se rechaza
AC	-1.195	0.287	-4.16	0.150	1.0	Se acepta
BC	-2.963	0.287	-10.30	0.062	1.0	Se acepta
ABC	-7.008	0.287	-24.37	0.026	1.0	Se rechaza
Pt Ctral (Curvatura)	-11.738	0.643	-18.26	0.035	1.0	Se rechaza

Nota. Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, los cálculos de obtención de los coeficientes de regresión se ajustan al procedimiento de los mínimos cuadrados. En la tabla 38, tomamos los valores relacionados a los coeficientes de regresión para la recuperación del oro.

6.9.2. Formulación del modelo de regresión

Luego de hacer las regresiones para la recuperación de oro; para determinar a las variables más significativas sobre la variable de interés (recuperación de oro), realizamos la inferencia de los coeficientes determinados en la tabla 38 haciendo uso de la distribución de t de student con una confianza del 95 %.

Seguidamente efectuamos el análisis de varianza de nuestro modelo de regresión. La parte de la tabla 38, que verifica la hipótesis sin mayor complicación se observa en esta tabla. La hipótesis a probar es:

$$H_0: \beta_i = 0 \text{ (el coeficiente no es válido para explicar a Y)}$$

$$H_A: \beta_i \neq 0 \text{ (el coeficiente es válido para explicar a Y)}$$

La prueba estadística para el caso de la pendiente, después de la prueba de hipótesis viene dada en unidades codificadas por:

$$\beta_O = 35.512$$

$$\beta_B = 4.550$$

$$\beta_C = -5.67$$

$$\beta_{AB} = 10.305$$

$$\beta_{ABC} = -7.008$$

$$\beta_P = -11.738$$

Ahora estos coeficientes expresados en escala codificada, se transforman a escala natural, por procedimientos estadísticos, para obtener los siguientes resultados:

$$\beta_O = 25302$$

$$\beta_A = -3702$$

$$\beta_B = -390.1$$

$$\beta_C = -18.381$$

$$\beta_{AB} = 57.46$$

$$\beta_{AC} = 2.692$$

$$\beta_{BC} = 0.2840$$

$$\beta_{ABC} = -0.04184$$

$$\beta_P = -11.737$$

Finalmente, el modelo de regresión natural para la recuperación del oro es el siguiente:

$$\hat{y} = 25302 - 3702 \text{ pH} - 390.1 \text{ GRANULOMETRIA} - 18.381 \text{ DENSIDAD} + 57.46 \text{ pH} * \text{ GRANULOMETRIA} + 2.692 \text{ pH} * \text{ DENSIDAD} + 0.2840 \text{ GRANULOMETRIA} * \text{ DENSIDAD} - 0.04184 \text{ pH} * \text{ GRANULOMETRIA} * \text{ DENSIDAD}$$

MATRIZ DE DISEÑO FINAL 2 ³									
Combinación	N° PRUEBA	Escala Codificada			Escala Natural			Y: % Recuperación	Y calculado
		X ₁	X ₂	X ₃	pH	Granulometría	Densidad		
-1	1	-1	-1	-1	6.5	58.8	1250	50.14	43.522
A	2	1	-1	-1	7.5	58.8	1250	17.2	9.93
B	3	-1	1	-1	6.5	72.2	1250	30.54	22.618
AB	4	1	1	-1	7.5	72.2	1250	66.85	58.17
C	5	-1	-1	1	6.5	58.8	1350	33.1	26.0172
AC	6	1	-1	1	7.5	58.8	1350	23.41	15.606
BC	7	-1	1	1	6.5	72.2	1350	29.68	21.2468
ABC	8	1	1	1	7.5	72.2	1350	33.18	23.914
	9	0	0	0	7	65.5	1300	24.35	27.628
	10	0	0	0	7	65.5	1300	23.2	27.628
Y =	25302 - 3702 pH - 390.1 Granulometria - 18.381 Densidad + 57.46 pH*Granulometria+2.692 pH*Densidad+ 0.2840 Granulometria*Densidad- 0.04184 pH*Granulometria*Densidad								

6.10 Cálculo del coeficiente de determinación R^2

El cálculo del coeficiente de determinación R^2 , para nuestro modelo de regresión natural de recuperación de oro, sigue un procedimiento que usa resultado de la tabla 37 y su valor indica la bondad del ajuste en el modelo de regresión, para ello calculamos la correlación de los factores mediante el coeficiente de regresión, obtenida entre la variación explicada y la variación total:

$$R^2 = \frac{\text{Variación explicada}}{\text{Variación total}}$$

Con los datos de la tabla 37, encontramos:

$$R^2 = \frac{SC_{Total} - SC_E}{SC_{Total}} = \frac{1968.92 - 0.665}{1968.92} = 0.9997$$

El resultado obtenido es 99.97 % de ajuste, el ajuste del modelo para la recuperación del oro es muy buena, y podemos usarla para predecir resultados de la variable dependiente y consolidar la hipótesis de investigación.

“El coeficiente de determinación ajustado es una medida que resuelve los problemas que presenta el coeficiente de determinación. Este coeficiente es exactamente igual al coeficiente de determinación con una diferencia: el coeficiente de determinación corregido penaliza la inclusión de variables que no son trascendentes a la verdadera variable” (Montgomery D. C., 2004, 244). El estadístico R^2 **ajustada**, se calculó con la siguiente fórmula

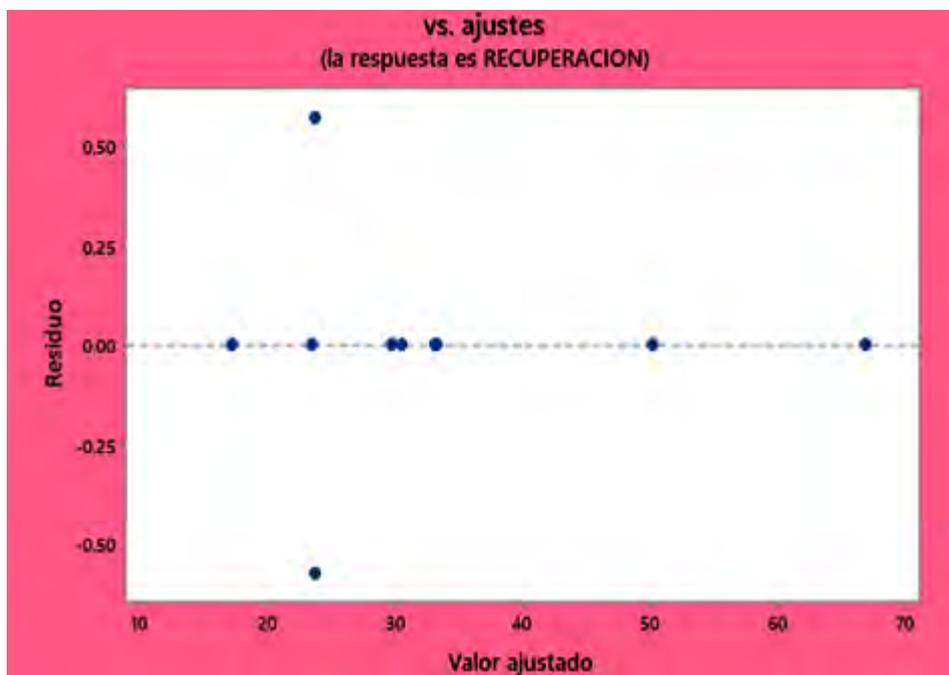
$$R_{Ajustada}^2 = 1 - \frac{SC_E/df_E}{SC_{Total}/df_{Total}} = 1 - \frac{0.665/1}{1968.92/9} = 0.9970$$

Se observa que está ajustado para los tres factores principales, el pH, granulometría y densidad de pulpa, mostrándonos que estos factores y sus interacciones, así como los dos puntos centrales tienen efectos que se ajustan en el orden del 99.70 % sobre el rendimiento de recuperación de oro, confirmando buen ajuste de los factores involucrados.

6.11. Estudio de los residuos

En la figura 13, se observa que cuando los residuos se distribuyen simétricamente y dos puntos están separados de la línea horizontal que tiene su origen en coordenadas en el punto cero, esta posición nos confirma la linealidad de la función de regresión, manteniendo una tendencia hacia lo regular. Luego, la gráfica de residuos vs. ajustes nos muestra que los valores de los residuos están distribuidos aleatoriamente indicando tener una varianza constante.

Figura 13. Gráfico de residuos de la recuperación del oro



Nota. Fuente: <https://1library.co/document/y8g3gw5z-proceso-optimizacion-recuperacion-mineral-sulfurado-minera-empresa-aruntani.html>

En la figura 13, se puede ver que los puntos residuales siguen una línea recta horizontal en el punto 0 del eje de las ordenadas, lo que quiere decir que los residuos se distribuyen con una varianza constante.

6.12 Intervalos de confianza

Se calcula los intervalos de confianza, para hallar la media real de cada población bajo ciertos rangos. En los cálculos sucesivos utiliza un intervalo de

confianza al 95% para el modelo de regresión para ello, primero se halla el **error estándar (se)** para cada coeficiente:

$$se(\hat{\beta}) = \sqrt{V(\hat{\beta})} = \sqrt{\frac{CM_E}{n2^k}}$$

De la tabla 37, obtenemos el valor para MS_E , manteniendo el valor de $n = 1$, reemplazando estas cantidades hallamos el error estándar: mediante la siguiente expresión:

$$se(\hat{\beta}) = \sqrt{\frac{0.665}{(1)(8)}} = 0.2883$$

“El margen de error determina el ancho del intervalo de confianza y está determinado por la variabilidad observada en la muestra, el tamaño de la muestra y el nivel de confianza. Se agrega un margen de error a la estimación puntual para calcular el límite superior del intervalo de confianza. El margen de error se resta de la estimación puntual para calcular el límite inferior del intervalo de confianza. Luego calculamos los intervalos de confianza” (Soporte de minitab 18, 2021) de 95% para los otros coeficientes de regresión mediante la siguiente expresión:

$$\hat{\beta} - t_{0.025,p}se(\hat{\beta}) \leq \beta \leq \hat{\beta} + t_{0.025,N-p}se(\hat{\beta})$$

donde $t_{0.025,N-p}$ se obtiene de tablas de distribución t y corresponde al percentil de esta distribución, los valores requeridos se recogen de los grados de libertad de t en la tabla 37. Como ejemplo de cálculo, se efectúa para el Intervalo para $\hat{\beta}_0$, entonces:

$$\hat{\beta}_0 = 25302; \text{ , considerando de la tabla t de student } t_{\frac{\alpha}{2},N-p} = t_{0.025,2} = \mathbf{2.92}$$

Luego:

$$25302 - 2.92 * 0.2883 \leq \hat{\beta}_0 \leq 25302 + 2.92 * 0.2883$$

$$25301.1582 \leq \hat{\beta}_0 \leq 25302.8418$$

Es decir, calcular β_0 y decir que su valor para la población entre que valore se encuentra con un 95% de seguridad. Es una manera de dar una estimación de la media poblacional sin necesidad de medir todos los valores poblacionales. Como se observa, para una probabilidad de error del 5%, los intervalos de confianza estiman los valores máximo y mínimo en el que se ubicaría los valores de los coeficientes de la ecuación regresión, Y los otros intervalos se calculan de manera similar y para los coeficientes que han verificado su hipótesis, se obtienen los siguientes valores:

$$-390.9418 \leq \hat{\beta}_B \leq -389.2582$$

$$-19.2228 \leq \hat{\beta}_C \leq -17.5392$$

$$56.6182 \leq \hat{\beta}_{AB} \leq 58.3018$$

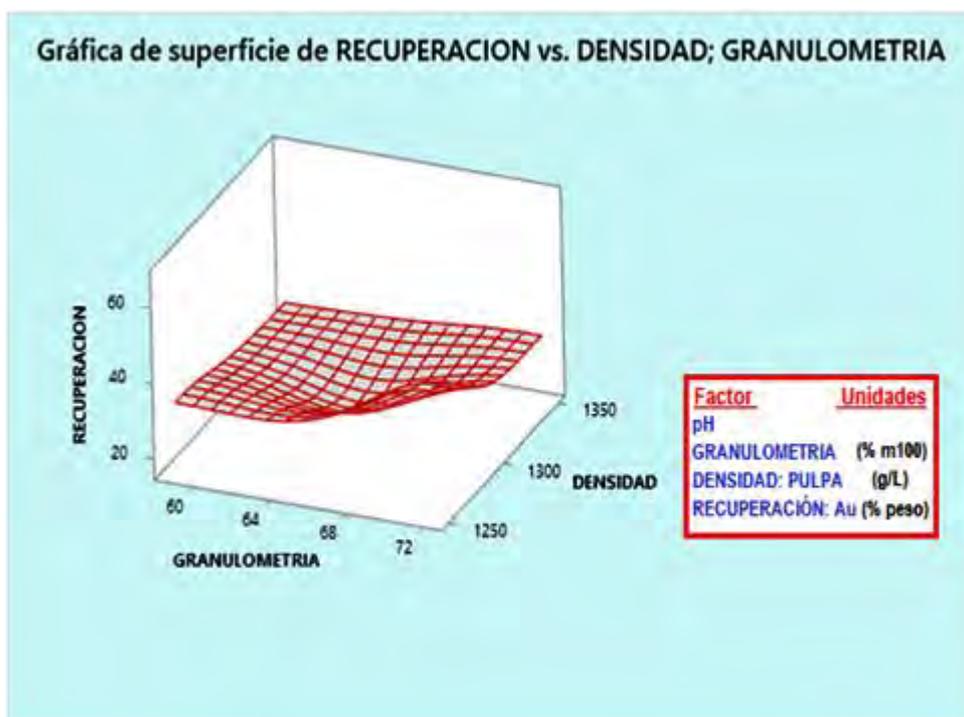
$$-0.8836 \leq \hat{\beta}_{ABC} \leq 0.8000$$

$$-12.5788 \leq \hat{\beta}_P \leq -10.8952$$

6.13 Grafica de superficie

La figura 14, muestra una gráfica de superficie solo muestra dos variables categóricas de mayor significancia: la granulometría de mineral y la densidad de la pulpa, el resto de las variables se mantienen a un nivel constante. Por lo tanto, esta gráfica es válida solo para niveles fijos de las variables adicionales. Utilizamos esta grafica para el modelo factorial cuyos datos ya han sido analizados y para observar la respuesta ajustada se relaciona con dos variables continuas para la recuperación del oro.

Figura 14. Gráfica de superficie para la recuperación de oro



Nota. Fuente: <https://revistalogos.policia.edu.co:8443/index.php/rlct/article/view/826/1297>

6.14. Optimización del diseño

La aplicación del diseño 2^3 con dos punto centrales para la realización de pruebas experimentales de la recuperación del oro por el proceso de flotación de minerales provenientes de la comunidad de Carhuayo-Quispicanchis tiene el propósito de optimizar las variable dependiente en función de las independientes del proceso de flotación de minerales auríferos, y en base a las variables pH, granulometría del mineral y la densidad de pulpa optimizaremos la recuperación, bajo las siguientes condiciones:

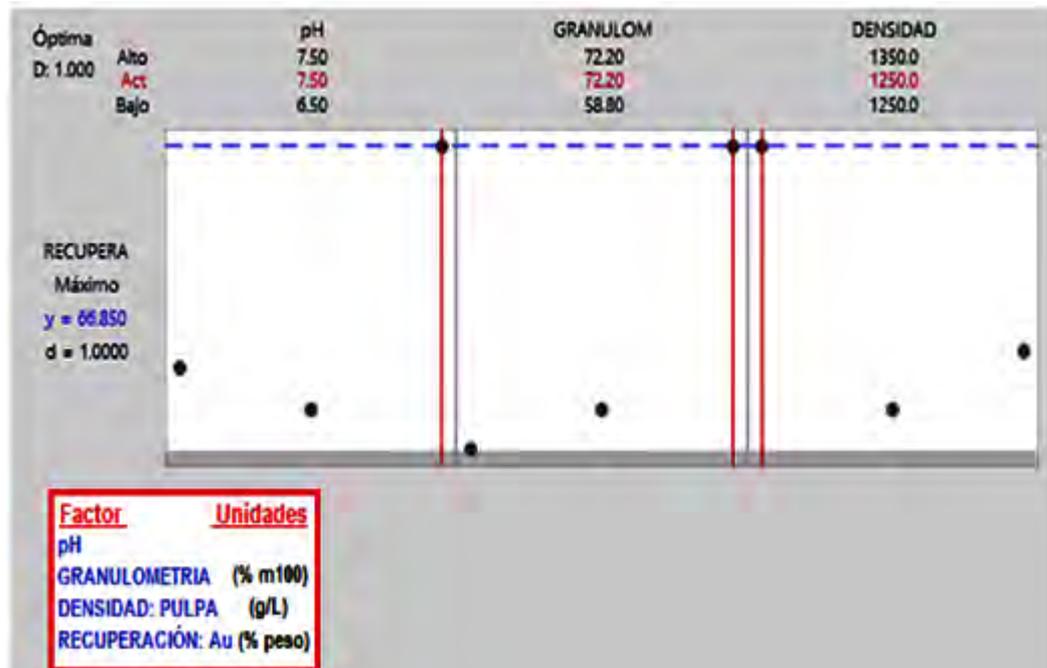
- La primera condición que debe cumplir el modelo es satisfacer al análisis de la varianza (ver tabla 37) y los factores experimentales satisfacen su significancia.
- La segunda condición que se debe cumplir, es que los coeficientes de regresión codificados (ver tabla 38) cumplen la validez para explicar la recuperación del oro.
- Al verificar las dos condiciones anteriores, podemos concluir que los resultados cuentan con adecuada consistencia de la estadística inferencial.

Tabla 39. Optimización de la recuperación del oro

Solución	Variables dependientes			Recuperación óptima	
	pH	Granulometría	Densidad	Ajuste (%)	Replica
1	7.5	72.2	1250	66.85	1

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Determinación de la optimización de la recuperación del oro



Nota. Fuente: <https://revistalogos.policia.edu.co:8443/index.php/rlct/article/view/826/1297>

Al finalizar con la ecuación obtenida de regresión lineal podemos obtener el valor máximo de la recuperación del oro. Finalmente, se muestra el valor máximo de cada variable con la ayuda de minitab 19, y de esta manera lograr la cima de la superficie respuesta del modelo factorial, los resultados se muestra en la figura 15 y en la tabla 39.

CONCLUSIONES

- ✓ El YACIMIENTO MINERO LLAUCHI VISCACHANI DEL DISTRITO DE CARHUAYO – QUISPICNACHI – CUSCO de acuerdo a los estudios mineralógicos realizados, se identificó el cuarzo lechoso con pequeñas bandas de cuarzo hialino con bastante fracturamiento y presencia de mineral de sulfuro de hierro (pirita micro granular) la cual está acompañada de ciertas concentraciones de oro, teniendo como ganga principalmente al cuarzo, arcillas (caolín) y limonitas. por lo cual se asume como un mineral tradicionalmente flotable.
- ✓ De acuerdo a los estudios realizados en el laboratorio Analítico del Sur de Arequipa (LAS) se determinó la ley de cabeza del mineral que tiene 7.5 g/TM de oro, el cual nos permite realizar las pruebas metalúrgicas de flotación.
- ✓ Los parámetros óptimos encontrados por el proceso de flotación por espumas empleados en la prueba metalúrgica son:
 - Densidad de pulpa :1250g/lt
 - pH :7.5
 - Granulometría : 72.2% malla -100
- ✓ Los mejores resultados se obtuvieron en la prueba de flotación No. 4 (tabla 14) la cual detallamos a continuación:
 - % Recuperación Au: 66.84%
 - Ley del concentrado: 47.46 g
 - Ley del relave: 2.79 g
- ✓ De acuerdo a las pruebas realizadas en el laboratorio de procesamiento de minerales de la Universidad Nacional de San Antonio abad del Cusco (UNSAAC) y los resultados obtenidos en laboratorio químico externo (LAS) de la ciudad de Arequipa llegamos a la conclusión de que si es factible optimizar la recuperación de oro a partir

de los minerales provenientes del yacimiento minero LLAUCHI VISCACHANI del distrito de Carhuayo mediante el proceso de flotación.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda a los interesados tener en cuenta un control estricto de la etapa de molienda para facilitar una adecuada y optima liberación del mineral valioso.
- ✓ Por tratarse de un concentrado de oro refractario se recomienda a los trabajadores posteriormente utilizar los otros procesos de recuperación del oro tales como el proceso de tostación o el proceso en autoclave.
- ✓ Se recomienda a los trabajadores que para hacer un mejor estudio se debe adecuar y optimizar la liberación del mineral valioso.
- ✓ Se recomienda a la empresa que va procesar el mineral que por tratarse de un concentrado de oro refractario utilizar otros procedimientos de recuperación de oro como la tostación y el proceso en auto claves.
- ✓ Se recomienda seguir desarrollando más pruebas de laboratorio utilizando más variables para seguir optimizando el resultado obtenido actualmente en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Ayala Mina J., Pardo Mercado R., (1995), *Optimización por diseños experimentales con aplicación en ingeniería*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima, Perú.

Astocuri Tinasco, V., (1994), *Introducción a la flotación de minerales*, Lima, Perú.

Astucuri Tinasco, V. (1994). *Especializada UNSAAC*. Obtenido de

<http://especializada.unsaac.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=759>

Canal Cespedes, A. (2018). *Repositorio UNSA*. Obtenido de

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9284>

Castro Chamorro, J. (2005). *Cybertesis*. Obtenido de

https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2638/Castro_cj.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Dance Juarez, G. (2017). *Repositorio UNSA*. Obtenido de

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9611/IMdajugj.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

David, P. C. (1997). *Procesamiento de minerales*. Cerro de Pasco.

ESPINOZA AGUILAR, C., & GUERREROS SURICHAQUI, G. (2012).

EcuadorDocuments. Obtenido de INFLUENCIA DEL ESTADO DE OXIDACIÓN DE LA PIRITA Y LA ARSENOPIRITA EN LA FLOTACIÓN DE UN MINERAL SULFURADO AURIFERO EN LA MINA COBRIZA:

<https://fdocuments.ec/document/lmasbd.html?page=1>

Guanuchi Ocampo, L., & Romero Tacury, D. (08 de mayo de 2020). *Repositorio*

UTMACHALA. Obtenido de

http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15659/1/T-3585_GUANUCHI%20OCAMPO%20LISSETTE%20PAULETTE.pdf

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014).

Metodología de la investigación. Mexico D.F. : Mc Graw Hill.

Inga Paucar, A. (2020). *Cybertesis*. Obtenido de

https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15703/Inga_pa.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Miller I., Freund J., (2004), *Probabilidad y estadística para ingenieros*, Editorial Reverte S.

A., Mexico

MINITAB, S. d. (25 de junio de 2021). *support minitab*. Obtenido de

<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/statistical-modeling/doe/how-to/factorial/analyze-variability/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/analysis-of-variance-table/#:~:text=en%20el%20modelo.-,En%20la%20tabla%20An%C3%A1lisis>

Montgomery, D. C. (2004). *DISEÑO Y ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS*. Mexico D,F, :

Limusa Wiley. Obtenido de

https://www.academia.edu/9101936/Dise%C3%B1o_y_an%C3%A1lisis_de_experimentos_Douglas_C_Montgomery

Orozco López, Y. (mayo de 2012). *Repositorio UCHILE*. Obtenido de

https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111986/cf-oro_zco_yl.pdf?sequence=1

Ortega Achata, J.R., (1988), *Análisis y diseño experimental en pruebas de flotación batch*,

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.

Pardo Mercado, R. (1995). *Biblioteca Ingemmet*. Obtenido de

<http://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=26166>

Pavez, O., Valderrama, L., Bravo, I., & Contreras, A. (2004). *DocPlayer*. Obtenido de <https://docplayer.es/37511901-Efecto-de-diferentes-almidones-en-la-flotacion-de-minerales-de-hematita-y-cuarzo-que-forman-parte-de-una-mena-de-oro.html>

Sutulov Baeza, A. (1963). *Flotacion de Minerales*, Instituto de Investigacion Tecnologica, Universidad de concepcion, Chile.

Zapate Alzate, L. (2020). *Course Hero*. Obtenido de <https://www.coursehero.com/file/69021335/Trabajo-de-dise%C3%B1o-experimentaldocx/>

Zevallos Vizcarra, G. (2014). *Repositorio UNSA* . Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2628/IMzevigg.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

A. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 40. Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Será factible lograr la recuperación de oro a partir de los minerales del yacimiento minero LLAUCHI VISCACHANI del distrito de Carhuayo mediante el proceso de flotación?	Recuperar el oro por el proceso de flotación a partir de los minerales presentes en el yacimiento minero LLAULLI VISCACHANI del distrito de Carhuayo - Quispicanchi - Cusco.	Con el proceso de flotación se alcanzará altas recuperaciones de oro presente en el mineral del yacimiento minero LLAULLI VISCACHANI del distrito de Carhuayo - Quispicanchi - Cusco.	Recuperación de oro	%	Investigación: Tecnológica Enfoque: Cuantitativo Tipo: Experimental
ESPECÍFICOS ¿Los minerales de oro presentes en la zona de estudio poseen leyes que justifiquen emplear el proceso de flotación para una recuperación optima?	ESPECÍFICOS Determinar la composición química y descripción mineralógica con su respectiva interpretación del mineral en estudio.	ESPECÍFICOS La composición química del mineral nos ayudara la buena recuperación del mineral del yacimiento minero Llauchi Viscachani del distrito de Carhuayo	VARIABLES INDEPENDIENTES pH de la pulpa. Densidad de pulpa. Granulometría.	Adimensional g/L Micras	Población: Todo el mineral de la comunidad de Carhuayo en Quispicanchis. Muestra: 100 Kg de mineral
¿Cuáles son los parámetros adecuados para la flotación optima en la recuperación del oro?	Determinar los parámetros que intervienen en el proceso de flotación conducente a la recuperación optima del oro.	Con los parámetros determinados se extrae la mayor cantidad de oro del mineral del yacimiento minero Llauchi Viscachani.			Técnicas de Recolección de datos: -Observación directa. - Experimentación - Análisis.
¿Cuál es la caracterización del mineral del yacimiento minero LLAUCHI VISCACHANI del distrito de Crahuayo para la adecuada recuperación del oro?	Caracterizar el mineral del yacimiento minero.	El tipo de mineral aurífero es compatible con el proceso de flotación planteado.			

Nota. Fuente: Elaboración propia

B. INFORME DE ENSAYOS

DESCRIPCION MINERALOGICO Y SU INTERPRETACION.

NOMBRE DE LA ROCA CAJA: Roca esquistosa?

NOMBRE DEL MINERAL: Cuarzo lechoso, con pequeños bandas de cuarzo hialino

CARACTERISTICAS FISICAS: Cuarzo lechoso con bastante presencia de fracturamiento.

CLASE DE MINERAL: Cuarzo α (Grado de temperatura baja, pertenece generalmente a cuarzo lechoso)

FORMULA: SiO_2

ESTRUCTURA CRISTALINA: El cuarzo α , pertenece a los cuarzo lechosos por el bajo grado de temperatura en su formación, presentando bandas un cuarzo Hialino no muy saltantes. El cuarzo lechoso presenta de forma masiva y un alto grado de fracturamiento (estructura trigonal).

SISTEMA CRISTALINO: Romboédrico.

HABITO: No se observa con claridad, lo más saltante es el de masivo y fracturada.

ASPECTOS: (CARACTERISTICAS): El cuarzo lechoso presenta tres características:

- **CUARZO LECHOSO MASIVO:** Con pequeños bandas de cuarzo hialino, con cierta presencia de BOX WORK (la estructura presenta cavidades causadas por un alto grado de alteración) que es clásico de la parte superficial y/o de la caja techo, que ha servido de huésped a un mineral de sulfuros de hierro (pirita micro granular), que mas adelante dio como origen a un tipo de limonita, en este caso es la Jarosita.
- **CUARZO POROSO (VUGGY SILICA) - FRACTURADO:** Ofrece una oquerosidad fina, con dos características saltantes.
Vuggy sílica, de forma esporádico
Vuggy sílica de concentraciones en familia y esporádico.
Generalmente relleno con Jarosita y muy esporádico con Goethita, se observa la presencia de la pirita micro granular (sulfuro de hierro). Esta característica sería la zona anómala para la concentración de Au?, por guardar cierta característica de la estructura de cuarzo lechoso fracturado.
- **CUARZO ASTILLOSO:** Es otra característica que muestra este cuarzo lechoso, por el grado de fracturamiento, en esta etapa de rotura al golpe deja astillas puntiagudas de cuarzo, semejante a un habito.

FORMA: Presenta de forma masiva y fracturada, está relacionado al grado de temperatura baja de cuarzo lecho, característica de filones o estructura de vetas de cuarzo lechoso de formación hidrotermal mas el aportes de aguas meteóricas.

ALTERACION: Esta relacionado con la solidificación, pero por ser de estructura o veta, es de formación hidrotermal de temperatura baja.


Elias Macrobio Espinosa Cárdenas
Geólogo



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-AC-19-02181

Fecha de emisión: 5/11/2019

Página 1 de 1

Señores: WILLIAM FLORES LATORRE
Dirección: SATELITE GRANDE NICARAGUA 100 J.L.B. Y RIVERO
Atención: WILLIAM FLORES LATORRE
Recepción: 4/11/2019
Realización: 4/11/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

- *522 Método de Ensayo para Hierro por Digestión Multi ácida - Absorción Atómica
- *552 Método de Ensayo a fuego para Oro por reconocimiento Gravimetría
- 501 Método de Ensayo para Plata por Absorción Atómica - 2013 (METODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 502 Método de Ensayo para Cobre por Absorción Atómica - 2013 (METODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*522	*552	501	502
				Fe %	Au g/TM	Ag oz/TC	Cu g/TM %
MN19013757	MT-1	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	9,61	7,54	0,2200	^b <3 0,008

----- Fin del informe -----

(Firma)
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

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

^a<Valor numérico = Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

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

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 9540



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado

Arequipa - Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdel sur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-06994

Fecha de emisión: 11/11/2019

Página 1 de 1

Señores: WILLIAM FLORES LATORRE
Dirección: SATELITE GRANDE NICARAGUA 100 J.L.B. Y RIVERO
Atención: WILLIAM FLORES LATORRE
Recepción: 6/11/2019
Realización: 6/11/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*552 Método de Ensayo a fuego para Oro por reconocimiento Gravimetría

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*552 Au	
				g/TM	oz/TC
MN19014042	MTC - 01	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	128,21	3,7403
MN19014043	MTC - 02	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	20,51	0,5982
MN19014044	MTC - 03	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	94,31	2,7513
MN19014045	MTC - 04	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	47,46	1,3844
MN19014047	MTC - 05	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	23,66	0,6901
MN19014048	MTC - 06	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	15,93	0,4647
MN19014049	MTC - 07	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	22,41	0,6536
MN19014050	MTC - 08	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	18,13	0,5289
MN19014051	MTC - 09	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	19,78	0,5770
MN19014052	MTC - 10	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	15,06	0,4392
MN19014053	MTC - 11	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	23,73	0,6923

----- Fin del informe -----


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 11442^e

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

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

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdel sur.com



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado

Arequipa - Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdel sur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-06995

Fecha de emisión: 11/11/2019

Página 1 de 1

Señores: WILLIAM FLORES LATORRE
Dirección: SATELITE GRANDE NICARAGUA 100 J.L.B. Y RIVERO
Atención: WILLIAM FLORES LATORRE
Recepción: 6/11/2019
Realización: 6/11/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*522 Método de Ensayo para Hierro por Digestión Multi ácida - Absorción Atómica

*551 Método de Ensayo a fuego para Oro por reconocimiento Absorción atómica

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*522	*551	
				Fe	Au	
				%	g/TM	oz/TC
MN19014054	MTR- 01	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	9,57	3,745	0,10925

----- Fin del informe -----


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

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

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

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdel sur.com

TESTIMONIO

KARDEX: 9998-2014
NUMERO: DOS MIL SEISCIENTOS SETENTA Y NUEVE
FOJA: 10582 VUELTA
212

ESCRITURA PÚBLICA DE TRANSFERENCIA DE DERECHOS Y ACCIONES DE CONCESIÓN MINERA
QUE OTORGAN:
DON CLAUDIO GARCIA MAMANI Y DOÑA SANTUSA MACHACA MAYO
A FAVOR DE:
LA COMUNIDAD CAMPESINA DE JUNUTA

.....
INTRODUCCIÓN.- EN LA CIUDAD DEL CUSCO, A LOS DIEZ DIAS DEL MES DE NOVIEMBRE DEL AÑO
DOS MIL CATORCE, ANTE MI; ANTONIETA OCAMPO DELAHAZA, ABOGADA NOTARIA, CON
REGISTRO NUMERO VEINTISIETE DEL COLEGIO DE NOTARIOS DEL CUSCO,
COMPARECEN:

DON CLAUDIO GARCIA MAMANI, PERUANO, IDENTIFICADO CON DNI N°25190956, AGRICULTOR,
CASADO CON DOÑA SANTUSA MACHACA MAYO, PERUANA, IDENTIFICADA CON DNI.N°25218844,
DE SU CASA, AMBOS CON DOMICILIO EN EL INMUEBLE SIN NUMERO DE LA COMUNIDAD
CAMPESINA DE ACCOCUNCA, DEL DISTRITO DE OCONGATE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI Y
DEPARTAMENTO DE CUSCO, QUIENES PROCEDEN POR DERECHO PROPIO.

DON FABIAN CONDORI VILLAGRA, PERUANO, IDENTIFICADO CON DNI. N°41140548, AGRICULTOR,
DECLARA SER SOLTERO, DOMICILIADO EN EL INMUEBLE SIN NUMERO DE LA COMUNIDAD DE
CHILLIHUANI, DEL DISTRITO DE CCARHUAYO, PROVINCIA DE QUISPICANCHI Y DEPARTAMENTO
DEL CUSCO, QUIEN PROCEDE EN NOMBRE Y REPRESENTACION DE LA COMUNIDAD CAMPESINA
DE JUNUTA, EN SU CONDICION DE PRESIDENTE DEL CONCEJO DIRECTIVO CON FACULTADES
INSCRITAS EN LA PARTIDA N°11116195 DEL REGISTRO DE PERSONAS JURIDICAS DE LA OFICINA
REGISTRAL DEL CUSCO.

LOS COMPARECIENTES SON MAYORES DE EDAD, HÁBILES PARA CONTRATAR E INTELIGENTES EN
EL IDIOMA CASTELLANO, A QUIENES IDENTIFICO, PROCEDEN CON LIBERTAD CAPACIDAD Y
CONOCIMIENTOS SUFICIENTES PARA ELLO Y LUEGO DEL EXAMEN PRECEPTUADO POR EL
DECRETO LEGISLATIVO DEL NOTARIADO, QUIENES DECLARAN BAJO JURAMENTO QUE QUEDA
ADJUDICADO A LA MINUTA, QUE LOS FONDOS Y BIENES INVOLUCRADOS EN LA PRESENTE
TRANSFERENCIA TIENEN UN ORIGEN LICITO Y ME ENTREGAN PARA SU ELEVACIÓN A ESCRITURA
PÚBLICA LA SIGUIENTE MINUTA DEBIDAMENTE FIRMADA Y AUTORIZADA:

.....
POR NOTARIO: EN EL REGISTRO DE ESCRITURAS PÚBLICAS QUE CORRE A SU CARGO
SE EXTENDER UNA DE TRANSFERENCIA DE DERECHOS Y ACCIONES DE CONCESIÓN
MINERA QUE OTORGAN DE UNA PARTE DON CLAUDIO GARCIA MAMANI, PERUANO, IDENTIFICADO
CON DNI N°25190956, AGRICULTOR, CASADO CON DOÑA SANTUSA MACHACA MAYO, PERUANA,
IDENTIFICADA CON DNI.N°25218844, DE SU CASA, AMBOS CON DOMICILIO EN EL INMUEBLE SIN
NUMERO DE LA COMUNIDAD CAMPESINA DE ACCOCUNCA, DEL DISTRITO DE OCONGATE,
PROVINCIA DE QUISPICANCHI Y DEPARTAMENTO DE CUSCO, A QUIENES EN LO SUCESIVO SE LES
DENOMINARÁ COMO LOS TRANSFERENTES; Y DE OTRA PARTE DON FABIAN CONDORI VILLAGRA,
PERUANO, IDENTIFICADO CON DNI. N°41140548, AGRICULTOR, DECLARA SER SOLTERO,
DOMICILIADO EN EL INMUEBLE SIN NUMERO DE LA COMUNIDAD DE CHILLIHUANI, DEL DISTRITO
DE CCARHUAYO, PROVINCIA DE QUISPICANCHI Y DEPARTAMENTO DEL CUSCO, QUIEN PROCEDE
EN NOMBRE Y REPRESENTACION DE LA COMUNIDAD CAMPESINA DE JUNUTA, EN SU CONDICION
DE PRESIDENTE DEL CONCEJO DIRECTIVO CON FACULTADES INSCRITAS EN LA PARTIDA
N°11116195 DEL REGISTRO DE PERSONAS JURIDICAS DE LA OFICINA REGISTRAL DEL CUSCO, A
QUIEN EN LO SUCESIVO SE LE DENOMINARÁ LA ADQUIRIENTE; EN LOS TÉRMINOS Y
CONDICIONES CONTENIDOS EN LAS CLÁUSULAS SIGUIENTES:

ANTECEDENTES:

PRIMERA.- LOS TRANSFERENTES, SON TITULARES DEL 40% DE DERECHOS Y ACCIONES (80 HAS.)
SOBRE LA CONCESIÓN MINERA "LLAUCHI VISCACHANI Y HICHUNA" UBICADA EN DISTRITO DE
CCARHUAYO, PROVINCIA DE QUISPICANCHI Y DEPARTAMENTO DE CUSCO; CON CODIGO N°04-
0003-09, QUE CUENTA CON UNA EXTENSIÓN DE 200.00 HAS. INSCRITO EN LA PARTIDA
ELECTRÓNICA N°11093859 DE LA ZONA REGISTRAL CUSCO, POR HABERLO ADQUIRIDO EN MERITO
DE LA RESOLUCION DE PRESIDENCIA N°3168-INGEMET/PCD/PM DE FECHA 28 DE SETIEMBRE DEL
2009.

OBJETO DEL CONTRATO:

SEGUNDA.- POR MEDIO EL PRESENTE ACTO JURIDICO DON CLAUDIO GARCIA MAMANI Y DOÑA
SANTUSA MACHACA MAYO TRANSFIEREN A FAVOR DE LA ADQUIRIENTE LA TOTALIDAD DE LOS
DERECHOS Y ACCIONES DE SU PROPIEDAD REFERIDOS EN LA CLAUSULA PRECEDENTE.- LA
TRANSFERENCIA COMPRENDE TODOS LOS DERECHOS INHERENTES A LA PROPIEDAD COMO SON
ENTRADAS, SALIDAS, SUELOS, USOS, COSTUMBRES, SERVIDUMBRES Y TODO CUANTO DE
HECHO Y DERECHO LE CORRESPONDA. SIN RESERVA NI LIMITACIÓN ALGUNA.

TERCERO.- DE LA VALORIZACIÓN.- POR COMUNERDO DE LAS PARTES LA TRANSFERENCIA DEL INMUEBLE SE EFECTUA POR LA SUMA DE S/3,500.00 (TRES MIL QUINIENTOS NUEVOS SOLES), QUE LAS PARTES DECLARAN HAN SIDO CANCELADOS EN DINERO EFECTIVO CON ANTERIORIDAD A LA SUSCRIPCIÓN DE LA PRESENTE MINUTA, DECLARANDO LOS TRANSFERENTES HABER RECIBIDO ESTE IMPORTE A SU TOTAL Y ENTERA SATISFACCION, EN CONSECUENCIA CANCELADO EL PRECIO PACTADO.-

CUARTO.- DE LAS CARGAS Y ACEPTACIÓN.- LOS TRANSFERENTES, DECLARAN QUE SOBRE EL BIEN INMUEBLE MATERIA DEL PRESENTE ACTO JURÍDICO NO PESA NINGUNA CARGA, EMBARGO, MEDIDA JUDICIAL NI EXTRAJUDICIAL QUE PUDIERA LIMITAR EL DERECHO DE PROPIEDAD Y LIBRE DISPONIBILIDAD.-

QUINTO.- LAS PARTES DECLARAN QUE EN LA SUSCRIPCIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO NO HA MEDIADO DOLO, VIOLENCIA, COACCIÓN U OTRA CIRCUNSTANCIA QUE PUDIERA INVALIDARLO, EN FE DE LO CUAL PROCEDEN A FIRMAR.-

SEÑOR NOTARIO SÍRVASE AGREGAR LA DEMÁS CLAUSULAS DE LEY.-

CUSCO, 10 DE NOVIEMBRE DEL 2014.-SIGUEN FIRMAS DE LOS OTORGANTES.- FIRMA Y AUTORIZA LA PRESENTE MINUTA ANA GABRIELA TEJEDA SAN ROMAN, ABOGADA CON REGISTRO C.A.C.2140.-

CONCLUSIÓN.- FORMALIZADO EL INSTRUMENTO INSTRUÍ A LOS OTORGANTES DE SU OBJETO Y CONTENIDO, POR LA LECTURA QUE DE TODO EL LES HICE EN SU PRESENCIA, QUIENES SE AFIRMARON, RATIFICARON Y FIRMARON ANTE MI LA NOTARIA DE LO QUE DOY FE. SE DEJA EXPRESA CONSTANCIA QUE LA PRESENTE ESCRITURA SE INICIA A FOJAS 10582V.SERIE 11 NUMERO 014682V. Y FINALIZA A FOJAS 10584V. SERIE 11 NUMERO 014684. EL PROCESO DE FIRMAS CONCLUYE EL DIA EN QUE SE EXTIENDE EL PRESENTE INSTRUMENTO, CON LAS FIRMAS E IMPRESIONES DACTILARES DE LOS OTORGANTES FECHA EN LA QUE ES AUTORIZADO POR LA NOTARIA, QUE DEJA EXPRESA CONSTANCIA DE HABER EFECTUADO LAS MÍNIMAS ACCIONES DE CONTROL Y DEBIDA DILIGENCIA EN MATERIA DE PREVENCIÓN DEL LAVADO DE ACTIVOS CON ARREGLO AL ART. 55 DEL DEC. LEG. 1049, EN RELACIÓN AL ORIGEN DE LOS FONDOS, BIENES Y ACTIVOS VINCULADOS A ESTA TRANSACCIÓN Y A LOS MEDIOS DE PAGO; DE LO QUE DOY FE.- SIGUEN TRES FIRMAS Y TRES HUELLAS DACTILARES DE LOS OTORGANTES.- SIGUE SIGNO FIRMA Y SELLO DE ANTONIETA OCAMPO DELAHAZA, NOTARIA DE CUSCO.

CONCUERDA

ESTA TRASCRIPCIÓN, CON LA ESCRITURA PUBLICA ORIGINAL DE SU
A LA QUE ME REMITO EN CASO NECESARIO. A SOLICITUD DE LA
INTERESADA, EXPIDO ESTE PRIMER TESTIMONIO, EN DOS FOJAS
QUE FIRMO, SIGNO Y SELLO, YO, EN LA CIUDAD DEL CUSCO A
ONCE DÍAS DEL MES DE NOVIEMBRE DEL DOS MIL CATORCE.



Antonieta Ocampo Delahaza
NOTARIA DE CUSCO
CNC 027



Fotografía 01. Carretera comunidad campesina Junuta



Fotografía 02. Camino al yacimiento minero llauchi vizcachani



Fotografía 03. Ingreso a la veta del yacimiento minero llauchi vizcachani



Fotografía 04. veta de mineral aurífero del yacimiento llauchi vizcachani



Fotografía 05. Recolección de muestras de mineral en la veta del yacimiento minero Ilauchi vizcachani



Fotografía 06. Recolección de muestras de mineral en la veta del yacimiento minero Ilauchi vizcachani



Fotografía 07. Acopio de muestras de mineral de la veta del yacimiento minero llauchi vizcachani



Fotografía 08. Muestra de mineral aurífero extraído de la veta del yacimiento minero llauchi vizcachani



Fotografía 09. Traslado de muestras de mineral extraído de la veta del yacimiento minero llauchi vizcachani



Fotografía 10. Carretera que conduce al yacimiento minero llauchi vizcachani



Fotografía 11. Comunidad campesina Junuta cercana al yacimiento minero Ilauchi vizcachani



Fotografía 12. Poblado de Carhuayo



Fotografía 13. Observación y reconocimiento de muestra de mineral para las pruebas experimentales



Fotografía 14. Molino de bolas del laboratorio de procesamiento de minerales de la UNSAAC



Fotografía 15. Descarga del molino de bolas del laboratorio de procesamiento de minerales de la UNSAAC



Fotografía 16. Preparación de muestra de mineral para las pruebas experimentales



Fotografía 17. Preparación de muestra de mineral aplicando el método de cono y cuarteo



Fotografía 18. Muestras de mineral listas para las pruebas experimentales



Fotografía 19. Determinación de gravedad específica del mineral a experimentar



Fotografía 20. Flotación del mineral aurífero en las instalaciones de laboratorio de procesamiento.



Fotografía 21. Plateo de muestra de concentrado del mineral flotado



Fotografía 22. Observación del concentrado después del plateado con ayuda del microscopio estereoscópico



Fotografía 23. Observación del concentrado después del plateado con ayuda del microscopio estereoscópico



Fotografía 24. Observación del concentrado después del plateado con ayuda del microscopio estereoscópico



Fotografía 25. Secado a temperatura ambiente de los concentrados obtenidos después de la flotación.

