

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
EN METALURGIA EXTRACTIVA

**“AUMENTO DE RECUPERACIÓN Y  
DISMINUCIÓN CONSUMO DE NaSH, VÍA  
PUESTA EN OPERACIÓN ANALIZADOR DE  
LEYES Y SENSORES DE POTENCIAL DE  
OXIDO - REDUCCIÓN”**

**Alumno : Tomás Verdejo Torres**

**Profesores : Amelia Dondero Carrillo**

**José Torres Titus**

**AÑO 2007**

## RESUMEN

Este trabajo se realizó en las instalaciones de Codelco Chile División Andina, específicamente en la planta de Flotación selectiva, donde se trata el concentrado colectivo Cu – Mo producido en la planta concentradora.

El objetivo de este trabajo consistió en estudiar la factibilidad de “Aumentar la Recuperación de Molibdeno y Disminución del Consumo de Reactivo Depresante NaSH”, al poner en operación un analizador de Leyes en Línea (XRA – 1600) y unos sensores de potencial de oxido – reducción.

El analizador de Leyes, es un equipo de análisis de múltiples elementos, que además mide porcentaje de sólidos.

Los sensores de potencial, miden Potencial de oxido reducción y pH, por lo tanto, para que pudieran ser un aporte, se debió establecer diversos parámetros, los cuales se detallan a lo largo del estudio.

La inversión requerida para poner en operación estos equipos fue prácticamente despreciable, y el costo de operación adicional se estimó en 0,09 MUS\$/año, es decir, un 2%.

El ahorro producto de consumo de 4 versus 5 kg de NaSH/ton concentrado colectivo es cercana a los 300 KUS\$/año, es decir, un 5% del costo total.

Al aumentar la recuperación se aprecian importantes aumentos en los ingresos, los que en algunos casos pueden llegar hasta el 13%.

Económicamente queda demostrado que ya sea disminuyendo el consumo de reactivo, o bien aumentando la recuperación, se logra incrementar los ingresos en forma considerable y a costos despreciables para la división.

## INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>i</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>ii</b>
<b>INDICE</b>	<b>iii</b>
<b>1.0 INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>2.0 DIVISIÓN ANDINA</b>	<b>3</b>
<b>2.1 YACIMIENTO RÍO BLANCO</b>	<b>4</b>
<b>2.2 EXTRACCIÓN DEL MINERAL</b>	<b>4</b>
<b>2.3 MISIÓN DE DIVISIÓN ANDINA</b>	<b>6</b>
<b>2.4 ANÁLISIS QUÍMICO DEL MINERAL</b>	<b>7</b>
2.4.1 Mineral de Alimentación al Proceso	7
2.4.2 Concentrado de Despacho	8
<b>3.0 FUNDAMENTO DEL PROCESO DE FLOTACIÓN</b>	<b>9</b>
<b>3.1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
3.1.1 Etapas Básicas del Circuito de Flotación	11
3.1.2 Reactivos Utilizados en Flotación	11
3.1.3 Mecanismos de Flotación	12
3.1.4 Variables Operacionales	14
<b>4.0 FLOTACIÓN DE MOLIBDENITA</b>	<b>16</b>
<b>4.1 REACTIVOS USADOS EN FLOTACIÓN DE MOLIBDENITA</b>	<b>19</b>
4.1.1 Colectores	19
4.1.2 Espumantes	20
4.1.3 Modificadores de Superficie	21
4.1.4 Depresores	22

<b>4.2 MECANISMO DE ACCION DEL NaSH</b>	<b>25</b>
<b>4.3 OXIDACIÓN DEL ION HS-</b>	<b>26</b>
<b>5.0 PLANTA DE MOLIBDENITA</b>	<b>28</b>
<b>5.1 DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA DE MOLIBDENITA</b>	<b>29</b>
<b>5.2 BALANCE DE FINOS</b>	<b>30</b>
<b>5.3 EQUIPOS DEL PROCESO DE FLOTACIÓN SELECTIVA</b>	<b>31</b>
5.3.1 Flotación Primaria	31
5.3.2 Flotación Scavenger	32
5.3.3 Flotación Primera Limpieza	33
5.3.4 Flotación Segunda Limpieza	33
5.3.5 Flotación Tercera Limpieza	33
5.3.6 Espesamiento Intermedio	34
<b>6.0 ANALIZADOR DE LEYES XRA –1600</b>	<b>35</b>
<b>6.1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>35</b>
6.1.1 Descripción del Equipo	37
<b>6.2 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO</b>	<b>44</b>
<b>6.3 MUESTREOS</b>	<b>45</b>
6.3.1 Secuencia de Muestreo	46
6.3.2 Preparación de la Muestra	47
6.3.3 Observaciones	48
<b>6.4 CALIBRACIÓN</b>	<b>50</b>
6.4.1 Constantes de Calibración	50
6.4.2 Ventanas para Calibración	51
6.4.3 Otras Herramientas	54
6.4.4 Mantenión y Recomendaciones	55
6.4.5 Hoja de Mantenión Equipo Analizador de Leyes XRA – 1600	58
6.4.6 Fallas Medición Leyes Cola	59
6.4.7 Mantenión Preventiva	60

6.4.8 Sugerencias Generales	60
<b>6.5 COMPARACION DEL ERROR</b>	<b>61</b>
<b>6.6 COMPARACIÓN DE LEYES POR TURNOS</b>	<b>62</b>
6.6.1 Comparación Directa	67
6.6.2 Porcentaje de Error	70
<b>7.0 SENSORES DE POTENCIAL</b>	<b>72</b>
<b>7.1 INTRODUCCION</b>	<b>72</b>
<b>7.2 FUNDAMENTO TEÓRICO</b>	<b>73</b>
<b>7.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO</b>	<b>78</b>
7.3.1 Transmisor de pH / ORP +GF+SIGNET 8710	78
7.3.2 Preamplificador +GF+SIGNET 2720	79
7.3.3 Electrodo para ORP +GF+SIGNET 2715 / 2717	80
<b>7.4 MEDICIÓN DEL PH CON UN ELECTRODO DE VIDRIO</b>	<b>83</b>
7.4.1 Estandarización del Electrodo de Vidrio.	85
<b>7.5 UBICACIÓN DE LOS SENSORES EN LA PLANTA</b>	<b>86</b>
<b>7.6 POTENCIAL DE ADICIÓN</b>	<b>88</b>
<b>7.7 PROBLEMAS AL FIJAR UN POTENCIAL</b>	<b>97</b>
7.7.1 Variación de los Sólidos en la alimentación fresca	98
7.7.2 Respuesta de los Sensores	98
<b>8.0 ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>99</b>
<b>8.1 ESTIMACIÓN DE INVERSIONES</b>	<b>99</b>
8.1.1 inversiones en Capital Fijo	100
<b>8.2 ESTIMACION COSTOS DE OPERACION</b>	<b>103</b>
8.2.1 Criterios Generales de Estimación Costos de Operación	103
8.2.2 Depreciación de Equipos e Instalaciones	109

<b>8.3 ANALISIS DE INGRESOS</b>	<b>109</b>
<b>9.0 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES</b>	<b>114</b>
<b>9.1 COMENTARIOS</b>	<b>114</b>
<b>9.2 CONCLUSIONES Y RESULTADOS</b>	<b>115</b>
9.2.1 Conclusiones	115
9.2.2 Resultados	115
<b>10.0 BILIOGRAFIA</b>	<b>117</b>

## 1.0 INTRODUCCION

En el presente trabajo de memoria conoceremos el proceso de producción de concentrados de Cobre y Molibdeno que se realiza en División Andina Codelco – Chile y en particular el proceso de flotación diferencial desarrollado en la Superintendencia de Operaciones Área y Superficie (S.O.A.S) de División Andina.

En esta área además del proceso de separación de los concentrados de Cobre y Molibdeno se desarrollan, el filtrado, secado y despacho de los concentrados de Cobre y Molibdeno, también se encuentran las plantas de lixiviación de Cobre contenido en los concentrados de Molibdeno LR, y la planta de tratamiento de efluentes.

La alimentación a la planta corresponde a un concentrado colectivo con concentraciones medias de 30,5% de Cobre y 0,45% de Molibdeno. La separación se realiza por medio de Flotación Selectiva, obteniéndose un concentrado final con un 52% de Molibdeno y un 3% de Cobre y una Cola con un 30,5% de Cobre y un 0,08% de Molibdeno.

En esta etapa se utiliza un reactivo de gran importancia para la planta, no solo por su gran utilidad en el proceso, sino que también, por su alto costo y difícil manipulación, este reactivo es el Sulfhidrato de Sodio (NaSH).

Básicamente este estudio consiste en entregar a la operación una herramienta de control, para que dadas las condiciones del proceso, el operador pueda adicionar la cantidad óptima del reactivo depresante.

Si la adición de NaSH es muy baja comienza a flotar Cobre ya que no alcanzaría a reaccionar sobre el sulfuro de Cobre, y en el caso que se agregue exceso de Sulfhidrato, perjudicaría la flotación dado que el reactivo depresante comenzará a reaccionar sobre la Molibdenita.

Para poder manejar la adición del reactivo correctamente es muy conveniente tener conocimiento de las concentraciones en línea del NaSH, Molibdeno y Cobre en cada una de las corrientes.

Parte importante del trabajo consistió en calibrar y poner en operación un equipo "Analizador de leyes en línea" (XRA – 1600), así con este equipo operando tendremos en forma continua leyes de las tres principales corrientes del proceso: Alimentación, Concentrado final y Cola. Con estas tres corrientes podemos tener una visión de la recuperación global de la planta y así controlar de mejor manera el proceso.

Una vez conocido el proceso se creó una estrategia para implementar un sistema automático para la adición de NaSH, y que tome acción correctiva, ya sea aumentando o disminuyendo la adición del reactivo cuando sea necesario.

La estrategia usada al comienzo estuvo enfocada hacia el comportamiento del Sulphidrato y su acción depresora, paralelamente a esto se realizó un seguimiento a los valores entregados por los sensores de potencial de referencia en cada celda. Los valores fueron estudiados estableciéndose una relación entre potencial y recuperación, de esta manera el trabajo derivó en encontrar un potencial de adición para cada celda, una vez encontrado este potencial se fijó el valor y se estudió su comportamiento, llegando finalmente a la conclusión que los sensores se pueden utilizar como instrumentos de adición y de control pero no es aconsejable utilizarlos como instrumentos de acción correctora, debido a la lenta reacción que presentan este tipo de sensores en las celdas, ya que miden potencial de oxido-reducción (ORP), pero no miden la concentración específica del NaSH.

Al contar con estas nuevas herramientas en operación, se agregará "valor" al proceso, que se verá reflejado, en un menor consumo de NaSH y en una mayor recuperación de Molibdeno.

## 2.0 DIVISIÓN ANDINA

Se ubica en la cordillera de Los Andes, a 50 kilómetros al noroeste de Santiago y los antecedentes de su yacimiento se remontan al año 1850, este se encuentra en la cabecera de un valle glaciar, sobre los 3.500 metros sobre el nivel del mar y está cubierto con nieve gran parte del año. En 1955 la Cia. Minera Cerro Corporation, desarrolló una exitosa campaña de exploraciones y un acabado estudio, que culminó en 1966 con la creación de la Cía. Minera Andina S.A., integrada por Cerro Corporation y el gobierno de Chile.

Esta empresa desarrolló un intrépido proyecto, único en el mundo por sus instalaciones subterráneas, dando inicio a la producción el año 1970. Luego de un proceso de nacionalización del Cobre, en 1971 la Compañía Minera Andina dio paso a la actual División Andina de Codelco Chile. En la Figura 2.1 se muestra la ubicación geográfica de la división.

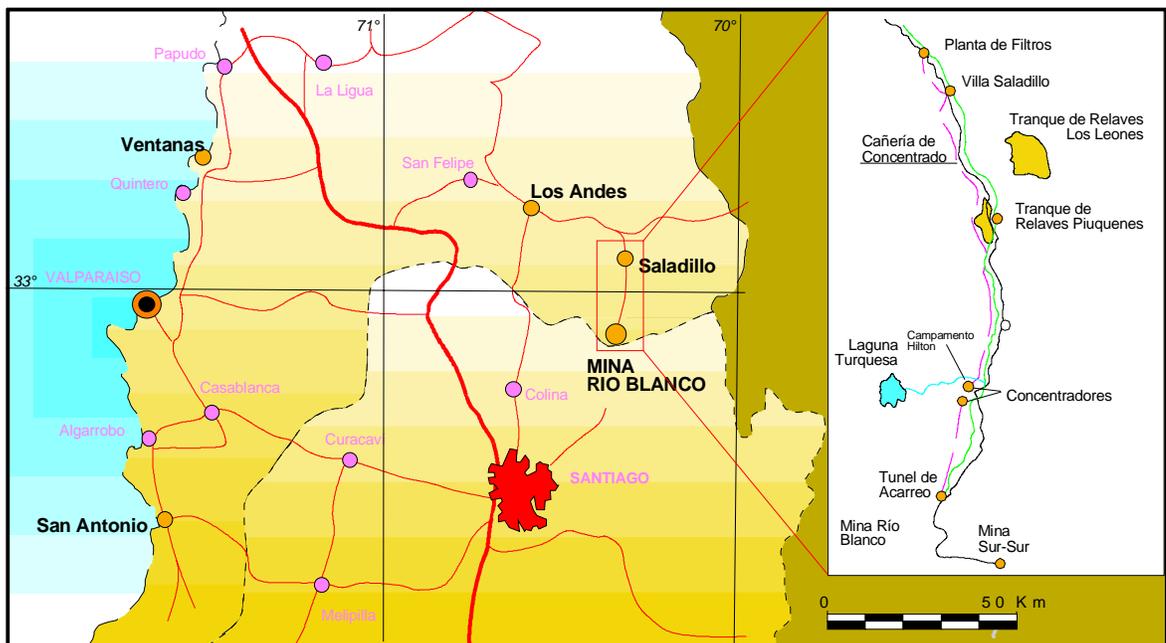


Figura 2.1 Ubicación División Andina

## **2.1 YACIMIENTO RÍO BLANCO**

Este se clasifica geológicamente como pórfido cuprífero, su formación está asociada a la actividad volcánica provocada por los movimientos de las placas tectónicas de la corteza terrestre.

El avance de estas placas generó fisuras cerca del borde continental, las que fueron rellenadas por el magma, originando una segregación y concentración de minerales.

En este modelo geológico se destacan dos sectores de interés económico; el sector central e interno del pórfido cuprífero, caracterizado por la presencia de calcopirita-bornita, y el nivel superior del modelo, donde se emplazan chimeneas de rocas fragmentadas con altas concentraciones de Calcopirita y en menor proporción de calcosita-covelina. Actualmente los recursos identificados o reservas, se estiman en 2.000 millones de toneladas de mineral, con una ley promedio 1% de Cobre, equivalentes a 20 millones de toneladas de Cobre fino aproximadamente.

## **2.2 EXTRACCIÓN DEL MINERAL**

Las faenas actuales de extracción se realizan en el rajo abierto (Sur Sur) y en la mina subterránea (III panel), estas aportan el total del mineral a procesar.

En el rajo, los cuerpos comprometidos son Sur Sur actualmente en explotación y Don Luis, ubicados a 4.000 m.s.n.m., en la naciente del valle Río Blanco. La explotación se realiza mediante el sistema de bancos, que incluye perforación, tronadura, carguío y transporte.

La extracción total diaria de material es de 100.000 toneladas, de las cuales 30.000 corresponden a mineral y 70.000 a estéril.

El plan minero de los rajos contempla un horizonte de veinte años y un movimiento total de material de 855 millones de toneladas.

En la mina subterránea se explota actualmente el tercer panel, el cual permitió aumentar el ritmo de producción de 40.000 a 45.000 toneladas por día. La explotación subterránea se realiza mediante el método de hundimiento de bloques, con las variantes de extracción por parrillas y extracción mecanizada.

El hundimiento de bloques como sistema base de explotación, incorpora el concepto de hundimiento continuo, denominado Panel Caving, el cual consiste en hundir de forma sistemática unidades pequeñas, lo que mejora el control de la dilución, incorporando pequeñas áreas de producción, creando un plano inclinado de separación entre el mineral y el estéril, evitando que estos se mezclen.

Las parrillas de producción que reciben el mineral de los hundimientos, cuentan con martillos pica rocas para reducir el tamaño del material cuando queda atrapado. Las parrillas dosifican y regulan el flujo y el tamaño del mineral que va hacia los niveles inferiores. Para la extracción mecanizada se tienen los equipos de bajo perfil, cargadores LHD de 2,5 y 6 yardas y camiones Dumper de 50 toneladas, los que realizan la operación de carguío y transporte respectivamente. Para el desarrollo de las galerías horizontales, se tienen los equipos de perforación electrohidráulicos denominados Jumbos de perforación frontal y para los tiros largos que producen el hundimiento de bloques, se tienen los Jumbos de perforación radial. Finalmente el mineral es conducido hasta el concentrador que se ubica en los niveles inferiores de la mina, a través de piques de traspaso.

## 2.3 MISIÓN DE DIVISIÓN ANDINA

La Misión de la División Andina de Codelco Chile es producir concentrados de Cobre y Molibdeno y participar en su comercialización, conociendo al cliente y apoyando la gestión para satisfacer las necesidades de fundiciones de Cobre y transformadores de concentrado de Molibdeno, las que si bien se ubican en el mundo entero, se concentran en Chile, Brasil y Asia.

La División Andina busca competir y ser reconocida por producir productos con muy bajas impurezas, cuya composición mineralógica y leyes sean homogéneas, todo ello técnicamente certificado.

Igualmente, la División busca ser oportuna y puntual en la entrega de sus productos, y flexible para adaptarse a los requerimientos de sus clientes dentro de ciertos márgenes definidos por la División.

En el futuro, la División Andina buscará producir y comercializar más activamente, Cobre, oro, plata y subproductos en las formas que resulten más rentables para la compañía. Dentro de los subproductos se considera la venta de tecnología derivada del conocimiento interno de la División. Dirigirá su operación hacia empresas transformadoras, procesadoras, fundiciones y otras empresas del Sector Minero, pensando en la venta de tecnología, ubicadas en el mundo entero aunque mayoritariamente concentradas en Chile y América Latina.

Por lo tanto, la División Andina buscará competir y ser reconocida por la calidad certificada en el desarrollo de sus procesos, cuidado por el medio ambiente y por proveer productos con mínimas impurezas, por cuanto ellos constituirán "condiciones esenciales para competir en el mercado".

## 2.4 ANÁLISIS QUÍMICO DEL MINERAL

### 2.4.1 MINERAL DE ALIMENTACIÓN AL PROCESO

#### Composición mineralógica 100% base mineral

A continuación se presenta la Tabla 2.1 con el análisis químico del mineral alimentado a la cabeza del proceso

**Tabla 2.1 Composición Mineralógica de Mineral**

Especies	Composición	% en peso	Cu	Fe	S	As	Sb	Mo	Zn	Pb	Ti
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	3,13	1,08	0,95	1,09	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Covelina	CuS	0,2	0,13	-----	0,07	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Bornita	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	0,15	0,09	0,02	0,04	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Idaita	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>6</sub>	Tz	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tenantita	Cu <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	0,06	0,03	-----	0,02	0,013	-----	-----	-----	-----	-----
Galena	PbS	Tz	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Rutilo	TiO <sub>2</sub>	Tz	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Blenda	ZnS	0,03	-----	-----	0,01	-----	-----	-----	0,02	-----	-----
Molibdenita	MoS <sub>2</sub>	0,07	-----	-----	0,03	-----	-----	0,04	-----	-----	-----
Pirita	FeS <sub>2</sub>	1,17	-----	0,54	0,62	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,04	-----	0,73	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Magnetita	Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,97	-----	0,7	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Limonita	FeO(OH) * nH <sub>2</sub> O	0,37	-----	0,23	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Ganga		92,82	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>	<b>1,34</b>	<b>3,17</b>	<b>1,88</b>	<b>0,013</b>	<b>---</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>---</b>	<b>---</b>

## 2.4.2 CONCENTRADO DE DESPACHO

### Composición mineralógica 100% base mineral

A continuación se presenta la Tabla 2.2 con el análisis químico del mineral de despacho de la planta.

**Tabla 2.2 Composición Mineralógica Concentrado**

Especies	Composición	% en peso	Cu	Fe	S	As	Sb	Mo	Zn	Pb	Ti
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	80,67	27,91	24,52	28,23	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Calcosina	Cu <sub>2</sub> S	0,06	0,05	-----	0,01	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Covelina	CuS	0,47	0,31	-----	0,16	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Enargita	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>	0,25	0,12	-----	0,08	0,047	-----	-----	-----	-----	-----
Bornita	Cu <sub>3</sub> FeS <sub>4</sub>	1,41	0,89	0,16	0,36	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Idaita	Cu <sub>3</sub> FeS <sub>6</sub>	0,47	0,26	0,05	0,16	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tenantita	Cu <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	0,88	0,45	-----	0,25	0,177	-----	-----	-----	-----	-----
Galena	PbS	0,08	-----	-----	0,01	-----	-----	-----	-----	0,066	-----
Blenda	ZnS	0,5	-----	-----	0,16	-----	-----	-----	0,334	-----	-----
Molibdenita	MoS <sub>2</sub>	1,15	-----	-----	0,46	-----	-----	0,687	-----	-----	-----
Pirita	FeS <sub>2</sub>	2,6	-----	1,21	1,39	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,29	-----	0,2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Magnetita	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0,12	-----	0,08	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Limonita	FeO(OH) *nH <sub>2</sub> O	0,14	-----	0,09	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Ganga		10,93	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>	<b>30</b>	<b>26,31</b>	<b>31,27</b>	<b>0,225</b>	<b>---</b>	<b>0,687</b>	<b>0,334</b>	<b>0,066</b>	<b>---</b>

### 3.0 FUNDAMENTO DEL PROCESO DE FLOTACIÓN

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

La flotación es un proceso fisicoquímico usado para separar minerales finamente divididos en líquidos adheriéndolos a burbujas de gas para proveer la flotación selectiva de las partículas sólidas. Es el proceso más barato y más usado extensivamente para separar minerales químicamente similares y para concentrar minerales para una fundición económica.

La adhesión, se obtiene principalmente debido a la acción de ciertos compuestos químicos que modifican las propiedades superficiales del sólido. El medio en el cual la separación se efectúa, consta de tres fases, las que se presentan a continuación en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Medio de Separación**

Fase líquida	:	Generalmente agua, química y físicamente muy activa
Fase gaseosa	:	Usualmente aire (N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> )
Fase sólida	:	Esta puede presentar infinitas variaciones.

Las burbujas de aire, actúan como globos y poseen el empuje suficiente para llevar ciertas partículas del mineral a la superficie donde una espuma estable retiene el mineral y permite retirarlo como concentrado.

Las moléculas que no se adhieren preferencialmente a las burbujas de aire, permanecen sumergidas y se van al fondo como colas o relaves.

Sin el proceso de flotación, la minería no tendría el estado actual de desarrollo, el método permite concentrar minerales de alta o baja ley como la Molibdenita (MoS<sub>2</sub>), simples o complejos. Es el medio de concentración

más importante para concentrar: Cobre, Plomo, Zinc, Plata, Molibdeno, Manganeso, Cromo, Cobalto y Tungsteno.

Con pocas excepciones los sólidos inorgánicos se mojan totalmente con una fase acuosa, para la flotación la interfase sólido líquido debe ser reemplazada por una interfase sólido gas; esto se consigue agregando ciertos reactivos a la fase acuosa dejando la superficie del sólido con un film hidrofóbico (repelente al agua). Las reacciones en general ocurren en las interfases, desplazan el agua en favor del aire, al cual se adhiere la partícula.

El proceso se puede aplicar a partículas relativamente finas, si son muy grandes la adhesión entre la partícula y la burbuja será menor que el peso de la partícula y la burbuja perderá su carga sólida.

En concentración de minerales el material valioso flota (concentrado) dejando la ganga en la pulpa o "cola". Esta es la "flotación directa" opuesta a la "flotación reversa" en la cual la ganga se separa en el concentrado.

Los minerales deben ser molidos hasta un tamaño de 65 mesh (aproximadamente 205 $\mu$ m) o por lo menos de 48 mesh (297 $\mu$ m), otros materiales más livianos como carbón se pueden separar a tamaños más gruesos tales como 10 mesh (1.650 $\mu$ m) bajo ciertas condiciones especiales, aunque en general las colisiones, aceleración y movimientos erráticos tienden a remover las partículas de las paredes de las burbujas. Por otra parte, partículas muy finas son difíciles de flotar, es difícil diferenciar entre las propiedades de la ganga y material valioso. En general la flotación está limitada a tamaños entre 65 mesh y 5 mesh.

### **3.1.1 ETAPAS BÁSICAS DEL CIRCUITO DE FLOTACIÓN**

Las principales etapas del proceso de flotación son:

- Se realiza una molienda húmeda hasta alcanzar tamaño de partícula apropiados. El mineral se muele por lo menos a 220 $\mu$ m.
- La pulpa así obtenida se diluye con agua hasta una consistencia entre 25% y 40% de sólidos en peso.
- Se agrega un reactivo "colector" que hace el mineral valioso repelente al agua.
- Se agrega un reactivo espumante para establecer una espuma estable al cual se adhieren los sólidos.
- Se introduce aire a la pulpa, ya sea por agitación o por adición directa.
- Se retira el concentrado para flotación de limpieza en etapas posteriores. Las colas se envían a otras celdas de flotación para darles tiempo y oportunidad para seguir reaccionando al tomar contacto con nuevas burbujas de aire y así otras partículas pueden pasar al concentrado.

### **3.1.2 REACTIVOS UTILIZADOS EN FLOTACIÓN**

Los reactivos de flotación son sustancias que promueven, intensifican y modifican las condiciones óptimas del mecanismo físico-químico del proceso.

Pueden clasificarse en:

## **Colectores**

Son sustancias orgánicas que se adsorben en la superficie del mineral, confiriéndole características de repelencia al agua (hidrofobicidad).

## **Espumantes**

Son agentes tensoactivos que se adicionan para:

- ✓ Estabilizar la espuma.
- ✓ Disminuir la tensión superficial del agua.
- ✓ Mejorar la cinética de interacción burbuja – partícula.
- ✓ Disminuir el fenómeno de unión de dos o más burbujas (coalescencia).

## **Modificadores**

Los reactivos Modificadores, tales como activadores, depresores o modificadores de pH, se usan para intensificar o reducir la acción de los colectores sobre la superficie del material.

### **3.1.3 MECANISMOS DE FLOTACIÓN**

Para estudiar el mecanismo de la flotación es necesario conocer lo que sucede con la partícula de mineral y una burbuja de aire para que ellos formen una unión estable.

El proceso de flotación está basado en las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los sólidos a separar. Se trata fundamentalmente de un fenómeno de comportamiento de sólidos frente al agua, o sea, de mojabilidad de los sólidos. Los metales nativos, sulfuros de metales o especies tales como grafito, carbón bituminoso, talco y otros, son poco mojables por el agua y se llaman minerales hidrofóbicos. Por otra parte, los minerales como óxidos, sulfatos, silicatos, carbonatos y otros son hidrofílicos, es decir, mojables por el agua.

Se puede observar además que los minerales hidrofóbicos son aerofílicos, es decir, tienen gran afinidad por las burbujas de aire, mientras que los minerales hidrofílicos son aerofóbicos, o sea, no se adhieren normalmente a ellas.

En resumen, es necesario incrementar la propiedad hidrófoba en las partículas minerales de una pulpa para facilitar la flotabilidad. Esto se efectúa con los reactivos llamados colectores, que son generalmente compuestos orgánicos de carácter heteropolar, o sea, una parte de la molécula es un compuesto evidentemente apolar (hidrocarburo) y la otra es un grupo polar con las propiedades iónicas, es decir, con carga eléctrica definida.

La partícula queda cubierta por el colector que se adhiere a su superficie por medio de su parte polar, proporcionándole con la parte polar propiedades hidrofóbicas.

La adición de espumantes, permite la formación de burbujas de tamaño y calidad adecuada para el proceso. Pues bien, el contacto entre las partículas y las burbujas, requiere que las primeras estén en constante agitación, la cual es dada por el rotor de la máquina de flotación. Para realizar la unión con las burbujas son necesarios: a) su encuentro y b) condiciones favorables para formar el agregado.

El contacto partícula-burbuja se acerca hasta el punto en que la película de agua que las separa es muy fina. En este momento para que la partícula pueda acercarse más a la burbuja tiene que superar lo que se considera una barrera energética.

Para las partículas hidrofílicas, en que la asociación de la partícula con las moléculas de agua es muy firme, esta barrera nunca se supera y las partículas no flotan. Para las partículas hidrofóbicas, la barrera queda

repentinamente rota por fuerzas no bien conocidas, permitiendo un contacto trifásico (sólido-líquido-gas).

### **3.1.4 VARIABLES OPERACIONALES**

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

#### **Granulometría**

Adquiere gran importancia dado que la flotación requiere que las especies minerales útiles tengan un grado de liberación adecuado para su concentración.

#### **Tipo de Reactivos**

Los reactivos pueden clasificarse en colectores, espumantes y modificadores. La eficiencia del proceso dependerá de la selección de la mejor fórmula de reactivos.

#### **Dosis de Reactivos**

La cantidad de reactivos requerida en el proceso dependerá de las pruebas metalúrgicas preliminares y del balance económico desprendido de la evaluación de los consumos.

#### **Densidad de Pulpa**

Existe un porcentaje de sólidos óptimo para el proceso que tiene influencia en el tiempo de residencia del mineral en los circuitos.

## **Aireación**

La aireación permitirá aumentar o retardar la flotación en beneficio de la recuperación o de la ley, respectivamente. El aire es uno de los tres elementos imprescindibles en el proceso de flotación, junto con el mineral y el agua.

## **Regulación del pH**

La flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación selectiva. Cada fórmula de reactivos tiene un pH óptimo ambiente en el cual se obtendría el mejor resultado operacional.

## **Tiempo de Residencia**

El tiempo de residencia dependerá de la cinética de flotación de los minerales de la cinética de acción de reactivos, del volumen de las celdas, del porcentaje de sólidos de las pulpas en las celdas y de las cargas circulantes.

## **Calidad del Agua**

En las Plantas la disponibilidad de agua es un problema. Normalmente se utiliza el agua de recirculación de espesadores que contiene cantidades residuales de reactivos y sólidos en suspensión, con las consecuencias respectivas derivadas por este

## **Flujo de Recirculación**

Para esto se debe contar con plantas de tratamiento y de neutralización dependiendo del uso que se le quiera dar.

#### 4.0 FLOTACIÓN DE MOLIBDENITA

La Molibdenita es el principal mineral del cual el Molibdeno es recuperado. Se estima que hoy en día más del 98% del Molibdeno proviene de esta fuente.

La Molibdenita está finamente diseminada en la ganga y su concentración en estas rocas es muy baja – entre 0,005% y 0,5% de Mo, eventualmente se encuentra acompañada de otros minerales, como Calcopirita, Bornita, Calcocita, pirita, bismutita, etc. Durante la flotación convencional, la Molibdenita flota junto con minerales sulfurados alcanzando leyes de Molibdeno en el concentrado final del orden de 0,4% a 1%.

La separación de la Molibdenita de todos estos minerales desde el concentrado de Cobre, es a través del proceso de flotación selectiva o diferencial, el cual está basado en la mojabilidad selectiva y adhesión de ésta a una burbuja de aire.

Para llevar a cabo esta separación, el mineral previamente es chancado y luego molido, hasta tener un grado de liberación, que fluctúa entre 40% a 70% menos 200# en molienda.

Luego, el mineral es acondicionado con soda caústica a un pH de 8,5 a 10; además, se adicionan colectores y espumantes para la flotación selectiva de especies minerales.

Básicamente, dos casos deberían ser distinguidos, cuando el Molibdeno es separado de minerales, en donde solamente éste es el componente de valor económico y cuando el Molibdeno es separado de minerales, en donde éste es el menor constituyente del mineral, como subproducto o coproducto.

En el primer caso la molienda puede ser considerablemente gruesa, típicamente entre 200µm y 300µm, ya que la Molibdenita es un mineral muy flotable debería flotar sin esfuerzo aún cuando la concentración de Molibdeno sea muy baja.

En estos casos, generalmente se usa un hidrocarburo como colector, que puede ser: el kerosene, aceite combustible o algún tipo de aceite para lámparas (derivados del petróleo), los cuales son preferidos como colectores no - polares.

Para evitar problemas asociados a la dispersión y disolución de tales hidrocarburos en la pulpa, se usa a menudo un emulsificador, que se adiciona para evitar este tipo de problemas.

El espumante usado comúnmente es el Aceite de Pino o algunos alcoholes tales como el MIBC.

La intención de llevar a cabo primero la flotación "Rougher" con un mínimo de molienda, es reducir el volumen de material y, de esta manera, el costo de la molienda, luego, el concentrado es remolido (opcional) y reflatado, cuantas veces sea necesario, hasta obtener una ley requerida y adecuada en el concentrado final (sobre 40% Mo; en esta planta lo ideal es alcanzar una concentración cercana al 50%), alcanzada por la eliminación de materiales de ganga y otras impurezas que pueden estar presentes.

Si los concentrados de Molibdenita están acompañados por algunas impurezas, tales como Cobre, Pirita y otros componentes mineralógicos, estos pueden estar sujetos a tratamientos adicionales, los cuales pueden ser llevados a cabo por flotación o medios hidrometalúrgicos.

Normalmente son aplicados medios adecuados, tal que estos componentes pueden ser descargados en las colas de la etapa "Rougher" por medio de la adición de reactivos depresantes, particularmente para el Cobre y la pirita.

Esto se puede lograr a potenciales electrocinéticos muy negativos (pH básico) en los circuitos primarios, por la adición de un poderoso reactivo depresante, generalmente se usan algunos derivados de la familia de los sulfuros como lo es el Sulfhidrato de Sodio que es el reactivo utilizado en la división.

Desorbiendo de esta forma el colector de la superficie mineral, que fue adicionado en las etapas de flotación de Cobre.

Si los materiales de ganga producen mucho fino a causa de problemas de sericitización o kaolinización, pueden ser adicionados algunos dispersantes, tales como el silicato de sodio.

Los circuitos de las plantas de Molibdeno se caracterizan por tener un gran numero de etapas de limpieza (4-6 etapas), puesto que la ley de Molibdeno desde alrededor de 0,4% se debe concentrar hasta sobre 40%.

Es frecuente la disposición de etapas de remolienda para concentrados intermedios, así como también, el uso de una configuración de etapas de limpieza en contracorriente.

## 4.1 REACTIVOS USADOS EN FLOTACIÓN DE MOLIBDENITA

Los principales reactivos utilizados en la flotación de la Molibdenita son:

### 4.1.1 COLECTORES

Son aquellos reactivos que por sus condiciones físicas y químicas, hacen que las partículas mineralizadas, se adhieran a las burbujas formadas con la ayuda del espumante. Esto se consigue recubriendo la superficie de las partículas minerales con una película microscópica de carácter hidrófobo (no ávido al agua) la que es aportada por el colector, hasta conseguir que por sobre la fuerza de atracción del sólido - líquido, prime la atracción del sólido - gas. Los siguientes son los principales colectores utilizados.

#### **Xantatos**

Son los diésteres o las sales de los monoésteres del ácido ditiocarbónico que corresponde a la fórmula (CS.OR.SR') en la que R es un radical orgánico y R' un metal (sodio, potasio, etc.) o un radical orgánico. Los xantatos se pueden producir a partir del disulfuro de carbono, y se usan como agentes de flotación en el procesado de minerales.

Los xantatos tienen coloración amarillenta, de donde se deriva su nombre: xanthous significa amarillo.

#### **Kerosene**

Composición química: Mezcla de hidrocarburos sólidos de la serie  $C_nH_{2n+2}$ . Este reactivo se utiliza en el proceso de flotación como agente colector de la Molibdenita.

Es un líquido oleoso, incoloro e inflamable. No tiene propiedades corrosivas sobre el fierro, pero sí ataca enérgicamente a los revestimientos de goma de canaletas, impulsores, rotores y deflectores de máquinas de flotación. El

kerosene que es empleado en el concentrador, tiene una densidad de 0,81gr/cc. a 20°C.

Es un material inflamable, su punto de inflamación es de 38°C y de autoignición es de 210°C, puede ser encendido por el calor, chispas o fuegos.

### **Diesel Oil**

Composición química: Hidrocarburo perteneciente a la serie  $C_nH_{2n+2}$ .

El aceite Diesel se usa en la flotación como agente colector de Molibdenita.

Es un líquido tornasolado, oleoso, inflamable. El producto que se emplea en el concentrador tiene una densidad de 0,864 gr/cc. a 15,6°C. Peso específico 0,870 gr/cc.

#### **4.1.2 ESPUMANTES**

Es un reactivo que contribuye a la formación de la espuma necesaria para la adherencia y levantamiento de las partículas. La principal función de estos reactivos, es regular la tensión superficial de los líquidos. Esto se logra impartiendo cierta dureza temporal a la película que cubre la burbuja, lo cual permite que ésta se mantenga su forma sin deshacerse por efecto de presiones de soporte, ya que una burbuja sin reactivo se rompería inmediatamente, por no existir una fuerza que regule su tensión superficial. Los siguientes son los principales espumantes utilizados.

#### **Metil Isobutil Carbinol (MIBC)**

Es usado ampliamente como espumante en la flotación de minerales sulfurados de Cobre, Molibdeno, Zinc y Plomo, en el campo de la flotación de productos de minerales no-metálicos y en la flotación de Oro y Plata.

Se utiliza también en mezcla con otros espumantes como Polipropilenglicoles, Aceite de Pino, etc. Regularmente se utiliza cuando se requiere de una espumación más persistente.

La espuma producida por el MIBC se quiebra más rápido que la obtenida con otro espumante, esta menor persistencia es ventajosa en aquellos casos en que se desea recuperar Molibdenita de minerales de Cobre, o cuando se desea obtener un manejo adecuado de los concentrados en las instalaciones en las cuales un exceso de espumación no es recomendable.

El MIBC permite un excelente control del proceso de flotación porque no tiene características colectoras, además es un producto de síntesis que asegura una gran pureza y propiedades constantes.

El MIBC es incoloro, insoluble en agua, soluble en otros solventes acuosos, no presenta propiedades corrosivas, de olor dulce y picante, tiene un peso molecular de 102 gr/mol, una densidad de 0,807-0,809 gr/cc, punto de ebullición 118°C, punto de fusión -84°C, punto de inflamación 18°C (vaso cerrado).

#### **4.1.3 MODIFICADORES DE SUPERFICIE**

##### **Acido Sulfúrico**

El ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), se utiliza en el proceso de flotación como agente modificador de pH, este ácido mineral disuelve las oxidaciones de la superficie de los sulfuros liberados por la molienda facilitando la acción del colector sobre superficies metálicas frescas y limpias.

El ácido sulfúrico concentrado puro, es un líquido oleaginoso incoloro y pesado. El ácido que emplea la planta concentradora tiene una densidad comprendida entre 1,8312 y 1,8355 gr/cc. a 20°C y con un contenido de ácido sulfúrico puro de 96% en peso.

El ácido sulfúrico concentrado es muy corrosivo, muestra una gran avidez por el agua, desprendiéndose gran cantidad de calor cuando se mezcla con ella. Composición química  $H_2SO_4$ .

### **Hidróxido de Calcio ( $Ca(OH)_2$ )**

La lechada de cal es usada ampliamente en el proceso de flotación, para regular la alcalinidad o pH de las pulpas.

Se produce cuando la Cal viva reacciona enérgicamente con el agua, produciéndose Cal apagada y con un respectivo desprendimiento de calor. El apagado de Cal produce, además de calor, aumento de volumen del sólido por efecto de la hidratación, esta cal apagada es adicionada al proceso de flotación como agente regulador de pH, este reactivo se adiciona principalmente en la molienda y en la flotación colectiva.

#### **4.1.4 DEPRESORES**

##### **Sulfhidrato de Sodio**

El Sulfhidrato de Sodio es el reactivo depresante utilizado en la planta de Molibdenita de División Andina.

##### **Propiedades Físicas y Químicas**

- ✓ Estado : Líquido: solución al 41%
- ✓ Peso Molecular : 56,1
- ✓ Peso Específico ( $H_2O = 1$ ) : 1,28
- ✓ Punto de Ebullición : Altamente soluble
- ✓ Apariencia y olor : Líquido de color desde ámbar a rojo, oscuro ligero olor huevos podridos.

El Sulfhidrato de Sodio (NaSH) es considerado un material reactivo altamente crítico tanto en su manipulación, preparación como en el alto riesgo de concentración de efluente. Preparado a una dilución de 252 gr/l, se utiliza en la planta de flotación selectiva como depresante de los Sulfuros Cobre, con un consumo de 4 a 5 Kg. de NaSH 100% por tonelada métricas secas (TMS) de concentrado colectivo Cu-Mo.

En cuanto a la concentración de iones sulfhidrato en solución, se sabe que ésta se ve afectada por la presencia de oxígeno ya que se produce una oxidación de este. Para evitar esto es que en la planta se utilizan celdas selladas o gases inertes.

Mientras mayor sea su concentración, presenta mayor peligro en su manipulación; para NaSH "puro" de 320 a 550 (gr/l) como el que se recibe en nuestra planta, se debe emplear las mismas precauciones que se aplican a las soluciones de ácido concentrado.

La solución de NaSH es de alta toxicidad, en contacto con la piel, ésta debe lavarse inmediatamente con gran cantidad de agua. La inhalación de neblina causa irritación de las vías respiratorias.

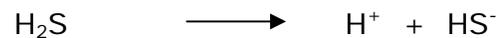
Las soluciones de Sulfhidrato de Sodio liberan ácido Sulfhídrico gaseoso ( $H_2S$ ) a las temperaturas normales de almacenamiento, la velocidad de generación de  $H_2S$  aumenta con la temperatura, en contacto con ácidos libera gran cantidad de  $H_2S$ . El gas  $H_2S$  es potencialmente letal.

El  $H_2S$  es altamente tóxico en bajas concentraciones y el vapor límite en aire es 10 ppm, aunque el gas tiene un olor característico a huevo podrido, se recomienda el uso de instrumentos para su detección ya que inhibe el sentido del olfato. Las soluciones de NaSH no son inflamables, sin embargo, el  $H_2S$  liberado arde fácilmente y tiene un rango de explosividad entre 4,3 y 4,6% en aire.

Como depresante para sulfuros de Cobre y Hierro, el Sulfhidrato de Sodio presenta ventajas frente a otros similares como por ejemplo el reactivo de Nokes, debido a su baja toxicidad, relativa, facilidad de manejo y preparación (especialmente cuando viene en solución). Básicamente el Sulfhidrato de Sodio no es otra cosa que ácido Sulfídrico gaseoso absorbido en una solución de hidróxido de Sodio.



Al estar este en solución se hidroliza y el H<sub>2</sub>S formado se disocia enseguida según las ecuaciones:



Siendo sus constantes de disociación:

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+] * [\text{HS}^-]}{[\text{H}_2\text{S}]} = 10^{-7}$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+] * [\text{S}^{=}]}{[\text{HS}^-]} = 2 * 10^{-15} \text{ , a } 20^\circ\text{C}$$

Se debe mencionar que diferentes autores han encontrado distintos valores para las constantes K1 y K2 variando estos valores entre 10<sup>-12</sup> y 10<sup>-7</sup>.

Para pH ácidos la especie predominante en solución es el Ácido Sulfhídrico, como es lógico suponer, y para pH alcalinos como el usado en la planta de Molibdenita, es decir, entre 9 y 13 la especie predominante en solución es el ión Sulfhidrato HS<sup>-</sup>, la concentración del ión S<sup>=</sup> se hará significativa solo para pH superiores a 13. a continuación se presenta la figura 4.1 un gráfico con el comportamiento de H<sub>2</sub>S a diferentes pH.

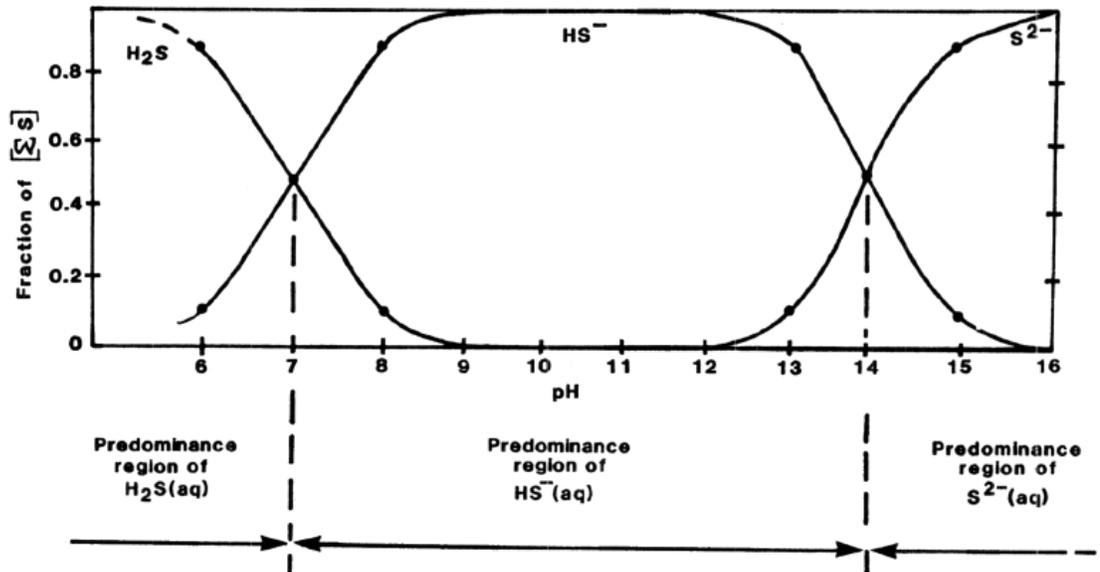


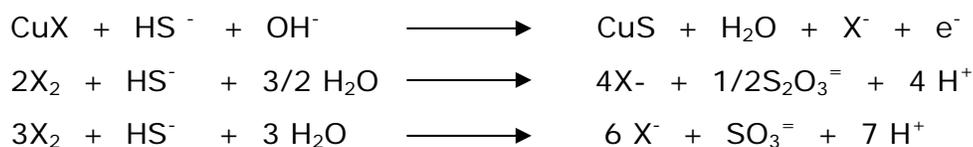
Figura 4.1 Diagrama de disociación del H<sub>2</sub>S a diferentes pH

#### 4.2 MECANISMO DE ACCION DEL NaSH

Es sabido que la depresión de los sulfuros de Cobre con reactivos sulfurosos, depende fundamentalmente de la concentración de iones HS<sup>-</sup> en la solución, ya que ellos son los responsables directos de la desorción del Xantato desde la superficie del mineral Sulfurado.

Los Xantatos se adsorben en la superficie de los sulfuros de Cobre a la forma de Xantato cuproso quimisorbido y dixantógeno adsorbido físicamente.

La desorción del Xantato desde la superficie del mineral hacia el seno de la solución se produciría principalmente desde la sal cuprosa CuX, por desplazamiento químico para formar sulfuro de Cobre que es más estable, y en menor grado por la reducción del dixantógeno X<sub>2</sub>, luego las reacciones que rigen el fenómeno son las siguientes:



Existen evidencias experimentales sobre la validez de la primera ecuación, en cambio de las dos últimas sólo se sabe de su posibilidad termodinámica, desconociéndose su cinética.

Cabe señalar, que la acción depresora de estos reactivos no solo depende de su dosis inicial, sino mas bien de la concentración residual del ion  $\text{HS}^-$  en el momento de la flotación, la cual va disminuyendo a medida que avanza la flotación, debido a la oxidación de éste producida por el oxígeno disuelto en el sistema proveniente del aire suministrado al proceso. Es conveniente mantener esta concentración, debido al carácter reversible de las reacciones principales. Luego, la cantidad de iones necesaria para mantener depresados los sulfuros de Cobre, es aquella ocupada en la desorción del Xantato y desactivación de los sulfuros, mas una cantidad que garantice la existencia del medio reductor necesario, considerando el consumo por oxidación.

### 4.3 OXIDACIÓN DEL ION $\text{HS}^-$

La depresión o reactivación de los sulfuros de Cobre, depende directamente de la velocidad de desaparición de los iones  $\text{HS}^-$ , es por esto la importancia de conocer las formas de consumo de estos iones.

De acuerdo al punto anterior, los iones  $\text{HS}^-$  se consumirían en el proceso de quimisorción donde se fijan a la superficie del mineral mediante enlace covalente formando el sulfuro metálico, y en la reducción del dixantógeno formando los iones sulfito y tiosulfato, sin embargo, este consumo es poco significativo frente a la oxidación que sufren los iones  $\text{HS}^-$  debido al

oxígeno disuelto en el sistema, producto del aire que se inyecta para generar las burbujas en el proceso de flotación.

La importancia de dicha oxidación se debe a que esta es catalizada en la superficie de las especies mineralógicas, siendo aquí su velocidad mucho mayor que en el seno de la solución.

## 5.0 PLANTA DE MOLIBDENITA

La Planta de Molibdenita tiene como finalidad producir la separación de los minerales de Cobre de los minerales de Molibdeno. Para ello, se emplea un proceso de flotación diferencial mediante el cual se provoca artificialmente un efecto de depresión sobre los minerales de Cobre y una flotación de los minerales de Molibdeno. De esta forma se produce la separación de la Molibdenita, a través de la espuma.

La depresión del mineral de Cobre, se logra mediante el reactivo químico sulfhidrato de sodio.

El concentrado de Cobre y Molibdeno es alimentado a un estanque acondicionador de pH, luego pasa a otro estanque acondicionador donde se agrega el reactivo depresor. Luego del acondicionamiento, estos concentrados pasan a las celdas de flotación donde se produce la separación.

Los productos de esta separación pasan por sucesivas etapas de flotación en contracorriente donde se va aumentando en forma paulatina la concentración Molibdeno y va disminuyendo la concentración de Cobre.

El proceso en todas las celdas transcurre en forma similar hasta alcanzarse finalmente un concentrado de Molibdenita con ley de 45% a 50 % de Molibdeno y 3% a 5% de Cobre, estos son los valores de diseño, sin embargo, lo común es encontrarse con concentrados de Molibdeno cercanos a un 50%, pero con un 4 % de Cobre,.

### 5.1 DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA DE MOLIBDENITA

A continuación se presenta la Figura 5.1 donde se indican los puntos de adición de NaSH en la planta.

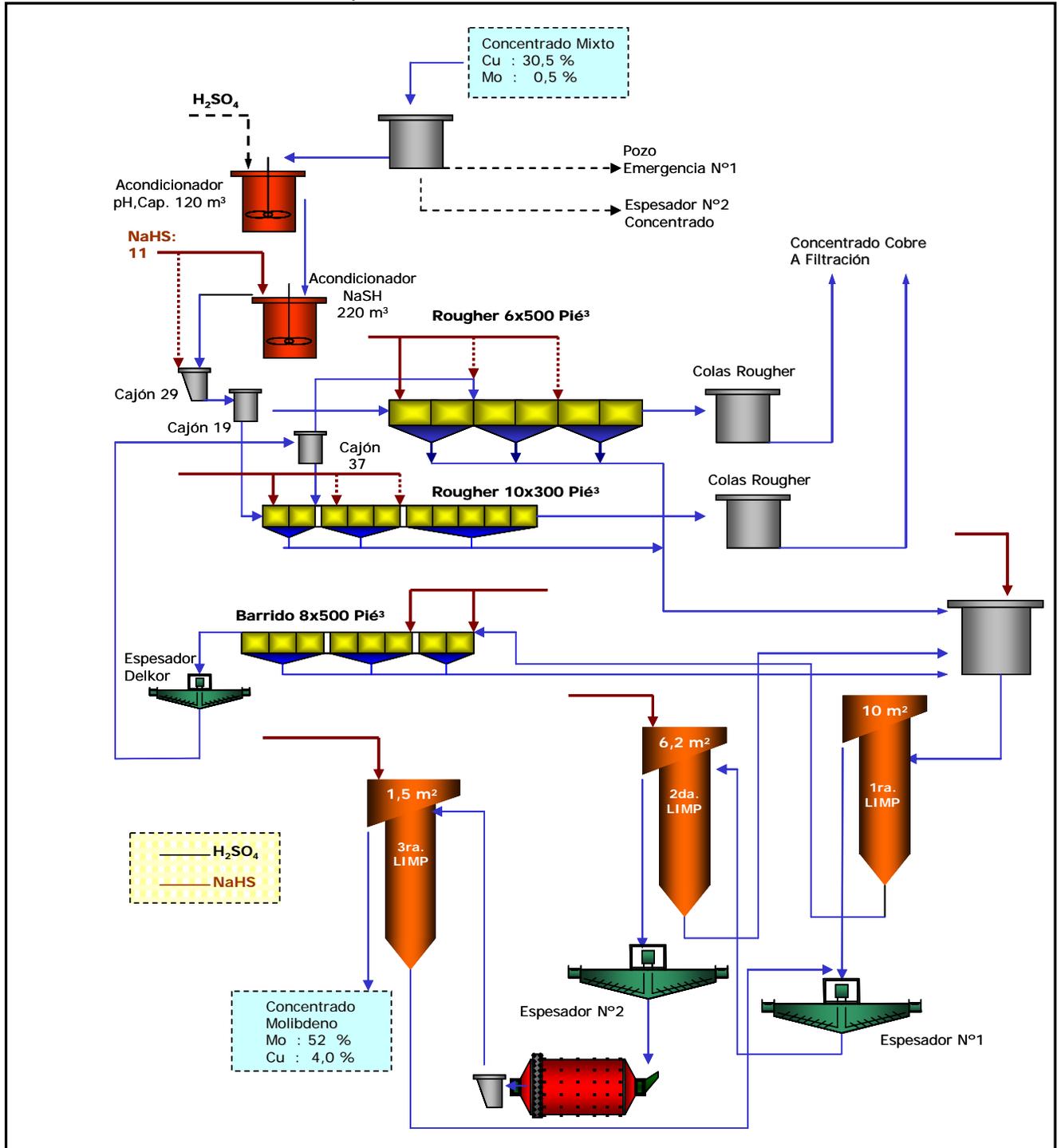


Figura 5.1 Diagrama de Flujo Planta de Molibdenita

## 5.2 BALANCE DE FINOS

En la siguiente Tabla 5.1 se presenta el balance de finos de Cobre y Molibdeno proyectado para la planta de flotación selectiva, para un Tratamiento nominal de 72.000 toneladas por día (t/d).

**Tabla 5.1 Balance de Finos para 72.000 T/D**

### BALANCE DE FINOS FLOTACIÓN COLECTIVA

Tonelaje diario **72000** TPD  
Tiempo de utilización **96** %

ETAPA	ALIMENTACIÓN			CONCENTRADO			RELAVE			RECUP. (%)
	Ton (tph)	Ley Cu (%)	Fino (tph)	Ton (tph)	Ley Cu (%)	Fino (tph)	Ton (tph)	Ley Cu (%)	Fino (tph)	
Global (Cobre)	3125,0	<b>0,95</b>	29,81	89,4	<b>30,00</b>	26,83	3035,6	0,10	2,98	<b>90,00</b>
Global (Moly)		<b>0,025</b>	0,781		<b>0,604</b>	0,547		0,008	0,234	<b>70,00</b>

### FLOTACIÓN SELECTIVA

Tonelaje diario **2061** TPD  
Tiempo de utilización **96** %

ETAPA	ALIMENTACIÓN			CONCENTRADO			RELAVE			% RECUP. Mo / Cu
	Ton (tph)	Ley % Mo % Cu	Fino Mo TMF Cu	Ton (tph)	Ley % Mo % Cu	Fino Mo TMF Cu	Ton (tph)	Ley % Mo % Cu	Fino Mo TMF Cu	
Global	89,4	<b>0,604</b>	0,54	0,92	<b>50,00</b>	0,46	88,5	0,09	0,08	<b>85,00</b>
		<b>30,00</b>	26,83		<b>4,00</b>	0,04		30,27	26,79	<b>99,86</b>
Primaria	127,0	1,28	1,62	38,5	<b>4,00</b>	1,54	88,5	0,09	0,08	<b>95,00</b>
		<b>27,16</b>	34,49		<b>20,00</b>	7,70		30,27	26,79	<b>77,68</b>
Primera limpieza	54,5	10,22	5,58	17,0	<b>23,00</b>	3,90	37,6	4,45	1,67	<b>70,00</b>
			10,72		<b>18,00</b>	3,05		20,39	7,66	<b>71,50</b>
Segunda limpieza	21,4	26,83	5,74	5,3	<b>43,00</b>	2,30	16,1	21,46	3,44	<b>40,00</b>
		<b>3,28</b>	3,28		<b>5,00</b>	0,27			3,02	<b>91,87</b>
Tercera Limpiza	5,3	43,00	2,30	0,9	50,00	0,46	4,4	41,55	1,84	<b>20,00</b>
		<b>5,00</b>	0,27		<b>4,00</b>	0,04		5,21	0,23	<b>86,24</b>

### 5.3 EQUIPOS DEL PROCESO DE FLOTACIÓN SELECTIVA

A continuación se presentan los principales parámetros de diseño y equipos existentes en la planta.

Item	Unidades	Valor
Tratamiento de Diseño	ts/d	3.125
Ley Cabeza	% Mo	0.3 - 0,7
Recuperación Global Planta	% Mo	90 diseño

#### 5.3.1 FLOTACIÓN PRIMARIA

Item	Unidades	Valor
Tipo De Celdas		Wemco, selladas, recirculación de aire
Nº Celdas de 300 pie <sup>3</sup>	Unidades	10 celdas
Nº Celdas de 500 pie <sup>3</sup>	Unidades	6 celdas
Motor Celdas 300 pie <sup>3</sup>	HP	40
Motor Celdas 500 pie <sup>3</sup>	HP	50
Agitador Celdas 300 pie <sup>3</sup>	rpm	975
Agitador Celdas 500 pie <sup>3</sup>	rpm	990
Gas Utilizado		Aire enrarecido (bajo O <sub>2</sub> ), de recirculación
Presión De Gas	(mm Hg	Sin información, )
Celdas Selladas		Si, Para evitar oxidación del NaSH
Tapones Automáticos		Si, con aire para cerrar
Analizadores en Línea		Si, instalado (XRA-1600)
Control De Interfase		Si, tubo burbujeador de aire, control Wemco
pH Alimentación		11,5 a 12,2

Item	Unidades	Valor
Tipo De Celdas		Wemco, selladas, recirculación de aire
Sólidos de descarga Espesador de concentrado	%	45 a 50
% Sólidos Alimentación	%	30 a 40
Ley Media Mo Alimentación	%	0,3 a 0,7
Ley Media Mo Concentrado	%	50
Ley Media Mo Cola	%	0,2 a 0,05%
Ley Media Cu Alimentación	%	31
Ley Media Cu Concentrado	%	4
Ley Media Cu Cola	%	31
Reactivo Depresor De Cu		Sulfhidrato de sodio

### 5.3.2 FLOTACIÓN SCAVENGER

Item	Unidades	Valor
Tipo de Celdas		Wemco, selladas, recirculación de aire
Nº Celdas de 500 pie <sup>3</sup>	Unidades	6 celdas
Motor Celdas 500 pie <sup>3</sup>	HP	50
Agitador Celdas 500 pie <sup>3</sup>	rpm	990
Gas Utilizado		Aire enrarecido (bajo O <sub>2</sub> ), de recirculación
Presión de Gas	mm Hg	Sin información, )
Celdas Selladas		Si, Para evitar oxidación del NaSH
Tapones Automáticos		Si, con aire para cerrar
Analizadores en Línea		No
pH Alimentación		11-12

### 5.3.3 FLOTACIÓN PRIMERA LIMPIEZA

Item	Unidades	Valor
Altura	m	13
Sección	m <sup>2</sup>	10, Sección Rectangular
Tipo y N° Burbujeadores	Unidades	20 inyectores de un orificio
N° Baffles	Unidades	2
Presión Aire en Burbujeadores	PSI	60 a 70
Caudal Aire	scfm	250 a 280
Caudal Agua de Lavado		No Usa
Tapones Automáticos		Si, con aire para cerrar

### 5.3.4 FLOTACIÓN SEGUNDA LIMPIEZA

Item	Unidades	Valor
Altura	m	13
Sección	m <sup>2</sup>	6,2 Sección Circular
Tipo y N° Burbujeadores	Unidades	8 inyectores de un orificio
N° Baffles	Unidades	2 tubos de alimentación
Presión Aire en Burbujeadores	PSI	70 a 80
Caudal Aire	scfm	250 a 280
Caudal Agua de Lavado	(l/min)	16 a 25
Tapones Automáticos		Si, con aire para cerrar

### 5.3.5 FLOTACIÓN TERCERA LIMPIEZA

Item	Unidades	Valor
Altura	m	12,5
Sección	m <sup>2</sup>	1,5 Sección Circular
Tipo y N° Burbujeadores	Unidades	4 lanzas con inserto vidrio
Presión Aire en Burbujeadores	PSI	40 a 50
Caudal Aire	m <sup>3</sup> /h	40 a 50

Item	Unidades	Valor
Altura	m	12,5
Caudal Agua de Lavado	(l/min)	30 a 40
Tapones Automáticos		Si, con aire para cerrar

### 5.3.6 ESPESAMIENTO INTERMEDIO

Item	Unidades	Valor
Espesador N° 1		
Corriente de Entrada		cola barrido
Sólidos alimentación	%	20 a 25
Diámetro Espesador	pies	15
Sólidos de Descarga	%	40
Espesador N° 2		
Corriente de Entrada		alimentación columna 2
Diámetro Espesador	pies	16
Potencia Motor	HP	1,5
Sólidos de Descarga	%	30
Espesador N° 3		
Corriente de Entrada		alimentación columna 3
Diámetro Espesador	pies	16
Potencia Motor	HP	1,5
Sólidos de Descarga	%	25

## 6.0 ANALIZADOR DE LEYES XRA –1600

En este capítulo veremos en detalle la funcionabilidad, calibración y puesta en operación del Analizador de Leyes en la planta de Flotación Selectiva.

### 6.1 INTRODUCCIÓN

Este equipo es de gran importancia para la planta ya que este equipo nos permite obtener leyes en línea durante la operación, lo cual permitirá tomar una acción preventiva y correctiva, también podremos estimar la recuperación global de Molibdeno en el proceso de flotación.

El Analizador de Leyes XRA – 1600 es un equipo de análisis de múltiples elementos (hasta 5 elementos), además del porcentaje de sólidos, Sin embargo, en la planta el equipo se programó para que analice solo tres elementos mas el porcentaje de sólidos, los elementos son: Cobre, Fierro, Molibdeno.

Se definieron tres corrientes principales a analizar, estas son:

**Alimentación** : Esta es la corriente de alimentación a la flotación Rougher, está compuesta por el concentrado colectivo proveniente de la planta concentradora mas el reciclo de la cola de la flotación de barrido.

**Concentrado** : Esta corriente corresponde al concentrado de la columna tres. Se debe señalar que esta columna es la última del circuito de limpieza y que finalmente pasa a la etapa de filtrado y secado.

**Cola** : Esta corriente corresponde a la cola de la flotación Rougher y corresponde al concentrado final de Cobre, este concentrado pasa a la etapa de desulfhidratación y posteriormente a la etapa filtrado y secado.

Estas tres corrientes son analizadas por el equipo en forma cíclica y continua, es decir, primero se analizará la corriente correspondiente a la alimentación, luego la correspondiente al concentrado y finalmente la cola, luego se volverá a repetir el ciclo y así en forma continua.

De esta manera tendremos en forma continua las leyes de Cobre, Fierro y Molibdeno y el porcentaje de sólidos de cada una de las corrientes antes mencionadas lo que nos permitirá calcular la recuperación de Molibdeno que se esta obteniendo en el proceso, este valor se obtendrá cíclicamente, es decir, una vez analizadas las tres corrientes.

El cálculo se realizará utilizando la siguiente formula:

$$\% \text{ Rec} = \frac{c * (f - t) * 100}{f * (c - t)}$$

**c:** Concentración de Molibdeno en la corriente de concentrado final.

**f:** Concentración de Molibdeno en la corriente de alimentación.

**t:** Concentración de Molibdeno en la corriente de la cola.

Se debe señalar que en esta fórmula solo participan leyes y no flujos por lo que es de suma importancia que el equipo entregue valores lo mas reales y exactos posible.

Luego de estudiar el comportamiento de las leyes en cada una de las corrientes podemos observar la importancia del valor de la ley de Molibdeno en la cola, ya que en el fondo este valor nos está indicando las pérdidas de Molibdeno, además al ser este un valor pequeño el error puede ser mas significativo.

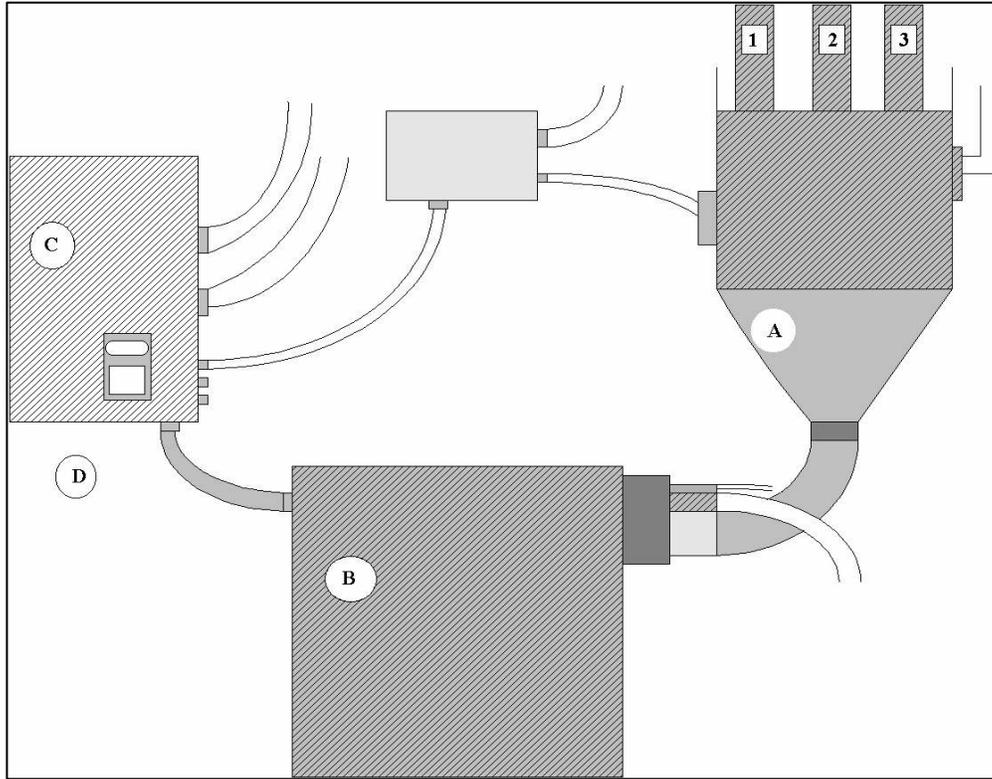
Otro valor importante es el de la ley de Cobre en el concentrado final de Molibdeno, ya que en este caso el Cobre es un contaminante, por esto este concentrado es el que pasa a la etapa de descobrización, donde el Cobre contenido en el concentrado de Molibdeno se lixivia a través del proceso LR.

En esta etapa se lixivia gran parte del Cobre presente en el concentrado de Molibdeno, el agente lixivante es el Cloruro Férrico y se agrega de acuerdo a la ley de Cobre que presenta el concentrado., por lo tanto, es importante contar con un valor real, ya que un exceso o un déficit de este reactivo puede ocasionar importantes pérdidas y problemas en etapas posteriores.

### **6.1.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO**

Para poner en marcha este equipo fue necesario realizar diversas instalaciones, también se debió adaptar el equipo a las necesidades de la planta. Para realizar la calibración del analizador de leyes lo primero fue poner en operación el equipo ya que al momento de comenzar con el estudio el analizador de leyes no se encontraba operando. Una vez que el equipo fue puesto en marcha se comprobó el error de los datos que entregaba en ese momento para así tener una referencia para comenzar a calibrar el analizador de leyes.

La figura 6.1 presenta un esquema con los principales componentes del analizador de leyes.



**Figura 6.1**

Como se puede apreciar para dar una mejor descripción de los componentes del equipo, demarcamos con letras las partes mas importantes que se describen a continuación.

#### **A: Buzón receptor de pulpa**

Este buzón es el encargado de recibir la descarga de las corrientes de (1) Alimentación, (2) Concentrado y (3) Cola y a su vez tomar la muestra que será analizada, además, cuenta con un sistema de lavado automático que opera una vez que termina la descarga de cada corriente y una descarga de rebalse en caso de que el flujo de alguna corriente sobrepase el máximo estipulado.

Luego de la etapa de lavado el buzón está listo para recibir la descarga de la siguiente corriente y de esta manera operará continuamente.

Es importante señalar que las mangueras de descargas cuentan con un sistema cortador de muestra que permite obtener muestras representativas.

## **B: Analizador de muestra**

Esta sección es el núcleo del Analizador de Leyes, ya que en este lugar es en donde se produce el análisis de los elementos.

Esta sección está conformada principalmente por:

**El detector de la energía Dispersa (EDX)**, que permite la detección continua de toda la energía de los rayos X y los nivela dentro de un rango preestablecido.

**El Tubo generador de los rayos X**, que genera un espectro ancho de energía de excitación, para excitar todos los elementos dentro del rango del instrumento.

**El multi-canal**, que procesa la señal en módulos electrónicos y tiene un software que permite analizar hasta cinco elementos y el porcentaje de sólidos simultáneamente de cada corriente.

**Dada la alta eficiencia del EDX**, se puede usar una fuente de excitación de poder muy baja y los suministros de poder son menos costosos. La capacidad de rendimiento del tubo puede ajustarse para perfeccionar los datos, dependiendo de las características de la densidad de la pulpa, sin manipular excesivamente la electrónica del proceso.

Una ventaja importante del sistema de EDX, es que se pueden analizar otros elementos sin incurrir en un gasto adicional, otros sistemas exigen la compra e instalación de detectores adicionales (uno por cada elemento).

La alineación de estos detectores es muy crítica y típicamente debe ser instalada por el vendedor ó personal de mantenimiento calificado.

La combinación del EDX y el rayo X de bajo poder permite el uso de un método más simple de calibración y corrección. Esto también permite la entrega de datos en un minuto.

Los XRA-1600 usan un isótopo de Germanio Intrínseco (IG), la ventaja del IG es que pueden tener cambios de temperatura repetidamente sin pérdida de resolución. Los sistemas que usan isótopos requieren cuidadosa selección de los niveles de actividad, para que logre identificar los resultados. Si el isótopo tiene una corta vida media requiere de un reemplazo frecuente o si sufre pérdida de exactitud a lo largo del tiempo.

Dada la alta resolución que deben tener estos analizadores es que deben mantenerse en un ambiente muy fresco ya que un aumento muy grande de temperatura podría quemar el tubo EDX.

Por este motivo se cuenta con una cámara que cubre al tubo y que permanece cubierta con Nitrógeno líquido, la que a su vez cuenta con un medidor de nivel, el que al indicar vacío, detiene automáticamente al tubo. Una vez analizada la muestra esta se recicla a la etapa correspondiente.



En esta foto se aprecia básicamente la sección B y C del esquema que corresponden al analizador y al sistema procesador de información.

En la parte superior izquierda de la foto se puede apreciar el HHT.

También se pueden apreciar las mangueras de alimentación al analizador y las de descarga de pulpas ya analizadas.

**Figura 6.2**  
**Analizador de Leyes XRA – 1600**

### **C: Sistema procesador de información**

En este lugar se encuentra el sistema de control y las principales tarjetas en donde está programado el funcionamiento instrumental y mecánico del equipo, aquí se reciben y procesan las señales emitidas por el analizador, estas son transportadas por sondas que tienen la particularidad de ser independientes para cada elemento a analizar. Desde este lugar la señal recibida es transformada en un valor, que a través de unas sondas es enviado a la CAS 9600 estación central de información y que luego detallaremos.

## **D: HHT Control manual**

Este instrumento, es de gran importancia ya que a través de este, se manipula el equipo para realizar todas las operaciones necesarias para calibrar el equipo y para tomar muestras, también desde este instrumento se enciende y se apaga el tubo de alto voltaje.

Una importante ventaja de este control es que se le pueden ingresar parámetros de operación como el periodo en que se debe reemplazar la ventana, elementos a analizar, etc.

También las constantes para su calibración aunque estas se ingresan preferentemente desde la CAS 9600. (La secuencia a seguir para manipular este instrumento se anexará mas adelante).

## **CAS 9600**

Este módulo básicamente es una central de que almacena la información entregada por el analizador, al contrario de cualquier otro analizador de leyes en el XRA 1600 las estaciones centrales no participan en el cálculo de las leyes. La ventaja de esto es la utilización más eficaz de la estación central como una interfase del operador centralmente localizada y como estación de presentación de datos para una planta

Dentro de la información que entrega esta central se destaca:

- Porcentaje de sólidos de las corrientes de alimentación, concentrado final de Molibdeno y cola.
- Leyes de Cobre, Fierro y Molibdeno en las corrientes de alimentación, concentrado final de Molibdeno y cola.
- Nivel de Nitrógeno líquido.

- Hora actual y del último análisis de cada corriente.
- Resúmenes y promedios de las leyes por turnos.
- Registros históricos por turnos, diarios, semanal, mensual y total.
- Base de datos para realizar la calibración.
- Curvas y constantes de calibración.

El software de la estación central se programa en C, los programas y datos se almacenan en un disco duro de 70 megabytes, también cuenta con una unidad de almacenamiento portátil de datos.

El programa de la estación central y todas las funciones se seleccionan de un menú desplegado en la pantalla. No se necesita conocimiento específico del software para operar el sistema.

La estación central CAS-9600 puede recibir información de muestras de una hasta 6 corrientes. Puede representar la información recibida de las sondas en forma numérica o gráfica.

La calibración de cada sonda se hace a través del uso de la estación central como también del HHT (Control manual).

Todos los datos requeridos para la calibración se almacenan en esta estación, también el software interactivo que permite la calibración del equipo.

## 6.2 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

La calibración del equipo consiste principalmente en corregir las constantes de las ecuaciones que calculan el valor de las leyes de los elementos y porcentaje de sólidos de cada corriente. Para esto, se necesitan valores de leyes actuales, estos valores son obtenidos por muestreos de las diferentes corrientes, al momento de tomar la muestra el equipo la identificará con un número correlativo, además entregará el valor de las leyes de cada elemento y del porcentaje de sólidos, luego la muestra se prepara y se envía al laboratorio químico para su respectivo análisis, posteriormente el laboratorio químico envía el resultado del muestreo.

Para calcular el porcentaje de sólidos se pesa la bandeja de muestreo con la pulpa húmeda, se anota el valor y se le resta el valor de la tara (peso de la bandeja), luego es llevada a un horno secador y nuevamente la muestra seca es pesada y a este valor se le resta el peso de la tara. Finalmente, se divide el peso seco por el húmedo y se multiplica por cien:

$$\% \text{ de Sólidos} = \frac{\text{Peso Muestra Seca} * 100\%}{\text{Peso Muestra Húmeda}}$$

Una vez que tenemos el valor real de las leyes y del porcentaje de sólidos debemos ingresarlos al sistema, posteriormente estos datos por medio de un programa son correlacionados y ajustados linealmente.

El resultado de este ajuste son unas nuevas constantes las que deben reemplazar a las antiguas y así sucesivamente hasta que la diferencia entre los valores de las leyes que reporta el equipo en los muestreos con las leyes que nos reporta el laboratorio químico sea mínima, es decir, el error sea mínimo, luego se repite el procedimiento para el porcentaje de sólidos.

Para favorecer el trabajo la central cuenta con una pantalla que grafica este error y es de gran ayuda ya que nos permite observar como varía el error en el tiempo.

Se debe señalar que hubo leyes que se calibraron antes que otras, por ejemplo en la corriente de alimentación la ley de Molibdeno durante los primeros muestreos, el error, entre los valores de las leyes del equipo y el laboratorio químico fue mínimo, sin embargo, en la corriente de la cola producto de la baja cantidad de Molibdeno presente en esta corriente el error fue mayor, por este motivo se necesitó una cantidad de muestreos considerable.

### **6.3 MUESTREOS**

El muestreo se realiza en el mismo analizador de leyes, a través de una manguera especialmente destinada para la toma de la muestra. Para ello se utilizan unas bandejas de muestreo, las cuales son proporcionadas por el laboratorio metalúrgico, estas bandejas se encuentran numeradas y taradas, luego se registran para poder identificar la corriente a la cual corresponde cada una.

El número de muestras es arbitrario y depende de la persona que realice el muestreo, sin embargo, para llevar un orden y para que las condiciones de muestreo fueran lo mas semejante posible, se decidió tomar una muestra por cada corriente, cada una hora y seis veces al día. Este procedimiento estaba sujeto a cualquier modificación. Los días de muestreos los designa la persona que toma la muestra, aleatoriamente siempre y cuando la planta se encuentre operando en régimen.

Para tomar la muestra es necesario interrumpir el normal funcionamiento del analizador de leyes, esto se realiza a través del control manual HHT,

que se encuentra junto al equipo. Para tomar la muestra se debe seguir una secuencia preestablecida por el proveedor del equipo.

### 6.3.1 SECUENCIA DE MUESTREO

1. Presionar Stby. (En este momento se interrumpe el normal funcionamiento pasando de operar en automático a manual)
2. Aparece Calibration. (Se presiona OK)
3. Aparece OK.
4. Presionar  $\longrightarrow$  (avanza)
5. Aparece # STREAM ON (Corriente a la que se le tomará la muestra esta puede ser Alimentación Concentrado o Cola)
6. Se detiene el flujo presionando OK.
7. Aparece # STREAM OFF ( Flujo de muestra detenido )
8. Presionar  $\longleftarrow$  (Retrocede)
9. Aparece FLUSH WATER OFF
10. Presionar OK para accionar el lavado.
11. Aparece FLUSH WATER ON (Se acciona el lavado)
12. Cuando salga agua totalmente clara se ha completado el lavado.
13. Presionar OK aparece FLUSH WATER OFF (Se detiene el lavado).
14. Presionar  $\longrightarrow$  (Avanza) hasta # / STREAM OFF
15. Presionar OK y habilita flujo de muestra (# / STREAM ON)
16. Presionar avanzar  $\longrightarrow$
17. Aparece WHEN READY OK (listo para toma de muestra)
18. Presionar OK y aparece COLLECT SAMPLE (se toma la muestra)
19. Cuando aparece ENTER SAMPLE ID (Ingresar numero correlativo de identificación, cuando el laboratorio químico nos entregue los resultados del análisis a las muestras estos valores se ingresaran a la CAS 9600 de acuerdo al número de identificación)
20. Presionar OK.
21. Aparece WHEN READY OK.
22. Retroceder presionando  $\longleftarrow$  aparece # / STREAM ON.

23. Presionar OK y corta el flujo de muestra (# / STREAM OFF)
24. Retroceder ← hasta lavado (FLUSH WATER OFF)
25. Presionar OK y habilita lavado (FLUSH WATER ON)
26. # indica la corriente que el equipo analizará.

Si desea cambiar el flujo debe presionar INC o DEC para subir o bajar respectivamente.

Una vez finalizada el muestreo se presiona EXIT para dejar operando el equipo en modo automático nuevamente.

Una vez que se ha tomado la muestra esta se registra y se pesa, luego es llevada al horno secador que se encuentra en la sala de muestra de la planta. Este ciclo se debe repetir cada vez que se desee tomar una muestra teniendo especial cuidado con el número de registro.

### **6.3.2 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

Una vez seca la muestra, esta se vuelve a pesar para así calcular el porcentaje de sólidos de la manera que se señaló anteriormente.

Luego, la muestra se disgrega bajo malla cien, y por método de roleo y cuarteo se toma una muestra representativa de aproximadamente cien gramos, luego se identifica, se registra y se envía al laboratorio químico para su análisis.

Cada muestreo que se realice debe quedar registrado en el libro de test, para llevar un mejor control se diseñó una planilla donde anotamos los resultados y las novedades que pudiesen ocurrir el día del muestreo.

A continuación, modo de ejemplo en la Tabla 6.1 se muestra el test # 279 que corresponde al tercer muestreo que se realizó.

**Tabla 6.1 Test de Medición y Control de Leyes**

Test	: # 279
Muestreo	: N° 3

N°	Id.	Corriente	N° Bandeja	Tara	% Cu	% Mo	% Fe	Peso Hum. gr	Peso Seco. gr	% Sólidos
1	1165	Concentrado	32 - 1117	1117	4,7	48,1	4,2	223,6	33,3	14,9
	2473	Alimentación	150 - 1157	1157	30,9	0,42	27,7	1057	557,3	52,7
	3197	Cola	99 - 1153	1153	30,7	0,27	27,7	970,8	473,1	48,7
2	1166	Concentrado	53 - 1129	1129	4,8	46,5	3,5	754,7	152,5	20,2
	2474	Alimentación	102 - 943	943	29,1	0,69	26,9	1200,2	641,2	53,4
	3198	Cola	35 - 1102	1102	30,6	0,09	28,3	883,3	411,1	46,5
3	1167	Concentrado	50 - 1132	1132	5,4	45,6	3,85	1014,9	214	21,1
	2475	Alimentación	9 - 954	954	31,1	0,44	27,7	1313,5	688,9	52,4
	3199	Cola	20 - 1169	1169	30,3	0,06	28	1484,5	670,8	45,2
4	1168	Concentrado	50 - 1130	1130	5,4	46,7	4,3	1001,3	216,9	21,7
	2476	Alimentación	85 - 964	964	30,4	0,48	27,4	1236,2	654,7	53,0
	3200	Cola	230 - 1138	1138	30,9	0,06	28,1	1113,3	497	44,6
5	1169	Concentrado	90 - 1100	1100	5,5	44,7	4,0	1004,6	227,4	22,6
	2477	Alimentación	74 - 1139	1139	31,6	0,35	27,8	1253,6	585,3	46,7
	3201	Cola	06 - 1149	1149	29,8	0,07	28,2	1538,2	687	44,7

### 6.3.3 OBSERVACIONES

Las siguientes son algunas típicas observaciones que se registran al momento de realizar el muestreo:

- La Manguera de descarga de la alimentación se encuentra rota y cae parte de la muestra fuera del equipo.
- Se rompió un diafragma que impedía el flujo de concentrado, fue reparado por los instrumentistas.
- Se interrumpió el muestreo dado a las fallas producidas en la columna de descarga de concentrado de Molibdeno.

La Tabla 6.1 está compuesta por 11 columnas las que describiremos de izquierda a derecha.

1. La primera es para enumerar el muestreo.
2. N° de identificación, el cual sirve luego para ingresar el valor en la central CAS- 9600.
3. Corriente a la cual pertenece la muestra.
4. Corresponde a la identificación de la bandeja. el primer número corresponde a la bandeja y el segundo al peso de esta.
5. La Tara corresponde al peso de la bandeja.
6. Cu, corresponde a la ley de Cobre en cada una de las corrientes.
7. Mo, corresponde a la ley de Molibdeno en cada una de las corrientes.
8. Fe, corresponde a la ley de Fierro en cada una de las corrientes.
9. Neto húmedo, corresponde al peso de la muestra húmeda. Este se calcula pesando la muestra en la bandeja y restándole la tara de la bandeja correspondiente.
10. Neto seco, corresponde al peso de la muestra seca y también se pesa la muestra en la bandeja y se le resta la tara de la bandeja.
11. % de Sólidos. Corresponde al porcentaje de sólidos de la muestra, este se calcula dividiendo el peso seco por el húmedo y multiplicándolo por 100%.

## 6.4 CALIBRACIÓN

Una vez que el laboratorio químico recibe el test (conjunto de muestras), este tarda entre 7 a 10 días en entregar los resultados, una vez que obtenemos los resultados se identifican, se registran y se procede a realizar la calibración.

La calibración se realiza desde la **CAS 9600** de la siguiente manera:

Los datos se ingresan en el lugar correspondiente al número de identificación que se anotó en el momento del muestreo, junto al número de identificación aparece el valor de las leyes de cada elemento, como también el porcentaje de sólidos, mas abajo aparece un espacio para ingresar los datos.

Con la tecla **F2** se habilitan los valores, en ese momento la pantalla cambia de color, con **F2** los datos pueden quedar habilitados, inhabilitados, suspendidos o pueden ser borrados. Una vez que se habilitan los datos estos comienzan a aparecer en los gráficos de comparación y calibración.

Para que los datos queden almacenados en la memoria se deben habilitar con **F2** y luego presionar **F6** para grabar. Los valores se ingresan por corriente y para cambiar de corriente se debe presionar las teclas **ALT+S**, de esta forma se va cambiando la pantalla de cada corriente hasta terminar de ingresar la totalidad de los datos.

### 6.4.1 CONSTANTES DE CALIBRACIÓN

Una vez ingresados, habilitados y almacenados los datos de las leyes y porcentaje de sólidos de cada corriente se pueden encontrar las constantes de calibración. Para esto el siguiente paso es presionar **F4**, donde aparecerá una ventana que contiene gráficos que muestran la curva del error, en esta misma ventana a continuación del gráfico aparece una

ecuación, con la que se calcula el valor de la ley del elemento o porcentaje de sólidos de la corriente que se está calibrando. La ecuación es independiente para cada elemento y porcentaje de sólidos.

En el gráfico la muestra en estudio aparece con un punto rojo, sin embargo, la persona que esta calibrando puede ir cambiando de punto en punto presionando **F2**, en la parte inferior de la pantalla aparece el número de identificación del punto en que se encuentra.

Para realizar el ajuste de los datos ingresados se debe presionar **F3**, de esta manera se realiza una regresión lineal a los datos ingresados, producto de esta regresión se realiza un cambio en las constantes, estas nuevas constantes se deben anotar, este procedimiento se debe realizar para todos los elementos y para cada corriente, luego presionando **F4** aparece un resumen con todas las constantes y gráficos de cada elemento, este sumario es por corriente y para cambiar de corriente se presiona nuevamente **ATL+S**.

De esta manera, los futuros resultados que irá entregando el equipo dependerán de estas nuevas constantes, que serán el reflejo de la representatividad y exactitud de la muestra tomada, preparada y enviada al laboratorio químico.

#### **6.4.2 VENTANAS PARA CALIBRACIÓN**

En esta sección se indicará la forma de conocer algunas ventanas con que cuenta el computador y que fuimos descubriendo a medida que se realizaba el trabajo. En otras secciones ya se ha indicado como ver algunas ventanas, sin embargo, algunas de estas eran desconocidas anteriormente.

Cuando nos encontramos en la pantalla principal podemos ver algunos reportes de días anteriores, en resúmenes de ocho y de una hora, para

esto debemos presionar **F6** desde la ventana principal y luego **F2** para ver cada ocho o una hora. En esta pantalla en la parte superior se verá la corriente que se está mostrando, como también la fecha.

Luego, para cambiar de día se utiliza **F2** para retroceder en un día y **F3** para avanzar en un día. Para poder ver reportes de otras corrientes se debe presionar: **Control+Alt+S**, de esta manera podremos tener reportes de cualquier día y de cada corriente.

Si se desea ver reportes recientes o de cada instante, desde la pantalla principal se debe presionar **F6**, y luego **F4**, y aparecerán las leyes de los elementos en estudio en el momento que fueron analizadas. En esta pantalla también aparece en la parte superior la corriente en pantalla y la fecha, de igual modo para ver días anteriores con se debe presionar **F2** para retroceder y **F3** para avanzar un día. En esa ventana presionando **F4** podemos ver la siguiente página del resumen, ya que el resumen de un día utiliza dos páginas. Para ir cambiando de corriente se debe presionar nuevamente **Control+Alt+S**, Luego se procede de la misma forma para ir revisando las leyes de otras muestras y días.

El equipo también cuenta con una ventana que muestra los mensajes reportados por eventos que ocurran en el equipo, estos mensajes son principalmente alteraciones que ha tenido el equipo como por ejemplo falta de Nitrógeno líquido, cambio de la ventana protectora, problemas de flujo en las corrientes etc. Para llegar a esta ventana desde la ventana principal se presiona **F6** y luego nuevamente **F6**, de igual modo para aumentar o disminuir con **F3** y **F2** respectivamente dependiendo de la fecha que se desea ver.

En la misma ventana de los reportes aparece la opción de la tecla **F3**, al presionar esta tecla se puede observar el comportamiento de los rayos X para 8 y 1 hora y para revisar los días anteriores se utilizan las teclas **F3** y

**F2** de la misma forma que se utilizan en los casos anteriores. Si se presiona la tecla **F5** se podrá ver el comportamiento de los Rayos X en detalle, es decir en el momento mismo en que ocurrió el análisis. Luego presionando **F4** es posible apreciar los gráficos que muestran el comportamiento de la ventana del analizador para cada elemento y porcentaje de sólidos.

Como se puede apreciar desde la ventana de calibración o de las ventanas de reportes es posible llegar a muchas otras ventanas que nos muestran listados de datos que pueden ser apreciados en detalle o en resumen. Es importante señalar, que cada dato esta acompañado de la fecha y hora respectiva.

Desde la pantalla de calibración también se puede llegar a varias otras ventanas, por ejemplo: Desde la pantalla de ingreso de datos para la calibración (valores de los resultados de los muestreos) al presionar **F4** se podrá ver el gráfico de comportamiento del error del dato en cada elemento, esto es fundamental ya que los datos que indiquen un mayor error deben ser inhabilitados. Esto se realiza desde la pantalla principal, de esta manera, los valores que participarán en el ajuste de datos tendrán un menor error, gracias a esto las constantes de ajuste serán las mas adecuadas. Estos gráficos se deben revisar cada vez que se realiza un muestreo, o cuando se le ingresen nuevos datos.

Para cambiar de elemento se debe presionar **Alt+S** y para cambiar de corriente **Alt+E**, para ver un resumen de los elementos por corriente se presiona **F3** y para cambiar de corriente se presiona nuevamente **Alt+E**.

La tecla **F5** se utiliza para la selección de modelos, al presionarla el computador pedirá una contraseña, una vez ingresada aparecerá una nueva ventana, en donde se verán varios recuadros que indican el estado (habilitado o deshabilitado) en que se encuentran las constantes de la

ecuación al momento de realizar la medición. En la parte inferior de la pantalla aparece un menú con las siguientes opciones.

La tecla **F2** se usa para modificar el estado de cada uno de los recuadros, es decir, para habilitar, deshabilitar o simplemente chequear. La tecla **F3** es para realizar una regresión lineal. En la regresión lineal solo intervienen los datos habilitados anteriormente en la calibración. La tecla **F4** es para cambiar el modelo de ajuste de la ecuación, este depende del tipo de muestra (húmeda o seca) que se esté analizando. La tecla **F5** es para mostrar un resumen de todos los gráficos. En estos gráficos se ve el comportamiento del error, en caso de que se haya realizado una regresión lineal anteriormente, los gráficos aparecen actualizados, esto es importante ya que podemos ver los gráficos sin la necesidad de grabar los datos ingresados. En el sumario aparecen los elementos de cada corriente y para cambiar de corriente se debe presionar **Alt+E**. La tecla **F6** es para mostrar un listado de todos los datos utilizados en la calibración. En la parte superior de la ventana aparece el elemento al cual pertenecen estos valores, para ir variando de elemento **Alt+S** y para variar de corriente **Alt+E**.

Es importante señalar que en todos los casos anteriores para salir de una pantalla o para volver a otra se debe presionar la tecla **F10**.

### 6.4.3 OTRAS HERRAMIENTAS

Dentro de los archivos con que cuenta el programa del equipo, existe uno en el que se pueden apreciar 4 gráficos en los que podemos observar el comportamiento de las leyes de Cobre y Molibdeno en el instante en que se realiza el análisis.

El primer gráfico corresponde a las leyes en la corriente de concentrado final de Molibdeno, el segundo corresponde a la corriente de Alimentación,

el tercero a la de Cola y el cuarto representa a la recuperación de Molibdeno, el cálculo de la recuperación se realiza por medio de la ecuación de recuperación que vimos anteriormente.

Para poder acceder a estos gráficos se debe ubicar en la pantalla principal y posteriormente presionar la tecla **F10**, luego aparecerá en pantalla la opción **(y/n)**, se debe presionar **(y)** para aceptar salir, de este modo llegamos al programa. Una vez ubicados en esta posición debemos escribir **cd trend** y presionar **enter**, así entramos al directorio, luego escribimos **trenddis** y se presiona **enter**, luego se irán mostrando gráfico por gráfico, automáticamente cada 15 segundos. Si se desea pasar de un gráfico a otro mas rápido se debe presionar cualquier tecla menos **F10**. Para salir del programa se debe presionar **F10**, y para volver a la pantalla principal se debe escribir **cd..** y se presiona **enter** para salir del directorio **trend**, y luego se escribe **xra2** para volver.

#### **6.4.4 MANTENCIÓN Y RECOMENDACIONES**

En este punto veremos la manera de controlar al equipo de modo que este permanezca en operación la mayor parte del tiempo. Como se había mencionado anteriormente el equipo utiliza Nitrógeno líquido y debe contar con cierta cantidad para no para automáticamente por lo tanto desde la pantalla principal se puede observar el estado en que se encuentra la carga (Empty, Normal, Full), es recomendable cargar con Nitrógeno líquido cada 2 o 3 días. No es necesario apagar el equipo para realizar la carga, la carga se realiza abriendo la llave del cilindro de Nitrógeno líquido, esto se debe hacer lentamente, luego de 15 minutos aparecerá el mensaje **Full** (lleno), entonces se debe cerrar la llave.

Si el equipo por algún accidente o por mantención se llegara a apagar la forma de ponerlo en marcha nuevamente es la siguiente: Este

procedimiento se debe realizar a través del **HHT** que se encuentra junto al analizador.

El primer paso es encenderlo, y aparecerá inmediatamente la palabra **Calibration**, con flecha derecha nos desplazamos hasta que aparezca en la pantalla **Maintenance**, luego se presiona la tecla **OK** y aparecerá la palabra **Multiplexing**, entonces, nos vamos con la flecha hasta que aparezca en la pantalla **Hv Turnon Rate**, y presionamos la tecla **OK** y aparecerá el tiempo para el calentamiento del tubo de alto voltaje, en donde con la flecha la persona que está realizando la operación debe decidir el tiempo que demorará el calentamiento del tubo. Las posibilidades son un minuto, 10 minutos y 60 minutos, generalmente cuando la detención del equipo ha sido de poco tiempo se decide por 1 ó 10 minutos, cuando el equipo ha sido detenido por periodos de tiempo superior a un día se recomienda optar por una hora, sin embargo, también se puede optar por 1 ó 10 minutos. Una vez que se selecciona el tiempo se debe presionar **OK**, y finalmente se debe salir con **Exit** hasta que aparezca en la pantalla del **HHT Stby for Control**, luego se comenzará a calentar el tubo hasta que se encienda la luz de encendido, de esta manera el equipo dejará de operar en forma manual y comenzará a operar en automático.

El equipo cuenta con una pequeña ventana sobre la cual pasa el flujo que será analizado, el equipo está programado para que la ventana se reemplace cada 90 días pero se está por algún problema de contaminación se ensucia queda cubierta por una capa que impida la transparencia necesaria, esto el equipo lo indicará a través de un mensaje en la pantalla principal de la **CAS – 9600** y en la del **HHT**, con el siguiente mensaje **“Window Worn”**, en este caso lo que se debe hacer es reemplazar la ventana del analizador, lo primero que se debe hacer es detener el equipo, este cambio se debe realizar con mucho cuidado y limpieza ya que esta es una parte sensible, luego de esta ventana y hacia el interior, el equipo cuenta con otra ventana, que debe imperiosamente evitar que se ensucie.

Luego que se realiza el cambio se enciende el botón superior que queda al costado del equipo, luego en la pantalla del **HHT** aparecerá **Calibration**, con el botón de la flecha derecha avanzamos hasta que aparezca la frase **Window XXX**, y presionamos la tecla **OK**, donde se verá el mensaje **Reset?** y se presionará la tecla **OK**, todo esto es para resetear el tiempo programado para el cambio de la ventana. Se debe recordar que la ventana se programa para ser cambiada cada 90 días. Luego para salir se debe presionar **Exit** hasta que aparezca **Probe Status**, luego presionamos la flecha derecha hasta llegar a **Maintenance** y presionamos **OK** para ir a darle tiempo de calentamiento al tubo de alto voltaje, de esta manera se enciende el segundo botón al costado del equipo quedando en la pantalla del **HHT** la palabra **Wait** (espere), luego del tiempo de calentamiento del tubo se sale con **Exit** hasta que aparezca **Stby for Control** y así comenzará la operación nuevamente.

Como medida preventiva se diseñó una hoja que señala las fallas mas usuales del equipo y sus partes anexas, como también unas medidas de acción para dar solución a estas posibles fallas.

#### 6.4.5 HOJA DE MANTENCIÓN EQUIPO ANALIZADOR DE LEYES XRA – 1600

A continuación se presenta a la hoja de mantención del Analizador de Leyes.

POSIBLES FALLAS	CAUSALES DE LAS FALLAS	PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN
Las leyes indican cero	Hay detención programada en la planta.	Acción programada, no requiere corrección.
Los valores de las leyes no cambian en seguidos análisis	El buzón receptor de pulpa se encuentra tapado. Alguna de las mangueras de descarga puede estar tapada.	Se debe revisar periódicamente la descarga del buzón o de las mangueras.
Solo la ley de Molibdeno indica cero en la corriente Cola. Las leyes varían demasiado con respecto a lo normal	La ventana que protege al analizador de leyes se encuentra sucia. La ventana cumplió el tiempo programado. El flujo es muy bajo.	Se debe cambiar la ventana en el tiempo programado. Si la pantalla indica menos de 9000 CPS, se debe revisar o cambiar.
Falla una válvula de control	Enbancamiento de cañería de alimentación. Diafragma en mal estado	Se debe revisar periódicamente el buzón receptor de pulpa. Se debe reemplazar diafragma o válvula en mal estado
El Equipo no Entrega Nuevas Leyes	Se detiene el equipo automáticamente por falta de Nitrógeno. No hay flujo de cola.	Se debe adicionar Nitrógeno cada 2 o 3 días, hasta que el monitor indique Full.

#### 6.4.6 FALLAS MEDICIÓN LEYES COLA

A continuación, mencionaremos las posibles fallas que puede tener el equipo en la medición de las leyes de la Cola.

Esto se realizó ya que esta corriente es la más importante al momento de estimar la recuperación de Molibdeno, además, es la más sensible ya que al trabajar con valores cercanos a 0,06 – 0,09 un pequeño error en la medición se traduce gran porcentaje de error.

Las posibles fallas se observan en los siguientes casos:

- Cuando todas las leyes de la Cola marquen cero.
- Cuando la ley de Molibdeno en la Cola marque valores muy altos.
- Cuando solo la ley de Molibdeno marque cero o valores muy cercanos a cero.
- Cuando el equipo se detenga e interrumpa la entrega de nuevas leyes.
- Cuando la Cola es enviada directamente a los espesadores, y no pasa por los estanques de desulfhidratación, por lo tanto, no pasa el flujo por el analizador de leyes.
- Cuando el Buzón receptor de pulpa o alguna manguera de descarga se encuentra embancada (tapada), esto puede ocurrir debido a un abrupto aumento en uno o más flujos que alimentan al equipo. También se puede embancar cuando el equipo queda detenido por mucho tiempo y el buzón queda con carga.
- Cuando la ventana que protege al analizador se encuentra sucio e impide que el equipo determine la concentración de Molibdeno.

- Cuando el flujo no es el adecuado.
- Cuando el equipo se detiene en forma automática, cuando indica que se encuentra sin nitrógeno.

#### **6.4.7 MANTENCIÓN PREVENTIVA**

Para que las leyes no marquen cero, no existe una acción en particular que se pueda realizar ya que esto es programado previamente por operaciones, así que no lo consideraremos para este caso.

Se debe revisar periódicamente que la descarga funcione correctamente. (Basta solo con mirar la descarga del buzón receptor).

El equipo se encuentra programado para cambiar este lente o ventana cada 30 días o cuando el monitor indique una cifra menor a 9000 CPS.

Se debe verificar que las válvulas estén funcionando correctamente.

Se debe adicionar Nitrógeno día por medio hasta que el nivel marque lleno o Full.

#### **6.4.8 SUGERENCIAS GENERALES**

Para este caso se recomienda que al buzón receptor se le haga un rebalse el cual serviría como vía de escape para un gran aumento de flujo y a su vez serviría para evitar todo tipo de posibles contaminaciones entre las distintas corrientes.

Cambiar el lente o ventana de protección dentro del periodo programado de 30 días, y revisarlo por seguridad cada 15 días.

Para evitar constantes problemas con las válvulas se recomienda reemplazar las válvulas de paso recto por unas de paso restringido de 2 pulgadas.

**Contar con stock de:**

- ✓ Mangueras de descarga.
- ✓ Diafragmas para las válvulas.
- ✓ Nitrógeno Líquido.
- ✓ Ventanas de protección del analizador de leyes.
- ✓ Realizar calibraciones periódicas.

## **6.5 COMPARACION DEL ERROR**

Para poder calibrar este equipo fue necesario realizar numerosos muestreos, además una vez calibrado se deben seguir realizando muestreos para ir corrigiendo y supervisando el comportamiento del equipo.

Para tener en orden la información se diseñaron tablas donde se tabularon los resultados de los muestreos realizados, además tal como se señaló anteriormente, la **CAS 9600** contiene archivos que almacenan los datos de las leyes, también podemos ver resúmenes diarios y por turnos.

De esta manera, el estudio del comportamiento se nos facilitaba, ya que la planta cuenta con un sistema cortador de muestra dirigido por el personal de la sala de muestra y el laboratorio químico que nos permite observar las leyes solamente por turnos y con retraso de un día, sin embargo, esto no reviste un mayor problema para nosotros ya que podemos ver las leyes de cualquier día y compararlas con las que entrega el analizador, de este modo, podemos comparar las leyes por turnos. Junto con el reporte de las leyes por turnos que nos entrega el laboratorio químico viene un resumen

de las leyes por día por lo tanto, tenemos otro parámetro de comparación. Sin embargo, el parámetro de comparación mas representativo y real es el de comparación directa, y que utilizamos al momento de realizar nuestros propios muestreos.

Junto con el número de identificación que aparece en la pantalla del analizador parece el valor las leyes y porcentaje de sólidos que calculó el analizador, luego que llegan los resultados de los muestreos estos los ingresamos a la **CAS 9600** y siguiendo la ruta que se indicó anteriormente podemos comparar los valores, además el programa cuenta con una opción donde se gráfica el porcentaje de error, de esta manera contamos con tres formas de control y monitoreo.

Como las tablas y gráficos se mostrarán a modo de ejemplo solo veremos 2 por cada una, ya que no es el sentido de este informe detallar todos los gráficos y tablas que se construyeron, además son demasiados como para mostrarlos todos.

## **6.6 COMPARACIÓN DE LEYES POR TURNOS**

En la Tabla 6.3 se presentan reportes por turnos y reportes diarios entregados por el laboratorio químico y el analizador de leyes, se debe señalar que se tomo un día en que no se registró ningún evento o alteración en el proceso.

**Tabla 6.3 Leyes por Turnos**

**Leyes reportadas por el Laboratorio Qco.**

	Conc	Alim	Cola	% Rec
<b>Turno A</b>	49,4	0,59	0,16	73,3
<b>Turno B</b>	50,5	0,59	0,10	83,4
<b>Turno C</b>	51,8	0,50	0,16	69,2
<b>24 HRS.</b>	<b>50,6</b>	<b>0,56</b>	<b>0,14</b>	<b>75,3</b>

**Leyes reportadas por el Analizador de Leyes.**

	Conc	Alim	Cola	% Rec
<b>Turno A</b>	50,7	0,60	0,17	72,6
<b>Turno B</b>	51,5	0,57	0,12	78,7
<b>Turno C</b>	50,7	0,50	0,19	62,2
<b>24 HRS.</b>	<b>51,0</b>	<b>0,56</b>	<b>0,16</b>	<b>71,2</b>

Para poder ejemplificar mejor y no ser repetitivos solo se mostrarán en esta parte las leyes de Molibdeno ya que la idea es apreciar como se comparaban las leyes y porcentaje de sólidos de cada una de las corrientes.

A continuación, veremos la Tabla 6.4 donde se comparan directamente los valores de las leyes y la recuperación, además veremos la diferencia y porcentaje de error en cada uno de los casos.

En esta tabla se aprecia el comportamiento de las leyes por turnos que nos entrega el analizador de leyes y el resultado de muestreo por turnos y posterior análisis del laboratorio químico, asumiendo a su vez, que las leyes reportadas por el laboratorio químico, son las reales podemos calcular el % de error de las leyes reportadas por el analizador de leyes.

Se debe señalar que este es un cuadro demostrativo y con valores reales y al igual que en el caso anterior se trata solo de leyes de Molibdeno ya que con estas leyes podemos calcular la recuperación.

También podemos observar la gran influencia de la ley de Molibdeno en la cola sobre la recuperación final.

**Tabla 6.4 Leyes por Turnos y % de Error de Medición**

Conc. Final Mo	Ley Lab Oco.	Leyes XRA	Diferencia	% de Error
TA	49,400	50,747	1,347	2,727
TB	50,500	51,519	1,019	2,018
TC	51,800	50,664	1,136	2,193
<b>24 Hr</b>	<b>50,567</b>	<b>50,977</b>	<b>0,410</b>	<b>0,811</b>

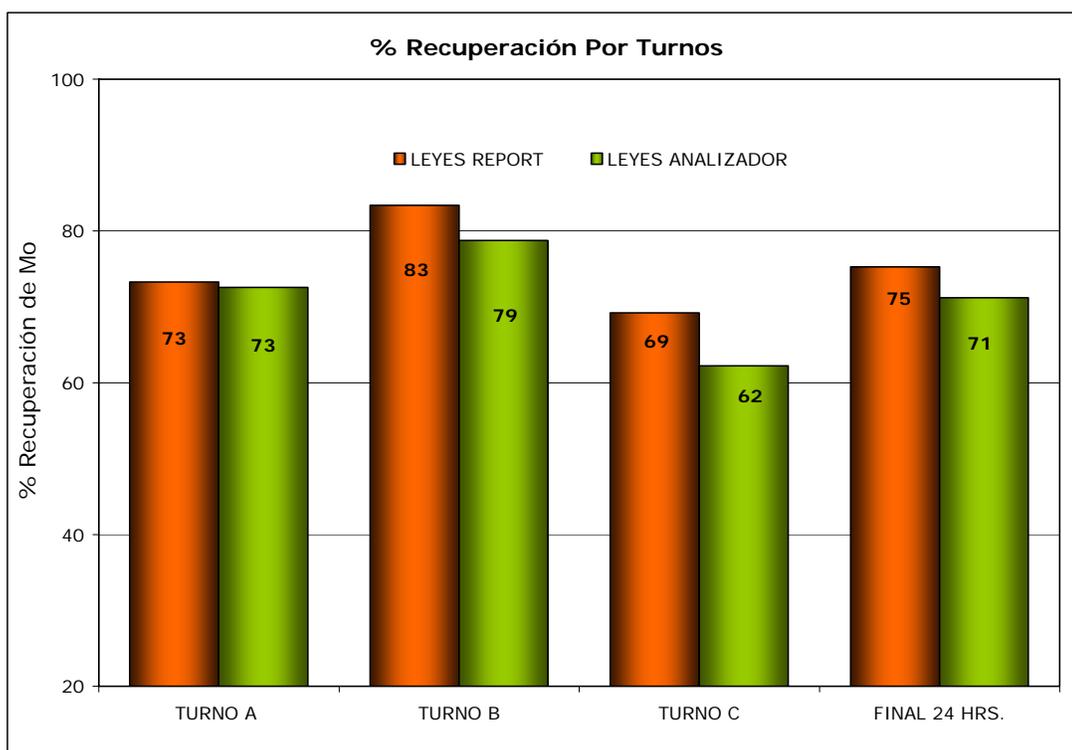
Alimentación.	Ley Lab Oco.	Leyes XRA	Diferencia	% de Error
TA	0,590	0,600	0,010	1,667
TB	0,590	0,577	0,013	2,253
TC	0,500	0,497	0,003	0,604
<b>24 Hr</b>	<b>0,560</b>	<b>0,558</b>	<b>0,002</b>	<b>0,358</b>

Cola Ro.	Ley Lab Oco.	Leyes XRA	Diferencia	% de Error
TA	0,159	0,166	0,007	4,217
TB	0,099	0,123	0,024	19,512
TC	0,155	0,189	0,034	17,989
<b>24 Hr</b>	<b>0,138</b>	<b>0,159</b>	<b>0,022</b>	<b>13,598</b>

% Recuperación	Ley Lab Oco.	Leyes XRA	Diferencia	% de Error
TA	73,29	72,59	0,700	0,964
TB	83,38	78,72	4,660	5,920
TC	69,21	62,24	6,970	11,199
<b>24 Hr</b>	<b>75,29</b>	<b>71,18</b>	<b>4,107</b>	<b>5,769</b>

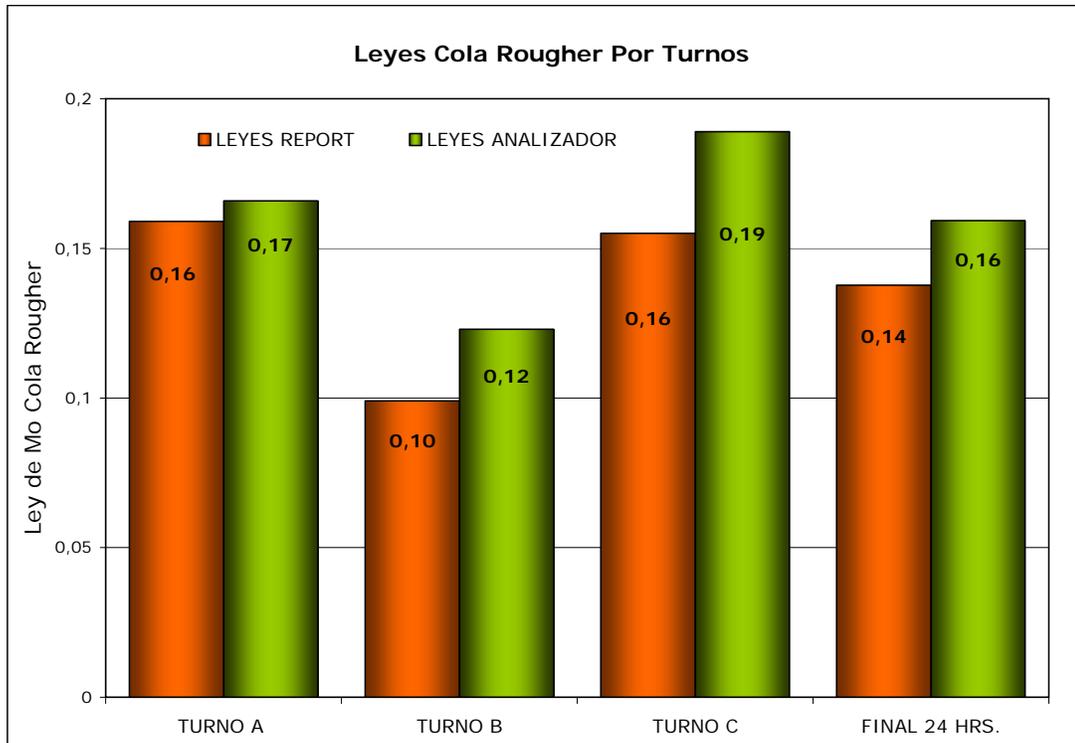
De acuerdo a esta tabla la recuperación se mantiene cercana al 75 % de recuperación, que es el parámetro de operación, a excepción del turno C.

En lo referente a nuestro estudio podemos observar que la recuperación que calcula el analizador presenta una tendencia similar a la de los reportes del laboratorio, esto es interesante ya que aunque los valores presenten error, gracias a la tendencia podemos estimar el comportamiento del proceso en el momento que es entregado el reporte por parte del analizador de leyes. A continuación se presentan los Gráficos 6.1 y 6.2 que se construyeron con base en los datos de la Tabla 6.4.



**Gráfico 6.1 Recuperación de Mo por Turnos(Report Versus Analizador)**

De este gráfico podemos concluir que aún se debe trabajar en la calibración del equipo principalmente en la concentración de Molibdeno en la Cola ya que esta es la que presenta el mayor porcentaje de error.



**Gráfico 6.2 Ley de Mo en La Cola Rougher (Report Versus Analizador)**

La diferencia entre ambas mediciones es mínima en cuanto al valor, pero al tratarse de valores entre 0,1 y 0,2 una mínima diferencia puede presentar un gran porcentaje de error, debemos señalar que este punto fue el mas difícil de calibrar, y al que se le dedicó mayor tiempo de estudio.

Por otro lado, las leyes de alimentación y concentrado final presentan un bajo porcentaje de error, además marcan una tendencia similar a las leyes que dispensa el laboratorio químico.

Luego de un largo periodo de muestreos se pudo lograr calibrar el equipo, sin embargo, la corriente de la Cola requirió mayor número de análisis, en particular la ley de Molibdeno ya que la ley de Cobre, Fierro y el Porcentaje de sólidos no revirtieron un mayor problema.

Normalmente cuando se realiza un muestreo se consideran las tres corrientes, sin embargo, dado que las corrientes de alimentación, y de Concentrado final mas el porcentaje de sólidos de las tres corrientes regularmente presentaban valores correctos, se decidió muestrear y estudiar en particular la corriente de la Cola. A continuación veremos la comparación directa entre las leyes del analizador y las que reales (laboratorio químico), en el momento en que se toma la muestra.

### 6.6.1 COMPARACIÓN DIRECTA

A continuación compararemos las leyes entregadas por el analizador al momento del muestreo y las leyes de muestras tomadas en ese mismo instante. Este es el método mas eficiente para realizar la calibración ya que la ley calculada por el analizador se almacena e identificada por un número en la central, y el resultado de la muestra también es identificado e ingresado manualmente a la central, de esta manera y siguiendo el paso a paso logramos calibrar el equipo.

En la Tabla 6.5 y 6.6 se presenta a modo de ejemplo la ley de Molibdeno de la Cola, dado que es el parámetro más difícil de calibrar.

**Tabla 6.5 leyes entregadas por el Laboratorio Químico.**

Nº	Id	Corriente	Bandeja	% Cu	% Mo	% Fe
1	3209	Cola	230 - 1138	31,3	0,097	35,1
2	3210	Cola	06 - 1149	31,1	0,150	35,1
3	3211	Cola	152 - 1145	31,0	0,180	35,8
4	3214	Cola	21 - 1133	29,1	0,060	28,7
5	3215	Cola	3 - 956	29,6	0,070	28,8
6	3216	Cola	50 - 1129	30,0	0,070	28,4
7	3217	Cola	06 - 1149	30,0	0,080	28,6
8	3218	Cola	51- 1145	30,2	0,060	28,6
9	3219	Cola	03 - 956	29,9	0,040	29,0
10	3220	Cola	53 - 1129	30,1	0,049	29,5

En la Tabla 6.5 se presentan las leyes de Cobre, Molibdeno y Fierro de muestras tomadas y preparadas de la Cola. La columna (**Id**) corresponde al número de identificación, este número nos sirve para identificar las muestras y comparar las leyes de las muestreos con las leyes que entregó el analizador.

**Tabla 6.6 leyes calculadas por el Analizador de Leyes**

Nº	Id	Corriente	% Cu	% Mo	% Fe
1	3209	Cola	31,2	0,101	34,5
2	3210	Cola	31,7	0,145	35,0
3	3211	Cola	30,5	0,180	35,6
4	3214	Cola	30,0	0,062	29,3
5	3215	Cola	31,0	0,067	28,5
6	3216	Cola	30,4	0,070	28,9
7	3217	Cola	30,1	0,081	29,1
8	3218	Cola	30,6	0,058	29,9
9	3219	Cola	30,2	0,042	29,7
10	3220	Cola	30,0	0,048	30,1

El analizador de leyes cuenta con un programa que nos permite comparar los resultados de las leyes y de esta manera apreciar el error de las leyes entregadas por el analizador, si el error es importante, se debe deshabilitar esa muestra para que no participe del ajuste de datos que se realiza durante la calibración del equipo. El producto de este ajuste serán nuevas constantes en las ecuaciones que permiten el cálculo de las leyes.

En el Gráfico 6.3 se observa la comparación directa entre los valores entregados por el Analizador de Leyes y el resultado del análisis realizado por el laboratorio químico para la misma muestra.



**Gráfico 6.3 Leyes Cola Rougher (Lab Qco. Versus Analizador)**

Al ser la misma muestra, este gráfico es mucho más representativo que en el caso del gráfico 6.2, donde la muestra que analiza el laboratorio químico es acumulada por un sistema cortador de muestra y las muestras representan a turnos completos, lo que significa que al momento de comparar los valores puede inducir algún error.

Para el caso representado en el gráfico 6.2, la comparación se realiza entre valores de leyes obtenidos por el laboratorio químico, y los valores de las leyes calculados por el analizador es totalmente válida ya que en este caso se trata de la misma muestra. De este mismo modo actúa el programa con que cuenta el analizador de leyes con todas las otras corrientes y elementos.

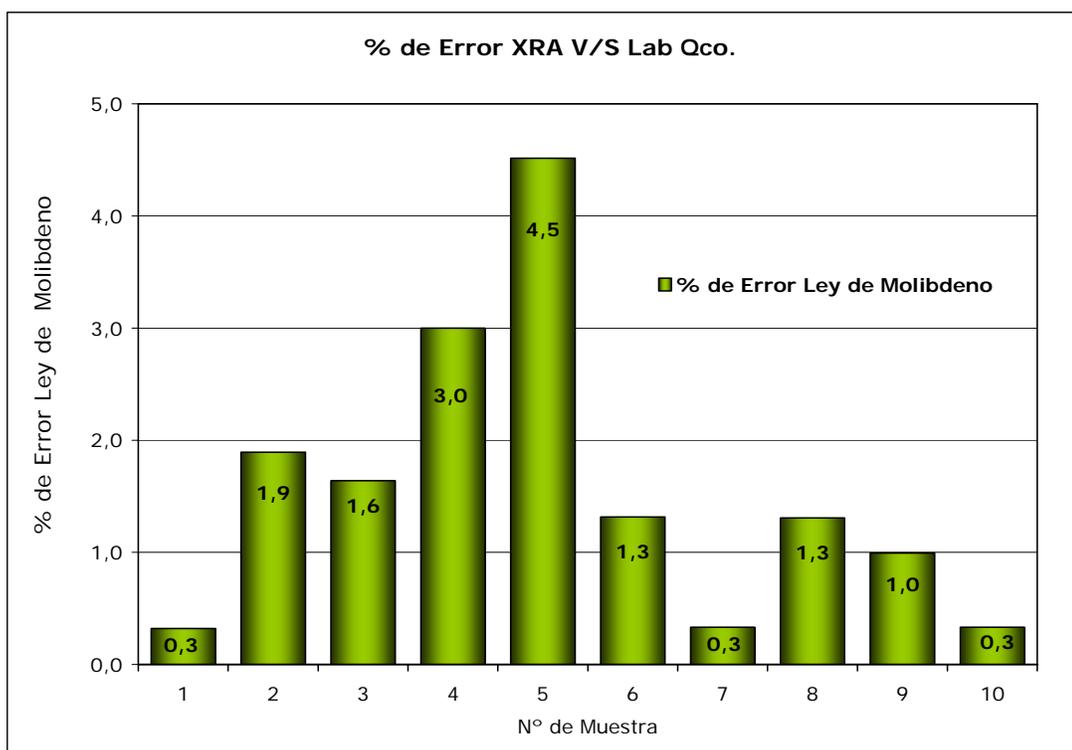
Otro punto que es importante apreciar es el porcentaje de error. Cuando se aprecia un gráfico como este se puede apreciar gran similitud en los valores y en la tendencia que siguen estos, regularmente nos encontramos

con una buena respuesta en cuanto a los valores de las leyes en las corrientes de alimentación y concentrado final, pero tal como se ha ido señalando durante este informe el problema principal radica en el valor de la ley de Molibdeno en la Cola. Al observar el gráfico no parece tener problemas pero cuando calculamos el porcentaje de error, algunas veces los valores podrían no ser tan correctos.

### **6.6.2 PORCENTAJE DE ERROR**

El porcentaje de error es un parámetro que podemos utilizar para observar con mayor claridad el error en la medición realizada por el analizador de leyes.

Tal como se ha señalado anteriormente la ley de Molibdeno en la cola es la que presenta un porcentaje de error. Durante el periodo que duró la calibración del equipo esto se fue controlando en cada muestreo, para graficar esto presentaremos el Gráfico 6.4 que muestra el porcentaje error en el cálculo de las leyes de Molibdeno en la Cola.



**Gráfico 6.4 % de Error (Analizador Versus Lab Qco.)**

Al observar este gráfico podemos decir que el porcentaje de error se mantiene dentro de los márgenes razonables (mas – menos 5%). Sin embargo, los valores siempre se deben estar actualizando, por lo tanto, luego de identificar los puntos en conflicto, estos deben ser eliminados de la pantalla de registro, de esta manera los valores con mayor error no participarán de la regresión lineal que realiza el programa de calibración que entrega las nuevas constantes.

Finalmente podemos decir que es recomendable realizar muestreos periódicos para mantener actualizadas las constantes del analizador de leyes.

## 7.0 SENSORES DE POTENCIAL

### 7.1 INTRODUCCION

Los sensores de potencial son una herramienta de gran utilidad para la operación en el proceso desarrollado en la planta de flotación de Molibdeno, estos se pueden utilizar como una herramienta tanto de control como también de adición del NaSH reactivo que en esta planta se utiliza como agente depresor de los sulfuros de Cobre.

Sin embargo, debemos señalar, que para que estos instrumentos sean un real aporte a la operación, se deben establecer normas y fijar ciertos parámetros, los cuales serán el principal objetivo de nuestro estudio.

Para desarrollar este trabajo se debió identificar los puntos en donde se encuentran ubicados los sensores, luego estudiar su comportamiento y la factibilidad que puedan utilizarse como una herramienta de control y adición automática de NaSH, es decir, que en caso de que la concentración del reactivo sea menor a la determinada, estos sensores actúen en forma automática y se adicione mas reactivo de manera que se alcance la concentración determinada, la que se verá traducida en un potencial **(ORP)** para esto fue necesario un largo trabajo de monitoreo, donde también se realizaron numerosos muestreos.

Los sensores se encuentran en línea con el proceso a través de un software llamado **FIX 32** (sistema Scada), el objetivo final es que desde este programa el operador pueda fijar un potencial y operar en forma automática, pero que también pueda fijar un flujo de adición para cada punto y adicionar el reactivo en forma manual, en este caso podrá utilizar los valores de potencial como referencia.

Luego de fijar el potencial el programa enviará la señal a los sensores en donde, estos deberán actuar adicionando NaSH cada vez que sea necesario, de manera de mantener fijo el valor del potencial designado como Set Point. Por lo tanto, estos potenciales serán nuestro principal punto de estudio.

## 7.2 FUNDAMENTO TEÓRICO

La acción depresora del NaSH no depende de su dosis inicial, sino de la concentración residual del ión  $\text{HS}^-$  durante la flotación. Esta es una característica que pone de manifiesto la necesidad de mantener un riguroso control en su adición en cada etapa del circuito de flotación, para así obtener en forma eficiente el efecto que deseamos de este reactivo.

Por este motivo es necesario contar con un equipo de control en línea, que nos entregue una información real y continua de lo que esta ocurriendo. La potenciometría es una herramienta comúnmente utilizada para cuantificar y controlar los iones sulfuro en solución mediante electrodos.

El uso de sensores con electrodos específicos de  $\text{Ag}/\text{Ag}_2\text{S}$  para medir concentraciones residuales de iones  $\text{S}^{2-}$  en pulpas de flotación, durante la sulfidización es un hecho que ha sido empleado en otras plantas y que se intentará poner en operación en esta.

Para este mismo fin se han usado electrodos de platino que determinan el potencial de óxido – reducción de la solución, y electrodos minerales como el de Calcocita. De esta manera la potenciometría surge así como una importante herramienta para el control del NaSH en la flotación. Sin embargo, las aplicaciones analíticas del electrodo de  $\text{Ag}/\text{Ag}_2\text{S}$  recomendadas por la Orion Research Inc. establecen la realización de mediciones de Sulfuro en presencia de una solución buffer antioxidante a base de Bórax y ácido ascórbico. Estas condiciones naturalmente no se dan

en una celda de flotación, por lo tanto se hace sentir la necesidad de emplear un electrodo de Platino para medir el potencial óxido – reducción de la solución, pues estos si pueden usarse en celdas de flotación.

Los potenciales medidos con electrodos de Platino, son expresados en milivolts. Este potencial es la diferencia desarrollada entre el voltaje constante de un electrodo de referencia y un electrodo de Platino, cuando estos electrodos están sumergidos en la solución.

El potencial de un electrodo de platino es proporcional a la razón de concentración de los estados oxidados y reducidos de un sistema dado.

El potencial del electrodo de platino puede ser expresado por la forma general de la ecuación de Nernst:

$$E_h = E_o + \frac{0,059}{n} * \text{Log} \frac{[(\text{Oxidante})]}{[(\text{Reductor})]}, \text{ a } 25^\circ \text{ C}$$

Donde:

**E<sub>h</sub>**: La diferencia de voltaje entre el electrodo de óxido – reducción y el electrodo normal de hidrógeno, cuyo potencial es cero por definición.

**E<sub>o</sub>**: Una constante característica del sistema en cuestión. **E<sub>h</sub> = E<sub>o</sub>** cuando las actividades de los oxidantes y reductores son iguales, es decir, la razón de (Ox)/(Red) = 1, y como el logaritmo de 1 es cero, **E<sub>o</sub>** debe ser igual a **E<sub>h</sub>**.

**n**: Número de electrones reaccionando.

A raíz que el electrodo normal de Hidrógeno es raramente usado como el electrodo de referencia en las mediciones actuales, el potencial medido (**E**) no será igual a **Eh**. **Eh** puede ser calculado sumando algebraicamente el voltaje medido **E** y el voltaje constante del electrodo de referencia. Luego:

$$\mathbf{Eh} = \mathbf{E} + \text{Voltaje del Electrodo de Referencia}$$

Por ejemplo, si el electrodo de calomelano saturado es usado como el electrodo de referencia y el voltaje medido **E** es 400 Mv, entonces:

$$\mathbf{Eh} = 400 + 244 = 644 \text{ Mv, a } 25 \text{ o C (Voltaje del electrodo de calomelano saturado es } 244 \text{ Mv a } 25 \text{ o C).}$$

Tanto el valor de **Eh** y el valor medido **E** de cualquier sistema óxido – reducción dependerá de **EO**, **n**, y la concentración molar del oxidante y del reductor.

El valor medido **E** también dependerá del electrodo de referencia usado para completar la celda, tanto **E** y **Eh** serán afectados por cambios en la temperatura. Este efecto es pequeño, pero debe ser considerado si la temperatura es muy superior o inferior a 25 °C. La corrección necesaria usualmente será menos que un **mv** por cada grado, por lo tanto en cualquier sistema óxido reducción reversible, el valor medido **E** o el valor calculado **Eh** es función de las concentraciones del oxidante y del reductor.

Independientemente de la magnitud inicial del potencial óxido – reducción medido **E** y del potencial calculado **Eh**, tanto **E** como **Eh** de un sistema dado se harán más positivos cuando la concentración del oxidante crezca en relación al reductor, es decir, cuando aumente la intensidad de la oxidación.

Por otro lado, los valores de **E** y **Eh** se harán más negativos cuando la concentración del reductor crezca en relación al oxidante, es decir, aumenta la intensidad de la reducción.

Como sabemos, el rol del **NaSH** apunta a la destrucción del carácter hidrofóbico de los Sulfuros de Cobre revestidos con tio – colectores formando tio – aniones, Sulfitos u otros compuestos tio – hidrofílicos.

El potencial rédox puede también jugar un importante rol en la destrucción o desorción de los colectores desde la superficie pues es bien sabido que la adsorción de los colectores proviene de un mecanismo electroquímico.

Algunos autores han demostrado claramente que la electro - adsorción y desorción de un tio – colector (Xantato o un ditioposfato) puede ser potenciométricamente controlado sobre partículas sulfuradas, por lo tanto, la flotación es dependiente de potenciales electroquímicos.

De igual modo, se han reportado resultados similares para la flotación de Calcocita influenciada por el potencial rédox, por consiguiente, se puede pensar que el potencial rédox puede tener un importante rol en la depresión de Sulfuros de Cobre. Ha sido demostrado y veremos en el próximo ejemplo que la mayor concentración de Xantato en la solución (desorbido desde las superficies de los Sulfuros) corresponde al valor de potencial mas negativo, igual a -370 mv para pulpa fría y -210 mv para pulpa calentada, usando **Na<sub>2</sub>S** como depresante; Consecuentemente, la flotación de Cobre fue mínima bajo las condiciones más reductoras.

A continuación, veremos una curva típica de potencial rédox v/s recuperación de Cobre, a escala de laboratorio, que presenta una concentración de Cu = 27,7% y de Mo = 0,43 es decir, de características similares al concentrado que se alimenta a la planta de flotación, teniendo como principal especie mineralógica a la Calcopirita.

Curva típica de potencial rédox v/s recuperación de Cobre

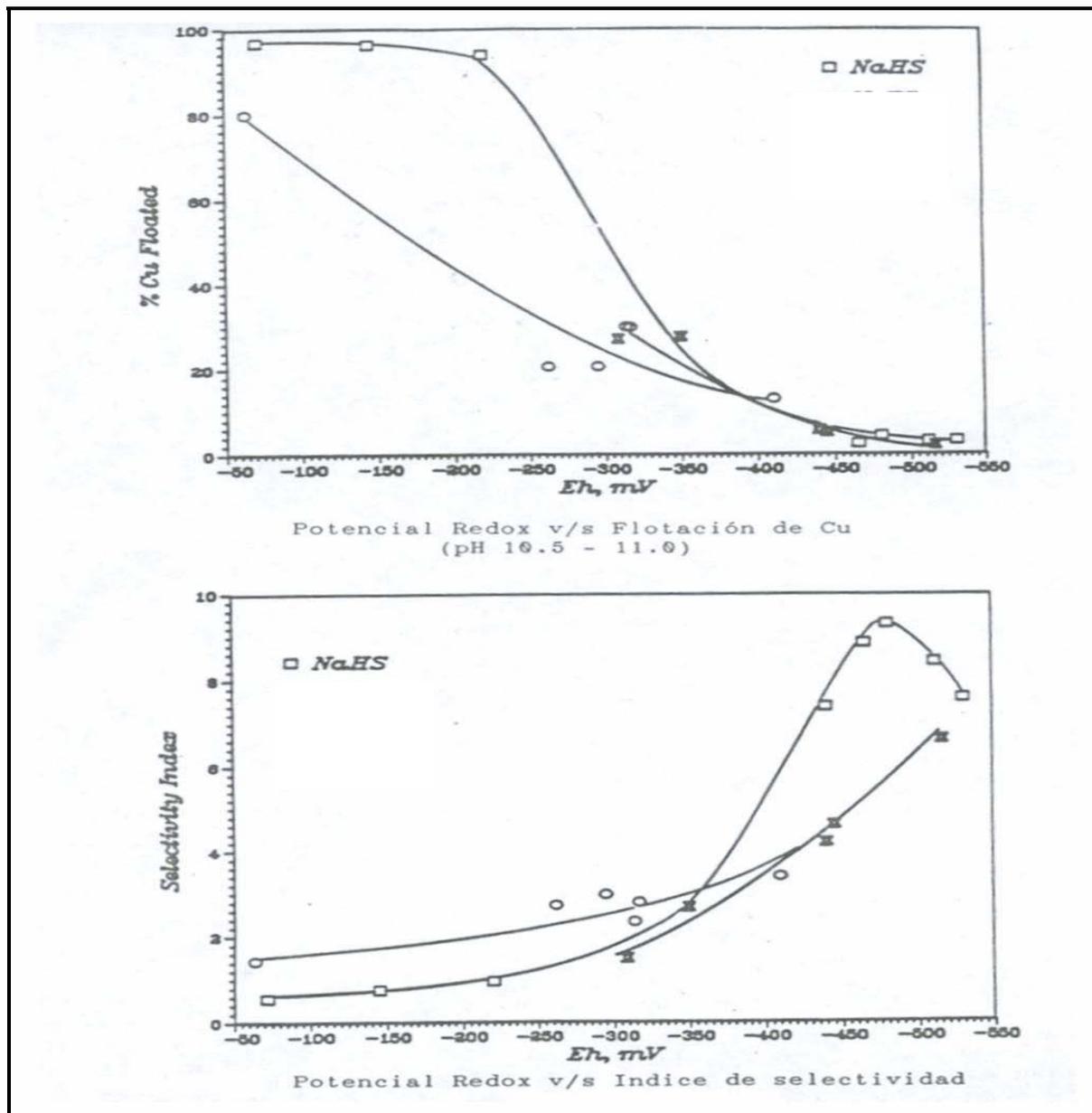


Figura 7.1

## 7.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

### 7.3.1 TRANSMISOR DE PH / ORP +GF+SIGNET 8710

#### Descripción

El transmisor de pH/ORP+GF+SIGNET 8710 proporciona un método sencillo y fiable de transmisión de información de sensores de pH o de potencial de óxido-reducción (ORP) mediante un cable de señal de dos conductores. Las funciones incluyen el reconocimiento automático del sensor de pH y ORP.

La tecnología de visualización avanzada permite ver todos los parámetros de proceso críticos, incluidos los mV del sensor, la temperatura de proceso (modo pH) y los valores del lazo de corriente. Los botones pulsadores del panel frontal permiten una configuración y selección instantáneas, además, una sencilla "calibración en húmedo" ofrece un reconocimiento instantáneo de soluciones tampón para un calibrado fácil y preciso.



**Figura 7.2**

#### Características

Reconocimiento de soluciones tampón para un fácil calibrado.

Reconocimiento de sensores para pH o para ORP.

Compensación de temperatura automática (sólo pH).

Aislamiento de entrada.

Visualización de temperatura y mV.

Calibrado con un simple botón pulsador.

### **Aplicaciones**

Sistemas de tratamiento de residuos.

Supervisión de aguas residuales.

Sistemas de tratamiento de aguas subterráneas.

Sistemas de neutralización.

Sistemas de destrucción de tóxicos.

Recaptación de recursos.

## **7.3.2 PREAMPLIFICADOR +GF+SIGNET 2720**

### **Descripción**

El preamplificador +GF+SIGNET 2720 convierte las señales de la sonda de pH de forma que pueden enviarse a gran distancia sobre cable ordinario. El 2720 se conecta con los sensores de pH y de ORP de +GF+SIGNET mediante un conector de diseño exclusivo que permite instalar la sonda en línea o sumergida. Un cuarto de vuelta es todo lo que se necesita para conectar rápidamente las señales de mv y de temperatura. Se ha diseñado para utilizarlo con distintos dispositivos de medición, incluidos los modelos actuales de transmisores, monitores y controladores de pH y de ORP

### **Características**

Cuerpo robusto de PVC.

Conexión de sensor directa para una amplificación de señal fiable.

Diseñado para instalaciones sumergidas o en línea.

Cuenta con conexiones para sensores de temperatura y de mv.

Diseño robusto con junta doble para una conexión de alta impedancia limpia y seca.



**Figura 7.3**

## **Aplicaciones**

Sistemas de tratamiento de agua y de aguas residuales.

Procesos industriales.

Galvanoplastia.

Pre - tratamiento de aguas residuales.

Destrucción de productos tóxicos.

Extracción y recuperación de metales pesados.

Supervisión de aguas residuales.

Sistemas de potabilización de agua.

### **7.3.3 ELECTRODOS PARA ORP +GF+SIGNET 2715 / 2717**

#### **Descripción**

Los electrodos +GF+SIGNET 2715 y 2717 ORP son electrodos combinados de doble unión con una resistencia I.D. integrada exclusiva para reconocimiento automático del sensor por parte del transmisor de pH / ORP +GF+SIGNET 8710 y el monitor de pH / ORP 5700. El cuerpo de PVC resistente a los productos químicos y la conexión hacen que la extracción y sustitución de los electrodos sea rápida y sencilla.

La superficie detectora de platino detecta con precisión y fiabilidad los procesos industriales de reducción y oxidación.

#### **Características**

Electrodos combinados de doble unión.

Superficie detectora de platino.

Ruta de referencia larga.

Superficie plana resistente a los residuos.



**Figura 7.4**

### **Aplicaciones**

Sistemas de tratamiento de agua y de aguas residuales.

Procesos industriales.

Galvanoplastia.

Pre - tratamiento de aguas residuales.

Destrucción de productos tóxicos.

Extracción y recuperación de metales pesados.

Sistemas de potabilización de agua.

Manantiales y cisternas industriales.

### **Mantenimiento y Limpieza**

**Mantenimiento:** Las variables pueden afectar la vida útil a largo plazo del electrodo ORP. Por este motivo, se recomienda mantener un registro de mantenimiento para realizar un análisis de tendencias. Cuando guarde sensores en cajas, coloque los sensores horizontalmente para maximizar la hidratación de la superficie de vidrio. Mantenga la superficie de vidrio

húmeda en todo momento. Remoje la punta del sensor en una solución testigo de pH 4.0 durante los intervalos de mantenimiento del sistema.

Las aplicaciones dentro de la línea deben instalarse con una depresión que garantice que se mantenga líquido alrededor de la punta del sensor. Si se ha producido la deshidratación del sensor, sumerja la punta del sensor en solución de pH 4,0 durante 24 a 48 horas, luego inspeccione visualmente el electrodo por posibles rajaduras superficial, hinchazón o decoloración.

Las técnicas de limpieza varían según el tipo de revestimiento presente en la superficie. Los que pueden ser:

**Revestimientos Blandos:** Se pueden quitar mediante una agitación vigorosa, o mediante un rociado dirigido de un detergente o disolvente pertinente sobre la superficie de vidrio del electrodo. Se puede usar blanqueador de Cloro o un detergente suave para quitar los revestimientos blandos. Debe enjuagar siempre la punta del electrodo en agua limpia después de la limpieza.

**Revestimientos Duros:** Se pueden quitar con una solución química utilice siempre la solución química menos potente capaz de extraer el contaminante dentro de dos minutos sin atacar los materiales de construcción, por ejemplo el carbonato de calcio, se puede extraer con una solución de HCl 5 % (ácido muriático).

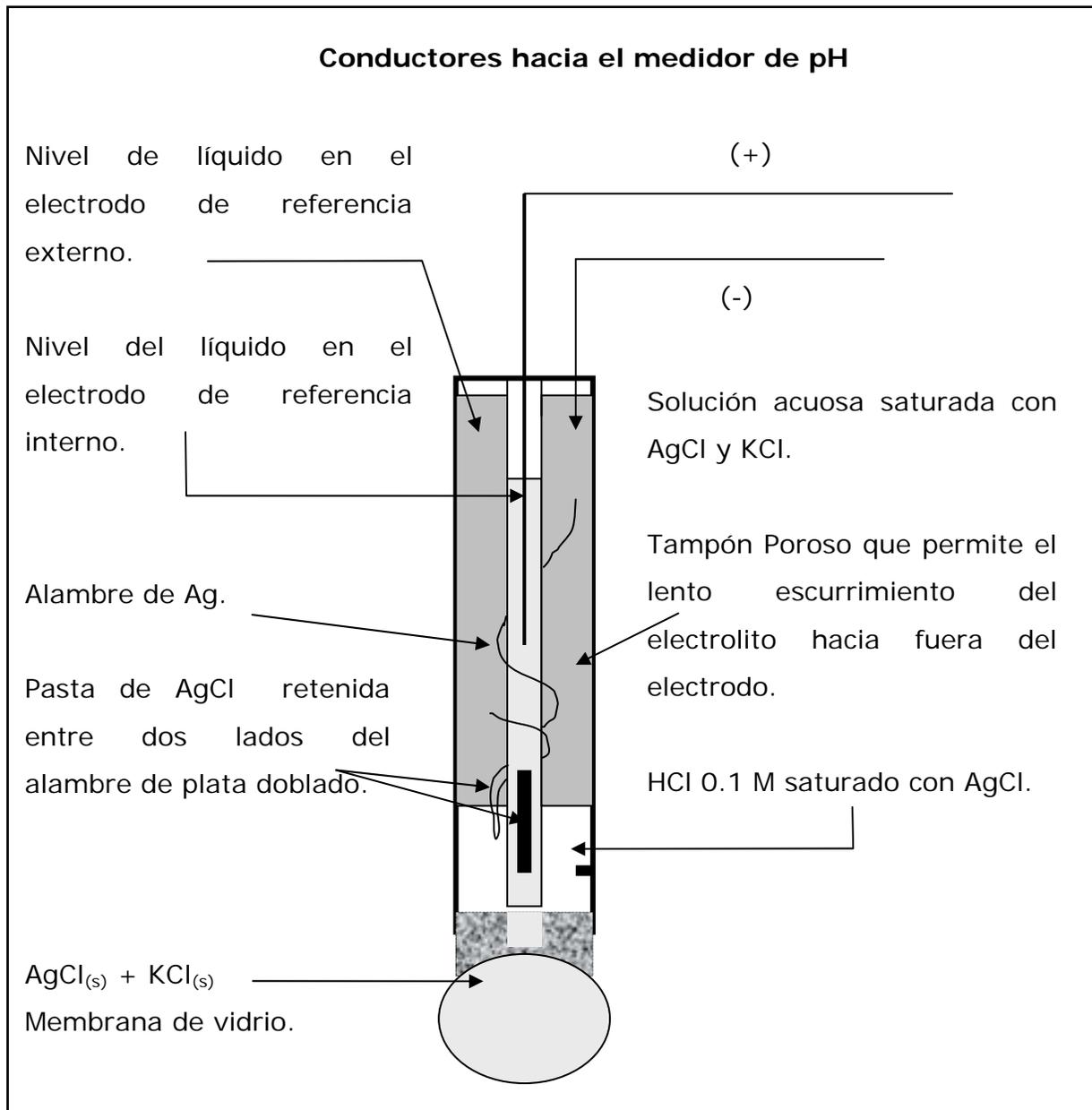
**Revestimientos Aceitosos u Orgánicos:** Se pueden extraer con detergentes o con un disolvente apropiado que no ataque a los materiales de construcción, por ejemplo se puede utilizar alcohol isopropílico pero se debe evitar el uso de acetona para evitar daños al cuerpo del sensor CPVC.

**Superficie del Electrodo ORP (Vástago de Platino):** Puede limarse ligeramente con papel de limar húmedo de 600 gránulos y silicona seca o

carburo, óxido férrico, tela de esmeril de óxido de hierro o lanas de fibras metálicas muy finas.

#### 7.4 MEDICIÓN DEL PH CON UN ELECTRODO DE VIDRIO

Otra forma de medir pH es a través de un electrodo de vidrio y un medidor de pH, dado que este equipo mide diferencia de potencial eléctrico.

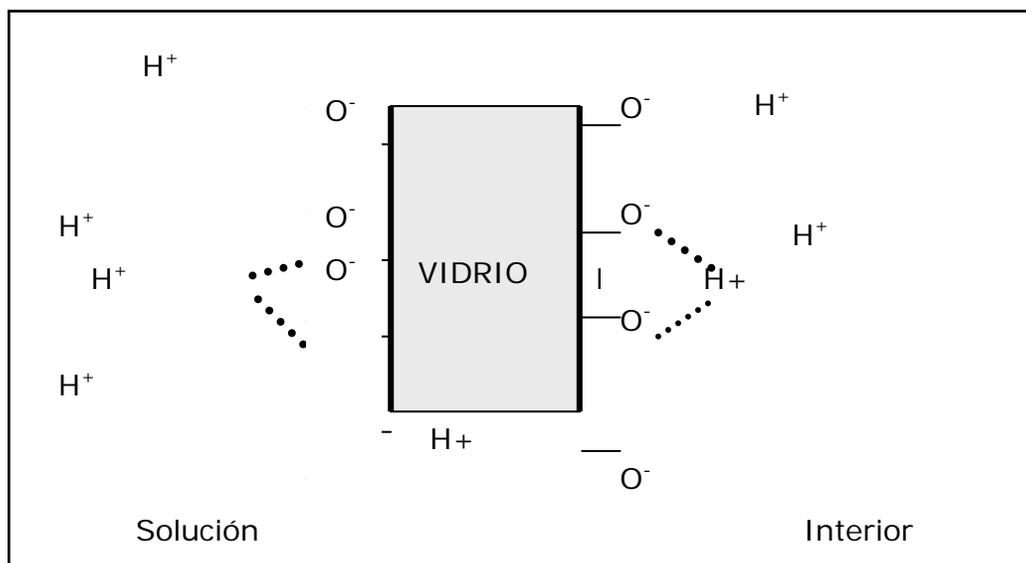


**Figura 7.5 Electrodo de Vidrio**

La delgada membrana de vidrio de construcción especial ubicada en el extremo del dispositivo, es la parte del electrodo que responde a las variaciones de pH.

Esta membrana de vidrio corresponde a una red irregular de tetraedros de  $\text{SiO}_4$ , el silicato contiene átomos de oxígeno cargados negativamente, disponibles para coordinarse con cationes metálicos de tamaño apropiado, éstos tienen la propiedad de desplazarse a través de la red de silicato.

Las dos caras del vidrio expuestas a la solución acuosa absorben algo de agua y se hinchan. La mayoría de los cationes metálicos presentes en estas regiones constituidas por un gel hidratado salen por difusión del vidrio hacia la solución. Al mismo tiempo, los iones  $\text{H}^+$  (ó  $\text{OH}^-$  según el pH de la solución) puede difundirse en la red hinchada del silicato y ocupar algunos sitios de enlace de los cationes. Se considera que el equilibrio en el cual los iones  $\text{H}^+$  reemplazan a cationes metálicos del vidrio es un equilibrio de intercambio iónico.



**Figura 7.6 Membrana de Vidrio**

Las dos caras de la membrana están en equilibrio con  $\text{H}^+$  los iones transportan la carga a través de la membrana, de modo que una cara sigue

“detectando” lo que pasa en la otra. Puesto que la concentración de cloruro es fija en cada compartimiento, y que la concentración de  $H^+$  es fija del lado interno de la membrana, el único factor que provoca un cambio en la diferencia de potencial es la variación del pH de la solución en estudio.

#### **7.4.1 ESTANDARIZACIÓN DEL ELECTRODO DE VIDRIO.**

Antes de utilizar un electrodo de vidrio se debe estandarizar. Para ello se utilizan dos o más soluciones tampones estándares (patrones), seleccionada de manera que el pH de la solución problema se sitúe dentro del rango de pH definido por las soluciones citadas.

Antes de estandarizar el electrodo, éste se enjuaga con agua destilada y se seca suavemente con papel absorbente, no debe frotarse por que produce electricidad estática en la superficie del vidrio, luego se sumerge en una solución tampón, en el caso de la planta, de pH 10, hasta que alcance el equilibrio y se ingresa el valor según el sistema de calibración que tenga cada equipo, acto seguido se enjuaga nuevamente y se seca para introducirlo en la otra solución tampón (pH 13), repitiéndose el mismo paso anterior.

Cuando no se usa, el electrodo de vidrio debe guardarse en agua limpia de manera que la capa de gel hidratada no se seque. En el caso de que el electrodo se haya secado, debe reactivarse sumergiéndolo en agua durante varias horas.

Cuando el electrodo comienza a medir en forma lenta o no se logra calibrar adecuadamente significa que se han tapado los espacios de la interfaz con iones (error alcalino), impidiendo el libre intercambio iónico.

Para solucionar este problema se debe lavar el electrodo con HCl 6 molar y luego con agua, si esto no da resultado sumergirlo en una solución de

Bifluoruro de amonio al 20%, este compuesto disuelve la capa de vidrio más externa, debe almacenarse en recipientes de vidrio y evitar contacto con la piel ya que produce serias quemaduras.

El principal concepto que debe tenerse en cuenta para manipular estos equipos es la limpieza, si el electrodo se deja en ambientes que no son adecuados su vida útil disminuirá en forma acelerada.

## 7.5 UBICACIÓN DE LOS SENSORES EN LA PLANTA

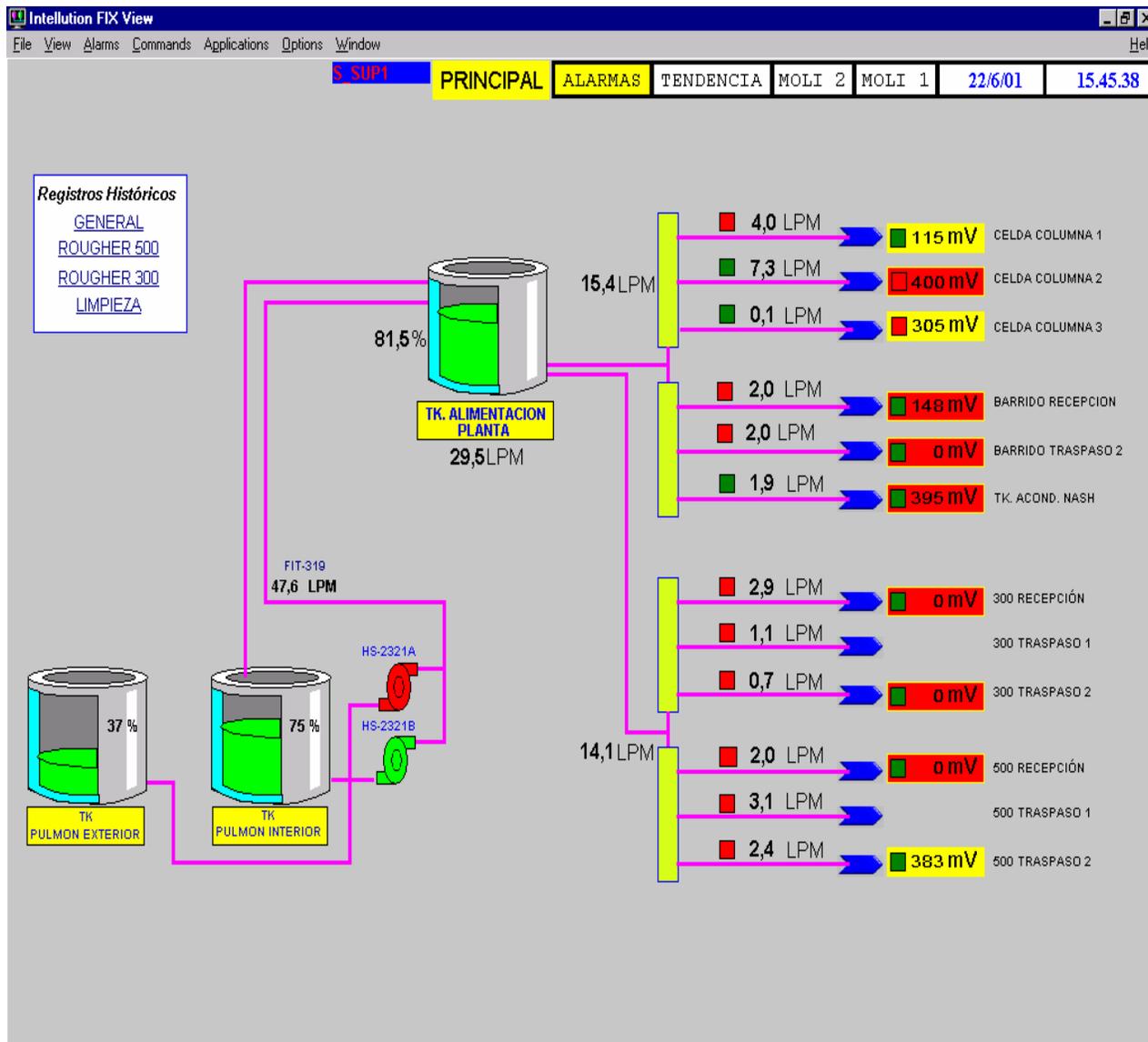
En la Tabla 7.1 se muestra la ubicación de los sensores de potencial en las etapas de flotación:

**Tabla 7.1 Ubicación Sensores**

<b>Rougher</b>	<b>Limpieza</b>	<b>Barrido</b>
TK Acondicionador	Columna 1	Recepción Barrido
Recepción 300	Columna 2	2° Traspaso Barrido
2° Traspaso 300	Columna 3	
Recepción 500		
2° traspaso 500		

Estos diez sensores continuamente nos entregan información de lo que está ocurriendo en el interior de las cedas y columnas. Esta información se puede leer in situ a través, de la pantalla del transmisor de pH / ORP Signet 8710 con que cuentan estos instrumentos, y en el panel de control de la planta.

La pantalla principal del programa que controla los sensores se presenta en la Figura 7.7.



**Figura 7.7 Sistema de Adquisición de Datos FIX 32**

La información recibida es almacenada por un software de supervisión una y adquisición de datos (FIX 32 Interllution, sistema Scada), esto nos permite observar el potencial y el flujo de adición en cada punto en el momento.

El flujo de adición del NaSH está relacionado con el potencial ORP, por medio de una PLC se establece un Set Point específico de potencial en la celda, de esta manera el equipo de control automático deberá tomar acción

cada vez que el potencial difiera del potencial que se ingresó como Set Point este potencial lo denominaremos "Potencial de Adición". Para encontrar el potencial de adición fue necesario realizar numerosos muestreos y análisis en las celdas en donde se encuentran ubicados los sensores.

## **7.6 POTENCIAL DE ADICIÓN**

Cuando comenzó el estudio, los sensores no entregaban el correcto valor del potencial, además el flujo de NaSH lo realizaba el operador en modo manual, por lo tanto, antes de encontrar el potencial de adición hubo que calibrar los sensores y estudiar su comportamiento durante un periodo de tiempo, en este tiempo la adición continuó siendo en modo manual.

El seguimiento consistía en anotar el potencial y el flujo de adición en cada una de las celdas que cuentan con sensor, este valor lo podíamos obtener desde el panel de control o del mismo sensor, diariamente y cada una hora. Mientras en la planta el Operador determina el flujo de adición de NaSH de acuerdo a su juicio experto.

Es importante recordar que a la planta se alimenta una pulpa concentrada (40 % de sólidos aprox.), por lo tanto, hay un importante efecto de dilución.

Si consideramos que el porcentaje de sólidos de la corriente de alimentación es variable y que el NaSH actúa sobre el mineral, será importante establecer el mineral seco alimentado lo que se conoce como TMS (Tonelada Métrica Seca), en resumen tenemos un flujo variable de concentrado colectivo alimentado a la planta, con porcentaje de sólidos variable, al que se le adiciona un reactivo depresante (NaSH) de concentración conocida y flujo variable.

En la Tabla 7.2, podemos observar que aunque conocemos el porcentaje de sólidos del concentrado colectivo que se alimenta a la planta no podemos manejarlo, es decir, que aunque el valor es cercano a 40 % de sólidos, este valor no lo podemos ni fijar, ni predecir, es un valor oscilatorio que algunas veces puede bajar hasta un 20 %.

**Tabla 7.2 Flujos y Concentraciones**

	Conc. Colectivo	NaSH
Flujo	Conocido	Conocido Tabla 1
	Manejable	Manejable
Concentración	Conocido	Conocido
	No Manejable	Manejable

Al tener un porcentaje de sólidos variable y un flujo constante, obviamente las TMS también serán variables.

La única manera de mantener constantes las TMS considerando variable el porcentaje de sólidos, sería ir variando proporcionalmente el flujo de alimentación lo cual no es viable en esta planta, ya que depende de la alimentación que recibe de la planta de flotación colectiva.

Fijar el porcentaje de sólidos en el concentrado colectivo, es prácticamente imposible, ya que para esto deberíamos contar con un espesador de cabeza de grandes dimensiones, que sea capaz de recibir la carga de concentrado colectivo que se alimenta a la planta, por lo tanto, las TMS serán variables.

La idea de automatizar la adición del NaSH, nace por la inquietud de minimizar la pérdidas y errores en la adición del NaSH, el parámetro que se

utilizará como referencia será el potencial ORP que indiquen los sensores de potencial, por lo tanto, es muy importante que estos operen en forma adecuada, y que en caso de que se detecte alguna falla se solucione rápidamente.

Cuando el sistema opera en forma manual, el operador es encargado de determinar el flujo de adición como referencia el puede tener a la vista las leyes que entrega el analizador de leyes, lo que podría dar una idea del comportamiento del proceso. El analizador de leyes entrega leyes de alimentación, cola y concentrado final, es decir, solo tres puntos, y la adición del NaSH es en diez. Por este motivo, contar con una herramienta que nos entregue información en línea de lo que ocurre en cada punto de adición es de gran importancia.

Lo que se propone, es adicionar el NaSH en base al potencial ORP que indique el sensor en cada punto, es decir, automatizar la adición.

El procedimiento que se utilizó para establecer el set point o potencial de adición en cada punto, se dividió en las siguientes etapas:

- ✓ Calibrar y poner en operación los sensores.
- ✓ Anotar el valor de potencial en cada punto y comprobarlo con el valor del programa (solo una vez).
- ✓ Anotar el flujo de adición en cada punto.
- ✓ Anotar las leyes del analizador.
- ✓ Anotar novedades.

Este seguimiento se realizó durante 60 días aproximadamente., 8 ó 9 veces al día y cada una hora. Los datos se tabularon en las Tablas "tipo" que se muestran a continuación.

**Tabla 7.3 Potenciales y Flujos de Adición en Celdas Convencionales**

Hora	Recep Ro 300		1º trasp. Ro 300		1º trasp Ro 300		Recep Ro 500		1º trasp. Ro 500		2º trasp Ro 500	
	Pot	Adic.	Pot	Adic.	Pot	Adic.	Pot	Adic.	Pot	Adic.	Pot	Adic.
8	0	0	---	0	348	3	336	0	---	0	314	0,5
9	0	0	---	0	352	2,4	338	0	---	0	307	0,6
10	0	0	---	0	335	0	353	0	---	0	292	0,6
11	0	0	---	0	244	0	352	0	---	0	268	0,5
13	0	0	---	1,2	306	1,3	349	0	---	1,9	266	1,9
14	0	2,3	---	1,8	226	1,3	275	1,6	---	2,3	199	1,9
15	0	0	---	0	317	0,4	353	0	---	0	306	1,5
16	0	0	---	0	323	0,4	349	0	---	0	319	0,8
17	0	0	---	0	327	0,4	333	0	---	0	314	0,8

**Tabla 7.4 Potenciales y Flujos de Adición en Columnas**

Hora	Columna 1		Columna 2		Columna 3		Barr. Recep.		Barrid. Trasp.		Tk. Acon	
	Pot	Adic.	Pot	Adic.	Pot	Adic.	Pot	Adic.	Pot	Adic.	Pot	Adic.
8	240	3	269	3	301	2	393	4	0	4	223	8
9	233	3	266	3	326	2	382	4	0	4	216	8
10	253	5	267	3	338	2	362	4	0	4	217	8
11	240	3	269	3	348	2	365	4	0	4	201	8
13	236	5,1	276	3	361	2	356	3,3	0	3,2	194	8
14	233	7,1	278	3	365	2	350	3,3	0	3,2	203	8
15	219	3	283	3	363	1,5	348	3,3	0	3,2	234	102
16	222	2,5	311	3	292	1,5	346	3,3	0	3,2	254	10,2
17	204	1,6	325	2,6	291	1,5	331	4,2	0	4,2	257	8,5

- En estas tablas se anota: la hora, el flujo de adición y el potencial en cada uno de los puntos en donde se controla.
- En la Tabla 7.5 se anotan las leyes y recuperación entregadas por el analizador de leyes. Estos datos, nos dan una idea del comportamiento general del proceso.

**Tabla 7.5 Leyes y % Rec**

Leyes			
Conc.	Alim.	Cola	% Rec.
48,2	0,336	0,055	83,73
48,2	0,35	0,067	80,97
48,1	0,36	0,075	79,29
48,4	0,345	0,07	79,83
48,3	0,357	0,071	80,23
48,7	0,319	0,064	80,04
48,5	0,306	0,062	79,84
48,8	0,327	0,057	82,67
48,7081	0,3244	0,0748	77,06

Se obtuvieron cerca de 65 tablas, aunque se debe señalar que algunas se descartaron por problemas en la planta o por mantención de los sensores.

Si observamos la adición en el circuito Rougher veremos que en las celdas de 500 pie<sup>3</sup> casi no se adiciona NaSH y en las de 300 pie<sup>3</sup> solo en el primer traspaso y en baja cantidad, por lo tanto, en adelante el flujo de adición al circuito Rougher lo representaremos en el cuadro del estanque de acondicionamiento ya que en este punto se produce el flujo mas significativo.

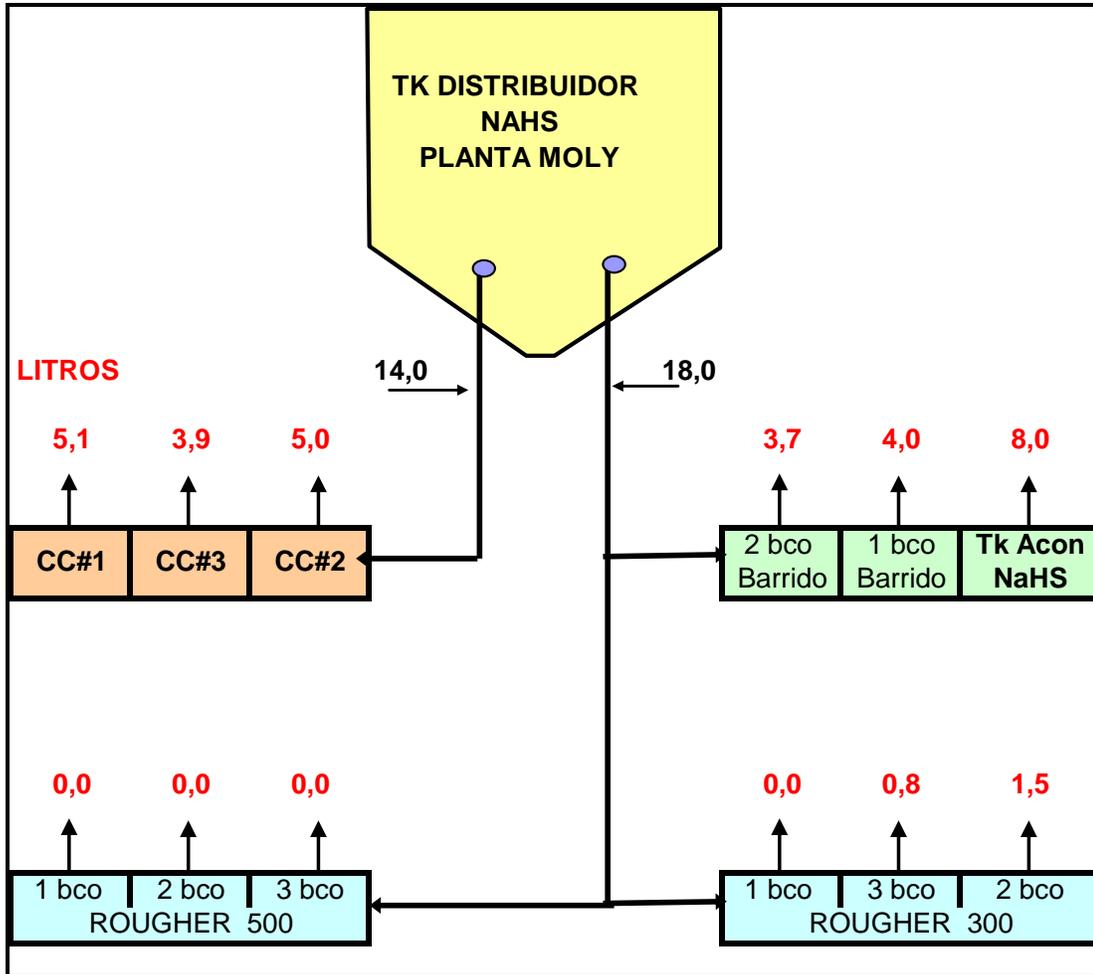


Figura 7.8 Distribución Flujo de NaSH

En la figura anterior se muestra la distribución del flujo de adición de NaSH (l/m), para cada banco de celdas, obviamente que el flujo irá variando en cada punto, pero se considera como un modelo bastante cercano a una condición de operación normal.

Se debe saber determinar cuando un valor se puede tomar en cuenta o no, esto se realiza de acuerdo a la experiencia o apoyado por la información que proporciona el programa de control. Para esto es fundamental reconocer las alarmas con que este software cuenta para identificar los sensores que están inhabilitados o descalibrados.

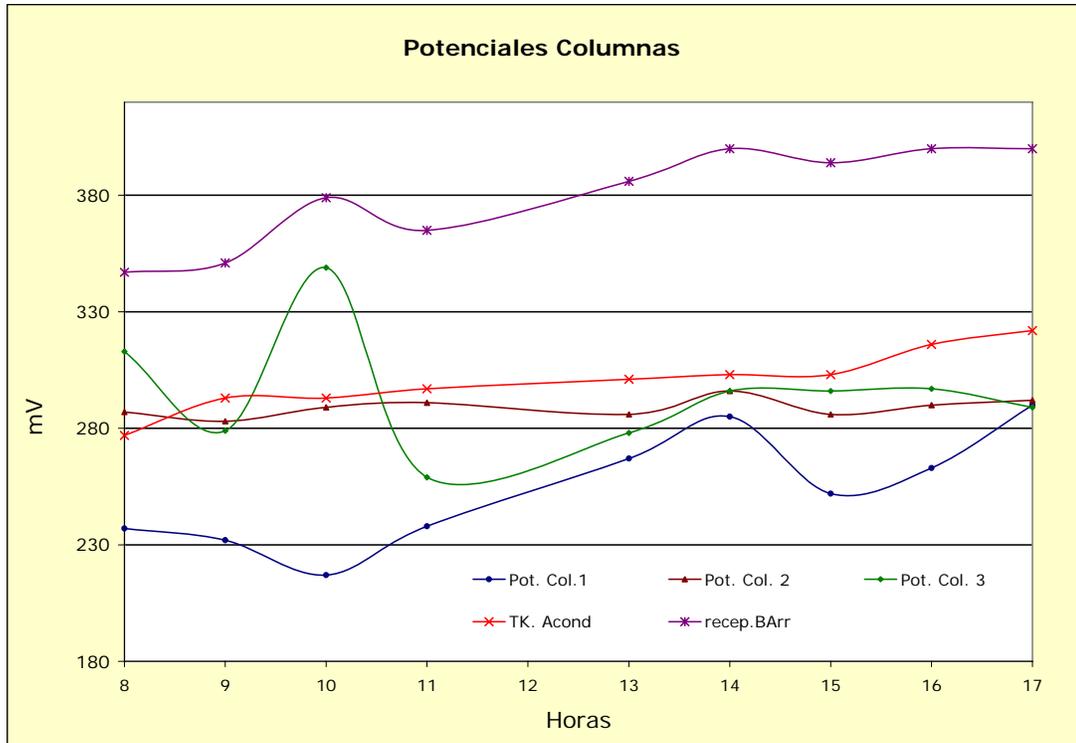
En la Tabla 7.6 se muestra a modo de ejemplo algunos puntos a estudiados, es interesante observar el comportamiento del potencial en cada punto durante un día y la recuperación de la planta promedio puntual y por turnos.

**Tabla 7.6 Potenciales y Flujos de Adición**

Hora	Columna 1		Columna 2		Columna 3		Tk. Acon		Barr. Recep.	
	Pot	Adic.	Pot	Adic.	Pot	Adic.	Pot	Adic.	Pot	Adic.
8	237	2,8	287	4	313	2	277	9,5	347	3,7
9	232	2,4	283	4	279	1,4	293	9,5	351	3,7
10	217	2,5	289	4	349	1,4	293	9,5	379	3,5
11	238	2,5	291	4	259	1,4	297	9,5	365	3,6
13	267	2,5	286	3,5	278	1,4	301	9	386	3,5
14	285	2	296	3,5	296	1,4	303	9	400	3,5
15	252	1,7	286	3,6	296	1,4	303	9	394	3,5
16	263	1,7	290	3,6	297	1,3	316	9,1	400	3,5
17	290	1,7	292	3,5	289	1,3	322	9	400	3,5
<b>% Rec</b>	<b>TA</b>	<b>TB</b>	<b>TC</b>	<b>PROM</b>						
	81,3	80,5	83,7	<b>81,8</b>						

La recuperación por turnos, nos sirve para tener una referencia del proceso, los datos corresponden a un día en que se obtuvo una buena recuperación, por este motivo el valor de los potenciales medidos en cada punto, son un referente importante para determinar el potencial de adición.

Es importante ver el comportamiento de los potenciales mientras duró el seguimiento, a continuación veremos el comportamiento del potencial durante un día de seguimiento.



**Gráfico 7.1**

Luego de revisar y graficar todas las tablas, se puede observar que para días de operación normales y de buena recuperación, existe una tendencia del potencial para cada punto. Esto es importante, ya que mientras se realizó el seguimiento nos dimos cuenta que los potenciales varían rápidamente aún cuando se mantuvo constante el flujo de adición, esto tal como lo señalamos anteriormente, es causado por la constante variación del porcentaje de sólidos, es decir, las TMS que varían constantemente.

De acuerdo a lo anterior, no sería conveniente fijar un valor único de potencial para cada punto, el panorama sería: TMS y Flujo de adición de NaSH variable, para lograr mantener el potencial de adición constante. Esto ocurre principalmente debido a que existe un desfase entre el tiempo

en que cambia el porcentaje de sólidos y el tiempo en que se consume o reacciona el NaSH (Ese tiempo se produce por la dilución, carga variable en la celda, además que existe un tiempo de reacción que según estudios es de aproximadamente 10 minutos para una celda de 500 pie<sup>3</sup>).

En resumen se contaba con la información del flujo de alimentación a la planta y la concentración de NaSH, pero los sensores de potencial como vimos anteriormente trabajan en función de las TMS y este parámetro no lo podemos controlar ya que no contamos con un espesador de grandes dimensiones que reciba el concentrado colectivo que llega a la planta y así fijar el porcentaje de sólidos, siendo este el principal problema para controlar la adición del NaSH.

Cuando el sistema opera en modo manual y varían las TMS el operador es el encargado de variar el flujo de NaSH para esto toma como referencia el valor del potencial que entregan los sensores.

Para esto se entrega como resultado un listado de parámetros límites que se pueden ingresar al sistema de control. Estos parámetros son potenciales de adición límites de cada sensor de manera que sobrepasando el límite inferior o superior de cada punto opere la alarma con que cuenta el sistema y el operador tome la acción correctiva operando en modo manual.

Para escoger los parámetros que ingresaran al programa se utilizaron los datos reunidos durante 3 meses más la información adicional que nos proporcionan los muestreos.

En la Tabla 7.7 se presenta el resumen de los datos obtenidos a través, del seguimiento realizado durante el periodo de tiempo que duró el estudio.

**Tabla 7.7 Potenciales y Flujos de Adición en Celdas Columnas**

	Columna 1		Columna 2		Columna 3		Tk. Acon		Barr. Recep.	
	Pot	Adic.	Pot	Adic.	Pot	Adic.	Pot	Adic.	Pot	Adic.
Minimo	186	0,6	0	2	198	0,1	220	3	194	0
Maximo	324	7,1	325	4,5	365	2,5	400	12,2	400	11,5
promedio	231	2,3	197	3,4	280	1,5	339	6,0	309	7,5
Desv	26	1,3	94	0,7	50	0,5	52	3,4	67	3,6

## 7.7 PROBLEMAS AL FIJAR UN POTENCIAL

El problema que se produce al fijar un potencial de adición, radica en que los sensores muestran una lenta respuesta cuando se produce un cambio en el porcentaje de sólidos en flujo de alimentación fresca, esto se debe a la sensibilidad que presenta este tipo de sensores frente a cambios en el sólido, además se debe considerar que cada vez que y cambia el porcentaje de sólidos, deben tomar acción nuevamente. Esto puede ocurrir muchas veces lo que provoca un problema ya que la acción correctora tiene un tiempo de desfase frente a la medición.

Si suponemos que tenemos un flujo constante y varía el sólido (suponiendo que disminuye), entonces se produce una disminución en las TMS de alimentación, lo que finalmente debería reflejar una disminución en el consumo de NaSH, sin embargo, regularmente esto no ocurre directamente, ya que al estar mas diluida la pulpa, la acción del NaSH es mas lenta ya que a su vez este se diluye, lo que provoca un exceso en la adición de NaSH. Esto se ve incrementado con el bajo tiempo de residencia que se le da en las celdas Rougher cuando se presenta con un bajo porcentaje de sólidos.

En resumen los principales problemas son:

- ✓ Constante variación del % de sólidos.
- ✓ Lenta respuesta de los sensores.

Por lo tanto, la solución apunta a controlar estos puntos.

### **7.7.1 VARIACIÓN DE LOS SÓLIDOS EN LA ALIMENTACIÓN FRESCA**

Cuando el sólido de alimentación es muy alto, este se puede mezclar con las aguas de rebalse del espesador Delkor (según diseño), o con alguna otro fuente de agua clara de manera de mantener la alimentación a la planta con un sólido cercano al 45%.

Cuando el sólido es bajo ( $< 40\%$ ), al no contar con un espesador de cabeza, no se puede tomar acción en esta planta.

### **7.7.2 RESPUESTA DE LOS SENSORES**

Para mejorar la respuesta de los sensores es necesaria su periódica limpieza. (mínimo una vez por semana).

Se deben reparar aquellos que se encuentren en mal estado y mantener un seguimiento sobre ellos.

Se debe tomar acción inmediata en caso que dé aviso alguna alarma.

Se debe trabajar con los límites de adición y con los set point adecuados.

## 8.0 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El objetivo de este capítulo es realizar estudios que permitan estimar los costos de operación, inversiones y beneficios económicos que se podrían lograr, al dejar disponibles para la operación los elementos en estudio "Analizador de Leyes" y "Sensores de Potencial".

Básicamente la idea es contar con estas herramientas disponibles para la gestión operativa, de este modo podremos agregar "valor" al proceso a través, de un aumento en la recuperación de Molibdeno, y disminución del consumo de NaSH.

Los principales elementos que este capítulo son:

- ✓ Inversiones
- ✓ Costos de Operación
- ✓ Ingresos

### 8.1 ESTIMACIÓN DE INVERSIONES

En este proyecto las inversiones son menores y no revisten mayor importancia, al ser un proyecto que se basó fundamentalmente en pruebas y mediciones sobre la infraestructura y equipos existentes. Sin embargo, como complemento de este informe presentaremos los criterios utilizados para estimar las Inversiones.

El capital total necesario para la instalación y puesta en marcha de un proyecto está compuesto por:

- ✓ Capital Fijo
- ✓ Puesta en Marcha

### 8.1.1 INVERSIONES EN CAPITAL FIJO

La inversión en capital fijo se refiere al costo de realización de la planta. Está asociado a la inversión en equipos, edificios, terrenos, y de los costos de montaje, ingeniería y gastos administrativos.

Esta inversión está compuesta por los siguientes elementos:

- Costos de los Equipos
- Transporte, Seguros, Bodegaje e Internación
- Impuestos
- Dúctos y Cañerías
- Instrumentación
- Instalación de Equipos
- Componentes Auxiliares
- Preparación Terreno
- Contingencias e Interrupción de Procesamiento
- Ingeniería y Construcción
- Edificios y Laboratorios

Todos los elementos del Capital Fijo, a excepción del primer ítem, Costo de Equipos (Valor F.O.B.), se estiman bajo la siguiente estructura de cálculo:

**Tabla 8.1 Factores de Costo**

1	Transporte y Seguros	15 % de F.O.B.
2	Impuestos	30% de F.O.B.
3	Ductos y Cañerías	10% de F.O.B.
4	Instrumentación	10% de F.O.B.
5	Instalación de Equipos	5% de F.O.B.
6	Componentes Auxiliares	10% de F.O.B.
7	Preparación de Terreno	3% de F.O.B.
8	Contingencias e Interrupción de Producción	3.5% de F.O.B.
9	Ingeniería y Construcción	5% de F.O.B.
10	Edificios y Laboratorios	2% de F.O.B.

### **Costos de los Equipos**

Para estimar los Costos de los Equipos existen tres alternativas, recomendables, estas son:

Actualización y Escalamiento de un equipo de capacidad y precio conocido e información de la literatura en forma de gráficos y tablas, con información general sobre la familia de equipos.

### **Factor de Escalamiento**

En muchos casos se conoce el valor de un equipo (o planta) de una determinada capacidad y se desea conocer el valor de otro similar. En estos casos se utiliza el procedimiento de Williams que se basa en el concepto de economía de escalas (un aumento en la capacidad no necesariamente equivale a un aumento en igual proporción en el valor del equipo), el cual es representado por la siguiente relación:

Factor de Escalamiento:

$$\frac{Y_A}{Y_B} = \left( \frac{X_A}{X_B} \right)^n$$

Donde:

YA : Costo unidad A.

YB : Costo unidad B.

XA : Capacidad equipo A

XB : Capacidad equipo B.

n : Exponente o Factor de Williams.

El exponente n varia según el equipo o tipo de industria, pero en la mayoría de los casos "n" es igual a 0,6, por lo cual este exponente se conoce como el "factor de los dos tercios de Williams"

### **Puesta en Marcha**

En la puesta en operación de una planta industrial, es necesario efectuar una serie de gastos que se deben considerar al momento de determinar la inversión total.

Por lo general las diversas unidades operan a un bajo porcentaje de su capacidad total y muchas veces hay que detenerlas para proceder a los ajustes necesarios para que den los rendimientos deseados.

Se estiman los gastos de la puesta en marcha como un 10 – 15% del capital fijo.

Calculados los costos de Capital Fijo y los costos de la Puesta en Marcha se calcula el Costo Total de la Inversión.

## **8.2 ESTIMACION COSTOS DE OPERACION**

Tal como mencionamos en el capítulo anterior, las inversiones relacionadas con nuestro proyecto son marginales con respecto a la inversión global. De manera similar los Costos Operacionales tampoco afectan considerablemente el gasto anual, no obstante como complemento del estudio, presentaremos un detalle del costo operacional de la planta incluyendo el “delta” de costos de operación, que se produce al mantener en operación el analizador de leyes y los sensores de potencial.

A continuación, se presentan los criterios utilizados para estimar los costos de operación de la planta y el delta asociado a nuestro proyecto.

### **8.2.1 CRITERIOS GENERALES DE ESTIMACIÓN COSTOS DE OPERACIÓN**

Para el cálculo de los costos de operación se utilizaron los siguientes criterios:

A continuación se muestra la estructura utilizada para el quiebre por elemento de gasto.

- a) Remuneraciones
- b) Materiales
- c) Energía Eléctrica
- d) Mantenimiento
- e) Servicios de Terceros
- f) Contingencia Operacional

A continuación, se presentan los criterios específicos de estimación de costos de operación por elemento de gasto.

## **Remuneraciones**

El número de personas correspondiente a la dotación de supervisores de Operación, se estima de acuerdo al total necesario por turno, considerando ausentismo, vacaciones, dotación de reemplazo, etc.

El número de personas correspondiente a la dotación de operadores, se estima de acuerdo al total necesario en jornada administrativa y por turno, considerando ausentismo, vacaciones, dotación de reemplazo, etc.

Las tarifas utilizadas corresponden al valor promedio de remuneración para las categorías correspondientes, informadas por la División, el cual tiene un crecimiento del 2% anual, tanto para los supervisores como para los operadores. En promedio las tarifas están en torno a las siguientes cifras:

Supervisores: 70 KUS\$/Año

Operadores: 40 KUS\$/Año

## **Materiales**

El costo de los materiales se estima a partir de su relación insumo/producto, los cuales se calculan en función del plan de producción.

## **Energía Eléctrica**

Los costos asociados a la energía eléctrica se estiman en base al consumo de energía de la planta, considerando potencias instaladas y factores de utilización de los equipos empleados, para este estudio se estimó en 49 US\$/MWh, sin costo fijo.

## **Mantenición**

El criterio utilizado para la estimación de los costos de mantención de la planta de flotación selectiva corresponde a valores de benchmarking de plantas selectivas de similares características, más el 10% del valor global. Este valor incluye los ítems de personal de mantención (realizado por externos), repuestos y materiales utilizados en las mantenciones y reparaciones en general, como así también la operación y mantención de los equipos en estudio.

## **Servicios De Terceros**

La estimación de servicios de terceros corresponde a valores benchmarking de plantas selectivas de similares características, más el 10% del valor global. Este valor incluye los servicios de aseo industrial y de oficinas, consultorías y servicios varios.

## **Contingencia Operacional**

La contingencia operacional corresponde a una provisión de recursos para labores imprevistas asociadas a la operación y mantención del sistema global. Se considera provisionar un 15% del costo global acumulado para los dos primeros años, disminuyendo paulatinamente hasta un 2% en los años posteriores.

## **Resultados**

En las Tablas N° 8.2 y 8.3, de las páginas siguientes, se presentan los resultados obtenidos para la estimación de los costos de operación para; la planta de Flotación Selectiva y planta concentradora, además el "Delta" de costos operacionales producto de la de operación y mantención de los equipos en estudio.

**Tabla 8.2 Costos de Operación Planta Flotación Selectiva**

<b>Total Flotacion Selectiva</b>	<b>Producción</b>	<b>KTPA</b>	<b>1.227</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>KUS\$</b>	<b>6.017</b>
	<b>Costo Unitario</b>	<b>US\$ / t</b>	<b>4,90</b>
Remuneraciones	Rol A	Nº	2
	TARIFA Rol A	kUS\$ / hombre	70
	Rol B	Nº	10
	TARIFA Rol B	kUS\$ / hombre	40
	TOTAL Operación	KUS\$	540
	Rol A	Nº	1
	TARIFA Rol A	kUS\$ / hombre	70
	Rol B	Nº	9
	TARIFA Rol B	kUS\$ / hombre	40
TOTAL Mantención	KUS\$	430	
Materiales/Mant	TOTAL	KUS\$	546
Servicios 3º/Mant	TOTAL	KUS\$	251
Materiales	RELACION I/P	kg depresante / t conc Cu-Mo	4,5
	Consumo (P*Q)	t depresante	6
	TARIFA	US\$ / t depresante	460
	TOTAL Depresante	KUS\$	2.541
	RELACION I/P	Un bolsas / t conc Mo	2,3
	Consumo (P*Q)	Un bolsas	34.743
	TARIFA	US\$ / Un bolsas	7,8
	TOTAL Maxisacos	KUS\$	271
	TOTAL Otros Mat	KUS\$	15
TOTAL	KUS\$	2.827	
Combustibles	RELACION I/P	l petróleo / t conc Cu-Mo	50
	Consumo (P*Q)	l petróleo	755.283
	TARIFA	US\$ / l petróleo	0,3
	TOTAL Diesel	KUS\$	227
Servicios 3º	TOTAL	KUS\$	100
Energia electrica	Consumo	MWh / año	10.145
	TARIFA	US\$ / MWh	49
	Consumo Eléctrico	KUS\$	497
	TOTAL	KUS\$	497
Serv A Pers	TOTAL	KUS\$	100
Serv Adm	TOTAL	KUS\$	250
Serv Apoyo Prod	TOTAL	KUS\$	250

El costo de operación para la planta es de alrededor de 6 MUS\$/año y un costo unitario de 4,9 US\$/ton de concentrado Cu-Mo tratado en la planta de flotación colectiva.

El costo de operación y mantención de los equipos está incluido en los ítems de remuneraciones y materiales de mantención de la Tabla 8.2, y

comprende a 1 operador / mantenedor (40 KUS\$/año) por turno/día y a materiales de mantención se estiman en KUS\$50/año estableciendo un costo total adicional del orden de 90 KUS\$/año, es decir un costo adicional de un 2%.

**Tabla 8.3 Costos de Operación Planta Concentradora**

<b>TOTAL COSTO DE OPERACIÓN POR OPERACIÓN UNITARIA</b>	<b>KUS\$/año</b>	<b>US\$/t Mineral</b>
Chancado Primario	2.566	0,10
STM	2.946	0,12
Acopio de Gruesos	100	0,00
Chancado Fino	5.831	0,23
Acopio de Finos	50	0,00
Molienda Unitaria	29.003	1,14
Flotación Colectiva	9.558	0,37
Espesaje de Relaves	2.555	0,10
Impulsión Agua y Relaves Los Leones	2.003	0,08
Mantención Sistema de Transporte de Relaves	594	0,02
Flotación Selectiva	6.017	0,24
STC Cu	350	0,01
Manejo de Concentrado (Espesaje y Filtrado)	4.476	0,18
Transporte Concentrado (Saladillo - Ventanas)	9.017	0,35
<b>TOTAL</b>	<b>75.067</b>	<b>2,94</b>

En la Tabla anterior se presentan los costos de Operación de todas las operaciones unitarias involucradas en la planta concentradora de División andina.

El costo unitario está expresado en US\$ por toneladas de mineral fresco tratado en la planta concentradora, para este caso se consideró 72.000 t/d.

**Tabla 8.4 Ahorro en Costos de Operación por Consumo de NaSH**

Descripción	Unidad	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Tratamiento Mineral	TPD	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000
	t/h	3.125	3.125	3.125	3.125	3.125
Ley de Cabeza Cu	%	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
<b>% Recuperación</b>	<b>%</b>	<b>90%</b>	<b>90%</b>	<b>90%</b>	<b>90%</b>	<b>90%</b>
Ley de Cu Concentrado Colectivo	%	30%	30%	30%	30%	30%
Ley de Cabeza Mo	%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%
Consumo de NaSH	kg NaSH/Ton Conc. Colectivo	4,0	4,2	4,6	4,8	5,0
Consumo de NaSH	Ton/Año	2.996	3.146	3.445	3.595	3.745
<b>Gasto Anual</b>	<b>US\$/Año</b>	<b>1,38</b>	<b>1,45</b>	<b>1,58</b>	<b>1,65</b>	<b>1,72</b>

En la Tabla 8.4, se aprecia el ahorro que se puede conseguir al disminuir el consumo de NaSH, la diferencia del costo anual entre un consumo de 4 kg de NaSH/ton concentrado colectivo versus consumo de 5 kg de NaSH/ton concentrado colectivo, es cercana a los 300 KUS\$/año, es decir, un ahorro cercano al 5% del costo anual.

## 8.2.2 DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS E INSTALACIONES

La depreciación de equipos, representa el deterioro de la inversión en equipos e instalaciones durante la vida útil de la planta, la cual está dada por el horizonte de evaluación.

El método de depreciación más común, lo constituye la depreciación lineal, representada por la relación:

Ecuación: Depreciación

$$D = \frac{V_d}{N}$$

Donde:

**D** : Depreciación en el periodo de evaluación, [US\$].

**Vd** : Monto de la inversión en equipos e instalaciones, [US\$].

**N** : Número de años de vida útil de los equipos e instalaciones.

## 8.3 ANALISIS DE INGRESOS

Los ingresos de la planta de Flotación Selectiva se relaciona directamente con la producción de Molibdeno, al aumentar la recuperación, aumenta la producción de Molibdeno, por lo tanto, también aumentan los ingresos.

Dado que los equipos que en estudio solo forman parte de la línea de procesos y el resultado final no depende de estos, asumiremos que al contar con mas herramientas para la operación, la recuperación debería aumentar, por lo tanto, los ingresos también aumentan.

Es factible que puestos tanto el analizador de leyes como los sensores de potencial en operación se logre aumentar la recuperación, sin embargo,

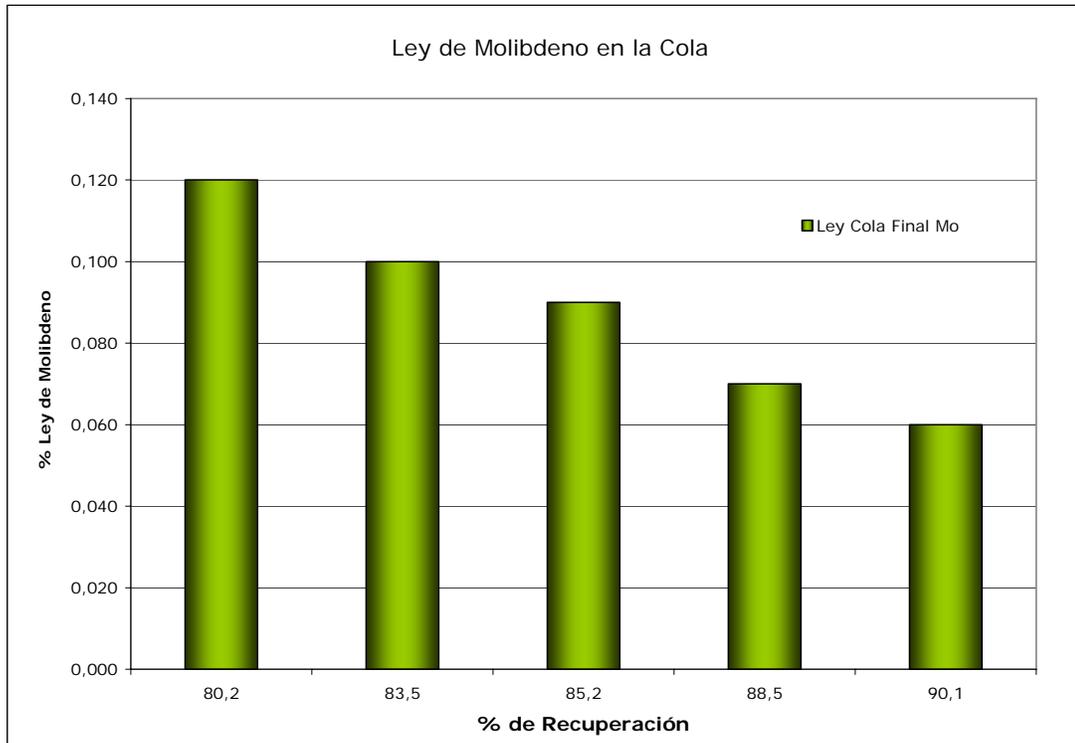
mientras se controló el proceso con estos equipos, si bien, se vio un aumento en la recuperación, no fue posible cuantificar con una precisión razonable.

Por Lo anterior, es presentaremos un ejercicio estimando el ingreso adicional que se puede obtener al conseguir un aumento en la recuperación.

**Tabla 8.5 Ingresos por Molibdeno en Función de la Recuperación**

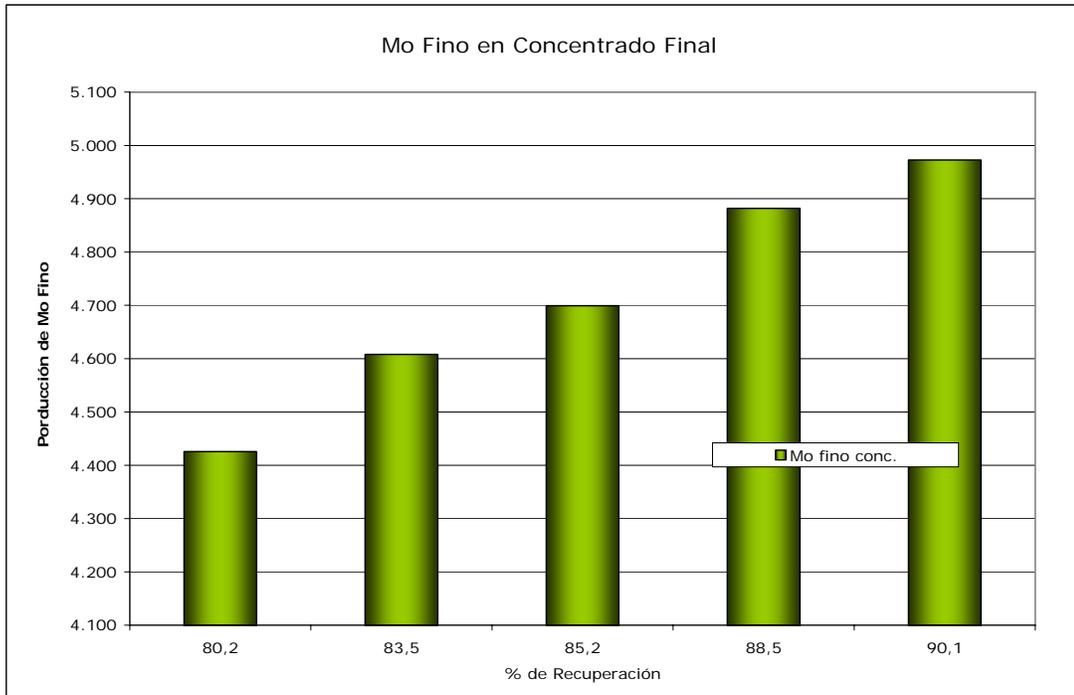
Descripción	Unidades	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Tratamiento Mineral	TPD	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000
	t/h	3.125	3.125	3.125	3.125	3.125
Ley de Cabeza Cu	%	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
<b>Ley de Cabeza Mo</b>	%	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>
Recuperación Cu Foltación Colectiva	%	90	90	90	90	90
<b>Recuperación Mo Flotación Colectiva</b>	%	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>
Total Cu Fino Alimentación Flotación Selectiva	TPD	616	616	616	616	616
Total Mo Fino Alimentación Flotación Selectiva	TPD	15	15	15	15	15
Ley de Cu Concentrado Colectivo	%	30%	30%	30%	30%	30%
<b>Ley Alimentación Mo Flotación Selectiva</b>	%	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>
<b>Ley Concentrado Final Mo</b>	%	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>Ley Cola Final Mo</b>	%	<b>0,120</b>	<b>0,100</b>	<b>0,090</b>	<b>0,070</b>	<b>0,060</b>
<b>Recuperación Mo Flotación Selectiva</b>	%	<b>80,2</b>	<b>83,5</b>	<b>85,2</b>	<b>88,5</b>	<b>90,1</b>
Mo fino conc.	[t Mo fino/año]	4.426	4.608	4.699	4.882	4.973
Precio Molibdeno fino	[US\$/t Mo fino]	5.200	5.200	5.200	5.200	5.200
<b>Ingreso Anual por Mo</b>	<b>[MUS\$/año]</b>	<b>23,0</b>	<b>24,0</b>	<b>24,4</b>	<b>25,4</b>	<b>25,9</b>
<b>Incremento Anual</b>	<b>[MUS\$/año]</b>	<b>-</b>	<b>4,1</b>	<b>6,2</b>	<b>10,3</b>	<b>12,4</b>

En la Tabla anterior se aprecian los importantes aumentos en los ingresos que se logran con el aumento de la recuperación.

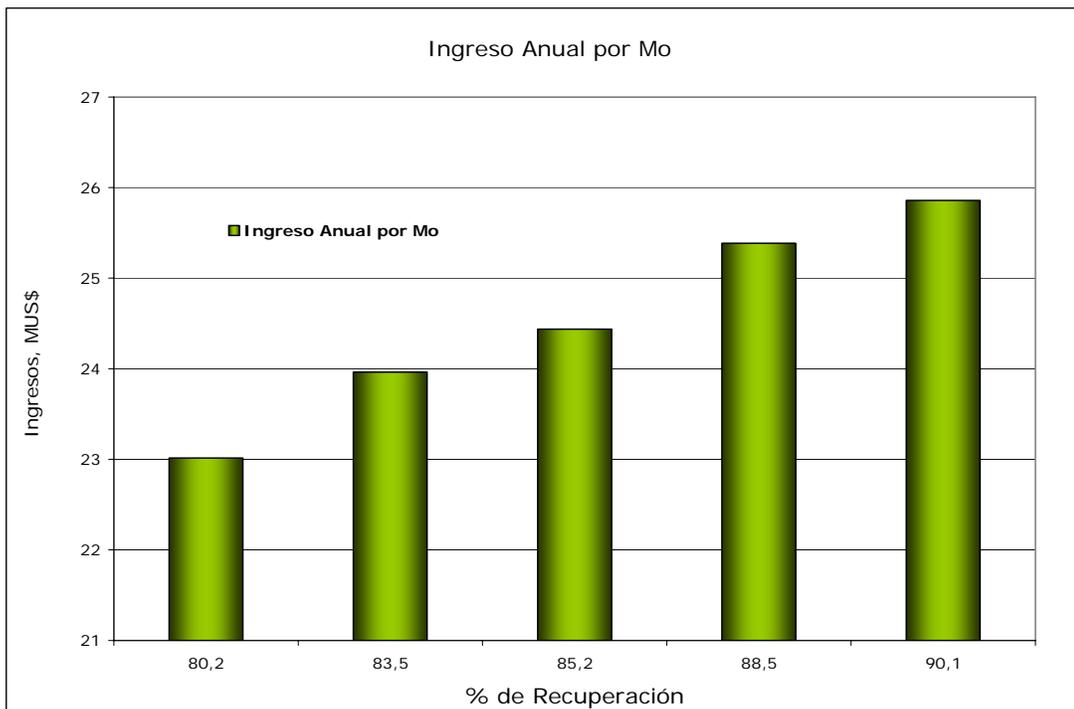


**Gráfico 8.1 Leyes Alimentación – Concentrado – Cola**

Se puede apreciar el comportamiento de la recuperación en función de la ley de Molibdeno en la cola, por este motivo es tan importante mantener su control.



**Gráfico 8.2 Producción de Finos Molibdeno**



**Gráfico 8.3 Ingresos por Molibdeno en Función de la Recuperación**

En el gráfico anterior podemos ver como varían los ingresos, en función de la recuperación ya que si consideramos leyes de concentrado y de cabeza fijas la producción de finos, solo depende de la recuperación.

## 9.0 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

A continuación se presentan los principales comentarios y conclusiones sobre el trabajo desarrollado.

### 9.1 COMENTARIOS

Finalmente podemos decir, que a lo largo del trabajo se pudo apreciar todos los elementos que participan en una faena de la gran minería, la primera parte del trabajo consistió básicamente en, conocer cada uno de los procesos involucrados en la división y también algunos parámetros de procesos que, posteriormente sirvieron de gran ayuda para desarrollar el tema en particular.

Al comienzo del trabajo la planta de Molibdenita contaba con diversos elementos de control, como muestradores en línea, que recolectaban la muestra por turnos y luego se enviaba al laboratorio químico para obtener los resultados metalúrgicos de cada turno, como por ejemplo, recuperación y leyes en las corrientes mas importantes, sin embargo, el resultado de las muestras llegan al día siguiente de haber sido muestreadas, por lo que, nace la necesidad de contar con una herramienta de control en línea, por todo lo anterior es que División Andina solicita poner en operación el Analizador de Leyes XRA y unos sensores de potencial ORP.

El analizador de leyes, al momento de comenzar nuestro trabajo se encontraba fuera de operación y había sido recibido para probar su utilidad en esta planta.

En cuanto a los sensores de potencial estos se encontraban operativos y se utilizaban como una herramienta se control de pH y de potencial ORP, sin embargo, nace la inquietud de establecer una relación entre el potencial ORP y el consumo de NaSH. Por este motivo nuestro trabajo consistió

principalmente en hacer un seguimiento a estos equipos y intentar establecer una relación entre el potencial ORP y la concentración de NaSH, de esta manera el operador podría utilizar esta medida como referencia para adicionar el NaSH de forma manual o eventualmente de forma automática.

## **9.2 CONCLUSIONES Y RESULTADOS**

A continuación se presentan las principales conclusiones y resultados de nuestro trabajo.

### **9.2.1 CONCLUSIONES**

Finalmente podemos decir que es de mucha importancia el control de la adición del NaSH ya que este es el principal reactivo que utiliza la planta. En el capítulo de costos de operación de operación vimos que el costo por NaSH representa cerca del 25% del costo global, por esto que cualquier tipo de ahorro que se logre representará un gran beneficio para la División.

Mantener en operación estos equipos representa un “Delta” de costos adicional del orden de un 2%.

### **9.2.2 RESULTADOS**

En cuanto a los resultados obtenidos podemos decir lo siguiente:

- El analizador de leyes esta disponible para operación se dejó en la división un manual de operación y calibración del equipo (un extracto de éste es parte del informe), sin embargo, se debe señalar que se deben realizar periódicos muestreos y calibraciones, sobre todo en la cola, ya que tal como se apreció en los gráficos del capítulo anterior un pequeño error en la medición puede afectar significativamente la medición de la recuperación.

- Queda operativa una herramienta de gran utilidad que sirve como referencia del proceso para tomar "acción correctiva" en caso que sea necesario.
- Dada las condiciones del proceso, principalmente el no contar con un espesador de cabeza que nos sirva para poder controlar el porcentaje de sólidos se hace imposible adicionar el NaSH en función del potencial ORP, debemos aclarar que es posible hacerlo, pero a la fecha del trabajo la División no cuenta con los equipos adecuados. Sin embargo, se pueden utilizar como referencia ya que para durante la operación normal, el potencial ORP se mantiene dentro de un rango de operación.
- Económicamente queda demostrado que ya sea disminuyendo el consumo de reactivo, o bien aumentando la recuperación, se logra incrementar los ingresos en forma considerable y a costos despreciables para la división. Por esto sería muy beneficioso para la división continuar los estudios realizados y poner en práctica proyectos de estudios similares como por ejemplo probar con sensores específicos de sulfihidrato, mantener operativo el analizador de leyes u otro equipo similar en línea y estudiar la factibilidad de instalar un espesador de cabeza.

## 10.0 BILIOGRAFIA

1. Ficha Técnica Analizador de Leyes XRA - 1600  
DENVER – 1989
2. Magne, L., Conminución de Minerales, Universidad de Santiago de Chile,  
Agosto 1995.
3. Sepúlveda, J., Gutierrez, L., " Dimensionamiento y Optimización de Plantas  
Concentradoras Mediante Técnicas de Modelación Matemática ", CIMM,  
1986.
4. Manuales de operación División Andina. Laboratorio Metalúrgico  
Concentrador División Andina y Biblioteca Saladillo.
5. Memoria Mario Donoso  
Muestreos a los Analizadores de leyes XRA – 1600  
División Andina 1997
6. Informe de leyes SQD – 11169  
Laboratorio Químico. Codelco – División Andina  
Claudio Castillo 19 /05 / 2000
7. Proyecto de Expansión División Andina  
Superintendencia de Ingeniería  
Septiembre 1998
8. Ficha técnica del Sulfohidrato de Sodio  
Distribuidor Shell
9. Análisis y reportes realizados por el estudiante en terreno  
Codelco Chile División Andina

10. Estadística Operacional Proporcionada por la División a lo largo del desarrollo del trabajo en terreno

11. Apuntes curso de Flotación  
Escuela de Ingeniería Química, PUCV

12. Páginas WEB

[www.andi.codelco.cl](http://www.andi.codelco.cl) (Intranet DAND).

[www.codelco.cl](http://www.codelco.cl)

[www.conama.cl](http://www.conama.cl)

- WEB

[www.andi.codelco.cl](http://www.andi.codelco.cl) (Intranet DAND).

[www.codelco.cl](http://www.codelco.cl)

[www.conama.cl](http://www.conama.cl)