

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALÚRGICA



OPTIMIZACIÓN EN CIRCUITOS DE FLOTACIÓN DE MINERALES POLIMETÁLICOS
EMPLEANDO EL REACTIVO AZ-1[®]

INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALURGISTA

PRESENTADO POR:
JIMMY KROFFER VARGAS CARBAJAL

LIMA – PERU

2011

DEDICATORIA

Este informe está dedicado a mi familia por ser el motor de mi desarrollo profesional.

RESUMEN

El presente informe desarrolla un esquema general de optimización en los circuitos de flotación tanto en el circuito Bulk Cobre – Plomo como en el circuito de flotación de la esfalerita, usando un reactivo específico conocido como el AZ-1®, este reactivo es nuevo en el mercado tiene características básicas, muy solubles en agua, contiene cierto precipitado blanquecino por lo que en la adición debe estar en constante agitación, con este reactivo se hicieron pruebas en la Planta de Catalina Huanca a diferentes concentraciones y dosificaciones hasta llegar a un óptimo control de operación después de varias pruebas realizadas a nivel industrial se llega a mejorar las calidades de los concentrados obteniéndose recuperaciones altas bajando los consumos de reactivos que se adicionaban en exceso, mejorando la calidad de los concentrados de Plomo Cobre y Zinc, así como bajando el contenido metálico en los relaves.

Hago extensión mi agradecimiento al Ing. Alberto Zúñiga por su apoyo incondicional para la elaboración del presente informe ya que es el pionero en el reactivo en estudio.

INDICE

	Pág.
Introducción	6
CAPITULO I	
ASPECTOS GENERALES	8
1.1 Objetivo general.	8
1.2 Justificación.	8
CAPITULO II	
FLOTACIÓN DE MINERALES	10
2.1 Definición.	10
2.2 Química de la flotación	13
2.3 Flotación de sulfuros	23
2.4 Flotación de óxidos y silicatos	31
2.5 Flotación de minerales del tipo de sales	35
2.6 Flotación de sales solubles	36
2.7 Flotación de partículas finas y gruesas	37

CAPITULO III

FLOTACIÓN DE MINERALES EN LA PLANTA CATALINA HUANCA	39
3.1 Generalidades	39
3.2 Ubicación	40
3.3 Accesibilidad	40
3.4 Mineralogía	41
3.5 Características del agua residual	41
3.6 Referencias operacionales	43

CAPITULO IV

FLOTACIÓN DE MINERALES USANDO REACTIVO AZ-1[®]	47
4.1 Caracterización del reactivo AZ-1[®]	47
4.2 Pruebas Metalúrgicas a nivel industrial de reactivo AZ-1 [®] en la planta San Jerónimo de la Unidad Catalina Huanca	49
CONCLUSIONES	55
BIBLIOGRAFIA	58
ANEXO	

INTRODUCCIÓN

En la flotación convencional de minerales de plomo, cobre y zinc, se usan reactivos tanto como colectores, aeropromotores, espumantes, depresores y modificadores en concentraciones determinadas para un circuito y en cantidades determinadas.

Después de las pruebas de flotación en el laboratorio, estos reactivos trabajan a una cierta cantidad en gramos por tonelada métrica, esto se logra conseguir con un buen control en la operación cuando se haya estabilizado y normalizado el circuito de flotación, de ahí el trabajo de los reactivos es casi constante en cuanto a la cantidad de dosificación.

Por ejemplo, para la flotación de plomo se requiere de una cierta cantidad de colector, para activar el plomo, una cierta cantidad para deprimir la activación del zinc en el circuito bulk plomo cobre, la cantidad que se usan en estos depresores depende del grado de activación del zinc, y en el circuito de zinc se usa colectores de acuerdo a la cantidad de depresores que se han utilizado y la activación del zinc en el circuito bulk depende de la cantidad de cobre soluble presente en el mineral, para contrarrestar o controlar la activación del cobre soluble se ha utilizado en Mina

Catalina Huanca el reactivo AZ-1[®] que es un reactivo que inhibe la activación del ión cobre en la partícula de zinc de esta manera los reactivos depresores utilizados disminuyen y los reactivos que activan al zinc se usan en cantidades moderadas tanto el sulfato de cobre como el colector, bajando los costos de operación de la planta concentradora y mejorando las leyes y los contenidos metálicos en los relaves.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Objetivo General

Optimizar el circuito de flotación, utilizando reactivos AZ-1[®], que disminuyen el costo de operación, inhibiendo los desplazamientos de concentrado de Zinc al concentrado de Plomo, disminución del contenido metálico en el relave.

1.2 Justificación

En la flotación de minerales no solo intervienes los productos valiosos, sino que también intervienen los minerales secundarios, las sales solubles, los iones de los metales pesados en el agua recirculada y las gangas.

El reactivo, debido a su composición mixta, de reactivos orgánicos e inorgánicos, posee una solución alcalina y una parte reaccionaría de la siguiente manera:



X (se recomienda como si fuera SO_4^- , CO_3^- y otros compuestos en consecuencia el cobre como precipitado no activa al Zn). De esta forma el ión cobre es inhibido por el reactivo y no se activaría la esfalerita en la flotación.

Cuando la esfalerita y el ión cobre entra en contacto, el cobre se adhiere a la superficie de la esfalerita y pasa de hidrofílico a hidrofóbico, de ahí la esfalerita recubierta con el cobre ya esta activado para unirse con el Xantato y flotar en el circuito Bulk. Es por eso que el reactivo en estudio ayuda a controlar esta activación, y da muchos beneficios en el circuito de flotación de concentrado de Zinc.

CAPITULO II

FLOTACIÓN DE MINERALES

2.1 Definición

Es una técnica de concentración de minerales en húmedo, en la que se aprovechan las propiedades físico-químicas superficiales de las partículas para efectuar la selección, a base de propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas.

Según la definición, la flotación contempla la presencia de tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está representada por los minerales, la fase líquida es el agua y la fase gaseosa es el aire.

Para lograr una buena concentración se requiere que las especies que constituyen la mena estén separadas o liberadas. Esto se logra en las etapas previas de chancado y molienda. Para la mayoría de los minerales, se logra un adecuado grado de liberación moliendo a tamaños cercanos a los 100 micrones (0,1 mm). Al

aumentar el tamaño de la partícula, crecen las posibilidades de la no flotación del mineral por su peso en la burbuja; en tanto que las partículas muy finas no tienen el suficiente impulso para producir un encuentro efectivo partícula burbuja.

Flotación Bulk

Recuperación de todas las especies valiosas (oro, plomo, plata, zinc, cobre, etc.) en un solo producto llamado Concentrado Bulk.

Etapas de la flotación

En la flotación de minerales se pueden hacer por etapas.

a) Flotación Rougher

Etapa de flotación de desbaste es aquella que recupera una alta proporción de las partículas valiosas aun a costa de la selectividad, utilizando mayores concentraciones de reactivos, colectores y depresores del circuito, velocidades altas de agitación y baja altura de la zona de espumas. El concentrado Rougher no es un producto final, en la flotación Rougher también se dividen por etapas pudiendo ser Rougher 1, Rougher 2 y Rougher 3 dependiendo del circuito, en la etapa Rougher se debe flotar hasta un 70 % de la cabeza del mineral para pasar a la etapa siguiente, las espumas de la etapa Rougher pasan a las limpiezas para elevar su calidad de concentrado.

b) Flotación Scavenger

Es aquella en que se recupera la mayor cantidad de valioso posible; su relave será un descarte final mientras su concentrado debe retornar generalmente a la etapa Rougher para incrementar su ley.

Generalmente las cargas circulantes deben tener concentraciones (leyes o ensayos) similares a los flujos las cuales se unen.

Es común que el concentrado scavenger y el relave de primera limpieza contengan partículas mixtas en las cuales intercrecen mineralógicamente mineral valioso y de ganga por ello estos productos pueden ser sometidos a remolienda para romper los intercrecimientos por reducción de tamaños.

c) Flotación Cleaner

Es la etapa de limpieza, este circuito recibe las espumas de la etapa Rougher para darle una mayor limpieza a los concentrados, la flotación se hace selectiva el proceso mayormente en esta etapa no se adicional colectores, ya que estos viene de las anteriores etapas, pero se usan algunos depresores, en esta etapa se deben llevar la pulpa a una densidad de 1150 gr/l para tener un optimo trabajo del circuito también se tiene menor velocidad de agitación y una mayor altura en la zona de espumas, los relaves de limpiezas generalmente no son descartados y regresan mayormente al circuito Scavenger por tener aun minerales valiosos.

Así como los circuitos se dividen por etapas, las limpiezas también se dividen en Limpieza 1, Limpieza 2 etc. Según sea el requerimiento de la flotación.

2.2 Química de la flotación

En la química de la flotación pueden estudiarse en términos generales, se deben tener presente que cada aplicación es un caso especial, en el cual interviene una combinación única en la química del mineral y la del agua en consecuencia, es imposible seleccionar los reactivos de flotación, las cantidades de reactivos y las condiciones que se requieren en una mina dada únicamente a partir de la separación de los mismo minerales de otros aunque este puede ser un buen punto de partida.

Reactivos de flotación

La mayoría de los minerales son naturalmente hidrofílicos. Para lograr una separación por flotación, la superficie del mineral tiene que volverse selectivamente hidrofóbica, esto puede lograrse mediante la regulación de la química de la solución, seguida por la adición de un colector que selectivamente se adsorbe y proporcione la superficie hidrofóbica requerida. Solamente un pequeño número de minerales son hidrofóbicos por naturaleza, como el carbón mineral y la molibdenita, es posible flotar estos minerales sin ningún colector, aunque es práctica común agregar un “colector suplementario” como se verá más adelante. También pueden volverse hidrofóbicos otros minerales sin uso de un colector. Las adiciones de grandes cantidades de sulfuro de sodio a minerales sulfurosos pueden resultar en superficies hidrofóbicas con la subsecuente flotación sin colectores, en este caso se

crea que el ión sulfuro reemplaza a los productos de oxidación e hidratación en la superficie del mineral.

La regulación de la química de la solución puede abarcar la adición de reactivos ya sea activadores, que aumentan la selectividad intensificando la adsorción del colector, o depresores que retardan o evitan la adsorción del colector también pueden incluir la adición de un dispersor para asegurar que las superficies minerales estén libres de partículas finas, o el uso de carbón activado para remover de la solución los iones o moléculas indeseables. Finalmente, la regulación de la química de la solución puede incluir el control del pH para asegurar que habrá de existir el colector (que es a menudo un ácido débil) en la solución en la forma deseada.

Otro grupo de reactivos que interviene en la flotación son los espumantes. Estos tienen dos funciones: mejorar la dispersión de las burbujas finas de la pulpa y controlar las características de las espumas.

- **Colectores**

El colector es el más decisivo de los reactivos de flotación. Los colectores son moléculas o iones orgánicos que se adsorben selectivamente sobre las superficies minerales. Tienen que convertir en hidrofóbica la superficie de mineral para que, en equilibrio (como indica el ángulo de contacto), haya adherencia entre burbuja y

partícula, y además deben reducir el tiempo de inducción, para asegurarse de que ocurra adherencia en la colisión entre burbuja y partícula.

La mayoría de los colectores son ácidos débiles bases o sus sales. Son heteropolares y pueden considerarse que tiene dos “extremos” funcionales uno iónico que puede ser adsorbido en la superficie mineral ya sea por reacción química con los iones de la superficie mineral (quimiadsorción) o por atracción electrostática a la superficie mineral (adsorción física) y el otro una cadena o grupo orgánico, que proporciona la superficie hidrofóbica al mineral. Algunos colectores empero son compuestos no ionizantes; una vez adsorbidos vuelven al mineral hidrofóbicos en la misma forma que los colectores heteropolares. La figura 2.1 muestra la mayoría de colectores de mayor uso, Tanto aniónicos como catiónicos.

Los colectores aniónicos del tipo tiol, En los que el grupo polar contiene azufre bivalente, se utilizan para la flotación de los minerales sulfurosos. Los xantatos y los ditiolfosfatos son los que tiene mayor uso; los dialquil tiónocarbamatos han sido bien aceptador en años recientes (por ejemplo el reactivo Dow Z-200); el tiocarbamilido y el mercaptobenzotiozol (por ejemplo el reactivo Cyanamid R-404) se utilizan como colectores suplementarios; los ditiocarbamatos y los alquil mercaptanos tienen uso limitado. Los formiatos de xantógeno (por ejemplo el Minierec) también se usan limitadamente, pero se espera que en el futuro tengan más importancia como colectores de sulfuros. Los dixantógenos, y de hecho los ditiolatos que resultan de La oxidación de otros colectores del tipo tiol, actúan como colectores, pero en general se forman en la solución o en la superficie mineral, y no se agregan.

La cadena de hidrocarburos de los colectores tiol es bastante corta. En la mayoría de estos colectores, la disminución de la solubilidad al aumentar la longitud de la cadena limita dicha longitud a alrededor de 6 átomos de carbono. Debe hacerse notar, sin embargo, que en general la mayor longitud de cadena se traduce en una adsorción más intensa del colector pero en una selectividad, normalmente se utiliza un colector de cadena corta.

Los colectores aniónicos de oxihidrido se utilizan para la flotación de minerales no sulfurosos. Incluidos en este grupo están los carboxilatos, los sulfatos orgánicos y los sulfonatos. Los carboxilatos (ácidos grasos y los jabones correspondientes (sales de Na^+)). Son los de uso más frecuente, normalmente como una combinación que se ha extraído como un subproducto de una planta natural o de una fuente de grasa animal no saturada. El colector de ácido graso de uso más frecuente se comercializa como “aceite de pulpa de madera” (tall oil), un subproducto de la industria de la pulpa de madera. Este aceite contiene aproximadamente 50% de ácido oleico y cantidades menores de ácido linoléico, rosínico (abiético) y linoléico Figura 2.2

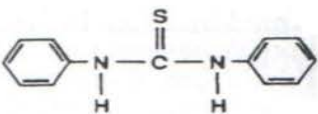
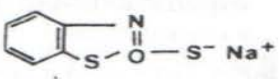
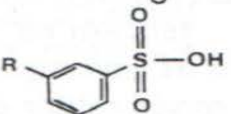
	Reactivo	Fórmula
ANIÓNICOS	Alquilmercaptano	$R-SH$
	Alquil ditiocarbonato (Xantato)	$R-O-C \begin{matrix} \diagup S \\ \diagdown S^- Na^+ \end{matrix}$
	Diaquil disulfuro (Dixantógeno)	$R-O-C \begin{matrix} \diagup S \\ \diagdown S-S \end{matrix} \begin{matrix} S \\ \diagdown C-O-R' \end{matrix}$
	Formiatos de xantógeno	$R-O-C \begin{matrix} \diagup S \\ \diagdown O \end{matrix} -S- \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown C \end{matrix} -O-R'$
	Diaquil ditiocarbamato	$R'-N \begin{matrix} \diagup C \\ \diagdown N \end{matrix} \begin{matrix} \diagup S \\ \diagdown S^- Na^+ \end{matrix}$
	Diaquil tionocarbamato	$R-O-C \begin{matrix} \diagup S \\ \diagdown N \end{matrix} \begin{matrix} \diagup H \\ \diagdown R' \end{matrix}$
	Tiocarbaniluro	
	Mercaptobenzotiazolo	
	Diaquil ditioposfato	$R-O-P \begin{matrix} \diagup S \\ \diagdown S^- Na^+ \end{matrix}$
	Carboxilato (ácido graso)	$R-C \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O^- H^+ \end{matrix}$
Alquilsulfato	$R-O-S \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown O \end{matrix} -OH$	
Alquil aril sulfonato (sulfonato de petróleo)		
CATIONICOS	Amina primaria	$R-N \begin{matrix} \diagup H \\ \diagdown H^+ Cl^- \end{matrix}$
	Amina cuaternaria	$R''-N \begin{matrix} \diagup R''' \\ \diagdown R^+ Cl^- \end{matrix}$

FIGURA N° 2.1 Colectores de mayor uso aniónicos y catiónicos

A menudo se utilizan sales de sodio como colectores, por ser más solubles que los ácidos asociados. Se debe en gran parte a la solubilidad el que los ácidos grasos que se emplean como colectores estén limitados a las cadenas de 18 carbonos del ácido oleico (o a una más corta) y a la cadena de hidrocarburos no saturados.

Los sulfatos y sulfonatos orgánicos no se usan tan frecuentemente como los ácidos grasos. Aunque actúan en forma muy semejante a los ácidos grasos, tienden a adsorberse con menor intensidad y por tanto tienen aplicación en donde se requiere mayor selectividad. Otros colectores, como la hidroxamatos, corresponden también a este grupo; sin embargo, todavía no han tenido una aplicación comercial exitosa.

La concentración en solución de los colectores de cadena más larga (por ejemplo, los colectores de oxihidrilo que hay en uso común) está limitada por la asociación de iones o moléculas o de ambas que puede ocurrir. Esta asociación o micelización ocurre a una concentración particular para cada especie química, y se le conoce como la concentración crítica de micelización (CMC). Si la concentración de colector que se agrega a una solución sobrepasa al MCM, ocurre la micelización y se reduce en forma importante la concentración del colector disponible para la adsorción en el mineral. Hay disponibles valores del CMC para la mayoría de los colectores.

Los colectores catiónicos tienen un grupo polar con carga positiva asociado con la cadena o grupo de hidrocarburos hidrofóbicos. Generalmente son aminas, aunque también hay en uso éter-aminas. Se han utilizado aminas (Figura 2.1) primarias a

cuaternarias, pero son las primarias y secundarias las que se usan comúnmente. Estos colectores se derivan a menudo de grasas naturales y se comercializan con frecuencia bajo el mismo nombre de la fuente de grasa en particular (por ejemplo,

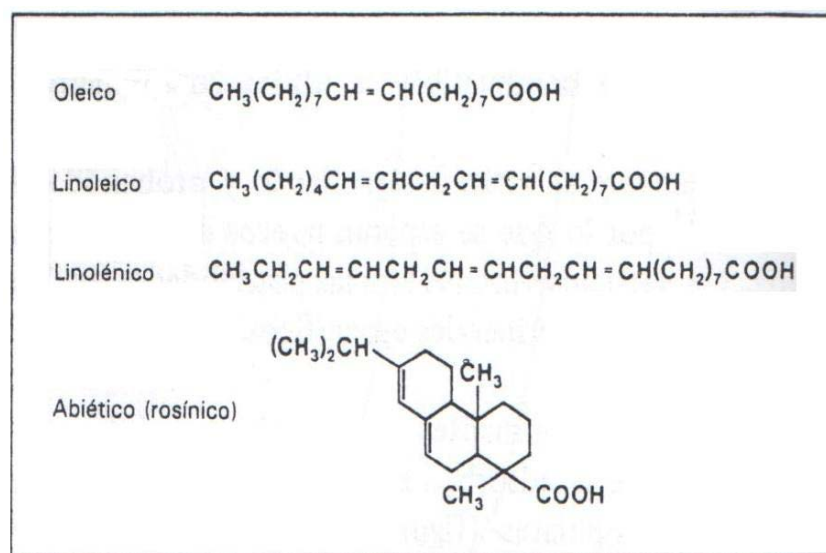


FIGURA N° 2.2 Acido Carboxílico que se encuentran en el aceite de madera

acetato de la amina grasa animal). Se emplean ambos grupos de hidrocarburos, los del alquil y los de aril, quedando limitada la longitud de cadena del grupo por la solubilidad de la amina. Para ayudar a la solubilidad, normalmente hay disponibles colectores de aminas en forma de cloruros o acetatos.

También se emplean colectores suplementarios no iónicos. Sin embargo, éstos no son colectores en el sentido que aquí se da a esta denominación: de hecho se adsorben en otro colector, y éste se adsorbe en la superficie mineral, en vez de adsorberse en la superficie mineral por sí mismos. Así, se utilizan para incrementar la hidrofobicidad de las partículas que tienen ya un colector adsorbido en ellas; no

son en forma alguna selectivos hacia los minerales. El aceite combustible se utiliza comúnmente en esta forma.

Continuamente se están desarrollando y probando otros colectores, por lo que se esperan nuevos desarrollos en la materia. De particular interés son las posibilidades de “diseñar” colectores para minerales específicos.

- **Espumantes**

Los espumantes son reactivos orgánicos solubles, en agua que se adsorben en la interfase aire-agua. Son moléculas heteropolares Figura 2.3, con un grupo polar que da la solubilidad en agua, y un grupo hidrocarbonado no polar.

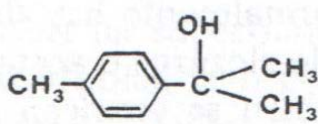
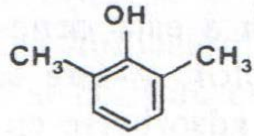
<i>Reactivo</i>	<i>Fórmula</i>
Eter glicol polipropileno I	$\text{CH}_3-(\text{O}-\text{C}_3\text{H}_6)_n-\text{OH}$
Metil isobutil carbinol (MIBC)	$\begin{array}{ccccccc} \text{CH}_3 & - & \text{CH} & - & \text{CH}_2 & - & \text{CH} & - & \text{CH}_3 \\ & & & & & & & & \\ & & \text{CH}_3 & & & & \text{OH} & & \end{array}$
Terpineol (Aceite de pino)	
Xilenol (Acido cresílico)	

FIGURA N° 2.3 Espumantes comunes para flotación

El espumante es necesario para formar una espuma arriba de la pulpa, que sea lo suficientemente estable para evitar la desintegración de la misma y el retorno subsecuente de las partículas a la pulpa antes de que aquella sea removida. Es importante, empero, que la espuma se desintegre rápidamente una vez que se remueve ya que de no ser así, se tienen problemas en el bombeo de la pulpa y en los subsecuentes pasos del procesamiento.

Otro requisito importante de un espumante es que no se adsorba sobre las particular minerales: si un espumante actuara como colector, se reducirá la selectividad del colector en uso. Algunos colectores, como los ácidos grasos, exhiben ciertamente propiedades espumantes. Sin embargo, para lograr un buen control de la planta, debe minimizarse la interacción del agente espumante con el colector.

Los alcoholes y compuestos afines, tales como los éteres de glicol, tienen gran utilidad como espumantes, debido en gran parte a su incapacidad para adsorberse sobre las partículas minerales, por lo que no actúan como colectores. Los alcoholes aromáticos procedentes de fuentes naturales, como el aceite de pino o el ácido cresílico, se han utilizado extensamente. Los espumantes sintéticos se emplean mucho en la actualidad; tienen la ventaja de poseer una composición estrechamente controlada, lo cual ayuda a mantener la estabilidad de la operación de la planta. El metil isobutili carbinol y los éteres del polipropilen glicol están en esta categoría de espumantes.

Cualquier compuesto que se adsorba en la interface aire-agua tiene propiedades espumantes. En efecto, las soluciones de alta intensidad iónica exhiben propiedades espumantes como resultado del agotamiento de iones que ocurre en la interfase.

- **Modificadores**

Estos reactivos pueden ser de tres tipos:

Modificadores de pH, activadores y depresores.

- Modificadores de pH: El pH indica el grado de acidez o de alcalinidad de la pulpa. El pH 7 es neutro (ni alcalino ni ácido) y corresponde al agua pura. De 0 a 6 es ácido y de 8 a 14 es alcalino. El pH se mide con un aparato llamado potenciómetro o con un papel tornasol.
- Cada sulfuro tiene su propio pH de flotación, donde puede flotar mejor. Esta propiedad varía según el mineral y su procedencia.
- Los reguladores de pH tienen la misión de dar a cada pulpa el pH más adecuado para una flotación óptima.
- La cal es un reactivo apropiado para regular el pH, pues deprime las gangas y precipita las sales disueltas en el agua. La cal se puede alimentar a la entrada del molino de bolas.

Es importante usar dosificadores automáticos para estar seguros de la cantidad de reactivo dosificado a las pulpas.

- **Activadores**

Son reactivos químicos orgánicos o inorgánicos que ayudan al colector a adsorberse en la superficie del mineral a flotar. Sulfato de Cobre (CuSO_4): El $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$, sulfato de cobre con 5 moléculas de agua, forma cristales azules brillantes asimétricos del sistema triclinico con una densidad de 2.28 g/ml. Es un activador de la esfalerita, también pirita, calcopirita, pirrotita, arsenopirita y cuarzo.

- **Depresores**

Son reactivos químicos orgánicos o inorgánicos que impiden la acción del colector en la superficie del mineral.

- ✓ Cianuro de Sodio (NaCN): Son cristales en forma de pellets de color blanquecino, se usan para el recubrimiento y depresión de minerales sulfurados de fierro, cobre y zinc
- ✓ Bisulfito de Sodio (NaHSO_3): Es un depresor para sulfuros de zinc y fierro. Se usa en reemplazo del cianuro de sodio particularmente en minerales con contenido de plata, la adición del agente reductor sulfito de sodio o bisulfito de sodio.

2.3 Flotación de sulfuros

La flotación de sulfuros es de gran importancia económica y se ha llevado a cabo durante muchos años; por tal motivo se cuenta con la información exhaustiva de la misma en la literatura. En el breve tratamiento que aquí se le da, se consideran los aspectos químicos de la flotación de sulfuros divididos en dos partes: la adsorción del colector sobre los minerales sulfurados y el uso de activadores y depresores para mejorar la selectividad entre los sulfuros.

Adsorción del colector

Después de prolongada controversia, en la actualidad generalmente se acepta que existen dos mecanismos diferentes mediante los cuales se adsorben los colectores en los minerales sulfurosos. Uno de los mecanismos es químico, y se traduce en la presencia de xantato metálico quimiadsorbido (u otro ión colector de tiol) en la superficie del mineral. El otro mecanismo es electroquímico y da un producto de oxidación (dixantogeno si el colector agregado es xantato) que es la especie hidrofóbica adsorbida en la superficie del mineral. Se cree que con la galena, la calcocita o la esfalerita, es el mecanismo de quimiadsorción el que ocurre. Con la pirita, la arsenopirita o la pirrotita, el mecanismo es el de oxidación electroquímica. Con la calcopirita ocurren ambos mecanismos. Deben observarse, sin embargo, que se ha informado que la oxidación electroquímica ocurre hasta cierto grado cuando la quimiadsorción es el mecanismo principal. Los dos mecanismos son como sigue:

Mecanismo de Quimiadsorción

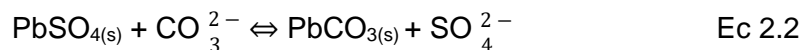
Se utiliza la galena como ejemplo. En la adsorción del colector por este mecanismo ocurren los pasos siguientes:

1) Oxidación del sulfuro de la superficie a sulfato por el oxígeno disuelto en la pulpa, de acuerdo con la reacción:



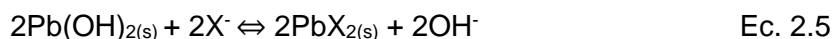
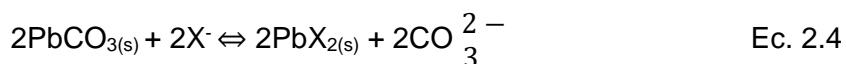
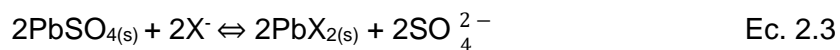
La constante de equilibrio para esta reacción es 10^{126} en consecuencia, en el equilibrio se requeriría una presión parcial de oxígeno de 10^{-63}atm , la cual está excedida claramente por la presión parcial del oxígeno en una pulpa aereada (0.2 atm)

2) Reemplazamiento por intercambio de iones del ión sulfato de la superficie por el ión carbonato.



En las pulpas aereadas habrá presentes iones carbonato. Los productos de solubilidad del sulfato y el carbonato de plomo indican que habrá de ocurrir esta reacción. Las pruebas experimentales indican la presencia de iones de sulfato y carbonato a la vez.

3) Reemplazamiento por intermedio de iones de carbonato y sulfato de la superficie (y del ión hidroxilo, dependiendo del pH) por el ión xantato (indicado por X⁻).



Como los xantatos de plomo son más estables que el carbonato o el sulfato, se forman xantatos de plomo en la superficie de la galena. Esto ha sido demostrado experimentalmente.

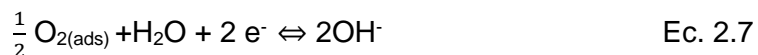
4) Precipitación global del xantato de plomo en la superficie mineral como lo indica la cobertura de un espesor mayor de una capa.

Mecanismos de oxidación electroquímica

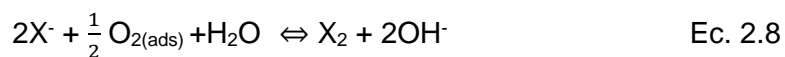
Cuando un mineral conductor, como por ejemplo un sulfuro, está en solución acuosa, se desarrolla en él un potencial al que se llama “potencial de reposo”. Considérese la pirita como ejemplo. En la superficie de la pirita ocurren dos reacciones electroquímicas independientes. Se forma dixantógeno (o el diámetro de otro ión colector) por oxidación anódica del ión xantato.



Mientras que la reacción catódica es la reducción del oxígeno adsorbido en la superficie.



El cambio de electrones se realiza a través del mineral sulfuroso. La reacción general es:



Para la cual puede determinarse el potencial reversible. Si el potencial de reposo para el sistema de mineral-solución es mayor que el potencial reversible para la oxidación del xantato, como puede suceder con la pirita, se formará dixantógeno. Cuando el potencial de reposo es menor que el potencial reversible para la oxidación del xantato, no puede formarse el dixantógeno, y el xantato metálico es la única especie de adsorción posible.

Selectividad de los sulfuros

La selectividad entre los minerales sulfurosos es posible cuando uno de ellos puede adsorber el colector por uno o ambos de los mecanismos anteriores, y los otros no pueden. En la Figura 2.4 muestra los datos del ángulo de contacto de tres minerales sulfurosos en esta figura la flotación es posible a la izquierda de cada curva, pero no a la derecha. Es claro que a medida que se incrementa el pH, ocurre depresión. En la pirita, cuando el pH se eleva arriba de alrededor de 6, el potencial de reposo no excede ya más el potencial reversible para la oxidación del ión colector; y también, el compuesto colector de Fe no es tan estable como la especie en competencia Fe-hidroxil. En la galena, el compuesto colector de Pb prevalece hasta que el pH alcanza el valor de alrededor de 8; arriba de este valor, es la especie Pb-hidroxil la que predomina.

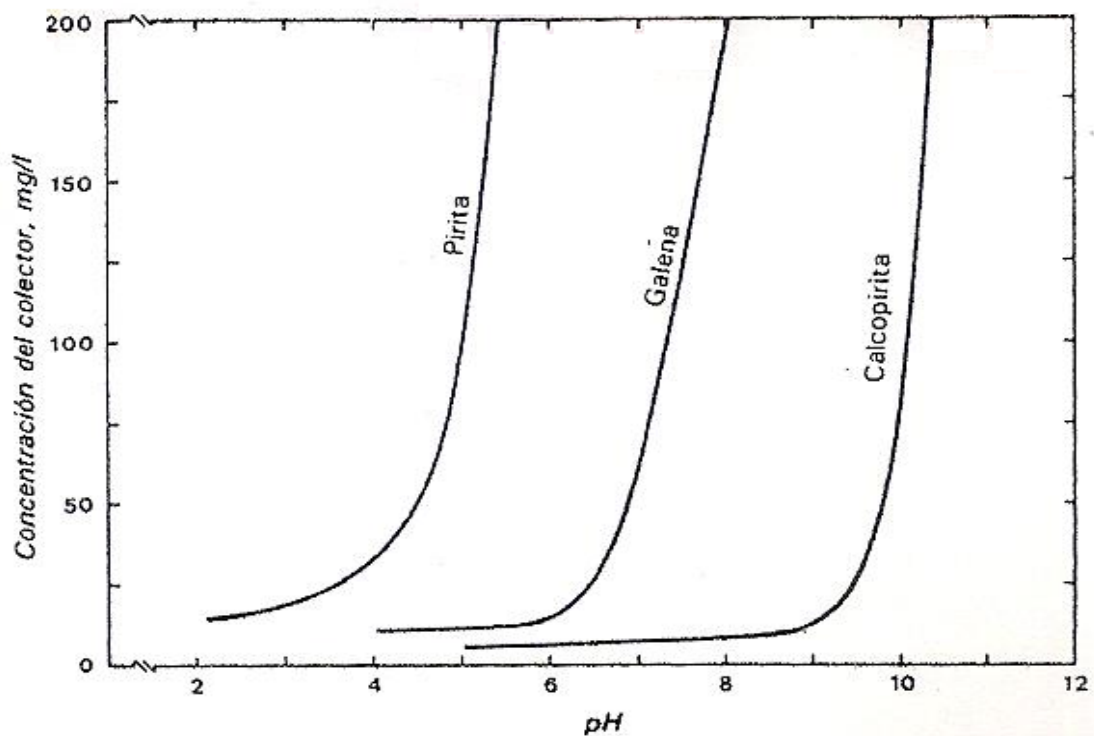


FIGURA N° 2.4 Curvas Críticas de pH para flotación de dietil-ditiofosfato de sodio como colector. La flotación es posible a la izquierda de las curvas.

Al examinar la figura 2.4 resulta claro que la selección efectiva es posible con base en la acción depresiva del ión hidroxilo solo aunque estos resultados dan una indicación de las condiciones de operación para flotación posible, deben tenerse en cuenta que se obtuvieron mediante prueba de ángulo de contacto en ejemplares limpios y bajo condiciones ideales. En muchos sistemas de sulfuros, la regulación de pH sola es insuficiente para que la selectividad sea aceptable.

Sin embargo puede aprovecharse el principio de la utilización de iones en competencia para mejorar la selectividad. Los mecanismos de depresión son más

complejos de lo que se pensó en el pasado. El examen minucioso de la depresión del cianuro indica que es de naturaleza electroquímica.

También se ha aplicado con éxito otros iones como depresores. Por ejemplo se han usado sulfito, cromato y dicromato como depresores para la galena, el ión ferroso tiene un efecto depresor en la flotación de la pirita, que se presume se debe a que reduce el potencial de la solución.

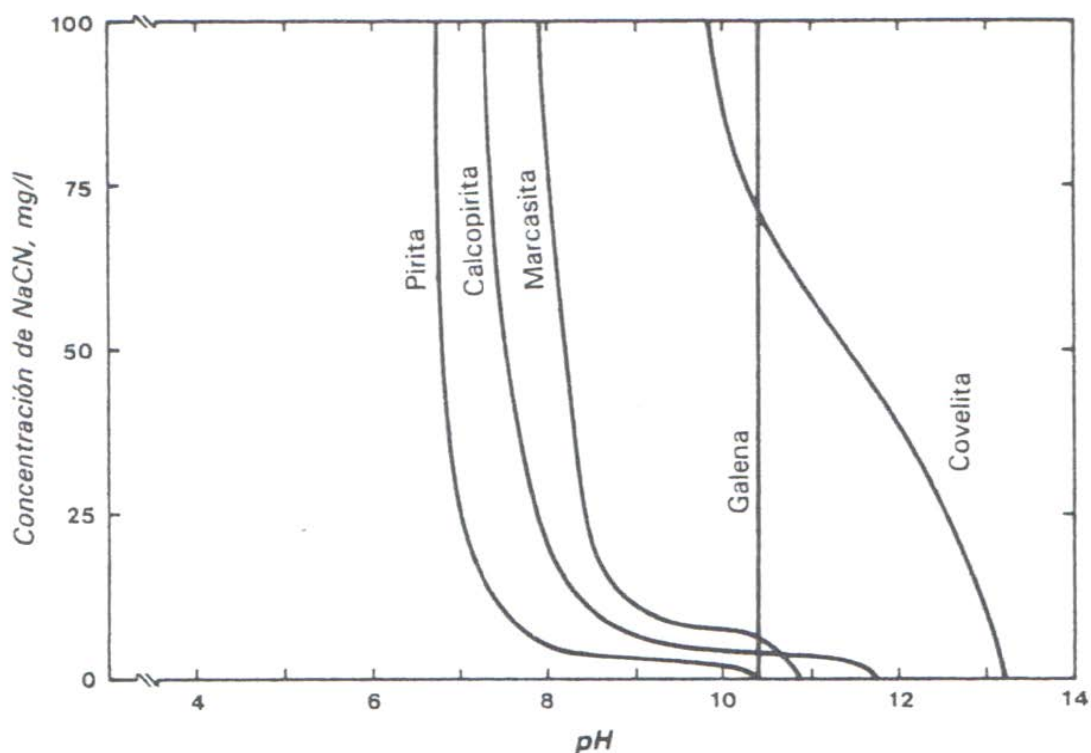


FIGURA N° 2.5 Curva crítica de pH para flotación con xantatos etílico de potasio (25 ml/l) en presencia de cianuro de sodio. La flotación es posible a la izquierda de las curvas.

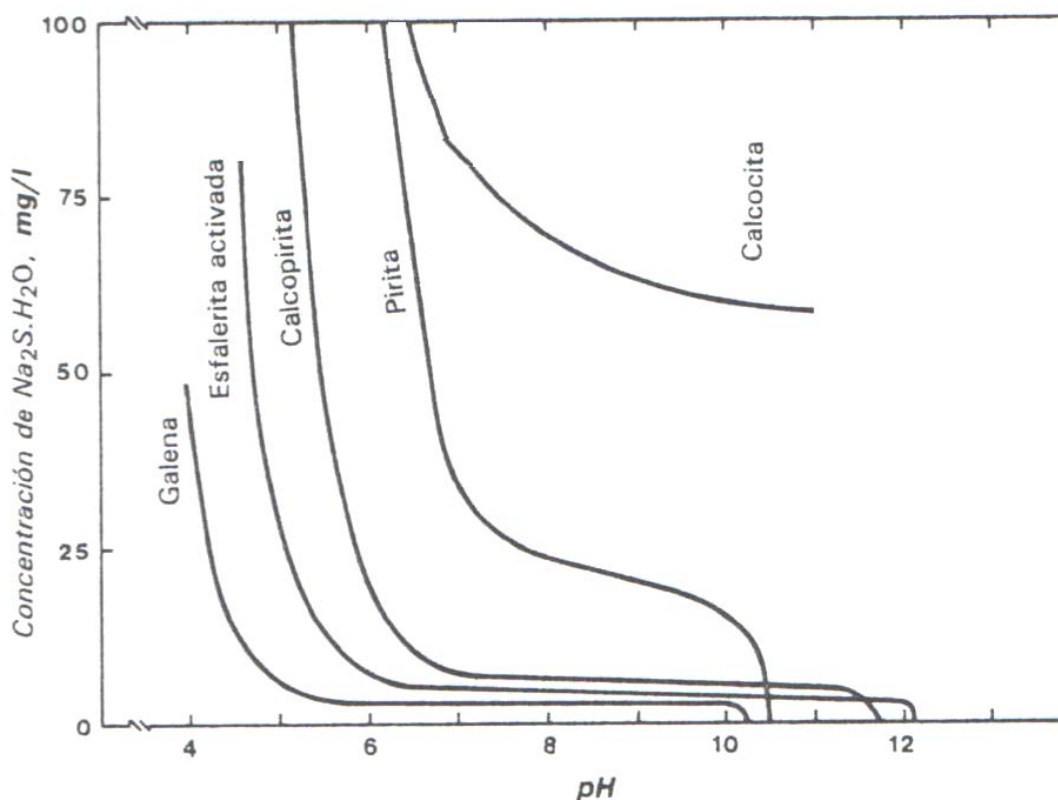
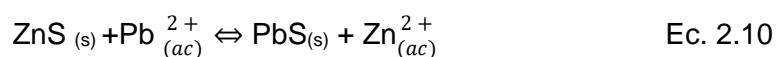
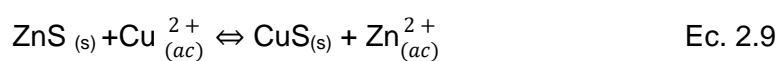


FIGURA N° 2.6 Curvas críticas de pH para flotación con xantatos etílico de potasio (25 mg/l) en presencia de sulfuro de sodio. La flotación es posible a la izquierda de la curva

En algunos casos puede mejorarse la selectividad en los minerales sulfurosos por activación o control de la activación. De particular importancia en relación con esto, es la flotación de la esfalerita, sin activación, la recuperación de la esfalerita es muy deficiente con colectores del tiol. La activación puede ocurrir por reemplazamiento de los iones de zinc en la superficie mineral. Por iones metálicos de sulfuros más estables, tales como los de cobre o plomo, de acuerdo con la reacción.



En consecuencia, la partícula de esfalerita tiene una superficie de covelita, y la partícula se comporta como una partícula de covelita. Para activar la esfalerita, la práctica común es agregar sulfato de cobre. Sin embargo, esta reacción puede ocurrir siempre que haya iones activadores en solución. Por ello es necesario, con algunos minerales, desactivar la esfalerita, es decir, evitar que ocurra activación natural. En los minerales de plomo-zinc, en los cuales la activación se debe a los iones de plomo, la adición de sulfato de zinc es adecuada para la inversión de la ecuación y por tanto la desactivación. Si hay presentes minerales de cobre, puede ser necesario agregar iones de cianuro a los iones de cobre presentes e impedir la activación; Sin embargo, esta reacción no es simple, como lo indica la información de la activación de la esfalerita mediante adiciones de cianuro.

Otro mineral sulfuroso que no flota intensamente con los colectores del tiol es la pirrotita. Esta puede activarse también mediante la sustitución de iones de cobre en la superficie del mineral.

2.4 Flotación de óxidos y silicatos

Hay una amplia gama de minerales de óxidos y silicatos que se concentran por flotación, utilizando colectores tanto aniónicos como catiónicos. Al respecto hay disponibles informes detallados y reseñas de los métodos de flotación.

Tanto los colectores aniónicos como catiónicos son adsorbidos física o electrostáticamente en los óxidos y silicatos.

El potencial de la superficie de los minerales de óxidos y silicatos depende del pH de la solución. Para que ocurra la adsorción del colector, el potencial de la superficie mineral debe ser negativo para los colectores catiónicos y positivo para los colectores aniónicos.

Para que haya flotación efectiva, es necesario que los colectores tengan 10 o más átomos de carbono en la cadena de hidrocarburos. Esto es importante para que ocurra suficiente adsorción o formación de hemi-micelas a las concentraciones de colector inferiores a la del CMC.

Para que ocurra la quimiadsorción es necesaria la formación de los complejos hidroxílicos de los iones metálicos comprendidos en el mineral. Esto se ha demostrado con un gran número de óxidos, también se ha notado que para efectuar la flotación aniónica del cuarzo es necesaria la presencia de un complejo hidroxílico de iones metálicos activadores polivalentes.

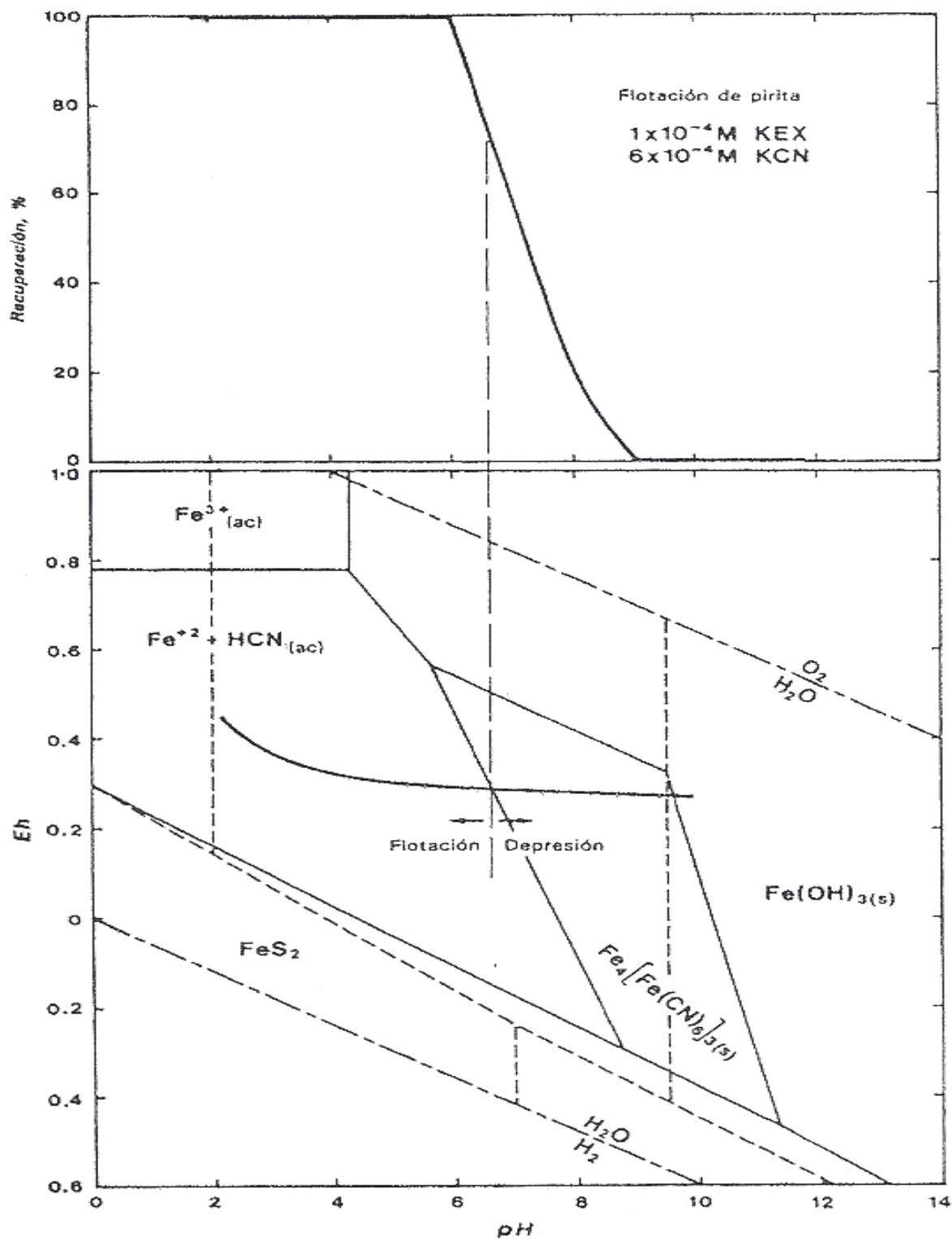


FIGURA N° 2.8 Resultados de flotación de pirita y diagrama de estabilidad total, $5 \times 10^{-5} \text{ M}$ de Hierro disuelto total y $6 \times 10^{-4} \text{ M}$ de adición de cianuro, nótese que la flotación ocurre en la región $\text{Fe}^{+2}_{(ac)} + \text{HCN}_{(ac)}$, y no en la región $\text{Fe}_4(\text{FeCN}_6)_3$.

Activación de la selectividad

Cuando la adsorción del colector es electrostática, existe la competencia entre los iones colectores y los iones inorgánicos en la solución. Así, por ejemplo, cuando se utiliza un colector catiónico, los cationes inorgánicos pueden deprimir la flotación y los aniones inorgánicos pueden actuar como activadores.

El ión fluoruro se utiliza ampliamente en la activación de silicatos. A pesar de que hay cierta incertidumbre en relación con el mecanismo de activación, generalmente se acepta que el complejo de fluosilicato (SiF_6^{2-}) y su adsorción en los sitios de iones metálicos que hay sobre el mineral son significativos. Debe hacerse notar que en el caso del cuarzo, en el cual no existen sitios de iones metálicos, el ión fluoruro actúa como depresor y no como activador.

Los materiales orgánicos coloidales hidrofílicos (como los almidones, la dextrina, el tanino y el quebracho) se utilizan también como depresores. En la flotación catiónica de la ganga de sílice, de los minerales de hierro, por ejemplo, se emplean los almidones para deprimir selectivamente los minerales de hierro.

Tratándose de óxidos y silicatos muy insolubles, como la hematita, debe permitirse suficiente tiempo de acondicionamiento para que se estabilicen las condiciones superficiales tanto antes como después de la adición del colector. La temperatura puede ser también un factor importante, en vista de que afecta la solubilidad del colector; si se eleva la temperatura de la pulpa, se pueden obtener recuperaciones

mayores en grado importante. Recientemente, el control cuidadoso de la dispersión con silicato de sodio ha demostrado mejorar la separación en los minerales finos de hierro.

2.5 Flotación de minerales del tipo de sales

Los minerales de mayor solubilidad que las de la mayoría de los óxidos y silicatos, pero menor que las de los minerales de “sal soluble”, se categorizan por conveniencia como minerales del tipo de sales. Están comprendidos en esta categoría la apatita, schelita, barita, fluorita, magnesita, calcita y el yeso. Estos minerales pueden separarse fácilmente de los óxidos y silicatos, pero son extremadamente difíciles de separar entre sí debido a la gran semejanza de sus propiedades superficiales químicas y físicas. En la literatura respectiva se encuentra una descripción completa de la flotación de estos minerales.

Tanto los colectores aniónicos como los catiónicos, como se utilizan para la flotación de óxidos y silicatos, se emplean con los minerales del tipo de sales. El mecanismo de adsorción es complejo y no se ha comprendido bien; sin embargo, se ha demostrado que pueden ocurrir tanto quimiadsorción como la adsorción física.

La selectividad puede mejorarse mediante la aplicación controlada de modificadores, tanto inorgánicos como orgánicos. Los cationes polivalentes y los aniones inorgánicos afectan la adsorción física del colector en los minerales del tipo

de sales en la misma forma que en los óxidos y silicatos. La selectividad, empero, no cambia en forma significativa. El silicato de sodio se utiliza comúnmente como depresor para la calcita; tiene la ventaja adicional de que también actúa como depresor de la sílice si la hay. Sin embargo, el silicato de sodio deprime a todos los minerales de calcio hasta cierto grado. La adición de iones de aluminio mejora la selectividad reduciendo la acción depresora del silicato de sodio en las sales de calcio que no sean calcita (por ejemplo, fluorita o schelita). También se utilizan otros aniones para mejorar la selectividad, pero en menor grado.

Durante muchos años se han usado coloides orgánicos para mejorar la selectividad entre los minerales del tipo de sales, pero la comprensión de los mecanismos que intervienen es limitada. El almidón, el tanino y el quebracho se usan todos para la depresión de la calcita, pero se cree que intervienen diferentes mecanismos.

2.6 Flotación de sales solubles

La separación por flotación de la silvita (KCl) de la halita (NaCl) en los minerales de potasio se lleva a cabo en soluciones de salmuera saturadas. Tanto la silvita como la halita pueden flotarse, aunque normalmente se utiliza una amina de cadena larga para la flotación de la silvita cargada positivamente de la halita cargada negativamente. Se han propuesto diferentes mecanismos para esta adsorción de colector, y se cree que más de uno debe ser operativo. Sin embargo, se cree que las especies acuosas asociadas actúan como colectores.

2.7 Flotación de partículas finas y gruesas

La recuperación de los minerales por flotación es más eficaz en el intervalo de tamaños de 10 a $100\mu m$. Sin embargo, hay disponibles diversas técnicas relacionadas con la flotación abajo de este intervalo de tamaños. Éstas se han estudiado al detalle en la literatura y se describen en varias obras.

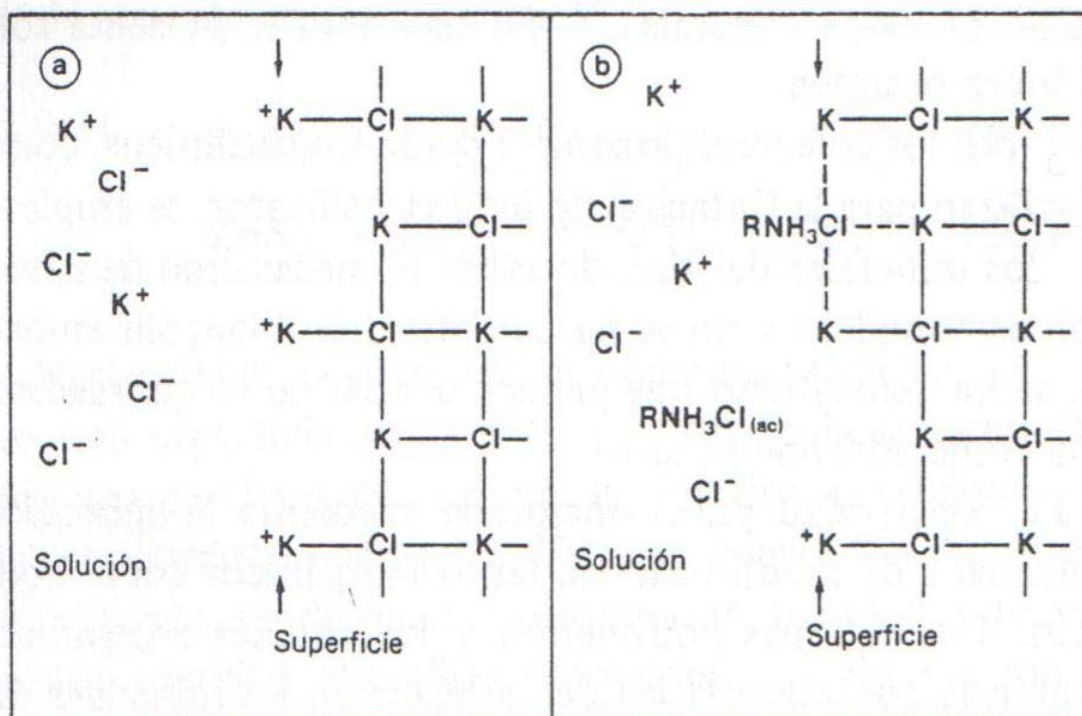


FIGURA 2.9 Superficie de Cloruro de Potasio (KCl) en a) ausencia b) presencia de un colector catiónico primario de amina.

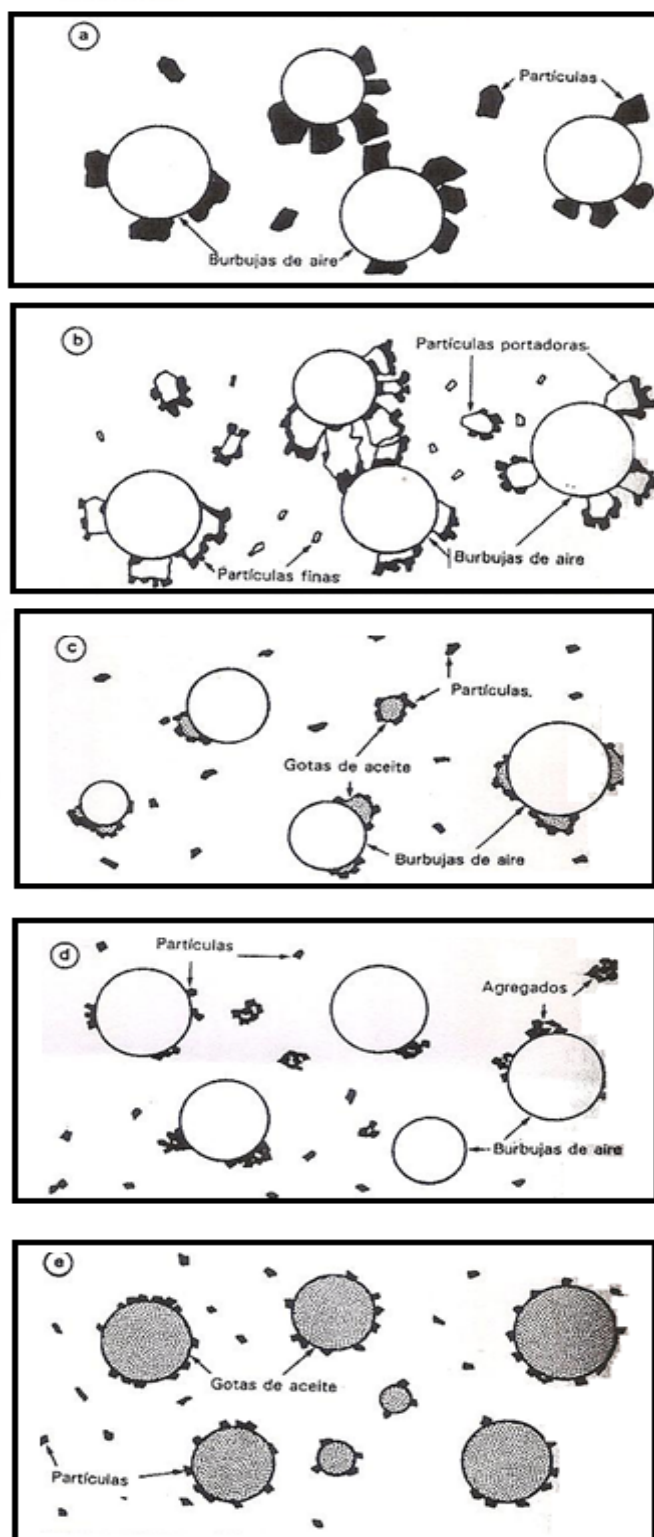


FIGURA 2.10 Representación esquemática de los procesos de flotación a) flotación por espuma b) flotación portadora c) flotación por aceite ó emulsión d) flotación por aglomeración o floculación (floto – floculación) e) extracción liquido ó de dos líquidos.

CAPITULO III

FLOTACIÓN DE MINERALES EN LA PLANTA CATALINA HUANCA

3.1 Generalidades

Catalina Huanca.- Conciente de la importancia de una política responsable de adecuación ambiental es que empieza la recirculación de agua de relave a su proceso encontrándose con problemas propios que implica el trabajo con aguas residuales.

Después de una serie de pruebas con los reactivos convencionales no se logra controlar la activación de sulfuros de zinc en los concentrados de plomo, debido a la presencia de sales solubles de cobre presentes en el agua recirculada y en los minerales.

Continuando con las investigaciones se prueba el uso del reactivo AZ-1®, en la cabeza como complemento de los depresores de zinc conocido como controlador

de sales solubles. Consiguiéndose el objetivo de controlar la activación de los sulfuros de zinc en los concentrados de plomo de 12% a 3.5 % y además de la reducción drástica del cianuro de sodio 35gr/tm a 20 gr/tm y sulfato de cobre de 0.700 a 0.280 kgs/tms con la consiguiente mejora con la recuperación de zinc.

3.2 Ubicación

La Unidad de Producción de Catalina Huanca está ubicada en estribaciones andinas del departamento de Ayacucho, Provincia de Víctor Fajardo Distrito de Canarias en la zona de Monteruyoc.

Altitud promedio de 3500 msnm.

Posición geográfica es:

Latitud sur UTM N 8'454,400

Longitud Oeste UTM : W 615.600

3.3 Accesibilidad

Es accesible por dos rutas:

Vía terrestre

Lima – Nazca 450 km, panamericana sur.

Nazca – Pampa Galeras 83 km, Carretera asfaltada.

Pampa Galera mina 140 km carretera afirmada.

3.4 Mineralogía

La mineralogía es simple en todas las estructuras, los minerales de mena más reconocidos son.

Galena (PbS) Esfalerita (ZnS) Tetraedrita ((Cu,Ag,Fe,Zn)₁₂Sb₄S₁₃)

Enargita (Cu₃AsS₄) Calcopirita (CuFeS₂) Tennantita ((Cu,Ag,Fe,Zn)₁₂As₄S₁₃)

Los minerales de ganga son:

Fluorita (CaF₂) Pirita (FeS₂) Cuarzo (SiO₂)

Baritina (BaSO₄) Hematita (Fe₂O₃).

El manto de la zona de Monteruyoc presenta gran cantidad de galena y en cambio la zona de Bolívar presenta gran cantidad de esfalerita con calcopirita, estas dos vetas son importantes.

3.5 Características del Agua Residual

La implicancia de las sales solubles como: carbonatos de manganeso, calcio, sales de cobre, férricas y ferrosas, con propiedades depresoras de sulfuros y activación de cuarzo.

Son interferentes fuertes en la flotación de Plomo, por lo que incrementan los consumos de reactivos.

El uso de AZ-1® logra inhibir estas sales solubles.

Análisis del agua recirculada.

pH=8

Floculante libre Magnafloc (Copolímero aniónico Acrilamida) 0.25 ppm

TABLA N° 3.1 Análisis del contenido de metales en solución

	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)
Metales	20.5	25	15	56

TABLA N° 3.2 Análisis de las sales solubles

	CaCO ₃ (ppm)	MgCO ₃ (ppm)	Fe ₂ (SO ₄) ₃ (ppm)	CuS (ppm)
Sales	25.1	10.25	40.14	32.3

3.6 Referencias Operacionales

✓ Sección Molienda

La sección molienda consta de 02 molinos independizados por un circuito cerrado con hidrociclones cada uno y ambos suman una alimentación total de 600 TSPD.

- Molino KURIMOTO de 8'x8' con hidrociclón D-10
- Molino Comesa 6'x6' con hidrocución D-10.

El mineral que se recibe de la sección chancado es de malla 80% -3/4"

Y la molienda de ambos molinos es de 60% - malla 200 para que se tenga una buena liberación de los valiosos.

El tiempo de molienda del circuito Bulk es de 15 minutos y del circuito Zinc es de 30 minutos.

✓ Circuito Bulk

En el circuito bulk se utilizan los siguientes reactivos:

- Xantato Z-11 en una dosificación de 30 gr/tm es usado para colectar la galena, la calcopirita y los minerales secundarios.
- Espumante MIBC 15 gr/tms.

También se utilizan los siguientes depresores:

- NaCN: En una cantidad de 35 gr/tms, que se utiliza para deprimir el zinc y la pirita activada.
- NaHSO₃: utilizado para la depresión del zinc, este reactivo se utiliza en una cantidad de 250 gr/tms.

✓ **Circuito de Separación Cobre Plomo**

En el circuito de separación Cobre -Plomo se utiliza el siguiente reactivo.

La mezcla depresora de plomo es un reactivo para poder hacer la separación Pb/Cu se hace por el método inverso utilizando los siguientes reactivos:

Fosfato Monosódico: 20%

Bicromato de Potasio: 60%

Carboxil Metil Celulosa: 20%

Esta mezcla está preparada al 1.5% en la que el plomo es deprimido y el concentrado de cobre es flotado obteniéndose en las espumas.

En el circuito bulk a pesar de los reactivos utilizados se tiene como ley de 49% de plomo y con desplazamiento de zinc de 12%.

El concentrado de cobre se obtiene con una ley de 19% con un desplazamiento de 8% de zinc en el cobre.

✓ **Circuito de Zinc**

En el circuito Zinc se utilizan los siguientes reactivos:

- Xantato Z-6 en una dosificación de 40 gr/tm para la colección de la esfalerita,
- CuSO_4 en una cantidad de 500 gr/tm que es un activador de zinc que envuelve al zinc de iones Cu y hace flotar a la partícula de Zinc como si fuera cobre.
- Cal llevando a un pH de 10 en la cabeza y en la limpieza de espumas se lleva un PH de 11 que es un pH adecuado para la flotación de la esfalerita y a la vez deprime la pirita.

Al pasar la pulpa al circuito de zinc, este se acondiciona con cal hidratada en adición de 4.00 kg/tms llevándose a un pH =10 en la cabeza y en la limpieza de espumas se lleva a un pH de 11, después del acondicionamiento se adiciona el sulfato de cobre a una segunda etapa de acondicionamiento a razón de 500 gr/tms. El PH del agua a utilizarse tiene pH=9.

El mineral de cabeza contiene pizarras en un 10% afecta en cierto grado la separación plomo cobre.

Balance Metalúrgico

La tabla N° 2.3 nos presenta el Balance Metalúrgico de la Planta concentradora de flotación antes de la utilización del reactivo AZ-1[®].

TABLA N° 3.3 BALANCE METALURGICO

	ton	Leyes				Contenido Metálico				Distribución			
		% Pb	%Cu	%Zn	Ag Oz/Ton	Pb	Cu	Zn	Ag Oz	% Pb	%Cu	%Zn	%Ag
Cabeza	450	2.54	1.13	6.8	3.34	1143.00	508.50	3060.00	1503.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Conc. Pb	14.34	48.93	6.14	12.32	52.68	701.66	88.05	176.67	755.43	78.13	20.68	5.80	45.46
Conc. Cu	12.63	4.36	18.48	8.36	21.87	55.07	233.40	105.59	276.22	6.13	54.82	3.47	16.62
Conc. Zn	48.69	1.98	1.45	53.45	2.56	96.41	70.60	2602.48	124.65	10.74	16.58	85.45	7.50
Relave	374.3	0.12	0.09	0.43	1.35	44.92	33.69	160.97	505.36	5.00	7.91	5.29	30.41
Cab. Calculada	450	2.00	0.95	6.77	3.69	898.05	425.74	3045.70	1661.65	100.00	100.00	100.00	100.00

CAPITULO IV

FLOTACIÓN DE MINERALES USANDO REACTIVO AZ-1®

4.1 Caracterización del reactivo AZ-1®

El reactivo AZ-1® Es un reactivo con sólidos suspendidos que se necesita agitación en la dosificación, es netamente orgánico, por lo que no contamina el medio ambiente.

El reactivo controla e inhibe las sales solubles disueltas para formar $\text{Cu}(\text{OH})_2$ en el agua.

- Gravedad específica del reactivo (20 °C) 1.15
- Punto de cristalización menor a 18 °C
- pH básico de 13
- Soluble en agua

El reactivo AZ-1® proviene del nombre Alberto Zúñiga, 1® como primer reactivo.

Precauciones de Manejo del reactivo

El manejo de este producto presenta pocos riesgos, sin embargo es conveniente seguir las siguientes recomendaciones generales:

- Durante la manipulación del reactivo debe evitarse el contacto con los ojos y la piel, mediante el uso de anteojos y guantes de neoprene.
- Mantener los envases cerrados a temperatura ambiente y en bodegas techadas.

Toxicidad

El reactivo es inocuo por ingestión sin embargo se recomiendan las siguientes precauciones.

- Evitar el contacto del producto con la piel.
- Al manipular el producto, se recomienda el uso de anteojos y guantes de neoprene.
- En caso de derrame en la piel, lavarse de inmediato con abundante agua.
- En caso de salpicadura a los ojos, lavar de inmediato con abundante agua y obtener atención médica.

Ambiente

- Confinar derrames evitando que estos alcancen cursos de agua y si hubiera derrames adicionar bastante agua para diluir y no alcanza efectos negativos.
- El producto no contiene fenoles, ni producto que por su transformación (hidrólisis) pudieran generarlos.

Forma de dosificación

- Se debe adicionar el reactivo a una dosificación de 100 gr/tm, manteniéndose en constante agitación por contener sólidos suspendidos.

- Adicionar a una concentración de 10% preferentemente.
- La adición del reactivo se debe hacer en la entrada del molino para atacar a los iones en solución, especialmente al ión Cu^{+2} .

4.2 Pruebas Metalúrgicas realizadas a nivel industrial de reactivo AZ-1® En la Planta San Jerónimo de la Unidad Catalina Huanca

Las pruebas metalúrgicas se realizaron a nivel industrial, porque no se contó con un laboratorio metalúrgico, y para no afectar la operación se fue adicionando el reactivo en estudio poco a poco a partir de 20 gr/tm, Al inicio se adicionó el reactivo al molino 8´x8´ en cantidad de 20 gr/tm, dando muy poco resultado, pero como se vio una leve mejoría se tomó la decisión de aumentar la adición del reactivo y a partir de ahí se va adicionando de 20 en 20 gr/tm, cuando se llega a adicionar a partir de 40 gr/tm se comparte para ambos molinos y según la optimización que se tuvo, se llegó a adicionar a la entrada de los molinos al molino 8´x8´ en cantidad de 60 gr/tm y al molino 6´x6´ 40 gr/tm, por lo que se obtuvo buenos resultados, se continuó adicionando el reactivo hasta 140 gr/tm pero ya no se observaba ningún efecto, al contrario, se notó una cierta fragilización de espumas en el circuito de zinc por lo que se tuvo como valor óptimo de adición 100 gr/tm.

Variación del Consumo de NaCN con uso del AZ-1®

La figura N° 4.1 muestra las variaciones de consumo del AZ-1®, y sus implicaciones en la reducción del consumo de Cianuro de Sodio y la reducción de los desplazamientos de Zn, La mejor prueba nos da a un consumo de 100 gr/tm.

El consumo de cianuro de sodio se redujo de 35 gr/tm a 20 gr/tm en el circuito bulk.

El porcentaje de Zinc al concentrado de Plomo disminuyó de 12% a 3.6%, obteniéndose una calidad de 56% de Plomo, También el porcentaje de Zinc en el concentrado de cobre disminuyó de 8% a 4% obteniéndose una calidad de concentrado de cobre hasta de 22%.

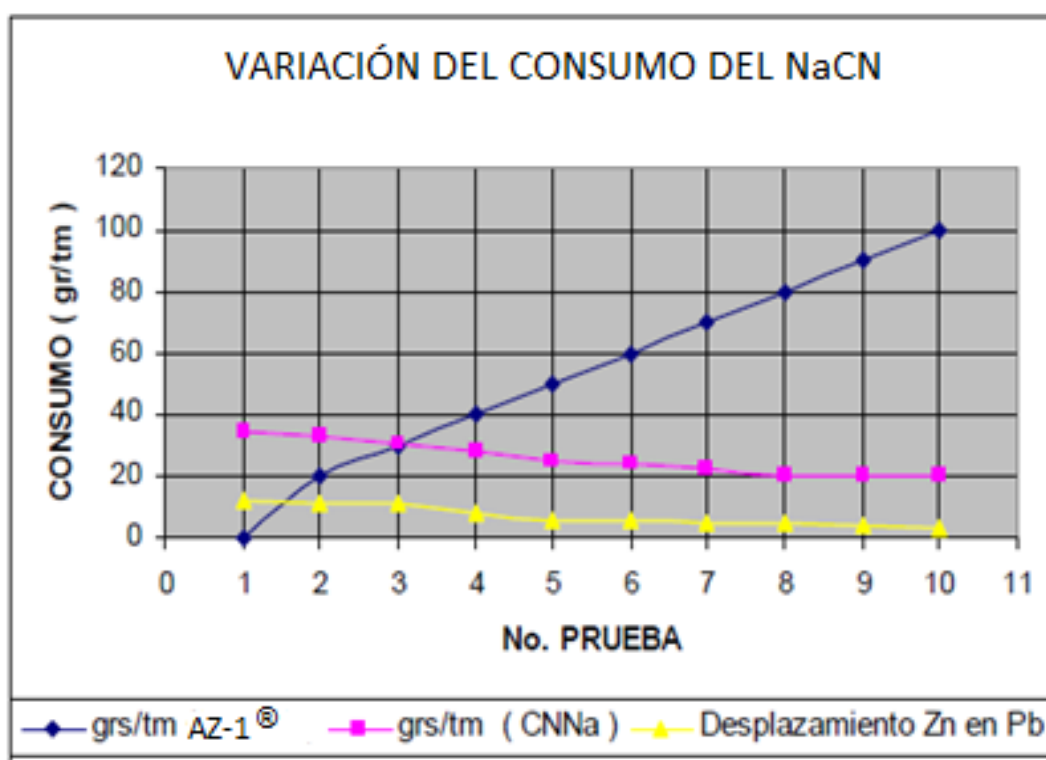


FIGURA N° 4.1 Variación del Consumo NaCN

TABLA N° 4.1 Pruebas Metalúrgicas realizadas en planta - Variación del consumo del NaCN

		N° de Prueba								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Consumo gr/tm	AZ-1®	0	20	30	40	50	60	70	80	90
	Na CN	35.8	33.4	30.7	29.2	28.0	24.6	22.9	21.8	20.3
Desplaz.	Zn al Pb	12.6	11.0	11.2	9.5	8.6	7.5	6.21	4.3	3.9

Variación del Consumo de Bisulfito con el uso de AZ-1®

La figura N°4.2 muestra las variaciones de consumo de **AZ-1®**, y sus implicancias en la reducción del consumo de Bisulfito de sodio.

La mejor prueba nos da un consumo de 100 grs/tm de **AZ-1®**, El consumo de NaHSO_3 se redujo de 58 gr/tm a 42 gr/tm.

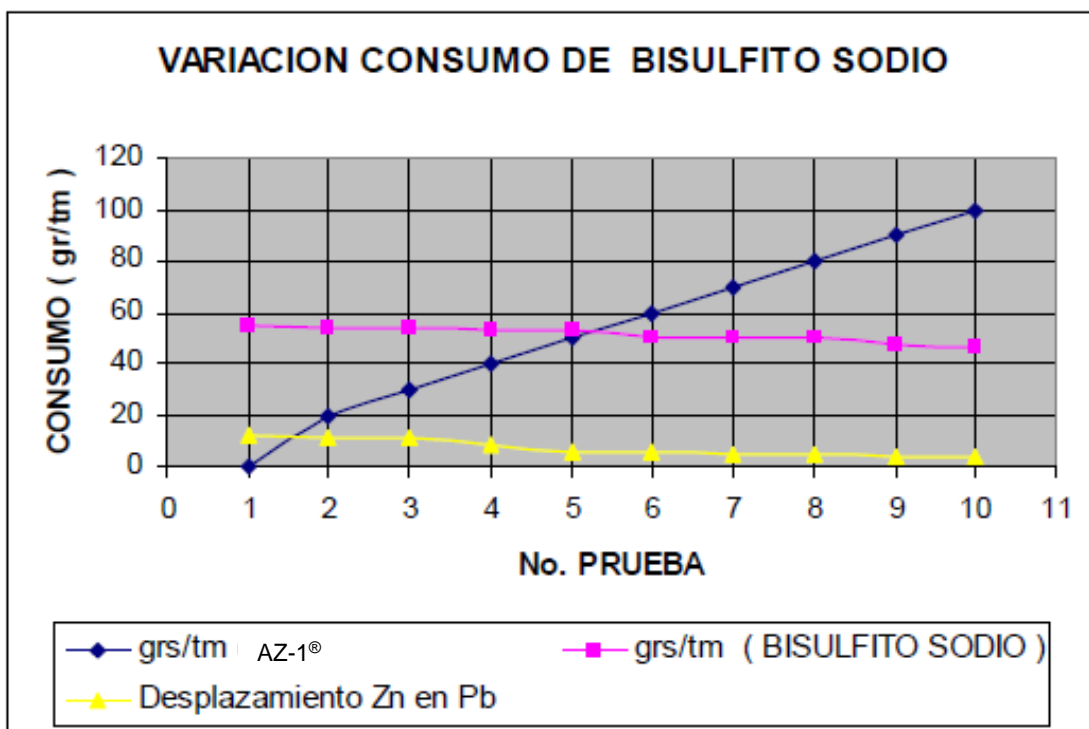


FIGURA N° 4.2 Variación del Consumo de Bisulfito de Sodio.

TABLA N° 4.2 Prueba Metalúrgica realizado en planta - Variación del consumo de Bisulfito de Sodio

		N° de Prueba									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Consumo	gr/tm	AZ-1®	0	20	30	40	50	60	70	80	90
		NaHSO₃	58.6	55.4	55.5	53.8	53.0	50.2	48.8	45.6	42.9
Despla	Zn al Pb	12.6	11.0	11.2	9.56	8.62	7.59	6.21	4.33	3.98	

Variación del Consumo de Sulfato de Cobre

La figura N° 4.4 muestra las variaciones de consumo de **AZ-1®**, y sus implicancias en la reducción del consumo del Sulfato de Cobre, La mejor prueba nos da un consumo de 90 gr/tm de **AZ-1®**.

El sulfato de cobre de 700 gr/tm a 250 gr/tm. Con la consiguiente mejora de la recuperación del zinc.

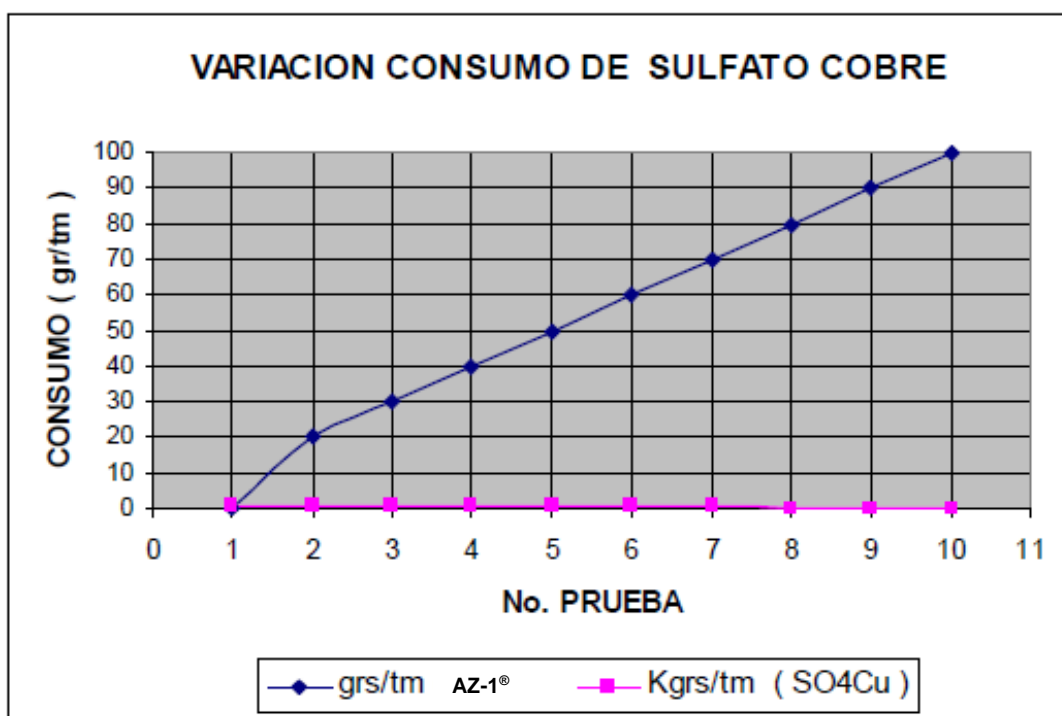


FIGURA N° 4.4 Variación del Consumo de Cobre

TABLA N° 4.4 Pruebas Metalúrgicas - Variación de consumo de cobre

Consumo		N° de Prueba								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	AZ-1® gr/tm	0	20	30	40	50	60	70	80	90
	CuSO₄ gr/tm	708	686	593	475	433	408	382	325	260

TABLA 4.5 Balance Metalúrgico con el uso del reactivo AZ-1® a una adición de 100 gr/tm

	ton	Leyes				Contenido Metálico				Distribución			
		% Pb	%Cu	%Zn	Ag Oz/Ton	Pb	Cu	Zn	Ag Oz	% Pb	%Cu	%Zn	%Ag
Cabeza	432	2.31	1.1	7.22	3.34	997.92	475.20	3119.04	1442.88	100.00	100.00	100.00	100.00
Conc. Pb	14.26	55.18	6.14	3.62	52.68	786.87	87.56	51.62	751.22	80.90	20.71	1.82	46.65
Conc. Cu	11.65	4.36	20.22	6.56	21.87	50.79	235.56	76.42	254.79	5.22	55.73	2.69	15.82
Conc. Zn	46.35	1.98	1.45	55.54	2.56	91.77	67.21	2574.28	118.66	9.44	15.90	90.67	7.37
Relave	359.7	0.12	0.09	0.38	1.35	43.17	32.38	136.70	485.65	4.44	7.66	4.82	30.16
Cab. Calculada	432	2.25	0.98	6.57	3.73	972.60	422.70	2839.03	1610.31	100.00	100.00	100.00	100.00

CONCLUSIONES

1. Para entender mejor el principio de la flotación con el depresor **AZ-1**[®] es necesario conocer la operación en la adición de reactivos. Por ejemplo: cuando se adiciona un exceso de depresores en el circuito bulk, este reactivo va a afectar en el circuito Zinc, por que se va a necesitar más modificadores y mas xantatos para poder flotar el zinc.
2. En las tablas N° 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4. inicialmente se usaba cianuro de sodio (NaCN) y bisulfito de sodio (NaHSO₃) en cantidades de 35 gr/tm y 58 gr/tm. Respectivamente, este exceso forzaba la depresión de la esfalerita tanto que en el circuito Zinc era muy difícil su activación y un sobre esfuerzo en los minerales ya deprimidos, estos reactivos en exceso a veces originaban envenenamiento de las pulpas, que muchas veces llevaban a la flotación a bajos resultados.

3. La pulpa al llegar al circuito zinc necesitaba la adición de un exceso de sulfato de cobre para poder flotar la partícula de zinc que adicionalmente activa a la pirita ensuciando el concentrado. En el proceso la adición de sulfato de cobre llegaba hasta 700 gr/tm. y para hacer buena depresión de la pirita se consumía hasta 4 kg de cal.

4. En la Planta Catalina Huanca se comenzó a usar el reactivo **AZ-1**[®]. haciendo las pruebas a nivel industrial, determinando su óptima dosificación en 100 gr/tm.

5. La justificación como aporte en las mejores condiciones en la flotación de esta mejora es que al adicionar el reactivo de **AZ-1**[®] hace precipitar a los iones de las sales solubles proveniente del agua recirculada y de la disolución de las sales solubles, estos iones precipitan en un PH de 9, que es del circuito Bulk.

6. Al no haber activadores de zinc se adicionaría el NaCN (20 gr/tm) y el NaHSO₃ (42 gr/tm) en forma controlada, por lo que el desplazamiento del concentrado de Zinc al concentrado de Plomo se reduce de 12% a 3.5%, teniendo como calidad de plomo de 56% con respecto a 49% inicial.

7. Al no forzar la depresión de Zinc, se adiciona en el circuito de Zinc una cantidad controlada de CuSO₄ en orden de 250 gr/tm, que conlleva a no

activar mucho la pirita por lo que no se utiliza cal en la cabeza de Zinc, solo se adiciona cal en las limpiezas en orden de 700 gr/tm, teniendo como resultado un concentrado de Zinc más limpio y un bajo relave de Zinc.

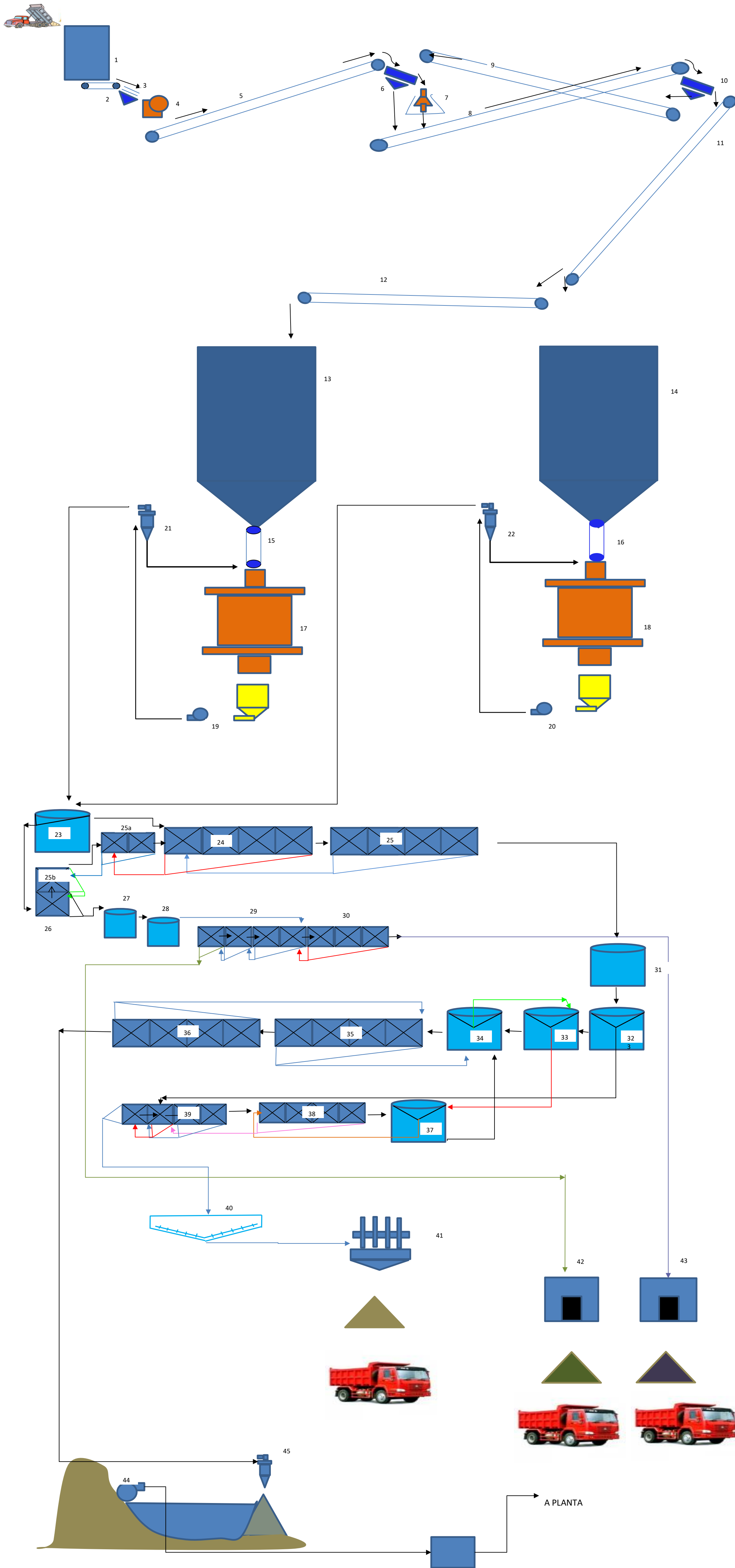
8. El estudio de los minerales secundarios es muy importante ya que estos también interviene o interfieren en la flotación.
9. Controlando los iones disueltos en la flotación se pueden tener muchas ventajas en cuanto a la recuperación, calidad de los concentrados y costo de operación.
10. El agua que se recircula hacia la planta no causa efectos en la flotación ya que los iones disueltos son controlados por el reactivo **AZ-1®**.

BIBLIOGRAFÍA

- **Azañero O, Ángel “Flotación de Mineral de Mina San Gregorio”. Informe Técnico N° 1643 Imc Banco Minero del Perú-Laboratorio de Investigaciones Minero Metalúrgicas. Junio 1984 pp-2-10.**
- **Denver Equipment Company “Mineral Processing Flowsheets” Primera Edición Pag. 92-104.**
- **Errol G. Kelly – David J. Spottiswood “Introducción al Procesamiento de Minerales” Edición 1990, Editorial Noriega- Limusa Argentina Pag. 337-351.**
- **Quiróz N. Ivan. “Ingeniería Metalúrgica” (Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales) Edición 1987, Lima Perú Pag. 203 – 236.**
- **Taggart T. Arthur. “Handbook of Mineral Dressing” Four Printing Sec. 12- Flotación New York September 1950 pp-1-140.**
- **www.scribd.com › ... › Study Guides, Notes, & Quizzes, 5 Setiembre 2011**

**ANEXO 1. FLOW SHEET DE LA PLANTA CONCENTRADORA SAN JERONIMO
DE LA COMPAÑÍA MINERA CATALINA HUANCA**

FLOW SHEET DE LA PLANTA SAN JERÓNIMO COMPAÑÍA MINERA CATALINA HUANCA



Nº	EQUIPO
1	Tolva de gruesos de 100 tm
2	Apron Feeder 12'x40
3	Grizzly estacionario 3'x 8'
4	Chancadora de quijada Fima 24'x36'
5	Faja transportadora Nº 1 de 24"x 9 mts.
6	Zaranda vibratoria 4'x8'
7	Chancadora cónica Symon 3.5'
8	Faja Transportadora Nº 2 de 24"x 12 mts.
9	Faja transportadora Nº 3 de 24"x 10 mts
10	Zaranda vibratoria 4'x8'
11	Faja transportadora Nº 4 de 24"x 5
12	Faja Transportadora Nº 5 de 24"x 8
13	Tolva de finos de 100 Ton Nº 1
14	Tolva de finos de 100 Ton Nº 2
15	Faja transportadora Nº 6 de 20"x 3
16	Faja transportadora Nº 7 de 20"x 3
17	Molino de bolas Comesa 6'x6'
18	Molino de Bolas Kurimoto 8'x8'
19	Bomba SRL 4"X3" N º 1 Espiasa
20	Bomba SRL 4"X3" N º 2 Espiasa
21	Hidroclon D-10 Nº 1
22	Hidroclon D-10 Nº 2
23	Celda W Serrano 10'x10' Rougher Bulk
24	04 Celdas Galigher de 100 pies cubicos Scavenger 1 bulk
25	04 celdas Galigher de 100 pies cubicos Scavenger 2 bulk
25a	Celda Denver 24x24 Tercera Limpieza Bulk
25b	Celda Denver 24x24 Segunda Limpieza Bulk
26	Celda Denver 24x24 Primera Limpieza Bulk
27	Acondicionador 6'x6' Nº 1 Separacio Cobre Plomo
28	Acondicionador 6'x6' Nº 2 Separacio Cobre Plomo
29	Celdas Denver 24"x24" Rougher Separacion Cobre Plomo
30	Celdas Denver 24"x24" Scavenger Separacion Cobre Plomo
31	Acondicionador 10'x10' Flotación Zinc
32	Celda W Serrano 12'x12' Rougher Flotación Zinc
33	Celda W Serrano 10'x10' Nº 1 Rougher Flotación Zinc
34	Celda W Serrano 10'x10' Nº 2 Rougher Flotación Zinc
35	04 Celdas Galigher de 100 pies cubicos Scavenger 1 Zinc
36	04 Celdas Galigher de 100 pies cubicos Scavenger 2 Zinc
37	Celda W Serrano 7'x7' 3ra Limpieza Zinc
38	Celda Denver 24"x24" 2da limpieza de Zinc
39	Celda Denver 24"x24" 1ra limpieza de Zinc
40	Espesador Denver 30'x10' de concentrado de Zinc
41	Filtro de discos 6'x 4 de concentrado de Zinc
42	Cocha de conctrado de Cobre
43	Cocha de concentrado de Plomo
44	Bomba de agua Hidrostal de 50x250
45	Hidroclon de relaves D-12

Cia Minera Catalina Huanca S.A.C
 Flow Sheet Planta Catalina Huanca

Dibujado por:	Ing. Jimmy Vargas
Revisado por:	Ing. José Huamanchumo Palma
Aprobado por:	Ing. Luis Castillo Maraví