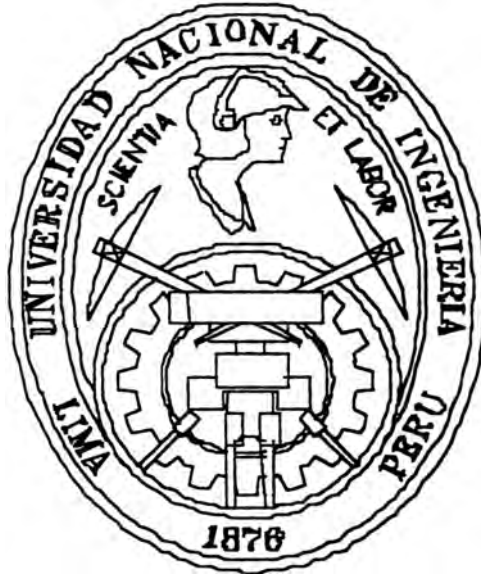


# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA  
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE METALURGIA**



**ESTUDIO DE PROCESOS PARA MEJORAR LA LEY DEL  
CONCENTRADO DE ZINC UTILIZANDO LA CELDA JAMESON EN  
LA PLANTA CONCENTRADORA DE SHOREY CORPORACION  
MINERA NOR PERU**

## **INFORME DE INGENIERIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO METALURGISTA**

***COENEN PILCO PICON***

**PROMOCION 1982 - II**

**LIMA – PERU**

**1999**

**SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA  
MINERA Y METALURGICA**

**S.D.:**

**COENEN PILCO PICON** identificado, con L.E. 07145565, egresado de la FIGMM el 31 de Julio de 1982, Bachiller con domicilio en la Calle Collasuyo N° 253, Distrito de Independencia.

Ante Ud. me presento y expongo:

Que reúno los requisitos para titularme mediante Examen Profesional lo que demuestro acompañando los siguientes documentos:

1. Recibo de haber cancelado \$ 1,020.00 Dólares Americanos, en Tesorería de la Universidad por derechos de titulación mediante Examen Profesional.
2. Pago por derecho de titulación en moneda nacional.
3. Constancia de no adeudar a la Universidad.
4. Constancia de Egresado (original).
5. Certificado de haber concluido el Plan de Estudios de la especialidad **Ing° Metalúrgica** (original).
6. Copia legalizada de mi Grado Académico de Bachiller.
7. Certificado de Trabajo que demuestran que me he desempeñado por el lapso mínimo de 3 años en actividades de mi especialidad (contados a partir de la fecha que egresé).
8. Constancia de no estar sometido a medida disciplinaria.
9. Informe de mi actividad profesional acompañado de un informe de Ingeniería de mi especialidad en original y tres copias.
10. Las cuatro (4) fotografías pasaporte de frente en color.

Por lo expuesto:

Solicito a Ud. Sr. Decano Nombrar Jurado; y, fijar fecha para rendir el Examen Profesional que me permita optar mi Título Profesional.

Es justicia.

Lima, 4 de Junio de 1999.

CON ETERNO AGRADECIMIENTO A MIS  
QUERIDOS PADRES, QUE SUPIERON  
BRINDARME SABIOS CONSEJOS DE UNION,  
AMOR Y RESPONSABILIDAD  
EN LOS MOMENTOS IMPORTANTES DE MI VIDA

# INDICE

## PROLOGO

### CAPITULO I: INFORMACION GENERAL DEL ASIEN TO MINERO QUIRUVILCA

- 1.1 Ubicación y acceso
- 1.2 Accesibilidad
- 1.3 Clima
- 1.4 Capacidad de tratamiento

### CAPITULO II: ESTUDIO DE PROCEDIMIENTOS PARA MEJORAR LA LEY DEL CONCENTRADO DE ZINC

- 1.0 Introducción
- 2.0 Evaluación de ingresos netos por ventas
  - 2.1 Valores Pagables
  - 2.2 Deducciones
- 3.0 Posibilidad de mejorar la relación  
grado-recuperación en flotación de zinc
- 4.0 Procedimientos para mejorar la ley del  
concentrado de zinc
  - 4.1 Optimización de condiciones  
actuales de operación

- 4.2 Evaluación de limpieza de concentrados de zinc con Celda Jameson
- 4.3 Limpieza de concentrados de zinc por flotación inversa
- 5.0 Composición del concentrado de zinc obtenido con celda Jameson y valor neto de ventas
- 6.0 Flujograma propuesto
- 7.0 Estimados de costo de inversión
- 8.0 Costos de operación
  - 8.1 Repuestos
  - 8.2 Energia
  - 8.3 Mano de obra
  - 8.4 Reactivos
  - 8.5 Variación de costos operativos directos
  - 8.6 Costos de transporte de concentrados (costo indirecto)
  - 8.7 Reducción de Costos
  - 8.8 Valor neto de ventas
- 9.0 Evaluación económica
- 10.0 Conclusiones

## CAPITULO III: PRINCIPIOS GENERALES DE LA CELDA JAMESON

- 1.0 Operación de la celda Jameson
- 2.0 Descripción del equipo y sus instrumentos
- 3.0 Cálculos en la celda Jameson
- 4.0 Bibliografía

## PROLOGO

Siempre toda Planta Concentradora de minerales es factible de ser mejorada en alguna o en todos sus aspectos, con el objeto de obtener un mejor rendimiento.

El presente trabajo, trata sobre el estudio de procedimientos para mejorar la ley del Concentrado de Zinc de la Planta Concentradora de Shorey (Asiento Minero de Quiruvilca: Corporación Minera Nor Perú), por los altos costos de transporte y las deducciones, maquilas, etc. aplicados en su comercialización.

Para mejorar la calidad de los concentrados de zinc en la Planta Concentradora de Shorey, existe tres posibilidades:

- Optimizar las condiciones actuales de operación.
- Usar celdas más eficientes que las convencionales.
- Flotación inversa del concentrado final de zinc.

En el caso de la optimización de condiciones actuales se podría establecer como máxima ley de 58% Zn promedio aproximadamente, mientras que con celdas más eficientes, en este caso se usó la Celda piloto de Flotación Jameson, con el cual se trató el concentrado rougher de zinc, se han logrado leyes superiores a 58% Zn.

La aplicación del proceso de flotación inversa del concentrado final de zinc considera la necesidad de remolienda y por tanto ampliar la capacidad de filtración, lo cual constituye restricción fundamental.

Finalmente, dado que los resultados obtenidos con la celda piloto Jameson fueron favorables, se procedió a la evaluación económica y se solicitó cotizaciones para el suministro del equipo industrial.

Con la obtención de la celda industrial Jameson se lograría beneficios adicionales de US\$ 503,207 anuales.

CAPITULO I:  
INFORMACION GENERAL DEL ASIENTO MINERO  
QUIRUVILCA CORPORACION MINERA NOR PERU

1.0 UBICACIÓN DEL ASIENTO MINERO

1.1 Ubicación y accesos

La mina Quiruvilca se encuentra ubicado en la parte nor-oeste del Perú, a 79 Km de la ciudad costeña de Trujillo, en la provincia de Santiago de Chuco del Departamento de La Libertad, a una altura de 3870 m.s.n.m

1.2 Accesibilidad

Partiendo de la ciudad de Lima, y por la carretera Panamericana Norte, se sigue hasta la ciudad de Trujillo, desviando luego al Este tomando la carretera afirmada hacia Santiago de Chuco-Huamachuco.

1.3 Clima

El clima y la temperatura esta gobernado por dos temporadas bien definidas, el periodo de lluvias y el de estío. La temporada de lluvias se extiende desde Noviembre hasta Abril. El récord de precipitación fluvial en Quiruvilca varía entre 60 a 183 mm. por año. Julio y Agosto son generalmente los meses secos sin precipitaciones de lluvia. La variación de temperatura varía desde 2°C a 20°C; el récord de temperatura más baja fue de 2°C y la más alta fue de 26°C. La variación de la humedad relativa esta entre 55% y 65% de acuerdo a la



temporada. Durante la temporada de estío, el viento fuerte llega a la máxima velocidad de 38km/h, con una frecuencia en la velocidad de 12-20 km./h con una dirección preferencial N85E.

#### 1.4 Capacidad de Tratamiento

La Planta Concentradora de Shorey (Quiruvilca) actualmente esta tratando 1750TCS/día, obteniendo concentrados de cobre, plomo y zinc, siendo sus leyes de cabeza:

Ag(oz/tc)	Cu(%)	Pb(%)	Zn(%)
6.59	0.22	1.61	4.62

y sus principales minerales: Galena, Esfalerita, Chalcopirita, Enargita, Tetraedrita, Pirita, Cuarzo, Rodocrosita, Baritina, Calcita.

## CAPITULO II:

# ESTUDIO DE PROCEDIMIENTOS PARA MEJORAR LA LEY DE CONCENTRADO DE ZINC

### 1.0 INTRODUCCION

En el presente informe de ingeniería se hace un estudio de procedimientos para mejorar la ley del concentrado de zinc. Importantes progresos se han logrado en la producción de concentrados de zinc en la Planta Concentradora de Shorey tanto en ley como en recuperacion, representando los resultados de 1993 los mejores obtenidos a la fecha.

Sin embargo, por los altos costos de transporte y las deducciones, maquilas, etc., aplicadas en su comercialización se procedió al estudio, de procedimientos para mejorar las leyes de este producto.

En el informe presento los resultados obtenidos con la celda piloto Jameson 300/1, en la cual se trató el concentrado rougher de zinc.

Los resultados favorables justificaron proceder con la evaluación económica del proyecto, solicitándose cotizaciones para el suministro del equipo industrial. Estimado del costo de inversion y la evaluación económica del proyecto de reemplazo del circuito actual de limpieza por la celda Jameson fueron realizados y los resultados son materia del presente informe.

Adicionalmente se presentan resultados preliminares del proceso de flotación inversa de concentrados de zinc para maximizar la calidad del concentrado de zinc, estableciéndose trabajos subsiguientes para

optimizar beneficios económicos y condiciones operativas.

En el estudio se presentan los modelos de grado y recuperación de zinc actualizados con información hasta Enero 1994, de los que se obtiene conclusiones y recomendaciones para maximizar los beneficios económicos de la flotación con las facilidades actuales.

Con la finalidad de maximizar la ley del concentrado de zinc cuyo efecto en la economía de las operaciones de Corporación Minera Nor Perú es muy significativo, se evalúan 2 procedimientos:

- 1- Limpieza en Celda Jameson, utilizando celda piloto 300/1
- 2- Flotación inversa del concentrado final de zinc producido

Los resultados obtenidos con el primer procedimiento se analizan en detalle, mientras que los del segundo serán presentados en informe posterior.

La evaluación económica del primer proceso constituye la alternativa que se debe adoptar en el corto plazo para mejorar la economía de las operaciones de Corporación Minera Nor Perú y lo que es más importante, facilitar la ejecución del 2do proceso.

El reemplazo del circuito convencional de limpieza por celda Jameson mejorará la ley del concentrado de zinc a 59.5% Zn, con recuperaciones estimadas en 90.8%, aunque (-0.9%) inferior al promedio logrado en 1993, las diferencias económicas favorecen la producción de concentrados de zinc más limpios y consecuentemente la ejecución del cambio.

El estimado de costo de inversión, incluyendo equipo para control automático de niveles, bombas dosificadores de reactivos, cedazo DSM; es de US\$ 212,000.

Los beneficios económicos proyectados se suman a continuación:

	US\$ Anuales
Ingreso adicional por ventas	369,137
Reducción de Costos Directos e Indirectos	134,070
<hr/>	
Beneficios Adicionales	503,207
<hr/>	

En consecuencia el retorno de la inversión será superior a 200% en el primer año de operación, recomendándose la ejecución del cambio (proyecto).

El proceso de flotación inversa mediante desorción de colector con carbón activado y sulfuro de sodio, seguido por activación de Fe-Cu con cola de cementación y flotación, permite alcanzar mayor grado en el concentrado de zinc: 61.4%, eliminando más del 60% Fe contenido. La aplicación de este proceso considera además necesidad de remolienda y ampliación de la capacidad de filtración que constituye en la actualidad restricción fundamental.

El equipo de flotación para el proceso de flotación inversa podría ser inicialmente el que quedará disponible al ejecutar el proceso de reemplazo por celda Jameson propuesto para limpieza de concentrados rougher de zinc.

## 2.0 EVALUACION DE INGRESOS NETOS POR VENTAS

El contrato de ventas de concentrados es convertible a una función matemática de la siguiente manera:

### 2.1 Valores Pagables

Ag: Para cont. Ag < 10oz/TMS:  $(X_1 - 5) \times 0.60 \times X_{Ag}$   
 Adicional por cont. Ag > 10oz:  $X_2 \times 0.40 \times X_{Ag}$

Zn:  $X_2 \times 20 \times 1.1023 \times 0.85 \times X_{Zn}$

Cd:  $X_3 \times 20 \times 1.1023 \times X_{Cd}$       0 (No pagable)

SUMA = A

### 2.2 Deducciones

Costo trata. : US\$ 220/TMS, Base US\$ 1000/TMS: 220

Ajuste de Precio:  $(X_{Zn} \times 2000 \times 1.1023 - 1000) \times 0.070$

Arsénico :  $(X_4 - 0.10) \times 25$

Cadmio :  $X_3 \times 20 \times 1.1023 \times 1.25$

Mercurio :  $(X_5 - 50) \times 0.100$

SUMA = B

Ingreso por ventas de Conc. Zn =  $\frac{(A-B)}{1.1023}$  (US\$/TCS)

US\$/TCH(parte  
Variable)

Costos de Transporte: Shorey - Samne	2.20
Samne - Trujillo	6.15
Trujillo - Salaverry	8.00
Salaverry - Refinería	38.00

Costo Total de transporte US\$ 54.35/TCH

Asumiendo const. cont. de hum. 9%: US\$ 54.18/TCS

Precio neto venta  $\frac{=(A-B)}{1.1023} - 54.18$  (US\$/TCS Conc.) 1

Ingreso Neto Venta/TCS de mineral de cabeza = Z

$$Z = \frac{\%Zn\ cabeza \times R_{Zn} \times P_{NV}}{100 \times G_{Zn}} \quad \underline{2}$$

Para este primer ejercicio se consideraron constantes los siguientes parámetros:

Ag :  $X_1 = 7.5$  oz/TCS  
 $X_{Ag} = US\$ 4.5/oz$

Cd :  $X_3 = 0.45\%$   
 $X_{Cd} = US\$ 0.0/lb$

As :  $X_4 = 0.14\%$

Hg :  $X_5 = 70$  ppm, y

Zn :  $X_2 = \% Zn$  en Conc. de zinc  
 $X_{Zn} =$  Precio de Zn (US\$/lb)

Estos parámetros serán convertidos a funciones de la ley del concentrado de zinc una vez que tengamos mayor número de puntos a las condiciones mejoradas para flotación Cu Pb

aplicadas en la actualidad y con el objeto de reducir desplazamientos de plata, Pb, Cu y Fe al concentrado de zinc; mejorando su recuperación en la flotación bulk Cu- Pb, sin afectar la ley de concentrados particularmente del de plomo, y el de Fe manteniendo la depresión aún en la flotación de zinc, que como se mostrará más adelante es gravitante en la ley de concentrado de zinc.

Con las restricciones anteriores, la función  $Z$  fue determinada y los ingresos por ventas (US\$/TCS de mineral tratado) se presentan en la fig. # 1, en la forma de curvas isovalóricas en función de grado y recuperación, cubriendo los rangos de recuperaciones de Zn entre 89 y 93% y de las leyes entre 55 y 60% Zn.

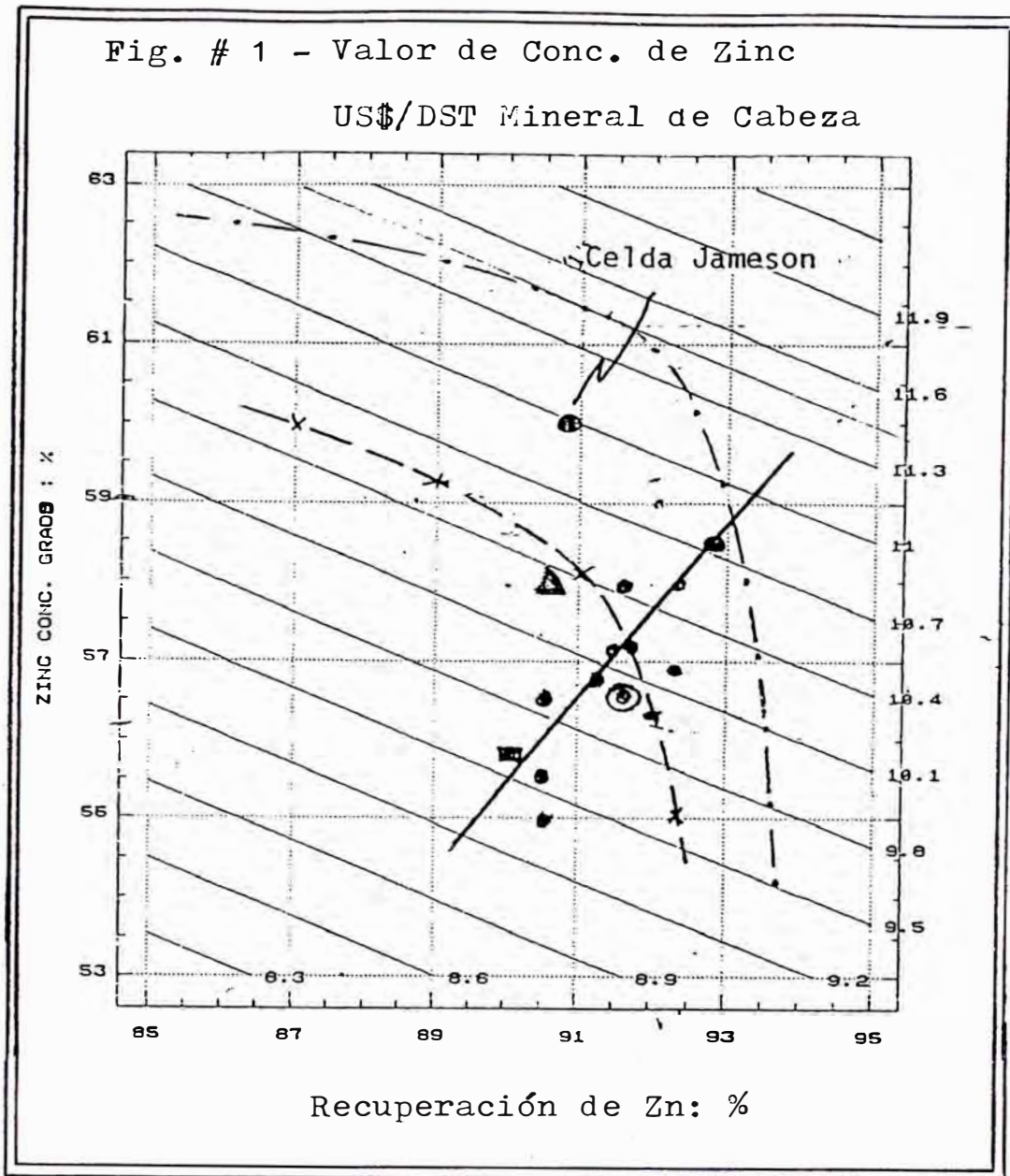
Para las restricciones impuestas al modelo, el efecto de grado y recuperación de zinc con las leyes de cabeza de zinc variable sobre el ingreso neto de ventas por zinc puede ser simplificado a la siguiente forma:

$$Z = 28.7 + 0.312(G_{Zn}) + 0.116x(\text{Rec. Zn}) + 2.33(\text{Zn Cab.})$$

Esta función es válida para el rango normal de variación de las variables involucradas en nuestra Concentradora de Shorey. El coeficiente de correlación alcanzado supera al 0.999, indica además que 3 unidades de recuperación equivalen económicamente a 1 de ley de concentrado en el rango normal de trabajo.

Posteriormente y conforme las nuevas relaciones de la ley de zinc con las impurezas o valores menores se desarrollen, las incorporaremos al modelo hasta obtener la función completa que represente a la metalurgia de zinc en su totalidad.

Los ingresos netos por ventas de concentrados de zinc para 1993, calculados con la función anterior se presentan a continuación:



- x-x- Función Normal de Grado-Recuperación
- .-.- Relación proyectado de Grado-Recuperación
- 1993: Resultados mensuales
- ⊙ 1993: Resultados anuales
- 1993: Forecast
- ▲ 1994: forecast



<u>Mes</u>	<u>Zn en Conc.Zinc</u>		<u>Cab. %Zn</u>	<u>Ingreso Neto US\$/TCS mineral</u>
	<u>Grado%</u>	<u>Recup.Zn%</u>		
Ener. 93	56.93	92.38	5.42	12.41
Feb.	57.93	91.67	4.54	10.59
Mar.	58.24	92.78	4.81	11.44
Abr.	57.80	92.35	4.65	10.88
May.	57.16	91.65	4.32	9.83
Ju.	57.18	91.57	4.43	10.08
Jul.	56.53	90.52	4.38	9.64
Ago.	56.51	90.67	4.67	10.33
Set.	56.07	90.67	4.48	9.75
Oct.	56.66	91.65	4.73	10.63
Nov.	56.95	91.27	4.86	10.98
Dic.	56.38	91.55	4.79	10.67
Promd. 93	56.77	91.65	4.62	10.29
Presup 93	56.54	90.00	4.40	9.63
Presup 94	57.88	90.71	4.40	10.13
Ener. 94	57.47	91.49	4.65	10.68

Como se podrá apreciar los ingresos netos para ventas de zinc para CMNP varió entre US\$ 12.41 a 9.64/TCS de mineral dependiendo del grado - recuperación y de la ley de cabeza de Zn. Removiendo de los datos la información de Enero 1993, que reportó cabeza de Zn inusualmente alta: 5.24%, la función que correlaciona la recuperación de Zn con la ley de concentrado es la siguiente:

$$\% \text{ Zn Rec.} = 44.63 + 0.8214 \times G_{\text{Zn}}, \quad C_c = 0.8284$$

Esta función ha sido también graficada en la Fig. # 1, indicando que los resultados metalúrgicos actuales aún están en el proceso de optimización al no haberse alcanzado la correlación normal, en la que la recuperación disminuye conforme aumente la ley del concentrado de zinc.

Aparentemente esta aproximación al óptimo con el sistema actual de flotación se está alcanzando con los resultados recientes.

Algunas correcciones al proceso actual son factibles como se mostrará más adelante pero sin embargo los márgenes de ingresos adicionales estarían limitados.

Mejorando la ley del concentrado de zinc a aproximadamente 61.5% Zn y la recuperación mantenida en 91.0% Zn, para las leyes de cabeza del programa de minado 1944, los ingresos netos por ventas aumentarían a: US\$ 11.30/TCS de mineral de cabeza, es decir los ingresos netos por venta anual aumentarían en  $(11.30 - 10.13) \times 534,240 = \text{US\$ } 625,000$ , sin incluir los ingresos por ventas adicionales que se lograrían por la recuperación de Ag y Cu en sus correspondientes concentrados.

### 3.0 POSIBILIDADES DE MEJORAR LA RELACION GRADO- RECUPERACION EN FLOTACION DE ZINC DE LOS MINERALES DE QUIRUVILCA

Muestras de concentrado de zinc con leyes variables fueron ensayadas por Cu, Pb, Zn, Ag, FeS, As en laboratorios independientes. En este tipo de concentrados, el Fe en marmatita se encuentra en la forma de FeS, siendo las principales impurezas pirita y arsenopirita.

Con estos conceptos se prepararon balances de la composición mineralógica, asumiendo composición standard en cada especie, determinándose los contenidos de cada una de las especies principales: FeS<sub>2</sub>, FeS, AsFeS y otros.

La ley del concentrado de zinc reportada por el laboratorio A. Knight fue correlacionada con las impurezas anteriores obteniéndose la siguiente función:

$$GZn = 65.59 - 0.68(FeS_2) - 4.06(AsFeS) - 0.93(FeS)$$

El coeficiente de correlación fue 0.9956, suficiente para obtener conclusiones confiables.

El contenido de FeS varió entre 0.86 a 3.17%, el cual es relativamente bajo, indicando que nuestra mineralización de zinc es del tipo esfalerita principalmente y leyes superiores a las actuales podrán ser obtenidas.

Removiendo el contenido de (FeS) de la función, la nueva correlación se muestra a continuación:

$$GZn = 63.11 - 0.60 (FeS_2) - 4.47 (AsFeS),$$

$$C_c = 0.994$$

Esta función es confiable y las conclusiones que de ella se desprenden también. Los resultados indican que la ley máxima del concentrado de zinc podría ser de 63.11% Zn, siempre y cuando se logre eliminación completa de la pirita y arsenopirita contenidas, lo cual podría aproximarse previa remolienda para mejorar la liberación.

Considerando que la marmatita es un compuesto no estequiométrico de la fórmula siguiente:  $(ZnS)_x (FeS)_y$  y, además que el contenido de FeS en los concentrados producidos en Shorey esta relacionado con el contenido de ZnS según la siguiente función:

$$(FeS) = - 5.75 + 0.1005 (ZnS), \quad C_c = 0.9165$$

Se llega a la conclusión que la marmatita de los minerales de Quiruvilca reporta leyes de 56.34% Zn, y el contenido de esfalerita y marmatita es de 76.88% y 23.12% aproximadamente.

En consecuencia, posibilidades para producir concentrados de zinc con leyes superiores a 60% existen: modificando/corregiendo el proceso de tratamiento.

La profundización del pique Satélite ha expuesto nuevas áreas de minado en las que la presencia de marmatita incrementa, sin embargo su efecto sobre la ley de los concentrados de zinc no es significativa aún, permanente control de Fe deberá tenerse para precisar variaciones en los contenidos de marmatita en el producto final.

#### 4.0 PROCEDIMIENTOS PARA MEJORAR LA LEY DEL CONCENTRADO DE ZINC

Existen posibilidades para mejorar la calidad de los concentrados de zinc en la Concentradora de Shorey, estas son las siguientes:

- 4.1 Optimizar las condiciones actuales de operación.
- 4.2 Usando celdas más eficientes que las convencionales.
- 4.3 Flotación inversa del concentrado final de zinc.

Cada uno de los procedimientos indicados tienen sus limitaciones, en el caso de la optimización de condiciones actuales se podría establecer como máximo una ley de 58% Zn promedio

aproximadamente, sin aplicación de remolienda adicional; mientras que con la celda Jameson se han logrado leyes entre 58 - 59% Zn.

Las posibilidades del primer procedimiento con remolienda de medios o del concentrado rougher de zinc están siendo revisadas, y más adelante se evaluará con el empleo de la celda Jameson piloto.

La flotación inversa de zinc es el proceso que ofrece mayores perspectivas en el mejoramiento de la ley de los concentrados de zinc incluyendo remolienda del concentrado final de zinc producido actualmente.

Factor limitante en nuestra operación actual es la capacidad de filtración del filtro de zinc, el cual opera entre 20 - 22 hs/día para satisfacer la producción. Remoliendo el concentrado de zinc para mejorar la liberación de pirita y arsenopirita demandará mayor área de filtración, o lo que es mejor deberemos reemplazar el filtro actual por otro de mayor eficiencia.

Además la remolienda de concentrados de zinc facilitará el transporte hidráulico de concentrados en sustitución del sistema de transporte por cable carril y por camión que reporta altos costos.

#### 4.1 Optimización de Condiciones Actuales de Operación

La revisión de condiciones de operación y resultados metalúrgicos, han permitido gradualmente mejorar la metalurgia de zinc por encima del efecto favorable obtenido por la mejor ley de cabeza de zinc en el mineral tratado, ajustando gradualmente las dosificaciones de reactivos: pH, colector y  $\text{CuSO}_4$ .

Los modelos de recuperación y la ley de flotación de zinc se reajustan periódicamente y los

resultados obtenidos incorporando la información de enero 1994 se presentan a continuación:

#### 4.1.1 Ley del Concentrado de Zinc

El efecto de las principales variables se evaluó tanto individualmente como en conjunto y los resultados fueron los siguientes:

##### a) Análisis Individual de Variables

CuSO<sub>4</sub>: La adición de sulfato de cobre en el rango 0.30 a 0.75 lbs/TCS muestra efecto negativo sobre la ley del concentrado de zinc aunque con amplia dispersión, según se puede observar en la Fig. # 2.

En la operación en planta se ha iniciado un programa de gradual reducción hasta su optimización, el consumo alcanzado en enero es de 0.47 lbs/TCS, siendo el grado del concentrado reportado por nuestro laboratorio de Shorey de 57.47% Zn.

Muestras de reactivos colectores más eficientes con menores o ninguna adición de CuSO<sub>4</sub> están siendo evaluados en laboratorio.

Aerofloat Sódico: El Aerofloat sódico mantiene efecto positivo en el rango de 0.040 a 0.085 lbs/TCS, aunque también con amplia dispersión debido al efecto de variables adicionales en el sistema según se puede apreciar en la Fig. # 3.

Capacidad Efectiva (C<sub>22</sub>): Mantiene efecto negativo observado anteriormente según se puede apreciar en la Fig. # 4. Este efecto es contrario por sí mismo a su efecto normal, en consecuencia está asociado a otros parámetros que variaron proporcionalmente.

Uno de estos parámetros sería la densidad de pulpa en el alimento al circuito de limpieza y en

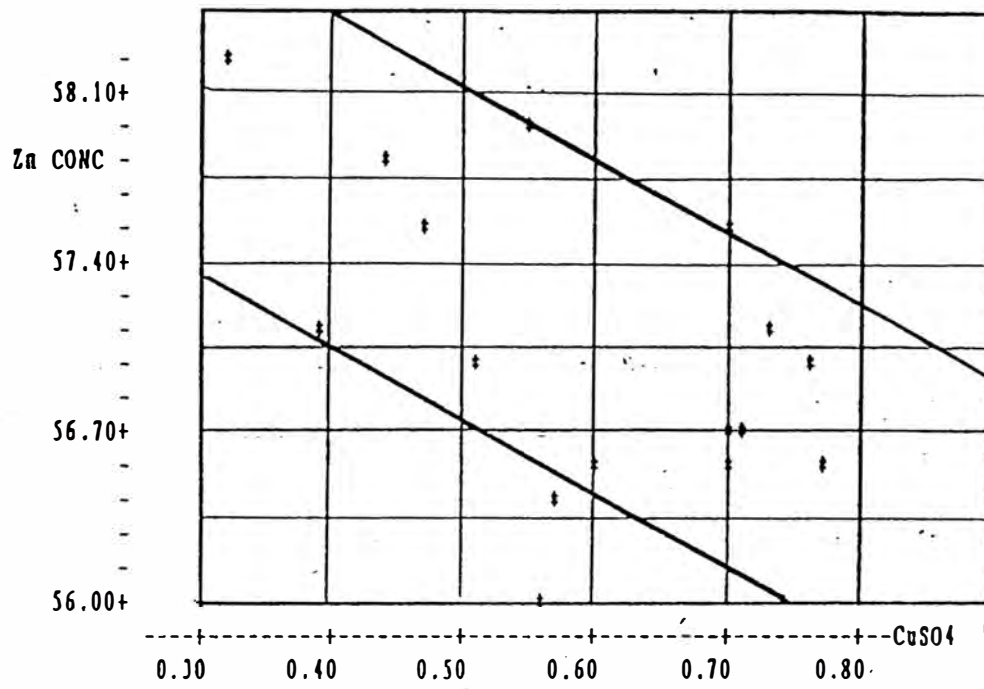


FIG. # 2 - Efecto de la adición de  $\text{CuSO}_4$  sobre la ley de concentrados de zinc en la Concentradora de Shorey.

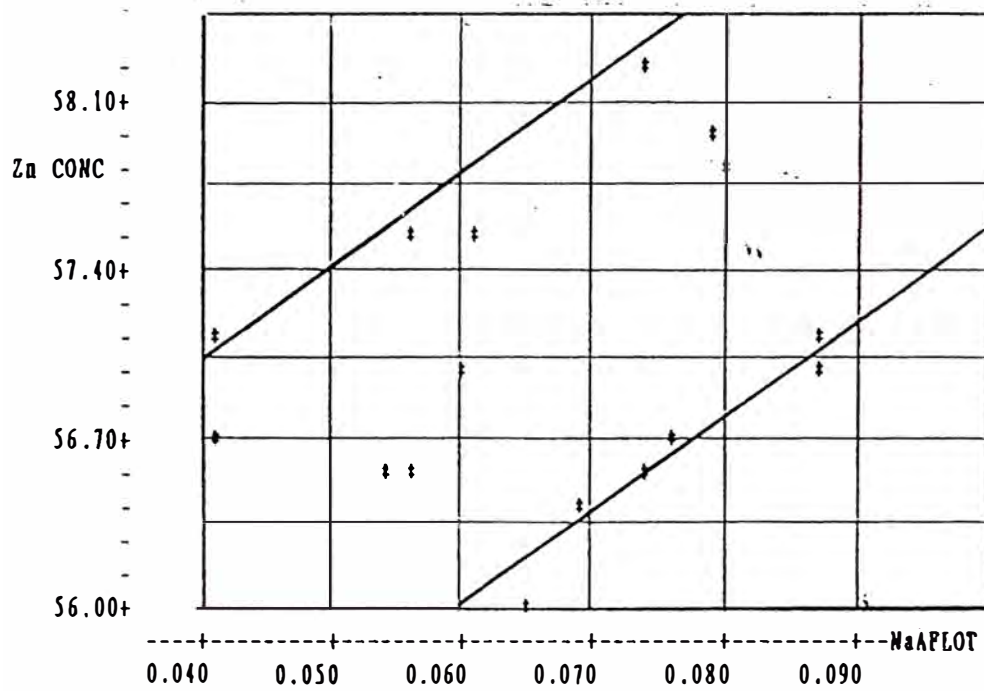


FIG. # 3 - Efecto de la adición de Aerofloat sódico sobre la ley de concentrados de zinc en la Concentradora de Shorey.

el propio circuito de limpieza. Esta condición es sumamente variable y de efecto significativo tanto sobre la ley del concentrado de zinc y su recuperación, según se puede apreciar en la evaluación piloto de la celda Jameson; favoreciendo a ambos según se reduce.

Si consideramos además la anomalía de la función grado-recuperación de zinc en la que ambos aumentan o disminuyen según la función:

$$\% \text{ Zn Rec} = 44.63 + 0.8214 \text{ GZn}, \quad Cc = 0.8284$$

incorporada en la Fig. # 1, definitivamente se debe iniciar un programa de reducción gradual de la densidad de pulpa en el circuito de limpieza. Los mejores resultados metalúrgicos obtenidos en el pilotaje de limpieza de concentrados rougher de zinc con celda Jameson en términos de grado y recuperación fueron obtenidos con las menores densidades de pulpa en el alimento a limpieza 20 - 25%. Más adelante en el informe se presenta en detalle el efecto de esta variable en la limpieza de concentrados de zinc.

Este efecto es además modificado por variaciones en las leyes de cabeza, por lo tanto interacciones deberán aparecer gradualmente.

NaCN/ZnSO<sub>4</sub>: Este reactivo, aunque adicionando en la etapa de flotación Cu-Pb, presenta efecto residual significativo en la flotación de zinc. Sobre la ley del concentrado de zinc su efecto individual se presenta en la Fig. # 5, apreciándose que la ley del concentrado final de zinc aumenta en la medida que aumenta la dosificación en la flotación Cu-Pb, sin embargo la dispersión es muy amplia aún debido a variaciones de otras variables relacionadas. El rango de dosificación de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en el período Octubre 1992 a Enero



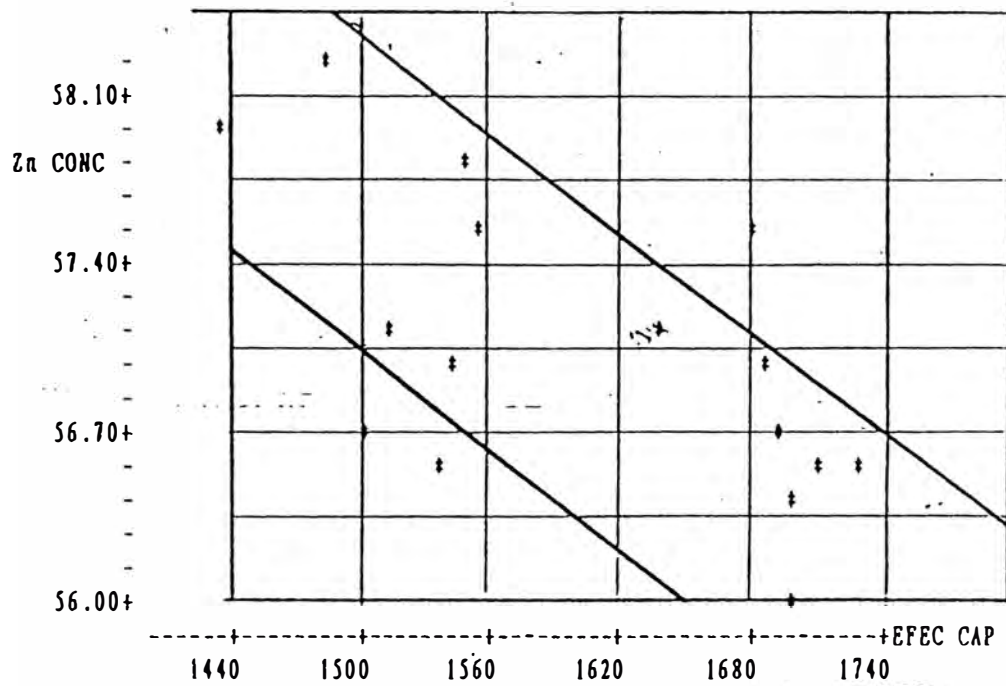


FIG. # 4 - Efecto de la capacidad efectiva diaria sobre la ley del concentrado de zinc producido en la Concentradora de Shorey en el período Octubre 1992 a Enero 1994.

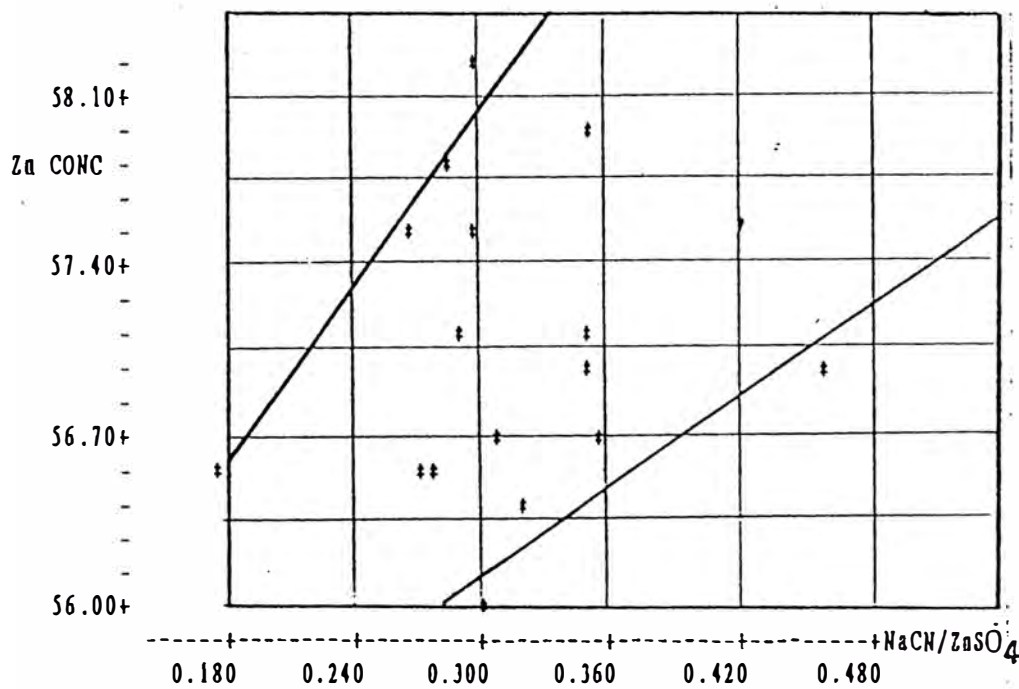


FIG. # 5 - Efecto de la adición de  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$  en la etapa de flotación bulk Cu-Pb sobre la ley del concentrado de zinc.

1994 ha sido entre 0.16 a 0.44 lbs/TCS siendo excesivamente amplio.

Especial cuidado es necesario para optimizar esta variable en la flotación Cu-Pb evitando desplazamiento de Cu-Ag al concentrado de zinc generado por dosificaciones en exceso, situación que se observa ocasionalmente.

Zn en cabeza: También presenta efecto favorable sobre la ley del concentrado de zinc en la medida que la ley de cabeza aumenta, aunque también con amplia dispersión según se puede apreciar en la Fig. # 6.

#### b) Análisis por regresión Múltiple

Utilizando el procedimiento standart de regresión múltiple se procedió a determinar el modelo que explica la variación de ley del concentrado de zinc en función a las variables operativas, la cual se presenta a continuación:

$$GZn = 63.9 - 0.00417 (\text{Cap.Efect.}) - 1.84 (\text{CuSO}_4) + 0.00822 (\text{AF-Na}) \times (\text{Cap.Efect.})$$

En la que:

GZn = Grado de Concentrado de zinc en %

Cap. Efectiva = Capacidad efectiva diaria en TCS

CuSO<sub>4</sub> = Dosificación de CuSO<sub>4</sub> en lbs/TCS

AF-Na = Dosificación de Aerofloat sódico, lbs/TCS

El modelo confirma la importancia de las variables incorporadas, dando un coeficiente de correlación

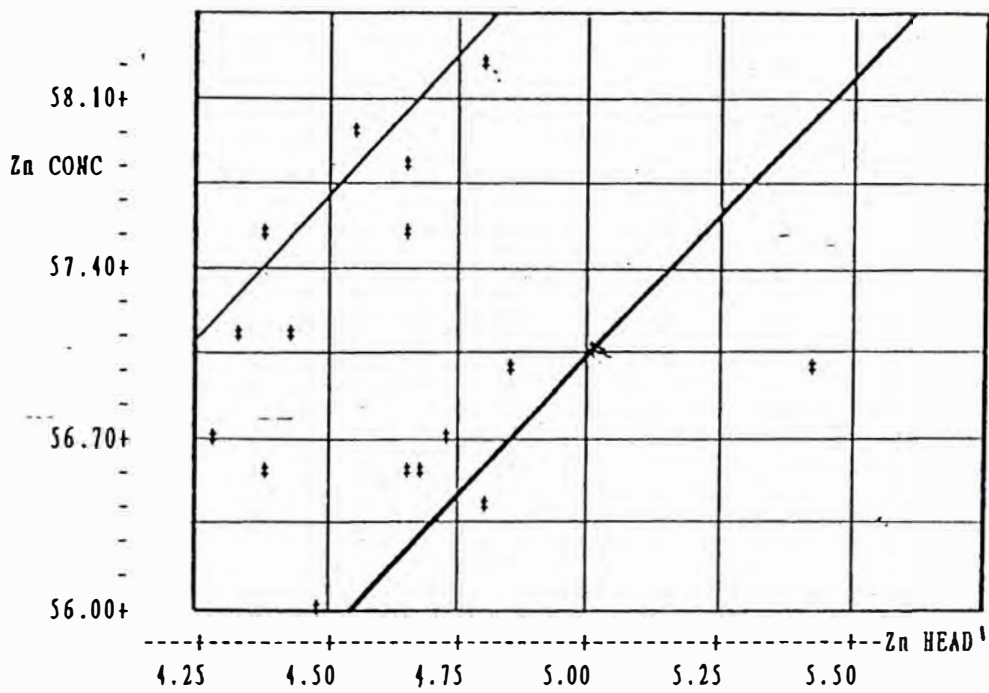


FIG. # 6 - Efecto de la ley de cabeza sobre la ley del concentrado de zinc.

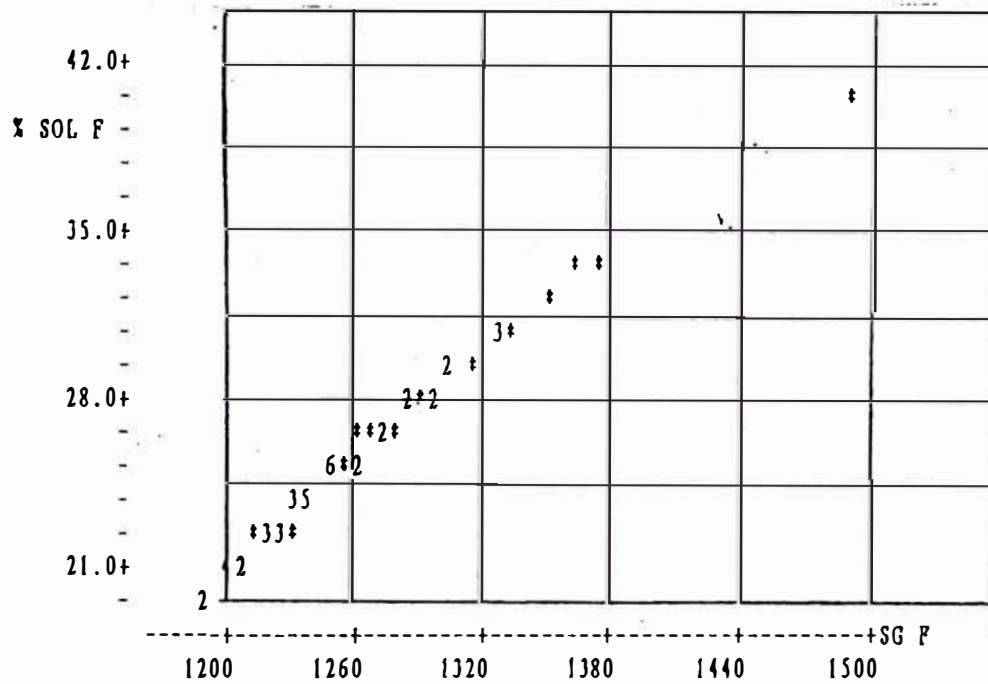


FIG. # 7 - Correlación de densidad de pulpa y gravedad específica en el alimento al circuito de limpieza.

de: 0.8062, suficiente para adoptar acciones correctivas confiables.

La función confirma el efecto negativo del aumento de la capacidad efectiva sobre la ley del concentrado de zinc, efecto que es contrario al normal/directo de la variable, debido a que en celdas convencionales un menor tiempo de retención genera concentrados de mayor ley.

En la Fig. # 7 que muestra la correlación entre % sólidos y densidad de pulpa del alimento a limpieza, es apreciable que la densidad de pulpa varía en un rango amplio de 21 a 35% sólidos, inicialmente deberemos aproximarnos a un 28% y luego proceder a la optimización final.

La adición de  $\text{CuSO}_4$  mantiene efecto de primer orden negativo, debiendo adoptarse las prácticas de reducir el consumo por convenir tanto a la calidad del concentrado de zinc como por la correspondiente reducción de costos de operación.

En el modelo de ley del concentrado, la adición de Aerofloat sódico retiene su efecto favorable de primer orden y así como en la forma de interacción con la capacidad efectiva. Aumentar su adición reduciendo gradualmente la de Z-11 cuyo efecto no es significativo es práctica a introducir en el corto plazo.

Con la finalidad de mostrar gráficamente los efectos de las variables involucradas, el modelo fue resuelto para las siguientes condiciones:

Fig. # 8 - Establece constante la adición de AF-Na en 0.080 lbs/TCS mostrando el efecto de capacidad efectiva y de la adición de  $\text{CuSO}_4$ .

Fig. # 9 Establece constante el consumo de  $\text{CuSO}_4$  en 0.400 lbs/TCS y muestra el efecto de capacidad efectiva con el Aerofloat sódico en rangos normales de operación.

Fig. # 8 - CONCENTRADORA SHOREY-METALURGIA DE ZINC  
 GRADO CONC. ZINC: AF-N=0.000 Lb<sub>m</sub>/TCS

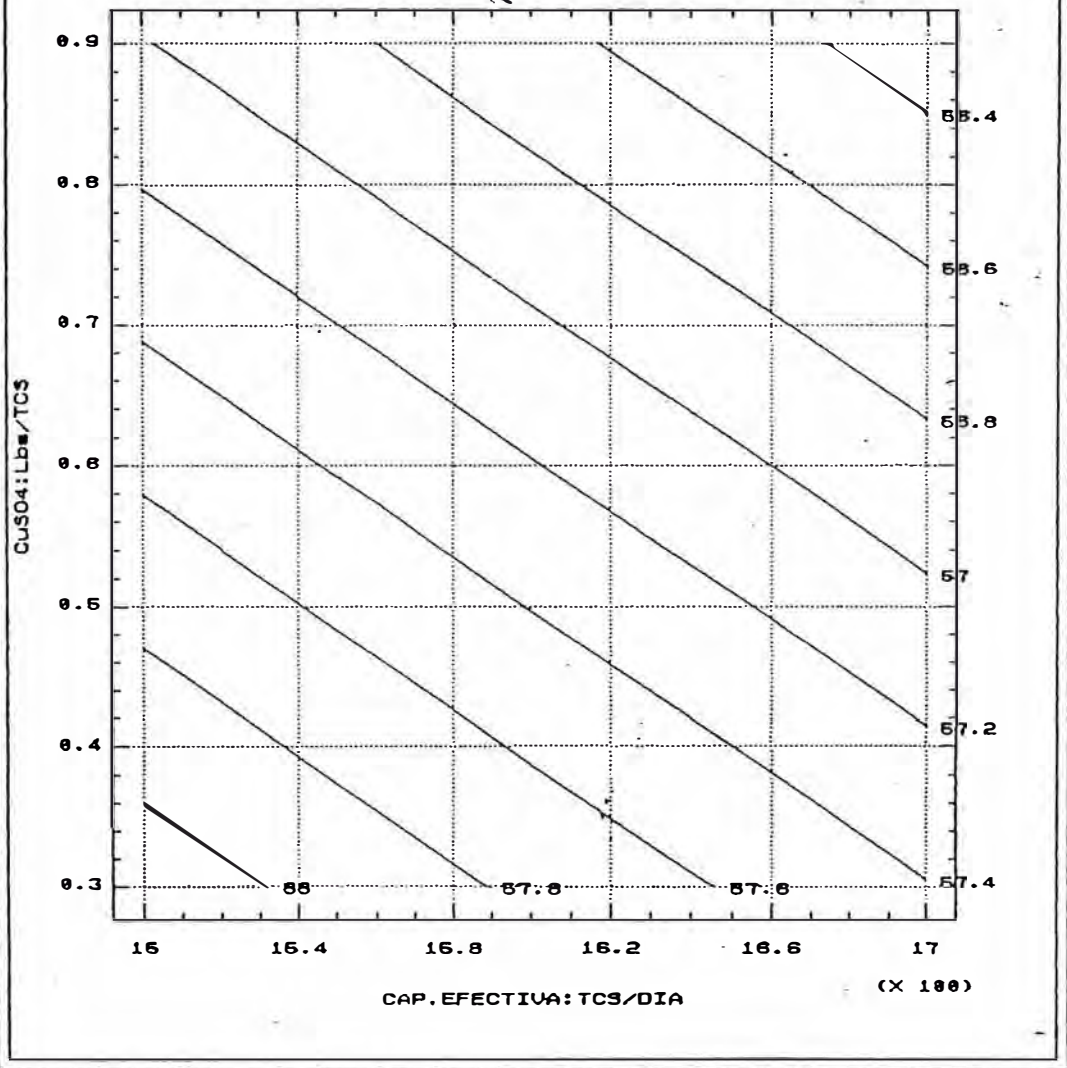
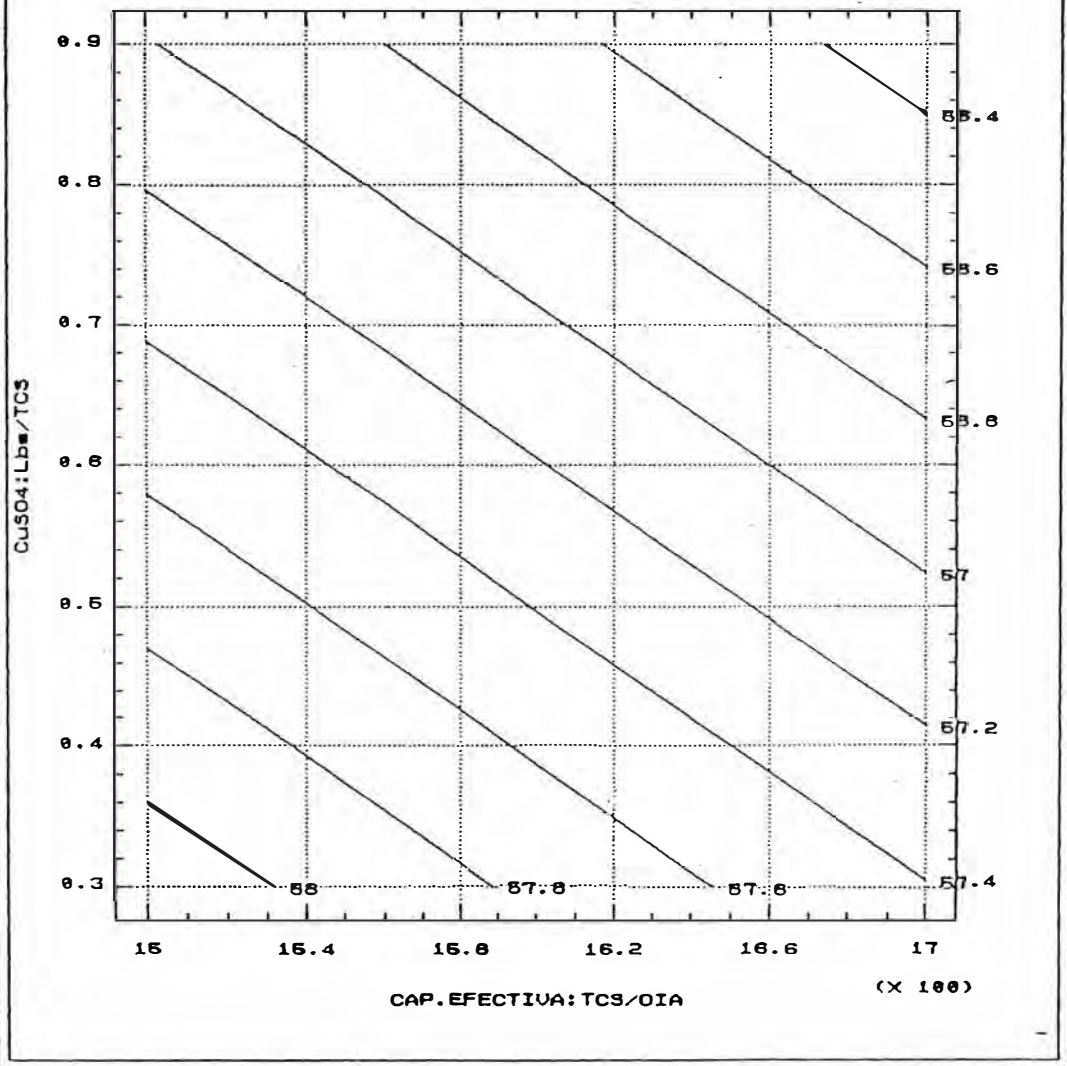
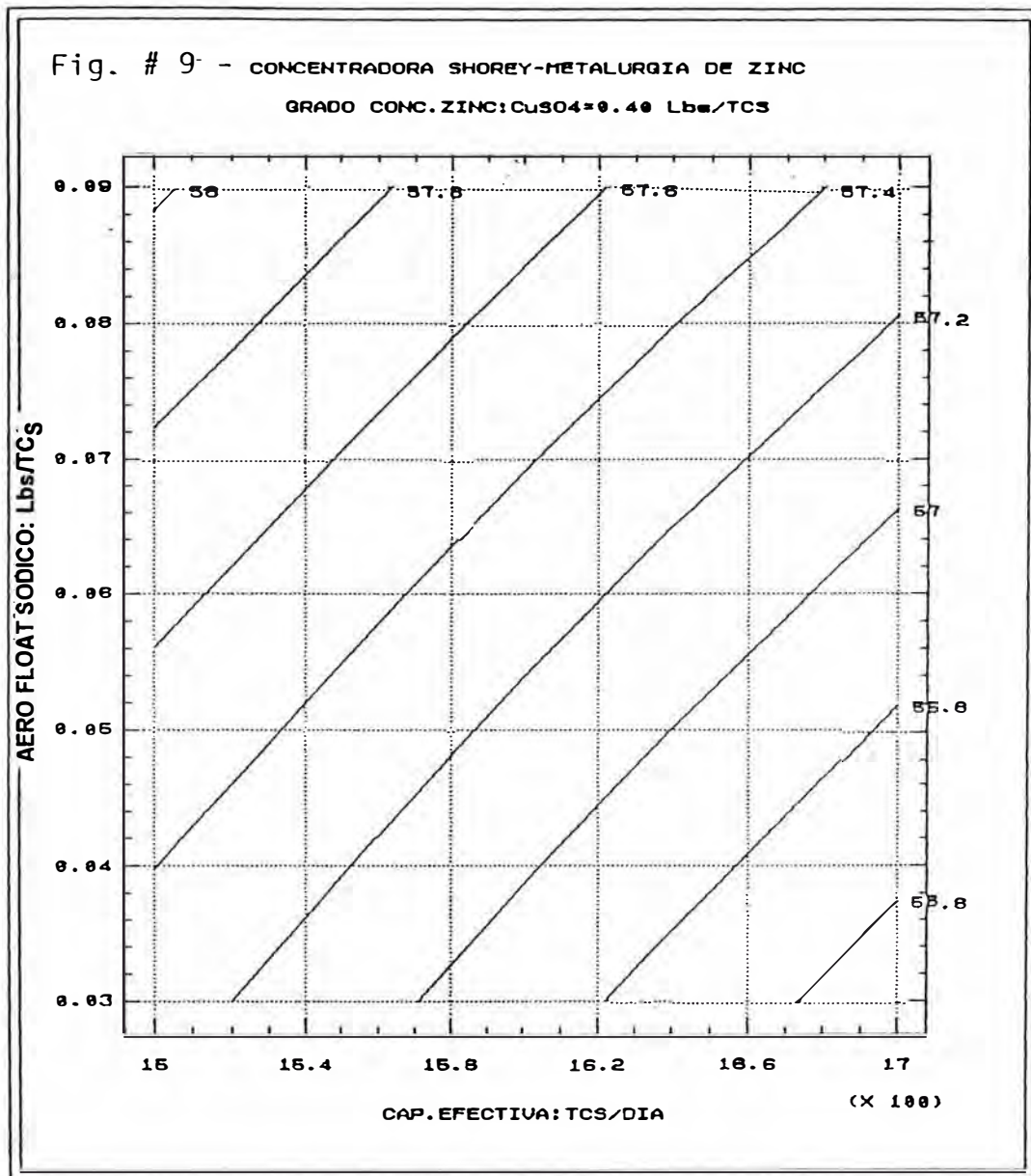


Fig. # 8 - CONCENTRADORA SHOREY-METALURGIA DE ZINC  
 GRADO CONC. ZINC: AF-N=0.000 Lb<sub>m</sub>/TCS





El primer gráfico indica que para superar el efecto negativo de la capacidad efectiva es necesario mantener la adición de Aerofloat sódico sobre 0.065 lbs/TCS. Mientras que la Fig. # 9 demuestra mejor ley del concentrado de zinc reduciendo la adición de  $\text{CuSO}_4$  hasta 0.300 lbs/TCS.

Cambiando estos efectos con mejores densidades de pulpa la eficiencia de limpieza se espera mejore significativamente.

#### 4.1.2 Recuperación de Zinc

Al igual que en el caso anterior se procedió al análisis individual y conjunto de variables.

##### a) Análisis Individual de Variables

$\text{CuSO}_4$ : Mantiene efecto con tendencia negativa, favoreciendo la reducción en el consumo. Siguiente paso en nuestras operaciones es mantener la adición en 0.40 lbs/TCS y luego evaluar reducción complementaria. Los resultados se muestran en la Fig. # 10.

Esta variable tiene efecto paralelo al observado en la relación grado-recuperación, reducir el consumo a los niveles más bajos constituye objetivo inmediato.

MIBC: Presenta efecto favorable sobre la recuperación pero con variación en rango amplio, según se puede apreciar en la Fig. # 11, básicamente la tendencia es definida por la alta dosificación tenida en el mes de enero de 1993, consecuentemente su efecto directo individual resultaría poco significativo.

Aerofloat Sódico: Mantiene efecto positivo sobre la recuperación aumentando simultáneamente la recuperación de zinc y la ley del concentrado de zinc en la medida que se aumenta la dosificación



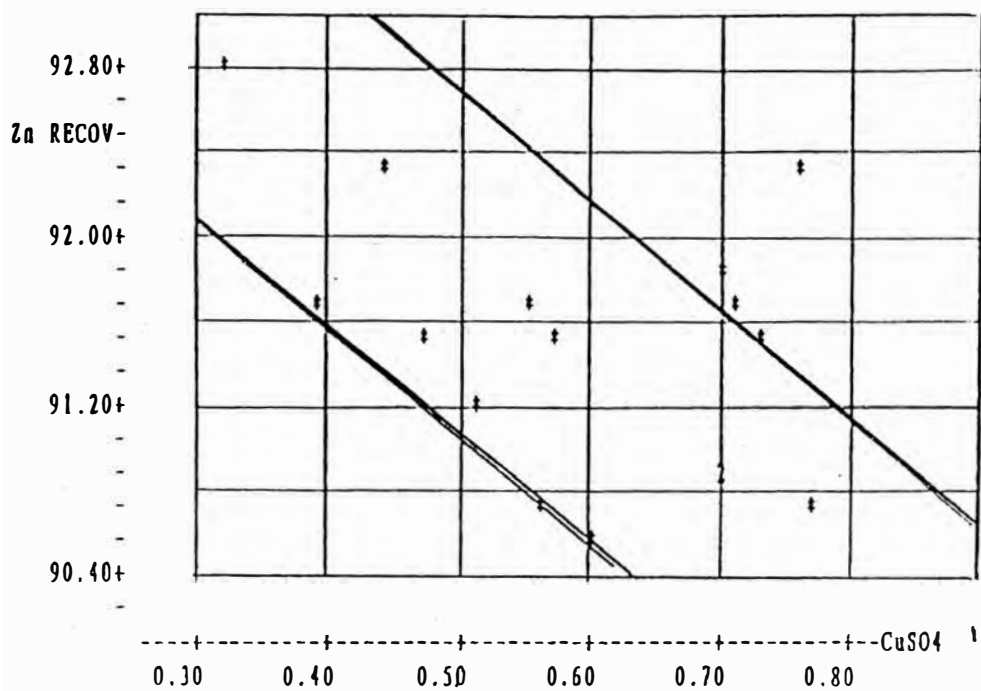


FIG. # 10 - Efecto de la adición de  $\text{CuSO}_4$  sobre la recuperación de zinc en la Concentradora de Shorey.

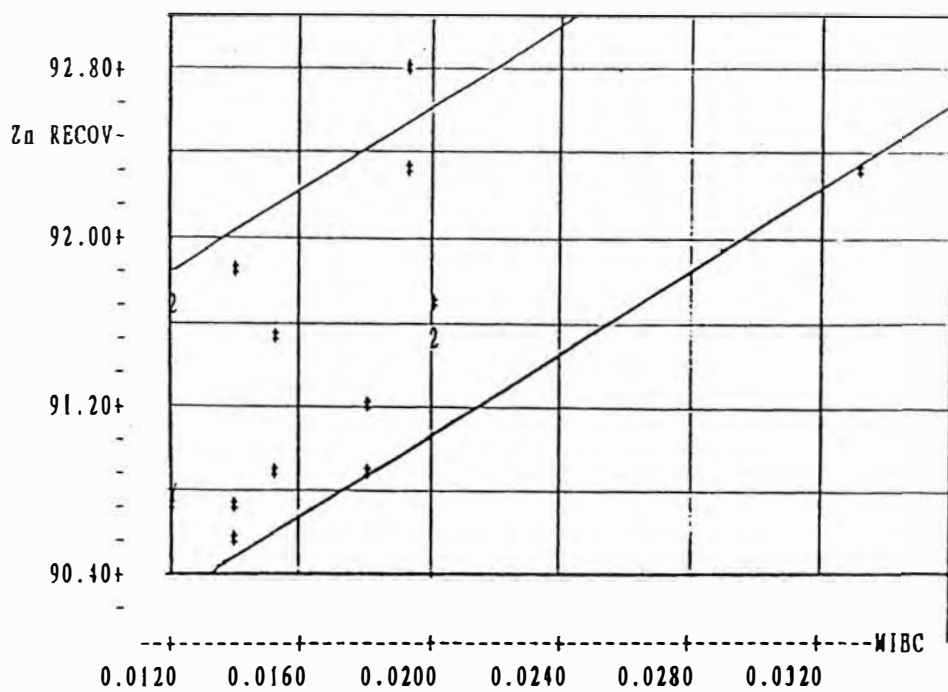


FIG. # 11 Efecto de la adición de MIBC sobre la recuperación de zinc.

(ver Fig. # 12 y # 13 respectivamente) coincidiendo también con la función grado-recuperación observada en la Concentradora de Shorey, consecuentemente la aplicación del ajuste de dosificación hacia el nivel superior: 0.080 lbs/TCS reduciendo el consumo de Z-11 deberá ser evaluado en planta.

Ley de Cabeza (Zn%): Presenta efecto favorable muy débil, (ver Fig. # 13) solamente definido por la alta ley de cabeza de zinc tenida en enero 1993, en consecuencia similar al de MIBC.

Capacidad efectiva (TCS/día): Mantiene efecto negativo sobre la recuperación, siendo también coincidente con la relación grado-recuperación obtenida en el período evaluado.

Sin lugar a dudas que su efecto negativo puede ser contrarrestado utilizando mayores niveles de colectores para intensificar la cinética de flotación. La tendencia de su efecto se muestra en la Fig. # 14.

NaCN/ZnSO<sub>4</sub>: Este reactivo adicionado en la etapa bulk Cu-Pb, presenta efecto directo sobre el desplazamiento de zinc al concentrado bulk Cu-Ag y viceversa así como efecto residual que interviene en la flotación de zinc.

La tendencia de su efecto es similar al mostrado sobre la ley del concentrado (ver Fig. # 15 y # 5) y es también concordante con la de la relación grado-recuperación de zinc observada, en consecuencia su aplicación debe ser examinada cuidadosamente en planta porque generaría aumento en los costos de operación.

## b) Regresión Múltiple

El modelo desarrollado con la información Octubre 1992 a Enero 1994, se presenta a continuación:

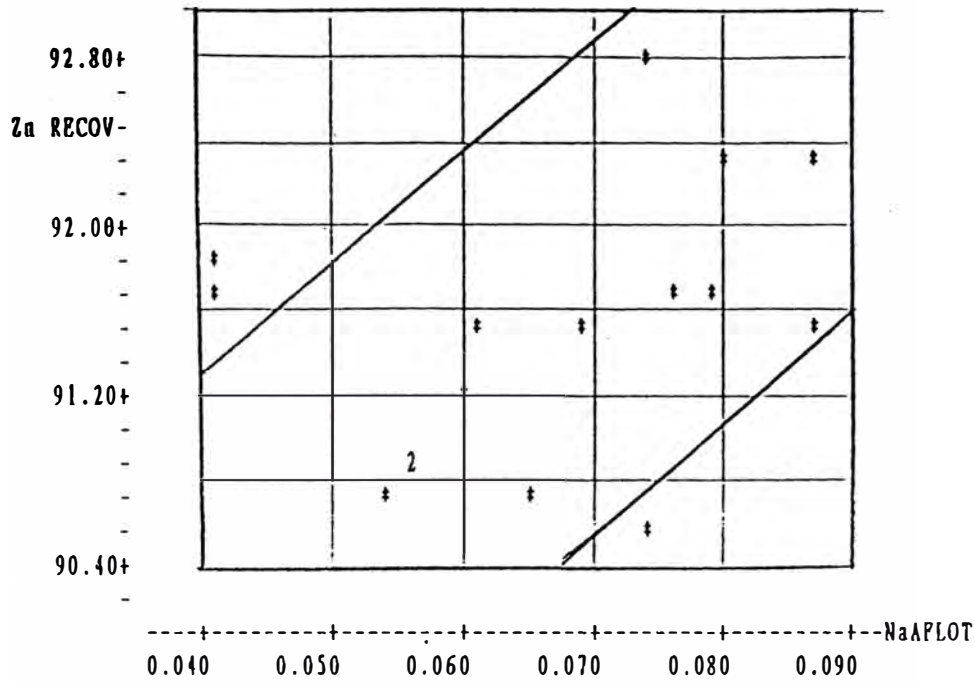


FIG. # 12 - Efecto de la adición de Aerofloat sódico sobre la recuperación de zinc.

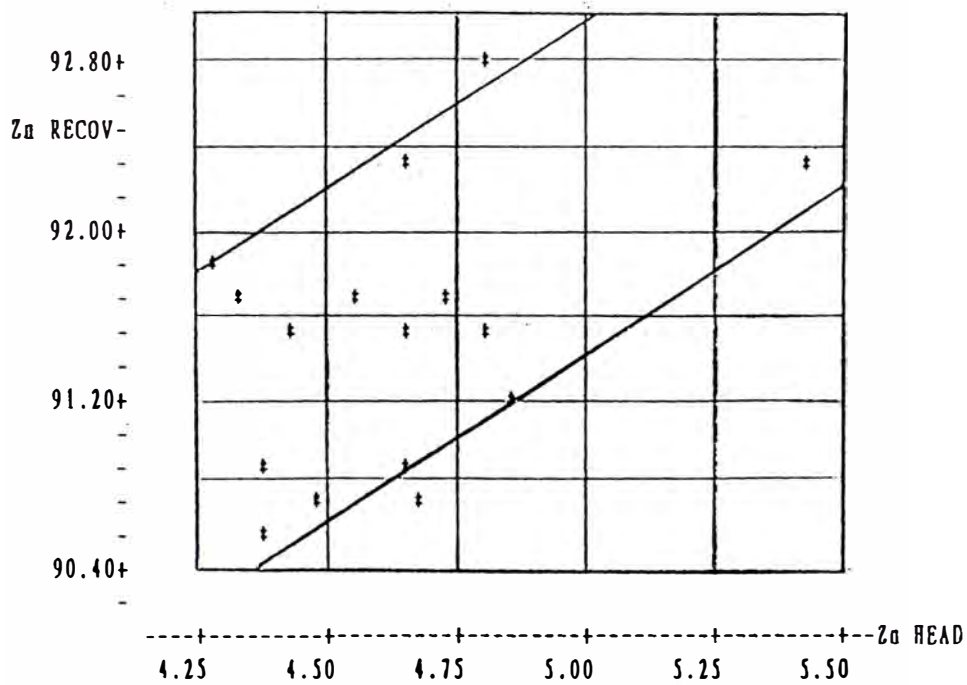


FIG. # 13 - Efecto del contenido de zinc en cabeza sobre la recuperación de zinc.

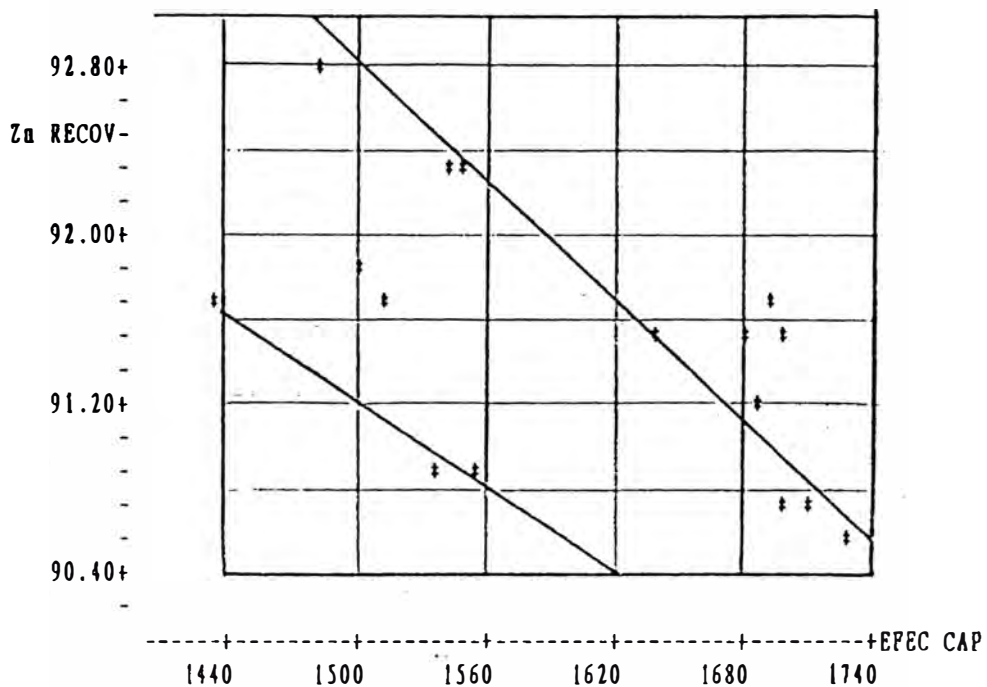


FIG. # 14 - Efecto de la capacidad efectiva sobre la recuperación de zinc.

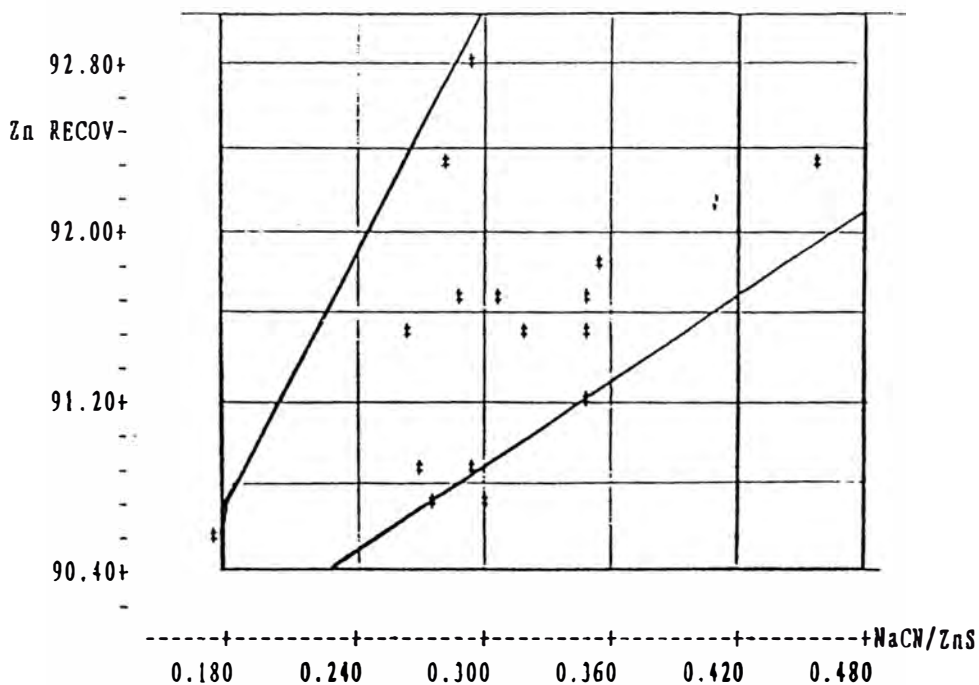


FIG. # 15 - Efecto de la adición de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en flotación Cu-Pb sobre la recuperación de zinc en el circuito de flotación de zinc.

$$\begin{aligned} \text{Rec. Zn}(\text{Conc. Zn}) = & 94.8 - 0.00306 \text{ CapEfect.} + 4,501 \times \\ & C_2 \times C_4 - 495 C_2 \times C_3 + 0.00284 \\ & C_{36} \times C_{22} - 185 C_4 \times C_{36} + 20.7 \\ & C_3 \times C_{36} \end{aligned}$$

En la que:

Rec. Zn = Recuperación de Zn en concentrado de zinc (%)

Cap. Efect = Capacidad efectiva en TCS/día =  $C_{22}$

$C_2$  = Adición de MIBC en lbs/TCS

$C_3$  = Adición de  $\text{CuSO}_4$  en lbs/TCS

$C_4$  = Adición de Aerofloat Sódico en lbs/TCS

$C_{36}$  = Adición de  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$  en lbs/TCS

El coeficiente de correlación alcanzado es de 0.9539, explicando 85.1% de las variaciones en recuperación de zinc, siendo en consecuencia las conclusiones totalmente confiables.

Los resultados obtenidos se comentan a continuación:

La capacidad efectiva mantiene efecto de primer orden negativo, sin embargo como interacción con la adición de  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$  presenta efecto positivo, es decir que el efecto negativo podría ser contrarrestado incrementando la adición de  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$  en la etapa bulk Cu-Pb.

La adición de aerofloat sódico reporta efecto positivo en interacción con el espumante MIBC, es decir el aumento de las dosificaciones de

ambos reactivos serían favorables sobre la recuperación de zinc.

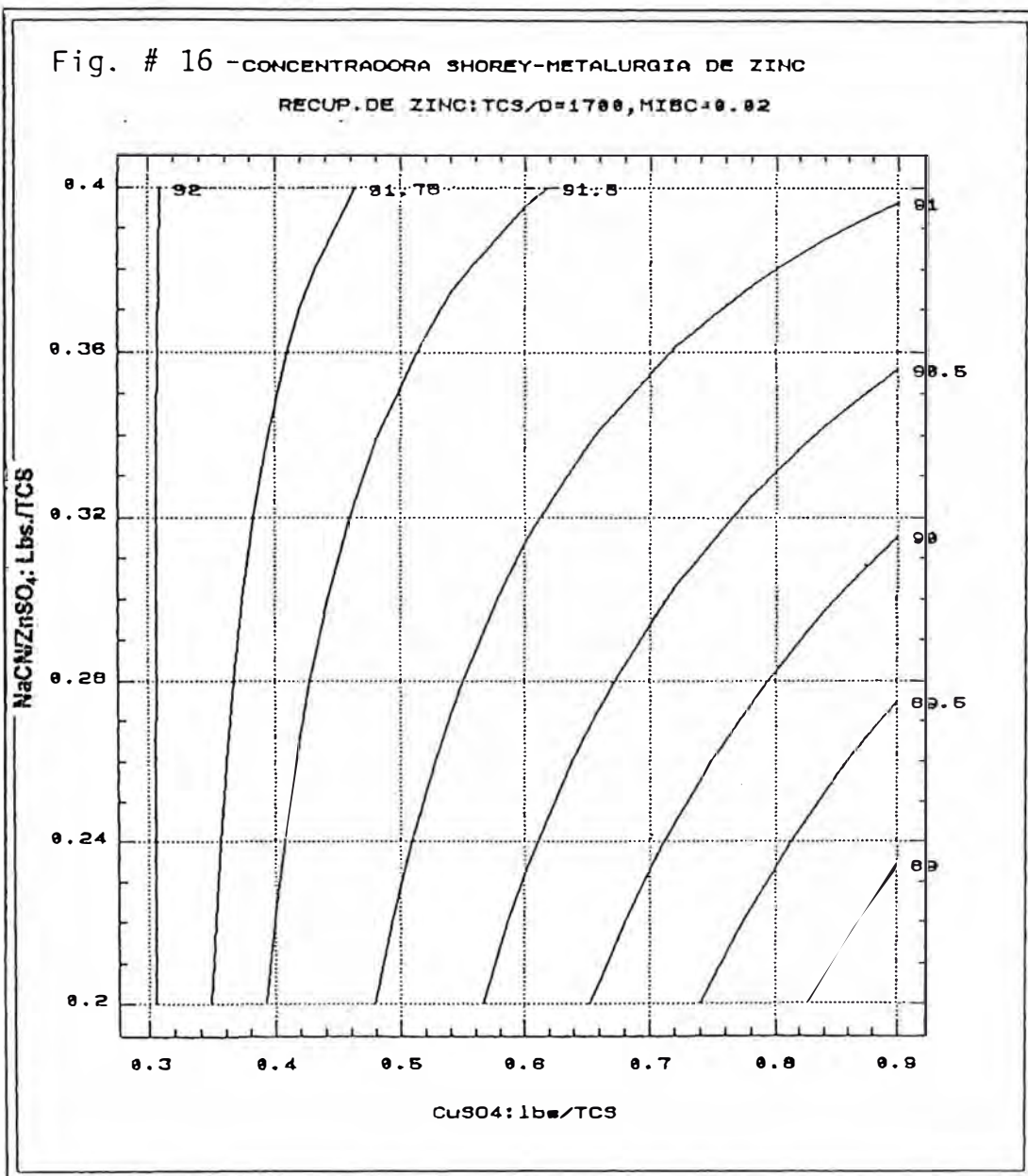
El sulfato de cobre retiene el efecto negativo sobre la recuperación de zinc, esta vez en la forma de interacción con el MIBC. Reducir el nivel de adición por debajo de 0.40 lbs/TCS debe constituir objeto fundamental.

La adición de  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$  presenta tres efectos diferentes en la forma de interacción:

- a) Con la capacidad efectiva, la interacción es positiva, consecuentemente parte del efecto negativo de la capacidad efectiva puede ser contrarrestado incrementando la adición de  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$ .
- b) Con Aerofloat Sódico, la interacción resulta negativa y
- c) Con el sulfato de cobre la interacción es positiva, indicando que el exceso de  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$  adicionado en la flotación Cu-Pb puede ser neutralizado con mayores niveles de adición de  $\text{CuSO}_4$ .

Para analizar este efecto se asumieron constantes las adiciones de AF-Na y gráficamente de MIBC en 0.060lbs/TCS y 0.020 lbs/TCS respectivamente, mientras que la capacidad efectiva de tratamiento se mantuvo constante en 1700 TCS/día, estos valores fueron introducidos en la función o modelo y luego la ecuación resultante de recuperación versus dosificaciones de  $\text{CuSO}_4$  y  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$  se graficaron en la Fig. # 16 con la que se concluye lo siguiente:

Los mejores resultados metalúrgicos se obtienen manteniendo el nivel de adición de  $\text{CuSO}_4$  entre 0.3 0.4 lbs/TCS, mayores niveles de adición de  $\text{CuSO}_4$  hacen necesario aumentar



proporcionalmente la dosificación de  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$  para contrarrestar el efecto negativo del  $\text{CuSO}_4$ . El exceso de  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$  interfiere en la colección de Cu y Ag en la etapa bulk, desplazándolos al concentrado de zinc.

Económicamente, reducir la dosificación de  $\text{CuSO}_4$  a niveles entre 0.3 y 0.4 lbs/TCS es la mejor opción. A esta condición se independiza la etapa de flotación de zinc de la adición de  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$  en la de Cu-Pb, limitándola solamente a optimización para flotación Cu-Pb.

#### 4.2 Evaluación de limpieza de concentrados de Zn con Celda Jameson Piloto

Las pruebas piloto fueron realizadas en celda Jameson 300/1, adquirida por ATIMMSA; los dispositivos principales e instrumentos fueron suministrados por MIM Holdings gratuitamente, mientras que el tanque de la celda y su estructura soporte fueron fabricados localmente en los talleres de FUNCAL.

La celda fue montada en la Concentradora de Shorey, ubicándola en área accesible para evaluación tanto de la separación Cu-Pb como en limpieza de los concentrados de zinc.

Durante los meses de Diciembre 1993 y Enero 1994 se realizaron pruebas de limpieza del concentrado rougher zinc, en la celda Piloto Jameson 300/1, evaluando diversos parámetros operativos para optimizar resultados.

En el Capítulo III se da una breve descripción de los principios de operación de la celda Jameson, también el cálculo de los parámetros usados en su evaluación.

La información de condiciones y resultados se presentan en las tablas # 1 y 1A para el mes de



diciembre y la 2 y 2A para el mes de enero. Los efectos de las diversas variables operativas fueron evaluados respecto a la ley del concentrado de zinc y a la recuperación de zinc. Los efectos se estudiaron tanto individualmente como en conjunto y los resultados se muestran a continuación.

#### 4.2.1 Ley del Concentrado de Zinc

##### a) Variables Individuales

Gravedad específica de Pulpa: El efecto se presenta en la figura # 17, observándose que la ley del concentrado de zinc es reducida en función al aumento de la gravedad específica de la pulpa alimentada, alcanzando leyes entre 58-60 % en el rango de 1200- 1230 gr/lt. El rango de variación alcanzado en el trabajo se presenta en la Fig. # 17.

Velocidad Superficial de Aire (Jg): En el rango evaluado de 0.540 a 0.720 cm/seg, el efecto fue favorable en la medida que Jg aumenta.

El rango de variación de Jg y de su correspondiente impacto sobre la ley de concentrado de zinc se presenta en la fig. # 18.

pH : Debido a que en la celda Jameson se tiene columna de espuma alta y se utiliza agua de lavado para el control de ley diluyendo la pulpa adicionalmente y modificando las condiciones de flotación, se evaluó ajuste complementario del pH de limpieza con adición de CaO al cajon de alimentación a la bomba de la celda Jameson.

El efecto de esta variable se presenta gráficamente en la Fig. # 19, confirmando efectos favorables sobre la ley del concentrado final de zinc, reduciendo el rango de variación a 57 - 59% Zn, es decir estabilizando los resultados metalúrgicos.

TABLA # 1

**EVALUACION DE CELDA JAMESON EN CONCENTRADORA SHOREY**

Reporte de condiciones de operación de Diciembre 1993

**CONCENTRACIÓN DE ZINC**

Fecha	Prueba #	% Sólidos			Densidad ( gr / lt )			Adic. Cal	pH	Adic. Espum.	ALTURA ESPUM.	Suministro de Aire		Ca gr/cm2	Agua Lavado	Flujo Conc.	Presión	Agua en Conc.	Bias Agua de lavado	
		Alim.	Conc.	Relave	Alim.	Conc.	Relave	Allm.	Relave	(ml./mln)	(mm)	(Kpa)	(lpm)	/seg	(lpm)	(lpm)	(Kpa)	(lpm)	cc/seg	cm/seg
15-12-93 A	1	23.73	36.22	16.80	1235	1427	1157		11.6	3.0	700	2.7	27.0	3.64	4.0	5.520	190	5.024	-17.06	0.573
15-12-93 B	2	27.44	32.95	22.07	1282	1374	1217			3.0	700	2.4	25.0	3.77	5.0	6.540	187	6.025	-17.08	0.531
16-12-93 A	3	26.75	34.83	21.57	1273	1404	1211		11.6	3.0	700	2.5	25.0	10.76	6.0	17.269	191	15.801	-163.34	0.531
16-12-93 B	4	33.82	38.14	27.98	1372	1460	1292			3.5	700	1.6	20.0	7.56	7.0	10.660	187	9.627	-43.79	0.425
17-12-93 A	5	23.49	36.04	21.31	1232	1424	1208		11.3	4.0	800	2.7	25.0	9.41	4.0	14.390	185	13.106	-151.76	0.531
17-12-93 B	6	28.56	36.52	21.48	1297	1432	1210		11.4	4.0	800	3.0	25.0	5.16	10.0	7.739	188	7.036	49.41	0.531
18-12-93 A	7	28.41	37.85	24.36	1295	1455	1245		11.5	4.0	900	2.7	35.0	9.13	6.0	13.008	196	11.762	-96.03	0.743
20-12-93 B	8	23.98	34.83	18.35	1238	1404	1174		11.6	3.0	900	5.1	29.0	11.13	8.0	17.855	185	16.336	-138.94	0.616
21-12-93 B	9	21.22	29.55	14.24	1205	1323	1130		12.1	3.0	900	5.0	32.0	14.27	10.0	28.650	182	26.701	-278.36	0.679
22-12-93 A	10	28.93	35.20	22.49	1302	1410	1222		12.1	4.0	900	2.5	30.0	7.49	7.0	11.851	186	10.828	-63.8	0.637
22-12-93 B	11	27.44	32.50	23.15	1282	1367	1230		11.9	3.0	900	4.7	27.0	14.90	5.0	26.321	185	24.287	-321.46	0.573
23-12-93 A	12	25.74	32.30	20.11	1260	1364	1194		11.9	3.0	900	3.6	26.0	8.15	9.0	14.517	186	13.404	-73.4	0.552
23-12-93 B	13	24.55	30.04	18.44	1245	1330	1175			3.0	800	3.0	29.0	14.73	4.0	28.933	187	26.923	-382.05	0.616
24-12-93 A	14	25.03	33.71	17.62	1251	1386	1168		11.3	3.0	900	3.8	29.0	3.26	5.0	5.473	174	5.028	-0.47	0.616
27-12-93 B	15	26.98	35.74	18.08	1276	1419	1171		11.2	2.0	900	2.1	25.0	8.80	8.0	13.624	186	12.422	-73.7	0.531
28-12-93 A	16	25.58	33.96	18.88	1258	1390	1180		11.6	2.5	800	4.9	26.0	6.27	5.0	10.430	185	9.574	-76.23	0.552
28-12-93 B	17	22.24	34.03	17.80	1217	1391	1168		11.4	2.0	800	4.2	28.0	8.15	3.0	13.522	185	12.409	-156.82	0.594
29-12-93 A	18	24.55	32.69	18.17	1245	1370	1172		11.9	2.0	800	4.7	26.0	14.49	6.0	25.385	173	23.408	-290.13	0.552
29-12-93 B	19	22.58	32.56	14.53	1221	1368	1133		11.9	2.0	800	5.1	30.0	10.82	7.0	19.058	179	17.581	-176.36	0.637
30-12-93 A	20	23.65	32.43	14.82	1234	1366	1136		11.9	3.0	800	5.2	26.0	7.45	8.0	13.193	164	12.176	-69.61	0.552
30-12-93 B	21	20.53	34.21	11.76	1197	1394	1105		11.8	2.5	800	3.5	30.0	10.62	9.0	17.474	167	16.025	-117.08	0.637

Diámetro de orificio: 7 mm.

Diámetro de alimentación: 66 mm.

Diámetro de Desplazamiento: 75 mm.

TABLA # 1 (a)

**Resultados Metalurgicos de Diciembre 1993**  
**CONCENTRACIÓN DE ZINC**

Fecha	Prueba #	Relave (ppm)	T C S P H			HORAS DE PRUEBA	LEYES % ONZ/TCS												RECUPERACIONES %			
			Allm.	Conc.	Relave		ALIMENTACION				CONCENTRADO				RELA VE				Ag	Cu	Pb	Zn
							Ag	Cu	Pb	Zn	Ag	Cu	Pb	Zn	Ag	Cu	Pb	Zn	Ag	Cu	Pb	Zn
15-12-93 A	1	37.21	0.667	0.189	0.478	4.0	5.90	0.27	0.46	24.58	5.08	0.31	0.49	55.20	5.62	0.23	0.43	12.49	26.1	34.7	31.0	67.7
15-12-93 B	2	42.00	0.942	0.196	0.746	7.0	5.35	0.16	0.46	16.00	6.31	0.31	0.53	52.68	4.53	0.13	0.39	6.24	26.6	38.9	26.1	69.2
16-12-93 A	3	41.24	1.271	0.559	0.712	7.0	5.92	0.40	0.43	32.78	5.39	0.38	0.42	56.13	6.06	0.42	0.49	14.34	41.2	41.7	38.1	75.6
16-12-93 B	4	42.60	1.411	0.393	1.018	4.0	4.98	0.22	0.35	19.26	5.25	0.33	0.42	53.26	3.90	0.17	0.31	6.15	33.8	42.9	34.4	77.1
17-12-93 A	5	43.19	1.224	0.489	0.735	5.0	3.96	0.31	0.37	29.70	3.74	0.37	0.42	55.69	3.96	0.32	0.41	12.25	38.6	43.8	41.0	75.2
17-12-93 B	6	46.20	1.062	0.268	0.794	7.0	4.49	0.24	0.43	20.05	3.42	0.31	0.50	53.83	4.59	0.23	0.45	8.54	19.9	31.6	27.8	68.1
18-12-93 A	7	43.53	1.347	0.474	0.873	3.0	5.16	0.27	0.40	24.69	4.69	0.43	0.54	53.79	4.46	0.19	0.38	8.78	35.9	51.1	43.7	76.9
20-12-93 B	8	45.24	1.222	0.578	0.644	5.0	11.14	0.42	1.42	34.03	7.97	0.36	1.31	53.24	10.44	0.37	1.20	16.47	40.2	46.5	49.5	74.4
21-12-93 B	9	48.21	1.254	0.741	0.513	7.0	6.10	0.34	0.49	41.72	4.69	0.34	0.51	58.73	7.62	0.40	0.72	18.11	47.1	55.1	50.6	82.4
22-12-93 A	10	45.50	1.216	0.389	0.827	5.0	4.89	0.24	0.47	24.86	3.89	0.30	0.40	57.36	4.51	0.21	0.47	9.56	28.2	40.1	28.3	73.8
22-12-93 B	11	41.72	1.559	0.773	0.786	7.0	4.89	0.31	0.44	34.66	3.76	0.32	0.40	53.30	7.46	0.31	0.40	16.01	43.5	50.4	49.6	76.6
23-12-93 A	12	44.95	1.137	0.423	0.714	7.0	5.84	0.33	0.43	29.24	3.86	0.31	0.38	56.00	6.59	0.36	0.49	13.38	25.5	33.9	31.7	71.2
23-12-93 B	13	40.87	1.350	0.764	0.586	7.0	8.82	0.46	0.73	36.92	5.97	0.38	0.65	52.53	8.20	0.39	0.70	15.61	48.7	56.3	55.0	81.6
24-12-93 A	14	44.58	0.775	0.169	0.606	7.0	7.66	0.44	0.64	20.21	5.45	0.36	0.51	53.26	8.57	0.41	0.57	10.93	15.2	19.2	19.3	55.7
27-12-93 B	15	42.57	1.053	0.457	0.598	7.0	6.36	0.26	0.38	25.41	5.84	0.35	0.45	49.71	5.71	0.21	0.39	6.28	44.2	56.5	47.5	86.1
28-12-93 A	16	43.79	0.971	0.326	0.645	6.0	8.40	0.36	0.60	26.16	9.40	0.47	0.81	52.80	10.40	0.39	0.72	12.48	32.5	38.5	37.4	68.1
28-12-93 B	17	42.51	1.008	0.423	0.585	7.0	5.89	0.27	0.32	27.84	7.65	0.44	0.83	54.24	4.89	0.18	0.43	8.16	52.9	63.5	57.7	82.8
29-12-93 A	18	42.75	1.354	0.752	0.602	6.0	6.72	0.35	0.55	40.62	5.01	0.37	0.49	55.39	7.45	0.34	0.67	21.66	45.7	57.7	47.9	76.2
29-12-93 B	19	40.27	1.000	0.562	0.438	5.0	7.58	0.38	0.62	36.93	9.16	0.54	0.90	54.90	11.12	0.52	0.90	14.77	51.2	56.0	55.1	82.6
30-12-93 A	20	41.08	0.844	0.387	0.457	5.0	9.06	0.61	0.71	37.83	8.34	0.62	0.76	56.63	10.73	0.67	0.84	22.21	39.9	44.1	43.7	68.3
30-12-93 B	21	42.20	0.914	0.551	0.363	7.0	12.87	0.69	1.21	39.31	10.96	0.75	1.40	56.63	15.14	0.74	1.40	12.94	52.3	60.3	59.7	86.9

1 ABLA # 2  
**EVALUACION DE CELDA JAMESON EN CONCENTRADORA SHOREY**

Reporte de condiciones de operación de Enero 1994

**CONCENTRACIÓN DE ZINC**

Fecha	Prueba #	% Sólidos			Densidad ( gr / lt )			Adic. NaCN ml/min	pH	Adic. Espum. (ml./min)	ALTURA ESPUM. (mm)	Sumunistro de Aire		Ca gr/cm2/seg	Agua Lavado (lpm)	Flujo Conc. (lpm)	Presión (Kpa)	Agua en Conc. (lpm)	Bias Agua de lavado	
		Alim.	Conc.	Relave	Alim.	Conc.	Relave					(Kpa)	(lpm)						cc/seg	Jg cm/seg
03-01-94 A	22	19.83	30.85	12.77	1189	1342	1115	-	-	2.0	800	3.3	25.0	34.08	10.0	64.606	166	59.954	-832.57	0.531
03-01-94 B	23	19.92	31.05	19.33	1190	1345	1185	-	-	3.0	800	5.0	27.0	4.60	2.0	8.641	148	8.013	-100.22	0.531
04-01-94 A	24	24.95	32.82	17.35	1250	1372	1163	-	-	2.0	800	4.0	25.0	13.62	9.0	23.738	146	21.879	-214.65	0.637
05-01-94 A	25	30.60	34.89	27.08	1325	1405	1280	-	-	2.0	800	5.7	30.0	13.70	8.0	21.927	176	20.058	-200.96	0.531
05-01-94 B	26	40.85	38.93	34.47	1487	1474	1386	-	-	3.6	800	5.1	25.0	8.17	11.0	11.173	157	10.058	15.7	0.722
06-01-94 A	27	24.95	32.89	18.44	1250	1373	1175	-	11.6	2.0	800	4.6	34.0	21.29	10.0	37.002	187	34.096	-401.6	0.679
06-01-94 B	28	30.45	28.72	23.39	1323	1311	1233	-	11.6	3.0	800	3.0	32.0	14.79	11.0	30.844	187	28.824	-297.07	0.743
07-01-94 A	29	23.16	36.10	18.44	1228	1425	1175	-	11.6	1.5	850	5.0	35.0	13.77	10.0	21.013	181	19.133	-152.24	0.743
07-01-94 B	30	29.59	33.90	22.65	1311	1389	1224	-	12.2	2.0	850	2.7	35.0	12.21	12.0	20.357	185	18.690	-111.49	0.743
08-01-94 A	31	21.13	30.78	16.05	1204	1341	1149	-	12.1	1.0	900	5.0	35.0	21.85	9.0	41.536	182	38.554	-492.57	0.701
08-01-94 B	32	32.41	34.83	26.39	1351	1404	1271	-	12.1	4.5	900	3.0	33.0	6.30	10.0	10.110	185	9.250	12.5	0.701
10-01-94 B	33	26.52	37.45	21.14	1270	1448	1206	3.0	-	2.0	900	4.0	33.0	5.95	11.0	8.615	175	7.802	53.29	0.701
11-01-94 A	34	33.22	36.40	27.53	1363	1430	1286	3.0	-	4.0	900	3.6	33.0	11.77	10.0	17.748	186	16.141	-102.35	0.743
11-01-94 B	35	23.41	34.65	19.24	1231	1401	1184	9.0	-	2.5	900	5.0	35.0	9.81	11.0	15.854	166	14.516	-58.59	0.743
12-01-94 A	36	28.19	35.98	24.36	1292	1423	1245	9.0	-	3.0	900	5.2	35.0	7.80	12.0	11.959	186	10.894	18.44	0.743
12-01-94 B	37	26.36	34.89	21.74	1268	1405	1213	9.0	-	2.0	900	5.0	35.0	12.68	14.0	20.293	185	18.562	-76.04	0.722
13-01-94 A	38	23.08	34.15	17.71	1227	1393	1167	9.0	11.6	1.5	850	3.8	34.0	10.96	12.0	18.084	182	16.588	-76.46	0.743
13-01-94 B	39	22.41	34.40	14.82	1219	1397	1136	9.0	12.1	2.0	850	5.3	35.0	14.27	12.0	23.313	184	21.364	-156.07	0.743
14-01-94 A	40	31.23	35.56	26.24	1334	1416	1269	6.0	11.9	3.0	850	4.9	35.0	15.93	12.0	24.830	185	22.656	-177.59	0.743
14-01-94 B	41	25.90	34.40	18.53	1262	1397	1176	6.0	11.9	2.0	850	3.4	35.0	10.67	10.0	17.430	180	15.973	-99.55	0.743
15-01-94 A	42	29.01	29.14	22.16	1303	1317	1218	6.0	11.8	3.0	850	3.9	35.0	5.03	12.0	10.284	182	9.597	40.04	0.743
15-01-94B	43	22.66	32.30	17.90	1222	1364	1169	6.0	12.3	2.5	850	5.4	35.0	8.78	8.0	15.647	169	14.448	-107.47	0.743
17-01-94 A	44	23.57	34.65	17.62	1233	1401	1166	3.0	12.3	2.0	850	5.6	35.0	14.89	11.0	24.077	180	22.044	-184.07	0.743
17-01-94 B	45	20.53	33.59	13.85	1197	1384	1126	3.0	12.1	2.0	850	5.5	35.0	6.92	12.0	11.677	180	10.733	21.12	0.743
18-01-94 A	46	23.57	35.20	19.41	1233	1410	1186	3.0	12.1	2.0	800	5.3	35.0	17.47	12.0	27.631	166	25.246	-220.76	0.743
18-01-94 B	47	22.74	36.40	15.86	1223	1430	1147	3.0	12.1	2.0	800	4.9	35.0	9.84	12.0	14.843	151	13.499	-24.99	0.743
19-01-94 A	48	20.88	34.40	15.01	1201	1397	1138	4.0	11.9	2.0	800	5.0	35.0	7.96	11.0	12.994	152	11.908	-15.13	0.743
19-01-94 B	49	20.53	35.32	14.53	1197	1412	1133	4.0	11.9	2.5	800	5.0	35.0	11.58	11.0	18.220	150	16.640	-93.99	0.743
20-01-94 A	50	24.79	36.93	18.26	1248	1439	1173	6.0	11.8	2.0	800	5.0	35.0	10.23	12.0	15.108	150	13.711	-28.52	0.743
21-01-94 B	51	22.41	33.84	17.99	1219	1388	1170	7.0	11.9	2.0	800	5.0	35.0	5.69	8.0	9.514	171	8.737	-12.29	0.743
22-01-94 A	52	24.79	35.20	20.20	1248	1410	1195	8.0	11.8	2.0	900	5.0	34.0	4.92	9.0	7.782	158	7.110	31.5	0.722
22-01-94 B	53	30.52	33.71	25.85	1324	1386	1264	8.0	11.5	2.0	900	5.2	35.0	8.16	10.0	13.701	161	12.588	-43.13	0.743
23-01-94 B	54	21.82	32.56	17.26	1212	1368	1162	8.0	11.7	2.0	900	5.2	35.0	5.72	9.0	10.086	155	9.304	-5.07	0.743

Diámetro de orificio: 7 mm.

Diámetro de Desplazamiento: 75 mm.

NOTA: De la prueba 27 a la 54

Diámetro de alimentación: 66 mm.

Diámetro de orificio: 7.5 mm

TABLA # 2 (a)

Resultados Metalurgicos de Enero 1994

CONCENTRACIÓN DE ZINC

Fecha	Prueba #	Relave (lpm)	T C S P H			HORAS DE PRUEB	LEYES % ONZ/TCS																RECUPERACIONES %			
			Alim.	Conc.	Relave		ALIMENTACION				CONCENTRADO				RELA VE				Ag	Cu	Pb	Zn				
							Ag	Cu	Pb	Zn	Ag	Cu	Pb	Zn	Ag	Cu	Pb	Zn								
03-01-94 A	22	45.00	2.216	1.769	0.447	5.0	14.54	0.54	1.47	42.83	11.40	0.45	1.47	57.36	10.83	0.37	0.58	11.68	81.7	83.7	91.4	94.8				
03-01-94 B	23	39.90	0.843	0.239	0.604	2.0	7.57	0.26	0.62	27.77	6.41	0.31	0.39	55.80	5.70	0.24	0.35	15.57	29.9	33.8	29.1	59.9				
04-01-94 A	24	42.30	1.302	0.707	0.595	6.0	8.15	0.41	0.55	36.55	5.92	0.37	0.49	54.69	7.16	0.35	0.46	12.81	49.5	55.9	56.1	83.7				
05-01-94 A	25	43.50	1.763	0.711	1.052	2.0	6.30	0.41	0.40	27.41	8.71	0.46	0.64	50.76	6.07	0.39	0.39	8.63	49.3	44.4	52.4	80.2				
05-01-94 B	26	37.10	1.662	0.424	1.238	7.0	4.13	0.18	0.43	18.27	6.65	0.28	0.65	47.46	4.58	0.16	0.36	6.85	34.5	37.7	38.2	70.6				
06-01-94 A	27	52.50	1.898	1.105	0.793	6.0	6.35	0.51	0.39	39.10	5.23	0.35	0.42	53.86	6.10	0.47	0.39	13.21	54.6	50.9	59.8	85.3				
06-01-94 B	28	52.90	1.833	0.768	1.065	7.0	4.61	0.27	0.33	26.41	5.35	0.31	0.49	52.83	4.36	0.21	0.31	6.73	46.9	51.6	53.1	85.1				
07-01-94 A	29	57.20	1.580	0.715	0.865	6.0	7.59	0.57	0.46	30.96	7.47	1.00	0.51	53.35	7.47	0.52	0.44	7.74	45.2	60.2	48.9	85.5				
07-01-94 B	30	53.40	1.668	0.634	1.034	7.0	5.48	0.47	0.34	25.43	6.22	0.67	0.53	52.80	5.35	0.43	0.33	6.63	41.8	48.9	49.7	83.3				
08-01-94 A	31	55.80	1.852	1.134	0.718	7.0	6.96	0.66	0.40	33.68	6.30	0.50	0.46	58.41	10.89	1.00	0.64	10.26	47.8	44.2	52.7	89.2				
08-01-94 B	32	48.80	1.468	0.327	1.141	7.0	5.91	0.29	0.33	18.94	5.25	0.35	0.46	56.57	5.64	0.31	0.33	7.89	20.7	25.0	29.0	67.3				
10-01-94 B	33	54.30	1.276	0.309	0.967	6.0	4.59	0.20	0.32	17.10	6.56	0.42	0.58	51.83	4.07	0.15	0.36	4.74	34.1	47.3	35.6	78.1				
11-01-94 A	34	49.70	1.826	0.611	1.215	6.0	5.00	0.35	0.34	24.68	3.94	0.34	0.33	55.65	5.78	0.42	0.38	9.71	25.7	29.7	30.8	74.2				
11-01-94 B	35	51.50	1.327	0.509	0.818	7.0	4.20	0.26	0.33	25.46	3.94	0.35	0.29	56.70	4.20	0.17	0.28	7.09	36.8	56.3	38.8	83.2				
12-01-94 A	36	54.50	1.569	0.405	1.164	6.0	5.25	0.36	0.37	24.19	3.67	0.35	0.28	57.63	4.40	0.31	0.30	11.42	22.1	28.3	24.1	64.6				
12-01-94 B	37	49.50	1.567	0.658	0.909	6.0	4.03	0.18	0.29	30.45	4.52	0.27	0.32	55.19	3.79	0.13	0.27	11.42	46.4	59.9	46.2	77.9				
13-01-94 A	38	51.72	1.315	0.569	0.746	3.0	6.41	0.30	0.45	27.63	5.91	0.25	0.46	54.73	4.07	0.33	0.41	9.21	52.7	36.5	46.1	81.7				
13-01-94 B	39	50.21	1.331	0.741	0.590	7.0	6.04	0.35	0.50	34.47	6.04	0.37	0.53	56.83	4.04	0.21	0.49	13.94	63.5	69.6	57.5	83.1				
14-01-94 A	40	50.84	2.007	0.827	1.180	7.0	3.95	0.23	0.36	32.45	4.65	0.30	0.56	56.60	5.12	0.20	0.48	14.09	39.8	51.2	45.8	73.9				
14-01-94 B	41	49.44	1.305	0.554	0.751	7.0	4.19	0.25	0.37	32.71	3.84	0.26	0.39	59.88	4.54	0.22	0.41	13.08	38.5	46.5	41.4	77.1				
15-01-94 A	42	52.67	1.253	0.261	0.992	7.0	5.57	0.27	0.47	21.45	7.15	0.43	0.83	56.86	5.57	0.25	1.84	10.72	25.6	31.5	27.4	58.4				
15-01-94 B	43	48.90	1.170	0.456	0.714	7.0	15.02	0.68	1.33	27.43	11.03	0.52	0.25	58.86	9.81	0.37	0.47	7.73	41.2	47.1	23.7	82.9				
17-01-94 A	44	49.80	1.448	0.773	0.675	7.0	7.00	0.34	5.25	41.15	6.46	0.39	3.83	58.61	6.60	0.24	5.30	20.94	52.9	65.3	45.1	76.3				
17-01-94 B	45	49.30	0.866	0.399	0.507	6.0	3.77	0.20	3.57	30.43	3.10	0.24	2.76	59.11	3.16	0.15	3.53	10.23	40.7	53.3	35.4	80.4				
18-01-94 A	46	45.06	1.631	0.907	0.724	6.0	9.65	0.40	1.39	31.08	5.89	0.37	0.56	58.27	5.39	0.19	0.52	9.06	58.5	72.1	58.1	88.2				
18-01-94 B	47	44.90	1.081	0.511	0.570	6.0	7.14	0.33	0.58	33.41	5.77	0.32	0.61	58.01	8.40	0.32	0.68	11.65	38.1	47.2	44.8	81.7				
19-01-94 A	48	47.58	0.980	0.413	0.567	7.0	5.52	0.24	0.44	38.96	4.51	0.22	0.57	57.48	5.52	0.23	0.44	23.09	37.0	40.9	48.6	64.6				
19-01-94 B	49	47.76	1.150	0.601	0.549	6.0	6.39	0.32	0.52	36.08	4.64	0.33	0.42	57.24	7.40	0.30	0.59	10.58	40.5	54.6	43.7	85.7				
20-01-94 A	50	46.82	1.246	0.531	0.715	7.0	5.15	0.29	0.41	28.56	6.87	0.39	0.59	57.11	4.10	0.19	0.45	6.87	55.4	60.5	49.4	86.1				
21-01-94 B	51	49.32	0.982	0.296	0.686	6.0	8.75	0.42	0.66	26.89	9.36	0.60	0.70	57.48	9.00	0.41	0.75	13.32	31.4	43.9	32.3	65.9				
22-01-94 A	52	45.76	0.986	0.255	0.731	6.0	4.94	0.23	0.34	26.98	4.40	0.29	0.38	58.49	5.47	0.19	0.38	16.14	22.9	31.8	30.3	56.1				
22-01-94 B	53	46.20	1.422	0.423	0.999	5.0	5.34	0.21	0.40	24.71	6.67	0.36	0.51	56.48	6.00	0.17	0.44	10.84	37.1	50.0	36.8	68.0				
23-01-94 B	54	45.00	0.894	0.297	0.597	5.0	4.67	0.15	0.35	28.24	3.87	0.21	0.29	57.74	5.87	0.13	0.39	13.62	98.3	46.2	29.0	67.9				

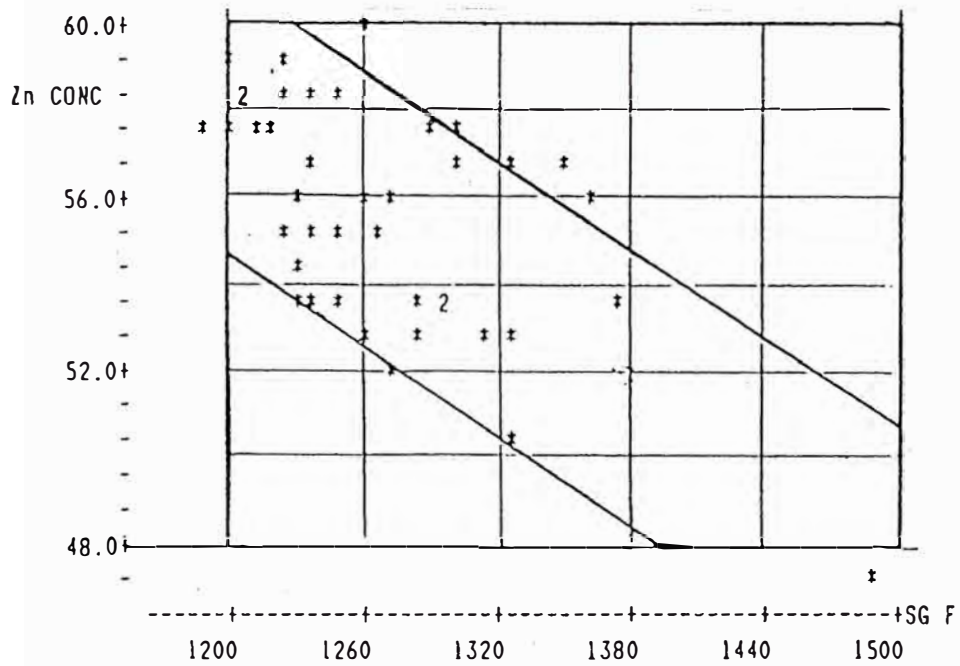


FIG. # 17 - Efecto de la gravedad específica del alimento a limpieza en celda Jameson sobre la ley del concentrado final de zinc.

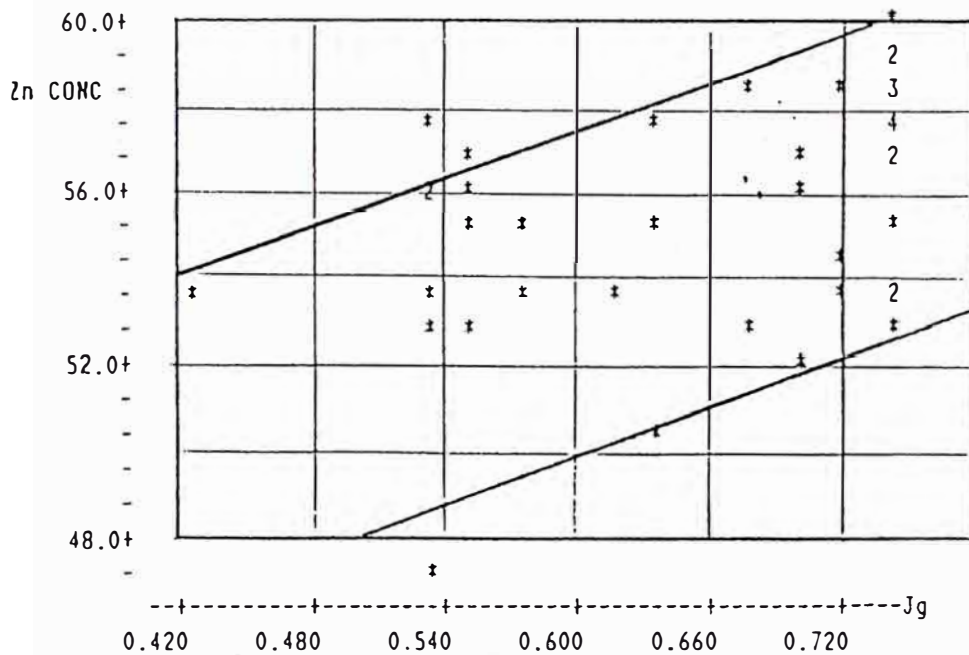


FIG. # 18 - Efecto de la velocidad superficial de aire sobre la ley del concentrado de zinc en limpieza de concentrados rougher de zinc en celda Jameson 300/1.

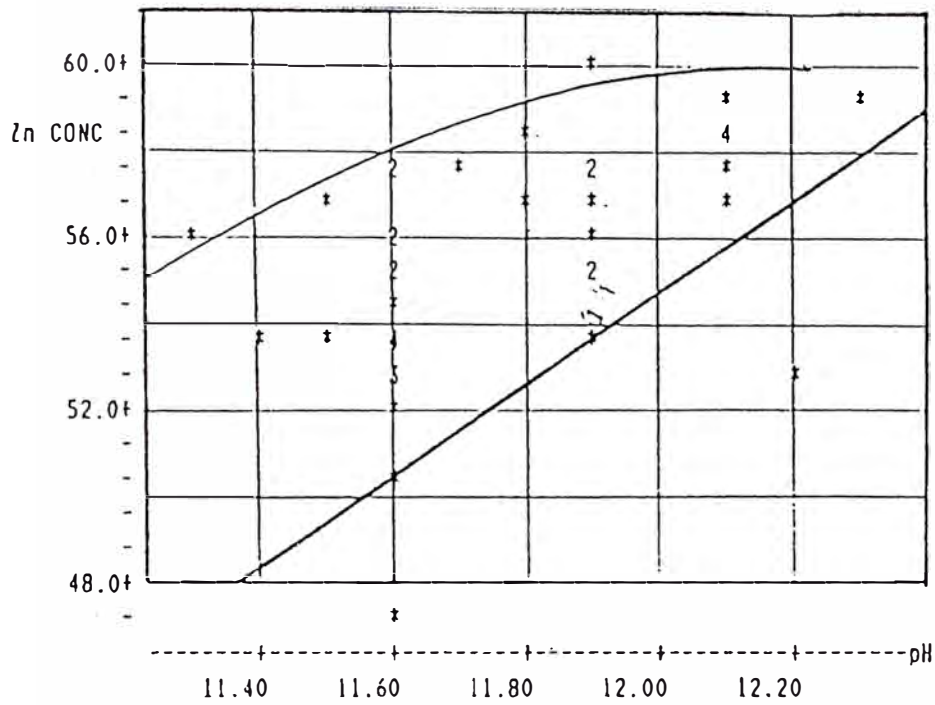


FIG. # 19 - Efecto de pH sobre la ley del concentrado de zinc en limpieza de concentrado rougher de zinc con celda Jameson piloto.

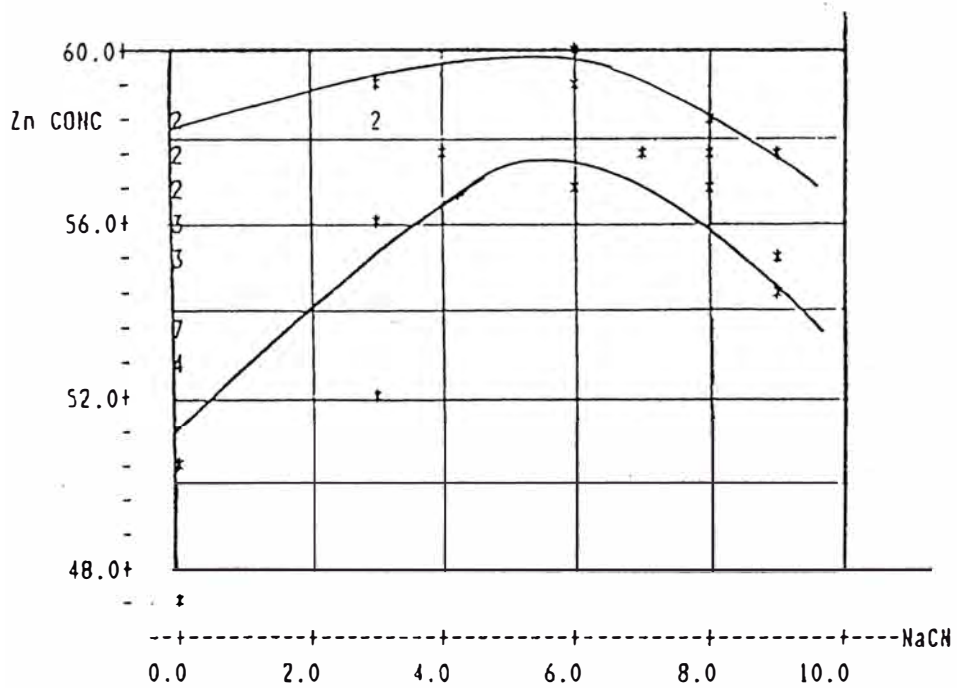


FIG. # 20 - Efecto de adición de NaCN sobre la ley del concentrado de zinc en limpieza de concentrado rougher de zinc con celda Jameson piloto.

NaCN Además del pH se incorporó al sistema adición de NaCN para precisar la máxima ley de zinc que se podría alcanzar forzando la depresión de la pirita con este reactivo.

Los resultados se presentan gráficamente en la Fig. # 20, observándose aparente existencia de un óptimo en 6 cc/min (al 5%), variando la ley del concentrado final de zinc entre 57 a 60% Zn en el rango de 4 a 8 cc de NaCN/min.

### b) Regresión Múltiple

La función de la ley del concentrado que mejor se ajusta a las condiciones de operación fue la siguiente:

$$GZn = 6.11 + 4.87 \text{ pH} - 1.37 \text{ NaCN} - 0.476 \text{ \%Sol.} + 1.37 \text{ MIBC} + 0.0666 C_2 - C_3$$

En la que:

GZn = Ley del concentrado de zinc (%Zn)

pH = En el punto de alimentación

NaCN = Adicionado en el alimento en cc/min =  $C_3$

%Sol = Porcentaje de sólidos del alimento =  $C_2$

MIBC = Espumante en el alimento cc/min

La función reportó  $C_c = 0.900$  explicando 78.3% de variación en ley del concentrado final de zinc.

Esta función indica los siguientes efectos:



El pH resultó la variable más importante y para maximizar la ley del concentrado de zinc es necesario ajustar el pH a  $\geq 12.2$  adicionando CaO.

La adición de NaCN presenta efecto de primer orden negativo, pero interacción positiva con la densidad de pulpa, es decir la necesidad de aplicar NaCN disminuye conforme se reduce la densidad de pulpa del alimento a limpieza.

La densidad de pulpa reportó efecto negativo de primer orden e interacción positiva con la adición de NaCN.

La dosificación de MIBC mostró efecto positivo de primer orden.

Para interpretar objetivamente el sistema, se estableció constante la adición de MIBC en 4 cc/min y se evaluaron los efectos de pH y densidad de pulpa para 4 cc NaCN/min y 0 cc/min, los resultados se presentan gráficamente en la Fig. # 21 y 22 respectivamente.

Es apreciable que sin la adición de NaCN, la calidad del concentrado de zinc puede mantenerse en leyes superiores a 58% Zn, reduciendo la densidad de pulpa por debajo de 29% sólidos y manteniendo el pH sobre 12.

Adicionando 4 cc NaCN/min la ley del concentrado de zinc mejora a condiciones equivalentes ligeramente.

El resto de variables no aporta efecto significativo sobre la ley del concentrado final, debe indicarse en el caso de bias aunque se cubrió parte del rango positivo así como el de altura de espuma no mostraron efectos significativos sobre la ley del concentrado, lo mismo ocurrió con el flujo de aire superficial.

Fig. # 21 - Proyecto de Mejoramiento de  
Concentrado de Zinc

Grado Zinc (%): NaCN 5cc/m.; MIBC 4cc/m.

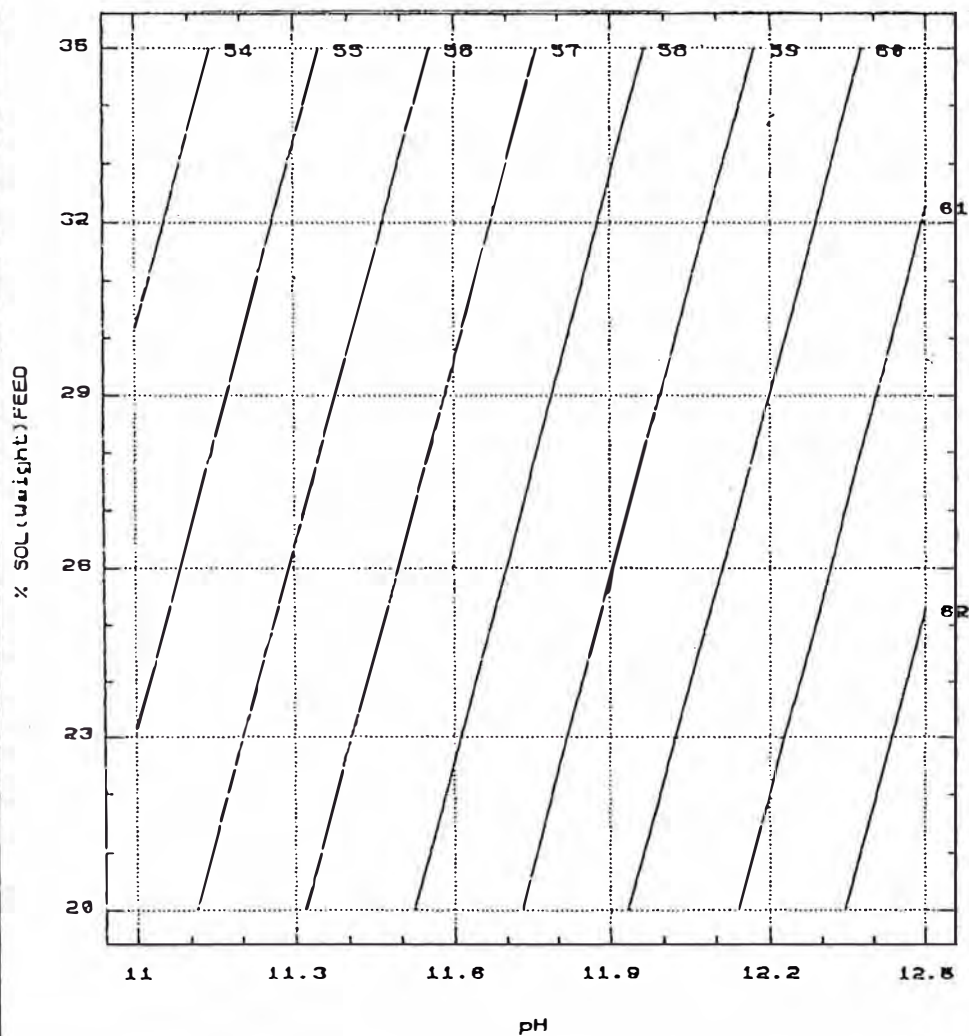
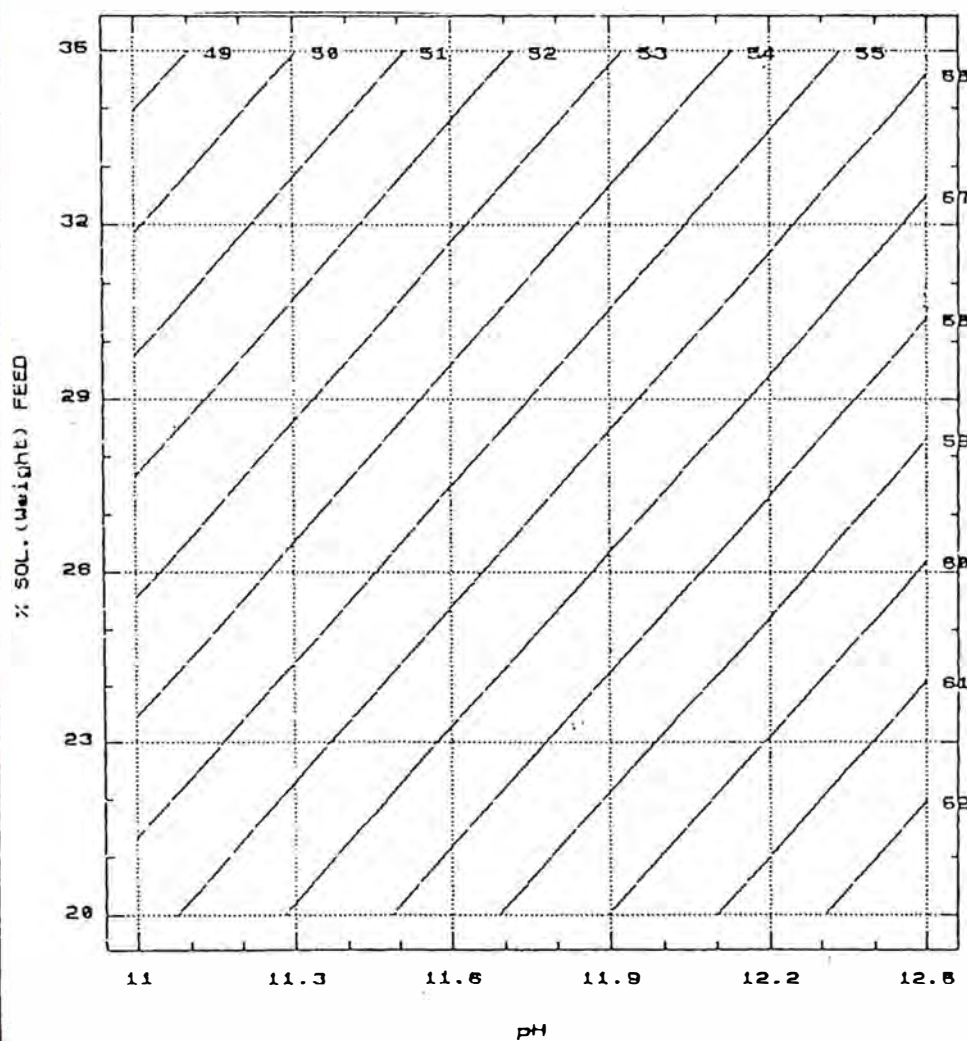


Fig. # 22 - Proyecto de Mejoramiento de Concentrado de Zinc

Grado Zinc (%): NaCN 0cc/m.; MIBC 4cc/m.



## 4.2.2 Recuperación de zinc

### a) Variables Individuales

Bias: En la recuperación de zinc tiene efecto muy significativo según se puede apreciar en la Fig. # 23, en la que para mantener recuperaciones de 84% del Zn contenido en el concentrado rougher de Zn es necesario aplicar bias negativo entre -400 y -150 cc/seg utilizando mayores volúmenes de agua de lavado de espumas, de lo contrario la recuperación de zinc es reducida.

Debido a que este parámetro no tiene participación significativa en la ley del concentrado de zinc su optimización es solo dependiente de la recuperación, por lo menos en el rango de la experimentación.

Por su íntima relación con el agua de lavado y otras propiedades de la pulpa alimentada se determinó la función que correlaciona al Bias con el factor siguiente:

$$C_{99} = \frac{\text{Agua lavado x \% Sól. en alimento}}{\text{Tonelaje horario tratado x Ley de Cabeza}}$$

La función que correlaciona a ambos parámetros se muestra en la Fig. # 23(a), la cual es utilizada luego para simplificar la solución del modelo de recuperación de zinc.

Velocidad Superficial de Aire (Jg): Su efecto individual es poco significativo sin embargo como interacción con las bias presenta marcada correlación según se puede apreciar en la Fig. # 24. Utilizando bias negativo, la velocidad de aire

superficial mejora la recuperación de zinc en función directa.

% Sólidos en peso del Alimento: Presenta efecto negativo tal como se muestra en la Fig. # 25, aunque con amplio rango de variación.

Individualmente el resto de variables reportaron efectos poco significativos.

### b) Múltiple Regresión

El modelo desarrollado que mejor se ajusta a las condiciones de operación evaluadas fue el siguiente:

$$R_{Zn} = 66.6 - 0.0312 \times C_{17} \times C_{18} + 0.171 \times C_9 \times C_{13} \\ + 0.472C_8 \times C_{10} - 0.372 \times C_{10} \times C_{13} - 0.107 \times \\ C_8 \times C_{17} - 0.102 \times C_2 \times C_8$$

En la que las variables son las siguientes:

$C_{17}$  = Bias

$C_{18}$  = Velocidad superficial de aire (Jg, cm/seg.)

$C_9$  = pH del alimento

$C_{13}$  = Agua de lavado correlacionada con el bias según Fig. # 23a

$C_8$  = NaCN cc/min

$C_{10}$  = MIBC cc/min

$C_2$  = Densidad de pulpa (% Sól. en peso)

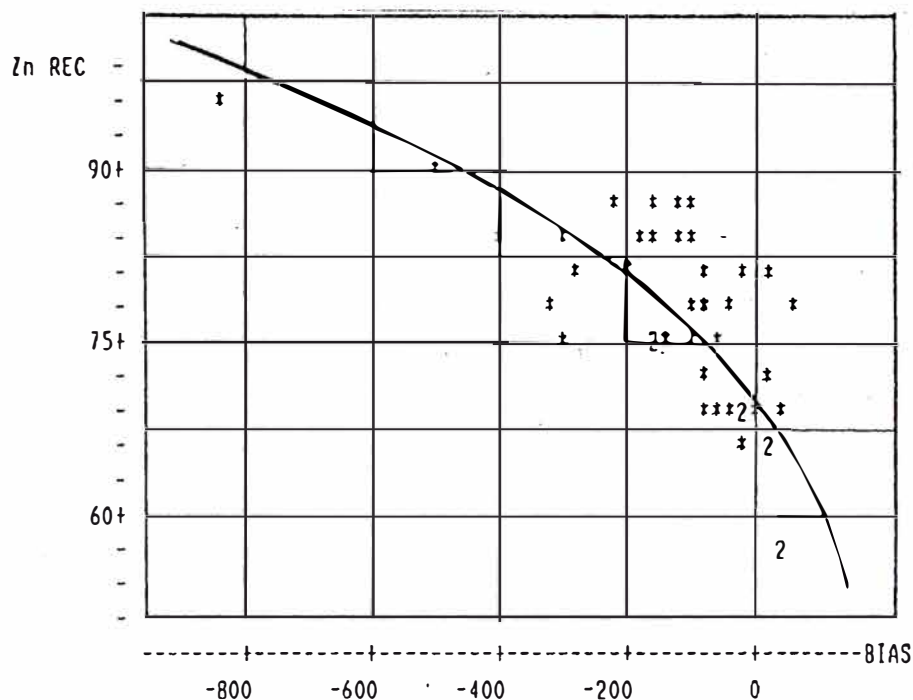


FIG. # 23 - Correlación entre bias expresado en cc/seg con la recuperación de zinc en limpieza de concentrados rougher de zinc con celda Jameson.

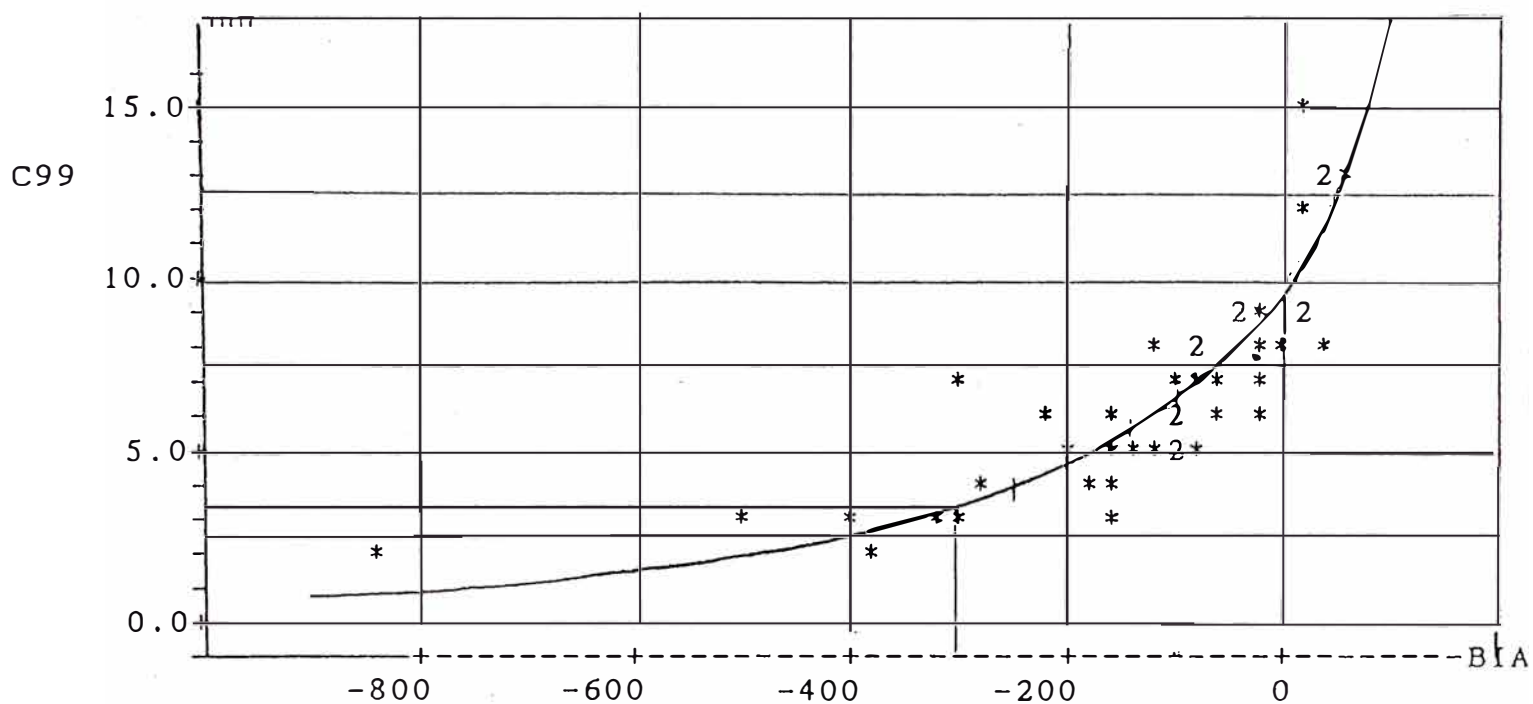


FIG. # 23(a) - Correlación entre bias expresado en cc/seg con el factor C99 utilizando celda Jameson 300/1.

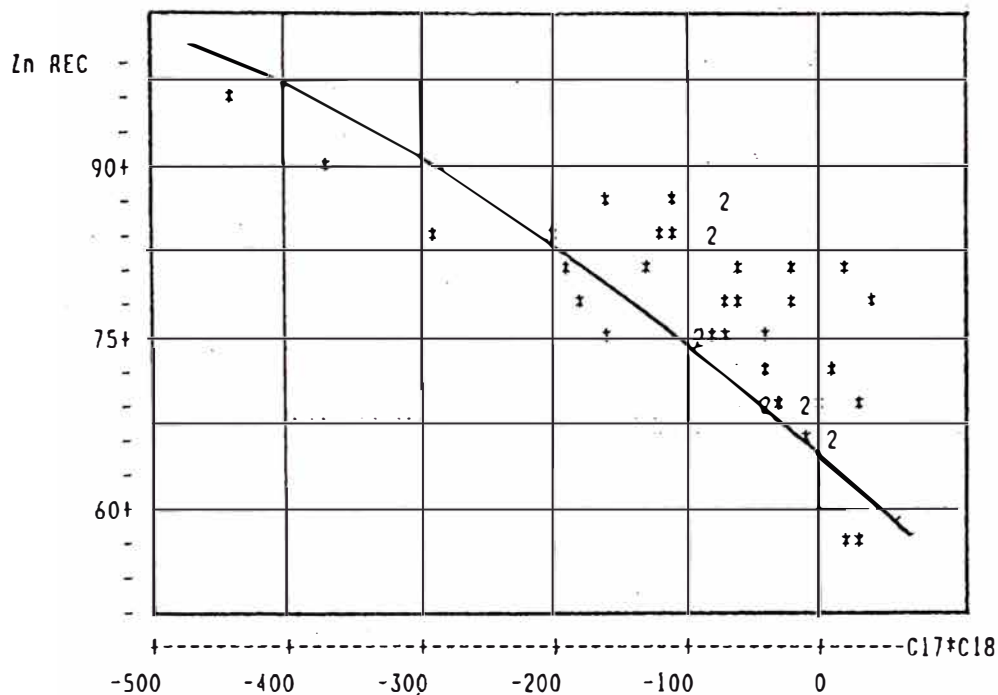


FIG. # 24 - Efecto de la interacción de bias y velocidad superficial de aire sobre la recuperación de zinc en limpieza de concentrados rougher de zinc.

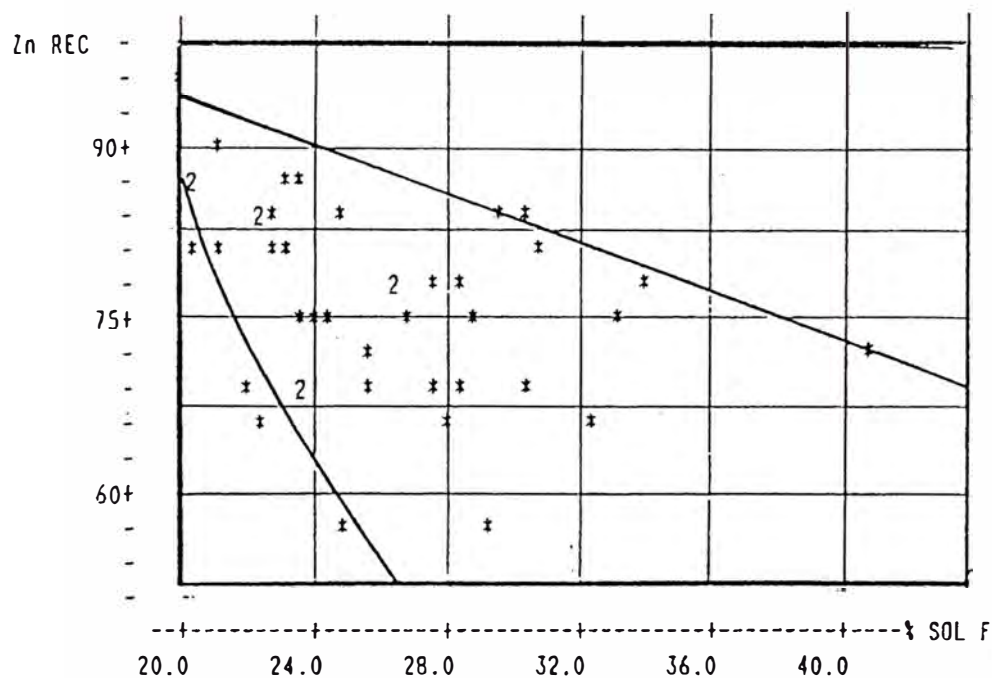


FIG. # 25 - Efecto de la densidad de pulpa del alimento sobre la recuperación de zinc en limpieza de concentrados rougher de zinc.

La función anterior explica 77.4% de la variación en recuperación y el coeficiente de correlación fue de 0.8983, y en consecuencia las conclusiones son confiables.

Para interpretar físicamente los resultados, el bias ( $C_{17}$ ) fue convertido a función del flujo de agua de lavado, estableciendo constante los siguientes parámetros involucrados en el factor  $C_{99}$  (Fig. # 23 a): % Sól. 25, TCS/hr = 1.32 y la ley del concentrado rougher de zinc = 30% Zn.

Se evaluó operar a bias -250, -200 y -150 cc/seg, manteniendo constantes las siguientes variables:

$$C_{18} = (Jg) = 0.72 \text{ cm/seg.}$$

$$C_{10} = \text{MIBC} = 4 \text{ c c/min}$$

$$C_2 = \%Sól. = 25.0$$

$$C_{13} = \text{Agua de lavado:}$$

$$6.36 \text{ lit/min para bias } -250$$

$$7.15 \text{ lit/min para bias } -200 \text{ y}$$

$$9.14 \text{ lit/min para bias } -150$$

El efecto de las variables independientes: NaCN y pH fueron determinados para los rangos 0 a 10 cc/min y 11 a 12.5. Las funciones de recuperación simplificadas fueron las siguientes:

$$\text{Bias } -250, \quad \text{Rec Zn} = 62.75 + 1.088 \text{ pH} + 2.013 C_8$$

$$\text{Bias } -200, \quad \text{Rec Zn} = 60.45 + 1.232 \text{ pH} + 1.478 C_8$$

$$\text{Bias } -150, \quad \text{Rec Zn} = 56.39 + 1.563 \text{ pH} + 0.943 C_8$$



El efecto de las variables incluidas en el modelo básico se comenta a continuación:

Bias: Es la variable más importante que influye sobre la recuperación de zinc en limpieza con celda Jameson. Presenta dos efectos en la forma de interacción con la velocidad superficial de aire y con la adición de NaCN, ambos negativos.

En consecuencia para mantener la recuperación en niveles normales es necesario operar con bias 250 cc/seg, equivalente a adicionar 6.36 lit/min de agua de lavado cuando se trata 1.32 TC/hr.

PH: Presenta interacción positiva con la adición de agua de lavado de espuma ( $C_{13}$ ), sin embargo esta última posee interacción negativa con la adición de MIBC ( $C_{10}$ ). Manteniendo el pH a niveles superiores a 12, el efecto de adición de agua de lavado total resulta favorable pero insuficiente para superar el efecto negativo generado por el aumento de bias.

NaCN: Presenta efectos en la forma de interacción: positivo con la adición de MIBC y negativo con el bias, es decir que utilizando menos agua de lavado (bias negativo) el efecto se torna positivo.

Efecto negativo se observa con la densidad de pulpa del alimento a limpieza, constituyendo condición básica diluir el alimento previamnete, con lo cual se aseguran resultados favorables sobre la recuperación de zinc en la etapa de limpieza.

Agua de Lavado: Que a su vez es función del bias, corregido por volumen tratado, ley de cabeza y % sólidos del alimento (Fig. # 23a), presenta interacción positiva con el pH y negativa con el espumante.

Por la importancia del bias sobre la recuperación de Zn se prepararon (3) gráficos de las Figs. # 26, 27 y 28, que muestran respectivamente los efectos con bias constantes a -250, -200 y -150 cc/min.

Fig. # 26 - Proyecto de Mejoramiento de Concentrado de Zinc

Recup. Zinc (%): Bias -250; %Sól. 25.0

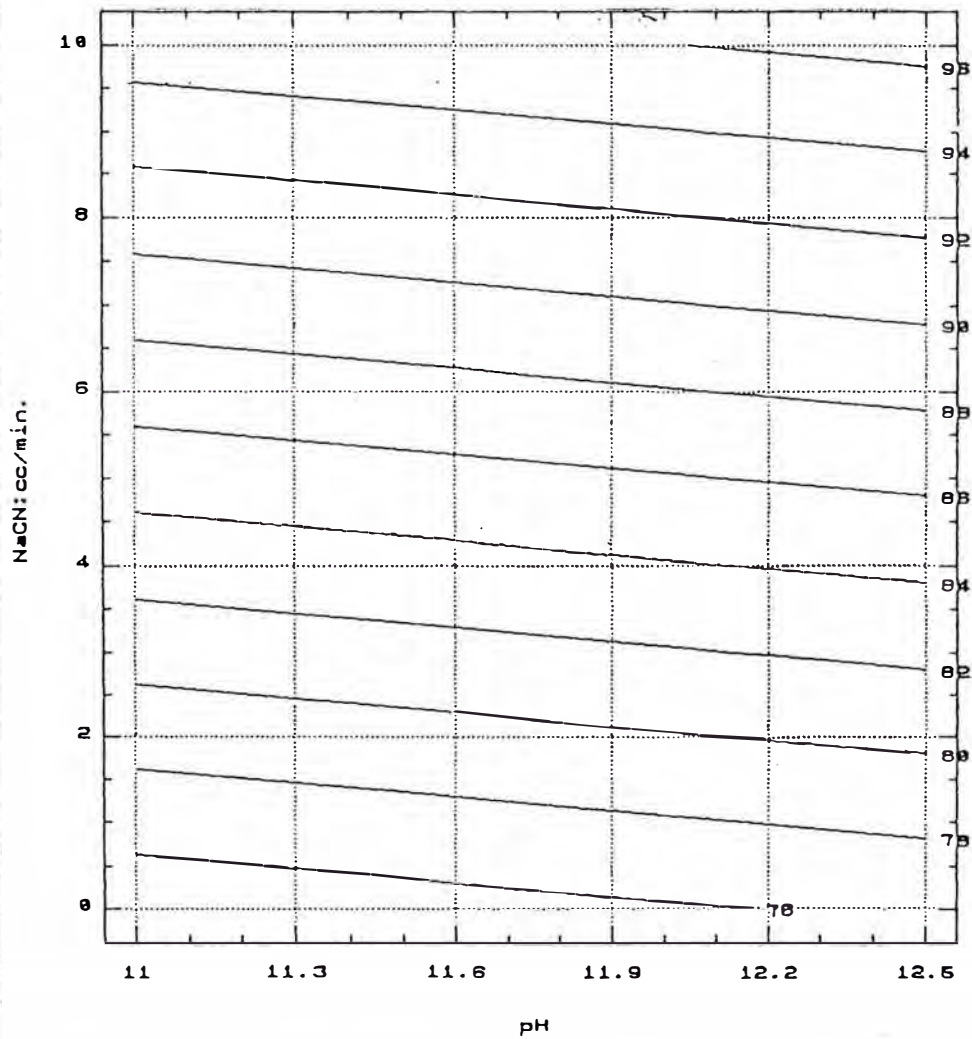
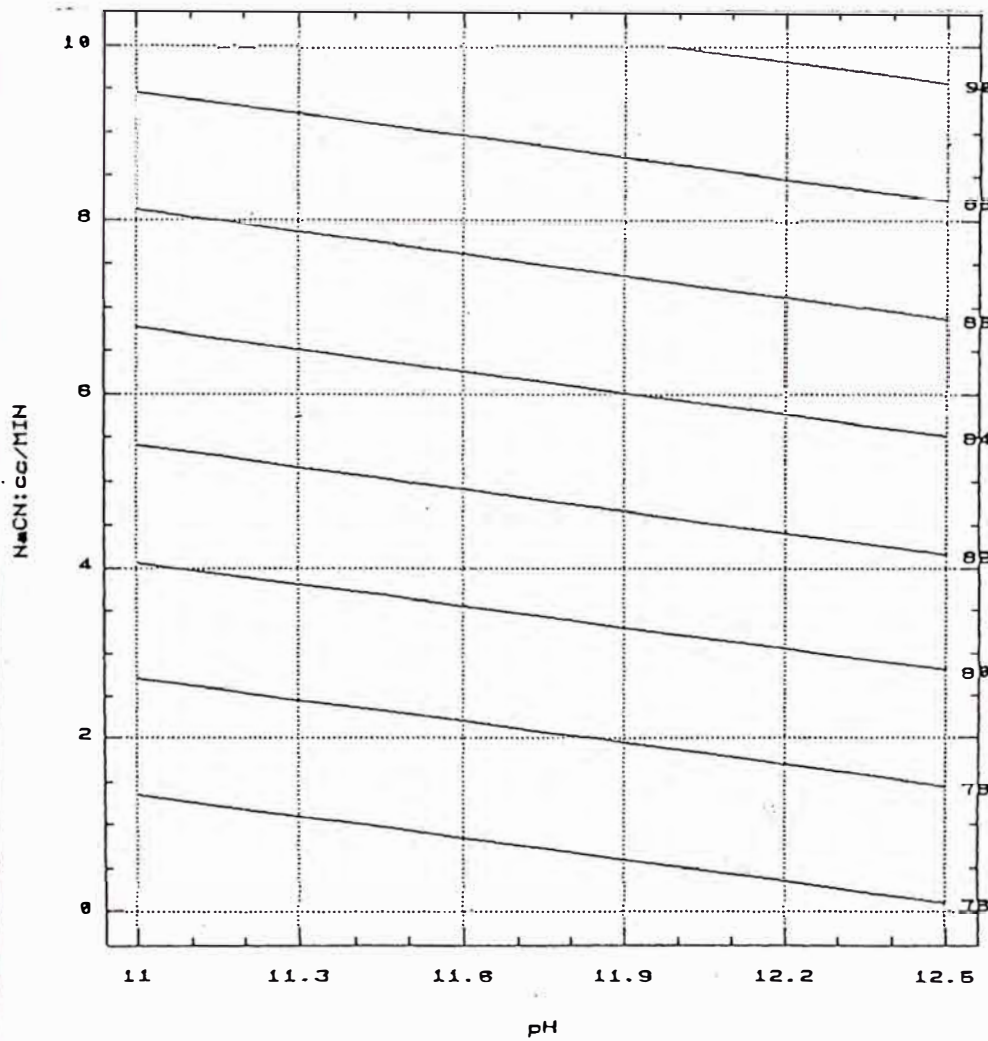


Fig. # 27 - Proyecto de Mejoramiento de Concentrado de Zinc

Recup. Zinc (%): Bias -200; %Sól. 25.0





Evaluándose el efecto de NaCN y pH y concluyéndose que recuperación favorable de zinc se obtendría en el rango de  $-200$  a  $-250$  cc/seg.

Para confirmar las leyes de los concentrados de zinc que serían producidos, los valores de las variables comunes para asegurar recuperaciones de 90% Zn contenido en el concentrado rougher fueron sustituidos en la función de ley del concentrado de zinc obteniéndose la ecuación simplificada que se presenta gráficamente en la Fig. # 29.

En esta se utiliza una densidad de pulpa en el alimento de 25% de sólidos en peso y 4 cc/min de MIBC como espumante.

Sobreponiendo los gráficos de 29 y 26 se precisan las condiciones básicas de operación y de resultados tanto para la operación industrial como para el pilotaje subsiguiente:

Resultados:           Recup. Zn           = 88 - 96% Zn  
                                   Ley Conc. Zn       = 59 - 61% Zn

Condiciones:

Bias   = - 250cc/min (agua de lavado: 6.36lit/min)

Jg     = 0.72cm/cm. (orificio de 7.5-8.0mm, diám.)

Tonelaje tratado   = 1.325 TCS/Hr

MIBC       = 4 cc/min

%Sól.       = 25 (en peso)

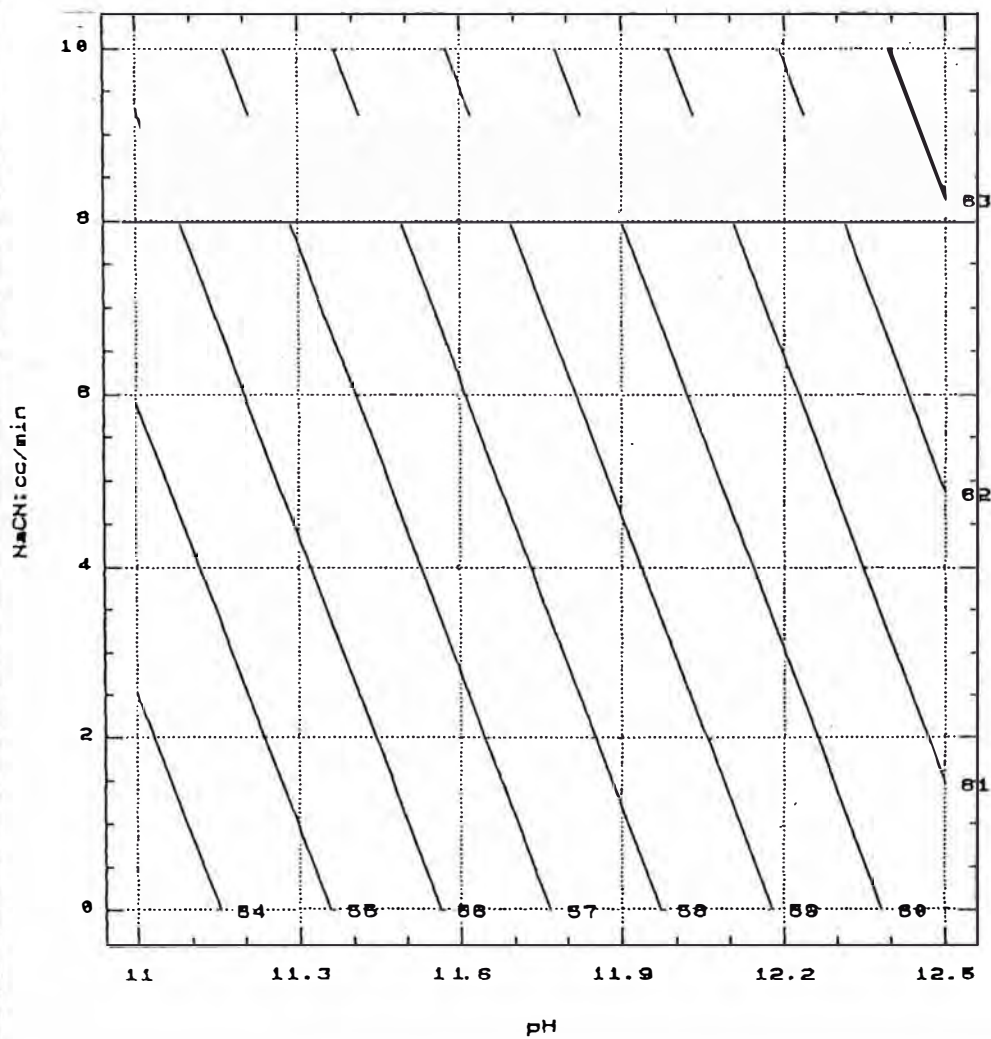
pH          = 12 - 12.3

NaCN       = 6 a 10 cc/min

% Ley Conc. Roug. Zn   = 30% Zn

Fig. # 29 - Proyecto de Mejoramiento de Concentrado de Zinc

Grado Conc.: (%)Zn; %Sól.: 25.0; MIBC: 4cc/m



Para propósitos de la evaluación del proyecto se consideran los siguientes resultados metalúrgicos en el equilibrio:

$$R_{Zn} = 90.8\% \text{ Ley}$$

$$\text{Conc. Zn} = 59.5\% \text{ Zn}$$

#### 4.3 Limpieza de Concentrados de Zn por Flotación Inversa

Estudios preliminares para evaluar la posibilidad de limpiar nuestros concentrados de zinc utilizando el proceso de flotación inversa previa remolienda fueron realizados. El procedimiento experimental aplicado fue el siguiente:

Remolienda (variable).

Flotación de Zinc reajustando pH y adicionando  $\text{CuSO}_4$ , Z-11, AF-Na

Acondicionamiento con carbón activado y  $\text{Na}_2\text{S}$  (variable) del concentrado

Acondicionamiento con cola de cementación a diferentes pH

Flotación de Cu-Pb y Fe.

Los resultados obtenidos a la fecha fueron evaluados utilizando regresión múltiple y las funciones obtenidas se indican a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Selectividad Fe/Zn}(Y_1) &= 289 + 5.26\text{pH}^2 + 71.9(\text{Na}_2\text{S}) \\ &\quad - 23.7 (\text{Na}_2\text{S})^{-2} - 80.2\text{pH}, \\ C_c &= 0.922 \end{aligned}$$

$$\text{Selectividad Cu/Zn}(Y_3) = 252 + 4.60\text{pH}^2 + 57.6(\text{Na}_2\text{S}) - 18.1(\text{Na}_2\text{S})^2 - 69.1\text{pH},$$

$$C_c = 0.889$$

La función para selectividad Fe/Zn fue graficada en la Fig. # 29a, mostrando que las selectividades superiores a 70% pueden ser alcanzados con pH de 10.5 y adicionando Na<sub>2</sub>S: (1.5 kgs/TM de concentrado de zinc. Similar función es la reportada por la selectividad Cu/Pb).

Las pruebas realizadas incluyen solo flotación rougher de Fe-Cu-Pb y los resultados a condiciones próximas a las óptimas se presentan a continuación:

$$\text{pH} = 10.0, \quad \text{Na}_2\text{S} = 1.5 \text{ kg/TM.}$$

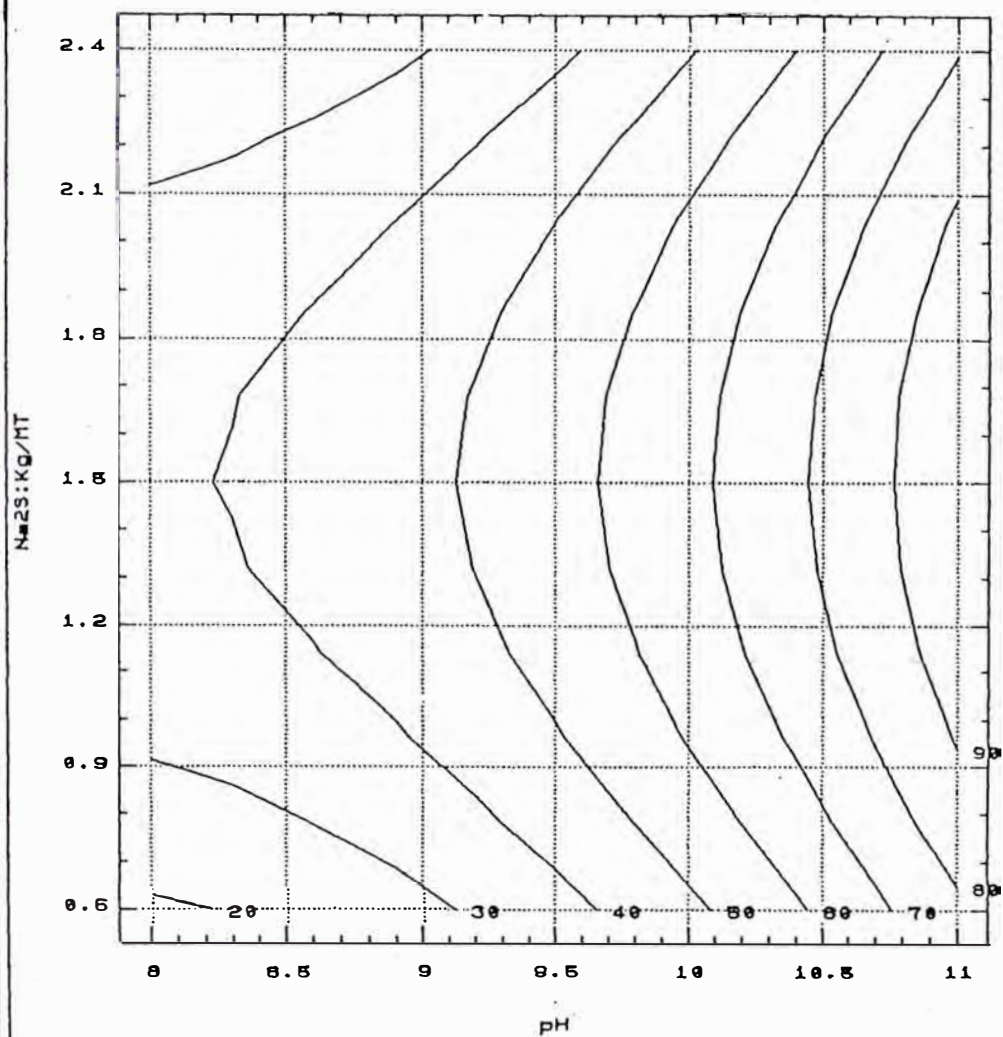
Prod.	Peso%	Ensayes %, * oz/TCS					Distribución %				
		Ag*	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Conc. I	3.6	13.54	5.75	0.51	29.08	19.0	7.8	12.9	5.6	1.8	16.4
Conc. II	7.2	16.67	9.75	0.68	36.35	14.4	19.3	44.3	15.1	4.5	25.0
Conc. III	13.4	9.28	2.35	0.52	56.01	5.3	20.2	20.0	21.7	13.1	17.3
Conc Zn	72.1	4.39	0.49	0.25	61.50	2.1	51.3	22.4	55.9	77.1	36.7
Reláve	3.8	2.26	0.14	0.14	53.32	5.0	1.4	0.3	1.6	3.5	4.6
Conc. Zn orig.	100.0	6.17	1.58	0.32	57.43	4.1	100	100	100	100	100

Los resultados confirman que existe importante contenido de minerales de Fe que pueden ser removidas del concentrado de zinc más eficientemente que utilizando el proceso normal de limpieza. Las condiciones de limpieza del concentrado Cu-Fe producido serán estudiadas como paso siguiente, completándose el estudio con pruebas batch cíclicas cerradas para precisar la composición del concentrado final de zinc en el equilibrio.



Fig. # 29 (a) - Proyecto de mejoramiento de Concentrado de Zinc

Selectividad Fe/Zn (%)



## 5.0 COMPOSICION DEL CONCENTRADO DE ZINC OBTENIDO CON CELDA JAMESON Y VALOR NETO DE VENTAS

Para precisar las ventajas económicas del proyecto respecto a los resultados actuales en ingreso neto por ventas, es posible utilizar como primera aproximación la función desarrollada en el punto 2 del presente trabajo:

$$Z = - 28.7 + 0.312(G_{Zn}) + 0.116Rec_{Zn} + 2.33(Zn_{Cabeza})$$

	Rec.Zn	Ley Conc.	Ingreso Neto US\$/TCS cab.
Actual	91.65	56.77	9.90
Con Celda Jameson	90.80	59.50	10.65
Cambio	-0.85	2.73	0.75

Considerando este procedimiento simplificado, los ingresos netos por ventas de CMNPSA anuales aumentaría en US\$ 400,680 sin incluir los beneficios adicionales por menores costos de operación que genera el uso de la celda Jameson.

El procedimiento simplificado tiene limitaciones respecto a que asume constante los contenidos de impurezas. Esta asunción no es suficiente, debiendo precisarse para evitar riesgos en la decisión; debido a que algunas impurezas son penalizables particularmente el Cadmio, mientras que en otros casos los contenidos relativos de impurezas pagables aumentarán favoreciendo al proyecto. Por esta razón se procedió a determinar la variación de los contenidos de impurezas:

Cadmio

El contenido de esta impureza es de 0.45% en concentrados de 56.8% Zn producidos normalmente. Por estar íntimamente asociado a los minerales de zinc deberá aumentar en relación directa.

Consecuentemente los concentrados de zinc aumentarán a: 0.47% Cd.

Plata, Cobre, Plomo y Arsénico

Estas impurezas son desplazadas al concentrado de zinc por asociación a los minerales de zinc y ocasionalmente por variaciones notables en leyes de cabeza de Cu y Pb que originan desplazamiento alto por períodos cortos. Parte de la Ag contenida en los concentrados de zinc está asociada a los minerales de Fe, que con la celda propuesta serán removidos más eficientemente y consecuentemente parte de la Ag contenida en los concentrados de zinc actuales será transferida al relave.

La ley del concentrado de zinc presenta las siguientes funciones de correlación respecto al contenido de Fe:

$$A. \text{ Knight Lab. } Y = 65.14 - 1.590 (X_1), \quad C_c = 0.9954$$

$$C. \text{ Plenge Lab. } Y = 65.74 - 1.527 (X_1), \quad C_c = 0.9929$$

---


$$\text{Promedio} \quad Y = 65.44 - 1.559 (X_1),$$


---

Es decir que de un contenido de 5.54% Fe, este bajaría a 3.81% Fe,. Removiéndose aproximadamente: 31.2% del Fe y su parte proporcional de Ag.

Otra impureza que sería reducida es el arsénico que se encuentra en forma de arsenopirita, las funciones de correlación con la ley del concentrado de zinc con información histórica se presenta a continuación:

A. Knight Lab. %Zn = 63.77 - 33.569X<sub>2</sub>, Cc=0.6687

C. Plenge Lab. %Zn = 60.42 - 26.692X<sub>2</sub>, Cc=0.6515

---

Promedio % Zn = 62.10 - 30.131 (X<sub>2</sub>)

---

Deduciéndose que el contenido de As se reduciría de: 0.22% a 0.12%. Esta impureza es portadora de Au en el caso de los concentrados de zinc de Shorey. Asumiendo que la totalidad del Au se encuentra asociado a la arsenopirita, la reducción del contenido de Au sería de 0.020 a 0.010 oz/TCS aproximadamente, sin embargo no es pagable en los concentrados de zinc.

El resto de impurezas Cu y Pb continuarán reportándose en el concentrado de zinc en esta parte del proyecto, en proporción directa al aumento de la ley del nuevo concentrado de zinc.

El concentrado final de zinc proyectado con celda Jameson tendrá la siguiente composición:

	Ensayes %, * oz/TCS							
	Ag*	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Au*	Cd
Conc. Actual	8.82	0.55	0.92	56.8	5.54	0.22	0.020	0.45
Conc. Project.	9.11	0.58	0.96	59.5	3.81	0.12	0.010	0.47

---

### Mercurio (Hg)

Esta impureza es penalizable y alcanza en el concentrado actual 108 ppm, asumiendo que mantendrá comportamiento similar a Cu y Pb, su contenido aumentaría a 113 ppm.

## 6.0 FLUJOGRAMA PROPUESTO

En la Fig. # 30 se presentan tanto el flujograma balanceado actual del circuito de limpieza de los concentrados de zinc como el proyecto con la celda Jameson, el cual sustituirá al circuito de limpieza actual en su totalidad.

En la tabla # 3 se presentan tanto los balances metalúrgicos totales para la producción actual como la proyectada con celda Jameson, incluyendo los contenidos promedio de impurezas en el concentrado de zinc actual como los estimados proyectados para producción con celda Jameson.

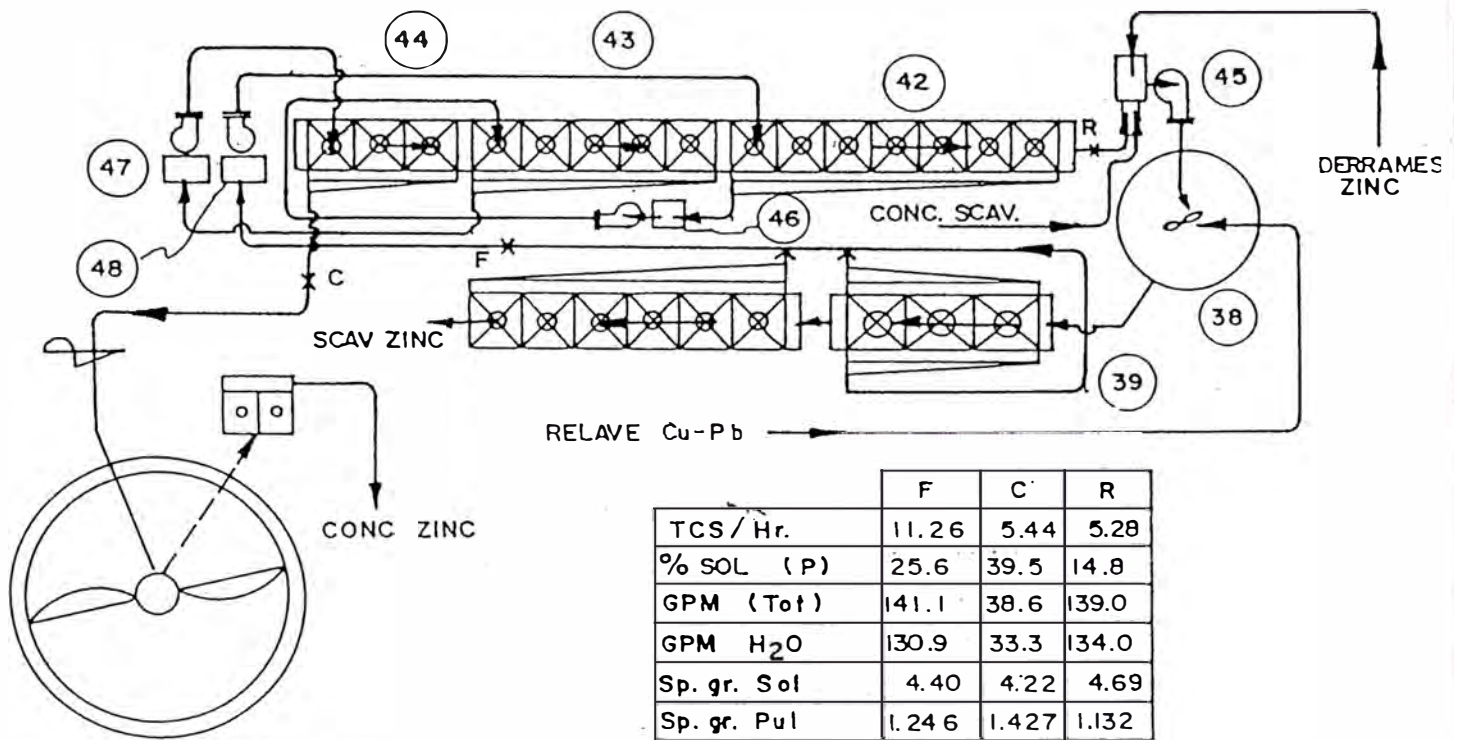
También se incluyen los flujos balanceados que se tendrán en la celda Jameson para propósitos de diseño, comparándolos con los de la operación actual.

Las celdas Denver DR-24 (15 unidades), dejarán de ser utilizadas, proyectándose ponerlas en operación posteriormente cuando se ejecute el proyecto final de mejoramiento de la ley de concentrados de zinc: flotación inversa (depresión de zinc y flotación de impurezas).

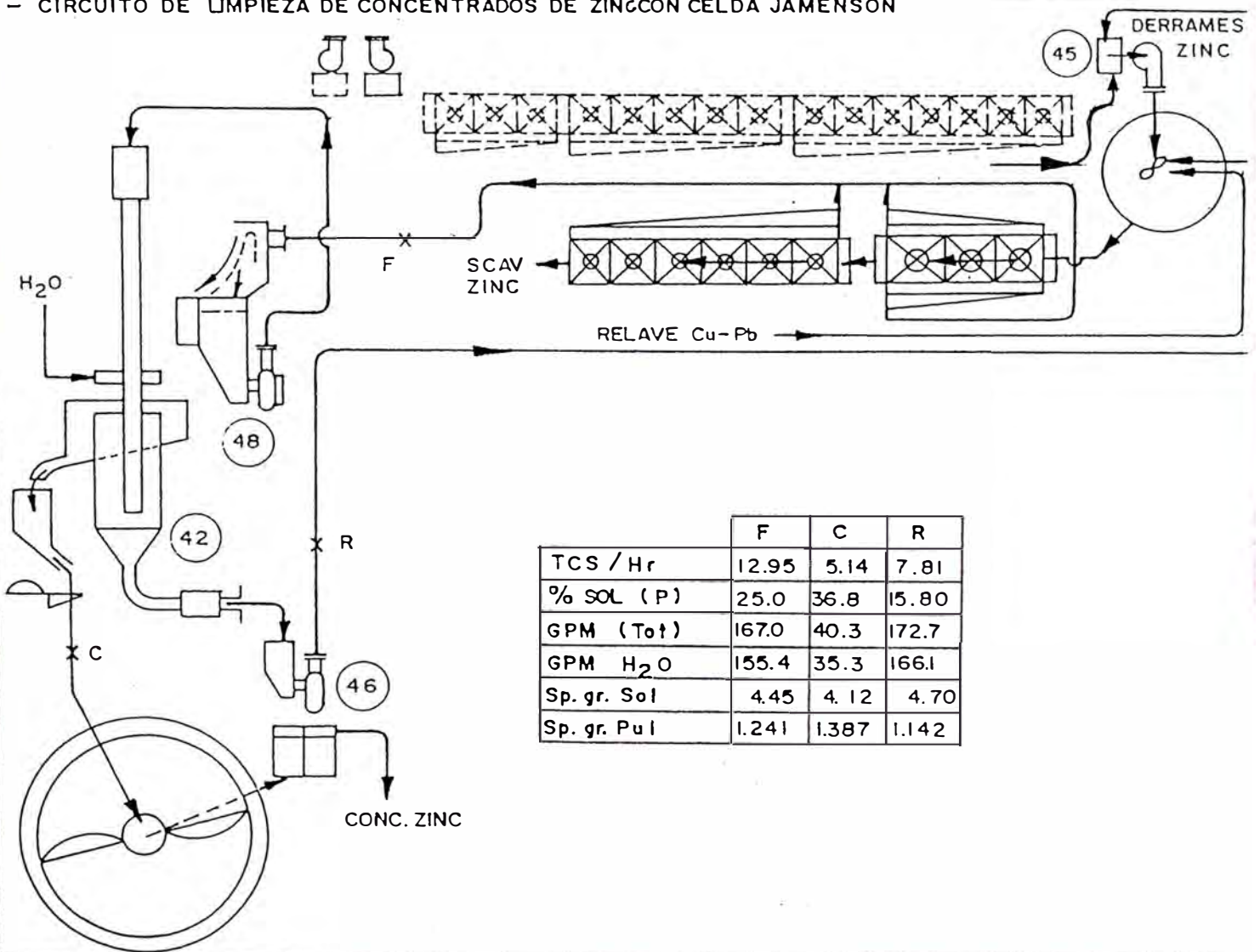
Para facilitar el control de operaciones de la celda Jameson en limpieza de concentrados rougher de zinc se deberá incorporar cedazo DSM con aperturas de 300  $\mu\text{m}$  y equipo de control automático de nivel para el cajón de la bomba con válvula reguladora para adición de agua.

También incluirá control automático del nivel de pulpa en el interior de la celda actuando sobre válvula de pinch de accionamiento eléctrico para el control de la descarga de relaves.

- CIRCUITO ACTUAL DE LIMPIEZA DE CONCENTRADOS DE ZINC



- CIRCUITO DE LIMPIEZA DE CONCENTRADOS DE ZINC CON CELDA JAMENSON



**TABLA # 3 - BALANCES METALURGICOS A CONDICIONES ACTUALES, BASADO EN RESULTADOS PROMEDIO 1993 Y PROYECTADO CON CELDA JAMESON: 1750TCS/DIA**

3.1 BALANCE A CONDICIONES ACTUALES

3.1.1 Total Actual

Producto	%Peso	Ensayes: % , oz/TCS				Recuperaciones (%)			
		Ag	Cu	Pb	Zn	Ag	Cu	Pb	Zn
Conc. Cu	0.353	472.44	17.05	11.27	10.62	25.33	28.85	2.47	0.81
Conc. Pb	2.269	140.70	3.51	60.59	4.53	48.49	36.90	85.18	2.23
Conc. Zn	7.457	8.82	0.55	0.92	56.77	9.99	18.98	4.23	91.65
Relave	89.921	1.19	0.04	0.15	0.27	16.19	15.27	8.12	5.31
Cabeza	100.000	6.59	0.22	1.61	4.62	100.00	100.00	100.00	100.00

Impurezas o valores menores en Conc. Zinc:

Cd 0.45%, As 0.22%, Hg 108 ppm, Au 0.020 oz/TCS.

3.1.2 Total Celda Jameson en circuito de Zinc

Producto	%Peso	Ensayes: % , oz/TCS				Recuperaciones (%)			
		Ag	Cu	Pb	Zn	Ag	Cu	Pb	Zn
Conc. Cu	0.353	472.44	17.05	11.27	10.62	25.33	28.85	2.47	0.81
Conc. Pb	2.269	140.70	3.51	60.59	4.53	48.49	36.90	85.18	2.23
Conc. Zn	7.050	9.11	0.58	0.96	59.50	9.75	18.59	4.20	90.80
Relave	90.328	1.20	0.04	0.15	0.31	16.43	15.66	8.15	6.16
Cabeza	100.000	6.59	0.22	1.61	4.62	100.00	100.00	100.00	100.00

Impurezas o valores menores en Conc. Zinc:

Cd 0.47%, As 0.12%, Hg 113 ppm, Au 0.010 oz/TCS.

3.2.1 Balance de Circuito Actual de Limpieza

Producto	TC/Hr	%Sólidos	TC/Hr		G P M			Sp. Gr.	
			Pulpá	Agua	Agua	Sólido	Pulpá	Sólido	Pulpá
Conc. Ro. Zn	11.26	25.6	43.98	32.72	130.90	10.24	141.14	4.40	1.246
Conc. Final	5.44	39.5	13.77	8.33	33.32	5.28	38.60	4.22	1.427
Relave Limp.	5.82	14.8	39.32	33.50	134.02	4.96	138.98	4.69	1.132
Agua Adic.	-	-	9.11	9.11	36.44	-	36.44	-	1.000

3.2.2 Balance del Circuito de Limpieza con celda Jameson

Producto	TC/Hr	%Sólidos	TC/Hr		G P M			Sp. Gr.	
			Pulpá	Agua	Agua	Sólido	Pulpá	Sólido	Pulpá
Conc. Ro. Zn	12.95	25.0	51.84	38.85	155.40	11.64	167.04	4.40	1.241
Conc. Final	5.14	36.8	13.97	8.83	35.31	4.99	40.30	4.12	1.387
Relave Limp.	7.81	15.8	49.33	41.52	166.09	6.65	172.74	4.70	1.142
Agua Adic.	-	-	11.50	11.50	46.00	-	46.00	-	1.000

## 7.0 ESTIMADOS DE COSTO DE INVERSION

Una vez determinada las condiciones operativas para el caso de la Concentradora de Shorey, y de diseño (determinación de las dimensiones de la celda, ver CAPITULO III, pág. # 83), más adecuadas para la celda Jameson se obtuvieron cotizaciones del proveedor MIN HOLDINGS.

Adicionalmente, los estimados de costos para la fabricación local de componentes y estructuras fueron determinadas. Los resultados se presentan en la tabla # 4.

En el estimado de inversión se incorporan las siguientes facilidades:

Bombas ASH 4" x 3" de alimentación y descarga de relaves con sello mecánico para evitar el ingreso de agua falsa al sistema.

Instalación de cedazo DSM de 4' de ancho por 60° de radio de curvatura para evitar el ingreso de partículas sobre tamaño que afectan la continuidad de la operación de la celda y la vida útil de la boquilla de la celda.

Utilización de bombas dosificadoras de diafragma para alimentar reactivos al alimento de la celda: MIBC y NaCN; CaO y CuSO<sub>4</sub> para mejorar el control de adición en la planta principal.

La ubicación de la celda Jameson será próxima al circuito de limpieza de plomo, con la finalidad de reducir los costos de inversión por plataformas de trabajo y de control.

Los equipos reemplazados celdas y bombas serán usados para el proyecto complementario de limpieza del concentrado de zinc por flotación inversa, razón por la cual no se considera precio de reventa. El número de celdas a ser utilizados en el proyecto se definirán en informe posterior.



**TABLA # 4 - PRESUPUESTO DE INVERSION PARA REEMPLAZO DE CELDAS CONVENCIONALES POR CELDA JAMESON EN LIMPIEZA DE CONCENTRADOS DE ZINC**

**1.0 EQUIPOS DE IMPORTACION**

1.1 Celda Jameson

	<u>US\$</u>
1.1.1 Equipo Básico : Celda 1050/1	22,100
1.1.2 Instrumentación: Sensor de Nivel	1,357
Válvula de Control	2,760
Controlador p/válvula de relave	690
Caja de control Completa	1,380
Diagrama de instrumentación	575
<hr/> Sub-Total Celda Jameson	<hr/> 28,862

1.2 Bomba Ash 4"x 3" e Instrumentos de Control

1.2.1 Planos de Caja de Bomba y equipo Control Automático	575
1.2.2 Controlador de Alimento:	
Sensor de Nivel	1,357
Controlador de Adición de Agua	690
Válvula de Control	2,760
1.2.3 Bomba de Alimentación Ash 4"x 3"	6,950
1.2.4 Bomba de Relaves Ash 4"x 3"	6,950
<hr/> Sub-Total Bombas y Equipo de Control	<hr/> 19,282

1.3 Alimentadores de Reactivos

1.3.1 Wallace & Tiernan Series 43 Chentube Bomba de diafragma simple-piston tubular con capacidad de 50 GPH, para NaCN.	7,683
1.3.2 Wallace & Tiernan Series 44-212 Single PVC Bomba de diafragma simple, de 5 GPH de capacidad, para adición de MIBC	2,000
<hr/> Sub-Total para Adición de Reactivos	<hr/> 9,683
<hr/> Sub-Total Costos de Equipo Importado	<hr/> 57,827
<hr/> Costos de Importación: Aranceles, seguros	<hr/> 15,798

<hr/> <hr/> Total Equipo Importado	<hr/> <hr/> 73,625
------------------------------------	--------------------

**2.0 COMPRAS LOCALES**

2.1	Tanque y canaletas de espuma para celda Jameson con recubrimiento de jebe.	16,000
2.2	Cajón para bomba de alimentación	5,500
2.3	DSM 4"x 60° y malla con 600 mm de apert. Efect.	9,000
2.4	Cajón para bomba de relaves	4,500
2.5	Soporte para celda Jameson y tubo de alimentación	7,000
2.6	Pisos de trabajo en el nivel de celda y del sistema de alimentación	16,000
<b>Sub-Total Equipos y Bases de Fabricación Local</b>		<b>58,000</b>

<b>Costo Total de Compra de Equipos</b>	<b>132,000</b>
---	----------------

Tuberías y accesorios	15,000
Materiales Eléctricos	8,000
Montaje y Supervisión de Obra	25,000
Ingeniería	13,000

<b>Costo Total de Equipo Instalado</b>	<b>193,000</b>
--	----------------

Imprevistos	19,000
-------------	--------

<b>COSTO TOTAL DE INVERSION</b>	<b>212,000</b>
---------------------------------	----------------

**CONSUMO ANUAL DE REPUESTOS**

	Precio	
	Unit.	Total
Repuestos para celda Jameson		1,093
Repuestos para Bombas Ash 4"x 3"		6,970
Repuestos para Bombas dosificadores de reactivos:		
(4) Suction and discharge wearing parts	157	628
(4) Liquid and wearing parts	101	404
<b>Total Repuestos Importados</b>		<b>9,095</b>
Costos de Importación (24%)		2,200
<b>Total adquisición de repuestos</b>		<b>11,300</b>

El monto total de la inversión es de US\$ 212,000.00.

## 8.0 COSTOS DE OPERACIÓN

El reemplazo de las celdas convencionales por la celda Jameson en limpieza de los concentrados de zinc generará las siguientes variaciones en los costos operativos:

Menor consumo en repuestos y materiales de mantenimiento, por el menor número de piezas en movimiento. Existiendo además la posibilidad de mejorar la vida útil de la boquilla alimentadora en la celda Jameson remplazándola por productos metal-cerámicos de mayor resistencia a la abrasión.

	Costo US\$/año		
	Unid.	Unit.	Total
<u>Bombas SRJ-C 4" x 3"</u>			
Impulsor 12" diám.	3	60	180
Funda Succión	3	54	162
Funda Gland	3	53	159
Bocina 2-1/4 x 1-34 x 4.5/16"	3	34	102
Rodaje 5309 (2 piezas)	3	126	378
Fajas "V": B-56	6	12	72
<u>Sub-Total Bomba 4" x 3"</u>			<u>1,053</u>
<u>Total Circuito de Limpieza Actual</u>			<u>18,227</u>
<u>Celda Jameson</u>			
Boquilla de Alimentación	6	115	680
Ensamble de Alimentación	1	403	403
<u>Sub-Total Celda Jameson</u>			<u>1,093</u>
<u>Bombas Ash 4" x 3"</u>			
Part. N° 48146 SS Liner 500	2	244	488
48187 DR Liner	2	244	488

48018	Impeller w/vanes	2	428	856
16089	Lantern ring	2	32	64
48218	Shaft sleeve 316 SS	2	154	308
48158	Clamp plate	2	63	126
48049	Packing	8	7	56
48159	O-ring	2	5	10
48180	O-ring flinger	2	2	4
48200	Expeller, impeller	2	260	520
48193	Gland housing liner	10	321	3,100
48197	Expeller drive end	10	84	840
<b>Sub-Total</b>				<b>6,970</b>
<b>Costo de Importación (24%)</b>				<b>1,736</b>
<b>Total Repuestos Importados</b>				<b>8,643</b>
<b>Total Materiales para Mant. con Celda Jameson</b>				<b>9,736</b>
<b>Ahorros por Ejecución del Proyect. <math>18,227 - 9,736 = 8,941</math></b>				

Los consumos de repuestos considerados para las bombas ASH 4" x 3" que serían adquiridos con el proyecto, corresponden estrictamente a las recomendaciones del fabricante, sin embargo en la práctica los consumos reales deberán ser precisados, los cuales serían menores a los considerados en el proyecto.

Menor consumo de energía.

En mano de obra, la operación de la celda demanda menos mano de obra y menor supervisión por haberse incluido equipo de control automático.

Para optimizar resultados, esta nueva unidad requerirá consumos adicionales de MIBC y de NaCN.

## 8.1 Repuestos

La Tabla # 5 compara los consumos de repuestos establecidos por el proveedor para el caso de la celda Jameson y sus equipos accesorios con los de la práctica actual. Para la operación actual se utilizó nuestro programa de utilización de recursos para 1994. Los resultados indican que los costos serán reducidos en US\$ 8,941/año.

## 8.2 Energía

En la Tabla # 6 se ha calculado los consumos de energía tanto para el proyecto como en condiciones actuales. La reducción por día operado sería de: 1491 Kw-hr, significando ahorros de US\$ 29,525 por año al precio de US\$ 0.055/Kw-hr.

## 8.3 Mano de Obra

La mano de obra se mantendrá en el mismo nivel actual, excepto que deberá capacitarse al personal en la operación de la nueva unidad y en el mantenimiento de los equipos de control automático.

## 8.4 Reactivos

El consumo de reactivos aumentará ligeramente por la necesidad de utilizar MIBC para promover la formación de microburbujas y de NaCN para reemplazar el efecto depresor disminuido por el agua de lavado.

Los incrementos en consumo considerados son los siguientes:

MIBC:

$$(29.0\text{cc}/\text{min} \times 0.92\text{gr}/\text{cc} \times 24 \times 60 \text{ min}/\text{hr}) \times$$

$$30 \times 12 \times 0.85 \times 0.34/453.6 = \text{US\$ } 8,812/\text{año}$$

**TABLA # 5 CONSUMO Y COSTO TOTAL DE REPUESTOS PARA  
MANTENIMIENTO EN CIRCUITO DE LIMPIEZA DE ZINC  
Y PROYECTADOS CON CELDA JAMESON**

En base al rpograma anual de uso de materiales y repuestos, los consumos considerados para 1994 son los siguientes.

Celdas Denver DR -24

	N°	Costo US\$	
		Unit.	Total
Impulsores	15	115.00	1,725
Difusores	15	89.00	1,335
Rodajes 1215H 2 C/M	34	212.00	7,208
Retenes 55383	17	6.72	114
Fajas "V" B-120, 2 C/M	180	17.11	3,080
<b>Sub-Total Repuestos para Celda</b>			<b>13,462</b>

Bombas SRL 5" x 4"

Impulsor 14'	6	83.00	498
Funda Succión	6	98.00	588
Funda Gland	6	79.00	474
Rodajes 3312 y 3310	9	172.00	1,548
Bocinas 2-1/2 x 1-7/8 x 4-1/2	9	24.00	216
Fajas "V" B-60 x 4/mcf	12	23.68	284
Reten 27271	9	6.18	56
Reten 24904	9	5.30	48
<b>Sub-Total Repuestos para Bombas</b>			<b>3,712</b>

**TABLA # 6 - EQUIPO UTILIZADO EN LIMPIEZA DE CONCENTRADOS DE ZINC ACTUAL Y PROYECTADO CON CELDA JAMESON**

**4.1 Circuito Actual**

#Item	D e s c r i p c i ó n	N° Unid.	Instalados		Amp. Cons.	%
			HP	Amp.		
48	Bomba Denver SRL-C: 5"x 4"	1	7.5	11.0	9.0	81.8
42	Celdas Denver Sub-A # 24	7	61.0	78.0	55.2	72.1
46	Bomba Denver SRL-C: 5"x 4"	1	7.5	11.0	8.8	80.0
43	Celdas Denver Sub-A # 24	5	30.0	40.0	34.3	85.7
47	Bomba Denver SRL-C: 4"x 3"	1	5.0	7.6	6.1	80.3
44	Celdas Denver Sub-A # 24	3	25.0	31.0	23.6	76.1
45	Bomba Denver SRL-C: 5"x 4"	1	20.0	27.0	22.0	81.5
<b>Sub-Total Circ. de Limp. Zinc (Actual)</b>			<b>156.0</b>	<b>205.6</b>	<b>160.0</b>	<b>77.8</b>
48	Bomba Ash: 4" x 3"	1	12.0	20.0	15.0	75.0
	Cedazo DSM 4' x 60°		-	-	-	-
42	Celda Jameson 1050/1	1	1.0	1.7	1.4	80.0
46	Bomba Ash: 4" x 3"	1	12.0	20.0	15.0	75.0
<b>Sub-Total Circ. Limp. Con Celda Jameson</b>			<b>25.0</b>	<b>41.7</b>	<b>31.4</b>	<b>75.3</b>

Consumo de Energía en Limpieza de Conc. de Zinc:

Condiciones Actuales:

$$156.0 \times 0.778 \times 0.7457 \times 24 \text{ hr} \times 30 \times 0.85 \times 12 \times 0.55 \text{ US\$/kw-hr} = 36,556 \text{ US\$/año}$$

Con Celda Jameson

$$25.0 \times 0.753 \times 0.7457 \times 24 \times 30 \times 0.85 \times 12 \times 0.55 \text{ US\$/kw-hr} = 5,670 \text{ US\$/año}$$

NaCN: 5.00 gr/min x 24 x 60 x 30 x 12 x 0.85 x  
 0.58/453.6 = US\$ 2,817/año

### 8.5 Variación de Costos Operativos Directos

Los resultados obtenidos se suman a continuación:

	<u>US\$/año</u>
8.1 Repuestos	8,941
8.2 Energía	29,525
8.3 Mano de obra	— —
8.4 Reactivos	11,629
<hr/>	
Total Costos DIRECTOS OPERATIVOS	US\$ 26,837
<hr/>	

### 8.6 Costo de transporte de concentrado (costos indirectos)

Mejorando la ley del concentrado se obtendrá menor producción de concentrado de zinc en: 1,973 TMS/año, equivalente a menor costo de transporte de:

$$54.35 \times 1,973 = 107,233 \text{ US\$/año}$$

### 8.7 Reducción de costos

$$26,837 + 107,233 = 134,070 \text{ US\$/año}$$

### 8.8 Valor Neto de Ventas

Los valores netos por ventas para la producción de 1993 y la proyectada con el reemplazo propuesto fueron calculados por la Gerencia Comercial.



El margen adicional por valor de ventas mejorando la ley de concentrado de zinc a 59.5%, alcanzará a: US\$ 369,137, cuya fuente principal son los menores deducciones por gastos de tratamiento en la refinería de zinc.

El retorno neto unitario por concentrado de zinc incrementará de 249.41 a US\$ 274.62/TM

El ahorro total por menores costo de transporte de concentrados y de operación, será de US\$ 503,207 anuales.

## 9.0 EVALUACION ECONOMICA

La evaluación económica de la inversión se presenta en la Tabla # 7, en la cual muestra que el retorno de la inversión excede al 100% en el primer año, siendo rentable su ejecución inmediata.

## 10.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados metalúrgicos y económicos obtenidos en el presente trabajo justifican el reemplazo de las celdas de limpieza convencionales para concentrados de zinc por la celda Jameson.

Los beneficios adicionales mejorando la ley del concentrado de zinc de 56.77% (obtenido en 1993) a 59.5% Zn; reduciendo la recuperación de 91.65 a 90.8%, serán de aproximadamente US\$ 503,207, generando un retorno sobre la inversión de 236%, es decir que el repago de la inversión, estimada en US\$ 212,000 se logrará en aproximadamente 7 meses después de la puesta en marcha del proyecto.

## TABLA # 7 - EVALUACION DE INVERSION

PROYECTO: USO DE CELDA JAMESON EN LIMPIEZA DE  
CONCENTRADOS DE ZINC

Costo Total: US\$ 212,000

Reemplazo de Activos Costo Neto de Capital Permanente	C	212,000
Incremento Neto en Capital Permanente	N	6,000
Ingresos Adicionales (1er. Año)	S	503,207
INC/RED de Ingresos Adicionales (Des- pués de 1er. Año)	P	No

$$E = \frac{S - 0.10 N}{C} = 236\% \quad f = \frac{P}{C} = 0$$

Retorno sobre la invers. Excede al 100% en el 1er. Año

## COMENTARIO

El reemplazo de las celdas convencionales por la celda Jameson para limpieza de concentrados de zinc genera ingresos por ventas adicionales de: US\$ 369,137/año,

Este proyecto es parte integral del proyecto de limpieza de concentrados de zinc y compatible con el transporte hidráulico de concentrados.

## CONCLUSIONES

Se recomienda proceder con el reemplazo inmediato de las celdas convencionales.

## CAPITULO III:

## PRINCIPIOS GENERALES DE LA CELDA JAMESON

## 1.- OPERACIÓN DE LA CELDA JAMESON

Los principios de operación de la celda pueden ser explicados refiriéndonos a la fig. 31, la cual presenta la celda Jameson diagramáticamente.

El alimento de pulpa y el suministro de gas, usualmente aire de la atmósfera, se ponen en contacto en el tubo alimentador. El alimento se suministra a presión a la parte superior del alimentador, donde primero ingresa en una zona de baja turbulencia, antes de pasar a través de un orificio o boquilla. La pulpa pasa a través del orificio a alta velocidad, dirigiéndose verticalmente hacia abajo a lo largo del eje del tubo alimentador. Aire es succionado a la parte superior del alimentador justo por debajo del extremo inferior de la boquilla de alimentación, y es atrapado por flujo de pulpa en forma de burbujas finas de aire.

El tubo alimentador se llena de espuma espesa, en la cual las burbujas están separadas por película delgada de líquido, produciendo un ambiente favorable para la rápida captura (adherencia) de las partículas colectadas a las burbujas.

La espuma densa se descarga por la parte inferior del tubo alimentador en el recipiente de la celda, el cual actúa como cámara de separación de fases. Las burbujas portando su carga de partículas sólidas suben hacia la parte superior de la celda formando un estrato de espuma, el cual a su vez muestra movimiento ascendente y luego pasa sobre el labio de la celda alcanzando a la canaleta de concentrados, mientras que la pulpa fluye hacia abajo, a la línea de descarga de relaves.

En operaciones de limpieza, es normal tener lavado de las espumas, por medio de agua de lavado, la cual es distribuida sobre la espuma. El agua de lavado desplaza partículas de ganga atrapadas en la espuma mecánicamente, transfiriéndolas al relave final.

Cuando una celda Jameson es puesta en operación, la siguiente secuencia de eventos tiene lugar. Se asume que el recipiente está completamente vacío y que las válvulas de relave y de admisión de aire están completamente cerradas.

Las tuberías son llenadas con pulpa (bombeado) hacia el tubo de alimentación y la presión aumenta rápidamente hasta alcanzar su valor de trabajo. La pulpa pasa a través del orificio y fluye hacia la base del tanque de la celda, donde se acumula inicialmente. Cuando el líquido alcanza niveles sobre el fondo del tubo alimentador, se produce un sello hidráulico y el aire retenido en el tubo de alimentación es atrapado por el chorro producido en la boquilla, siendo transferido fuera del tubo alimentador. El nivel interior del líquido en el tubo de alimentación aumenta y después de un período de tiempo alcanza el nivel del orificio y no progresa más. El manómetro de la presión de alimentación en este momento indicará un valor menor que cuando el tubo alimentador estuvo vacío, debido a la succión ejercida por la mezcla de pulpa y aire. Dejando transcurrir un tiempo prolongado, la succión será igual a una columna de pulpa de altura idéntica a la del tubo alimentador (menos la longitud de la boquilla de entrada).

Debido a la alta velocidad de mezcla y la elevada área de interfases existe rápido contacto y captura de las partículas colectadas en las burbujas. Las espumas están caracterizadas por tener 60% de espacios vacíos.

Espuma cargada de concentrados es descargada por el fondo del tubo alimentador ingresando a una zona relativamente quieta de la celda. En el

ascenso de la espuma, esta es lavada por un flujo en contracorriente del agua de lavado, produciendo concentrados de mayor pureza.

## 2.- DESCRIPCION DEL EQUIPO Y SUS INSTRUMENTOS

### Manómetro para Presión de Alimentación

Este manómetro es del tipo diafragma y mide la presión en la tubería previa al ingreso al tubo alimentador. La presión se muestra en Kilo Pascals (Kpa).

### Control de Nivel de Pulpa

El control de nivel en la celda es controlado subiendo o bajando el tubo de descarga de relaves a lo largo del eje de soporte. Con este control, también se esta controlando la altura de espumas en la celda.

### Suministro de Aire a la Celda

El flujo de aire suministrado es medido por un flujómetro, el cual es inducido naturalmente ingresando al tubo alimentador. Aire comprimido no es necesario en este diseño de celda.

### - Succión del Tubo Alimentador

La succión en la sección superior del tubo alimentador es un parámetro importante de control. Se reporta en un vacuómetro Magnahélico sobre el panel de control, conectado a la tubería entre la válvula de control de aire y el cabezal. Es importante para adecuada interpretación, que la línea de alimentación de aire a la celda esté libre de interferencias. De otra forma, la caída de presión en la línea de aire de flotación sería

apreciable y la verdadera succión del tubo alimentador será mucho mayor que la reportada por vacuómetro.

### Suministro de Agua de Lavado

El agua de lavado se distribuye sobre la espuma por una canasta de malla colocada sobre la celda. Es importante que el agua utilizado sea limpia, su flujo es medido por el rotámetro colocado en el panel.

### 3.- CALCULOS EN LA CELDA JAMESON

#### Orificio del alimentador

La placa del orificio (boquilla) es el corazón del equipo, y debe estar en buenas condiciones operativas. El diámetro del orificio determina la capacidad de la celda a la presión deseada.

El flujo a través del orificio y por lo tanto del flujo a través de la celda puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{2} \times D \times U^2$$

Donde:

P = Diferencia de presión a lo largo del orificio (pa).

D = Densidad real de la pulpa en (kg/m<sup>3</sup>)

U = Velocidad del fluido o pulpa a través del Orificio. (m/seg)

La dimensión del orificio esta relacionado con el flujo "Q", el flujo "Q" a través del orificio puede ser calculado usando la ecuación:

$$Q = C_o.A.U$$

Donde: Q = Flujo volumétrico, (m<sup>3</sup>/seg)  
 A = Area del orificio (m<sup>2</sup>) =  $\pi d^2/4$   
 D = Diámetro del orificio de la boquilla(m)  
 Co = Coeficiente del orificio(sin dimensiones)

Para bordes rectos en el orificio usado en boquillas de acero medio, el coeficiente Co es de 0.8. Para orificio de bordes redondeados, Co es 1.0.

### Determinación del Bias

Bias es la diferencia entre el flujo de agua aplicado como agua de lavado con el de agua separada de la celda en el concentrado.

El bias puede ser positivo o negativo. Cuando no se adiciona agua de lavado es negativo y cuando el agua de lavado de espumas es igual al agua removida en el concentrado, el bias es cero.

El bias es a menudo expresado como velocidad superficial Jb (cm/seg) dividiendo el flujo neto de bias por la sección transversal efectiva de la celda.

Esta cifra es útil porque no cambia en los cálculos de equipos de mayor tamaño.

Si: Mc = Flujo másico de concentrado (kg/seg)  
 Qw = Flujo de agua de lavado (lt/seg)  
 Xc = % Sólidos (peso) en el alimento

El flujo másico de agua en el concentrado es:

$M_c(100-X_c)/100$  en kg/seg y es numéricamente igual al flujo de agua en el concentrado expresado en litros/seg.

Luego el flujo de bias de agua de lavado  $Q_b$  es:

$Q_b = \text{Flujo de agua de lavado} - \text{Flujo de agua removido en concentrado.}$

$$Q_b = Q_w - M_c (100 - X_c)/100$$

Velocidad Superficial del Gas (Aire) en la celda:

$$J_g \text{ (cm/seg)}$$

La velocidad superficial del aire se calcula usando la siguiente relación:

$$J_g = Q_a / (A_c - A_t)$$

Donde:  $A_c = \text{área de la celda (cm}^2\text{)}$

$A_t = \text{área del tubo alimentador (desplazamiento), considerando el diámetro exterior (cm}^2\text{)}$

$Q_a = \text{Flujo de aire, lectura en la escala del flujómetro (cm}^3\text{/seg)}$

En las operaciones de limpieza con altos contenidos de sólidos finos,  $d_{50} = 50 \text{ um}$  y más bajos, el valor de  $J_g$  deberá ser alrededor de 0.6 a 1 cm/seg. Con altos valores de  $J_g$ , aproximándose a 2 cm/seg, sería muy difícil remover la ganga atrapada y la espuma sería muy húmeda.

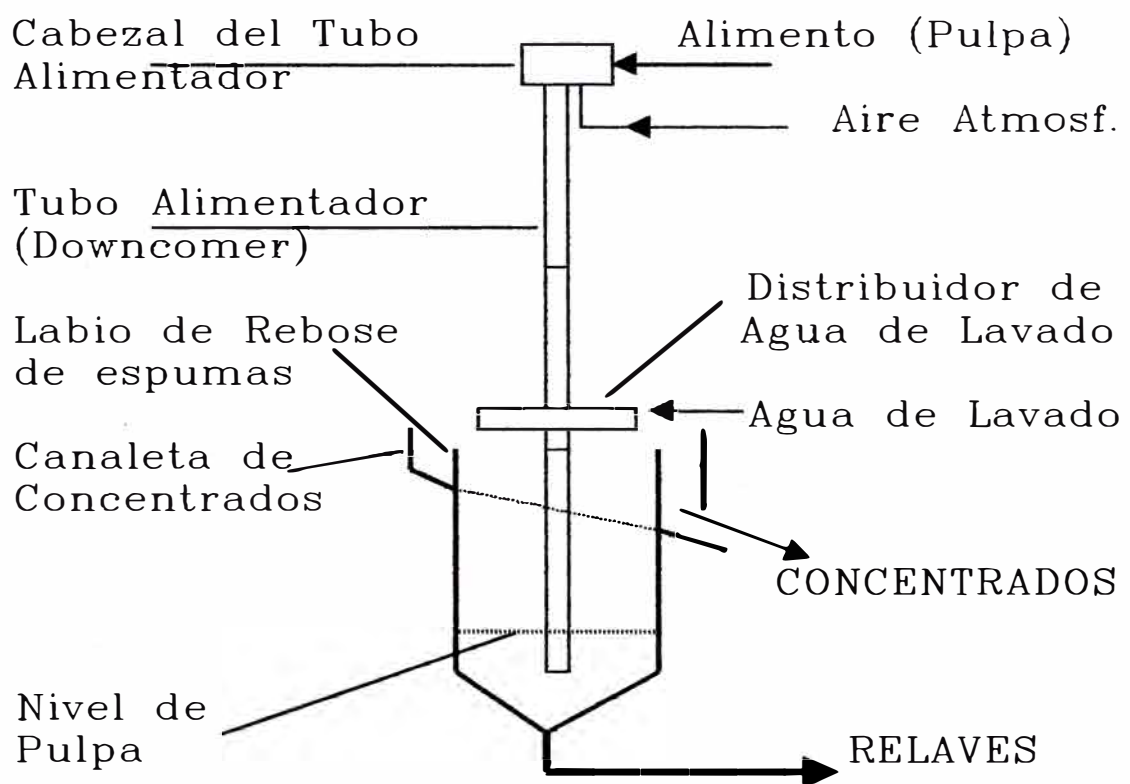
Cuando la molienda es gruesa, mayores valores de  $J_g$  serían necesarios hasta 2 cm/seg para crear



espumas altas y estables en la celda para propósitos de limpieza. Este comentario es aplicable a flotación rougher/scavenger generalmente.

La relación flujo de aire / flujo de pulpa es parámetro fundamental para el diseño de la celda en sus dimensiones así como para optimizar condiciones operativas. Está constituido por el cociente entre el flujo de aire alimentado a la celda y el flujo de pulpa en las mismas unidades.

FIGURA # 31: DIAGRAMA DE LA CELDA DE FLOTACION  
JAMESON



## DIMENSION DE LA CELDA JAMESON

### Quiruvilca - Limpieza de Zinc (Diseño)

Número de plataforma	1
Exceso de Capacidad	0.00%

#### Condiciones del Alimento

% Solidos de la Pulpa	25.00%
Gravedad Especifica de los Sólidos	4.40

	TCPH	TMPH	Kg/min
Valor Alimento seco	12.95	11.75	195.80
Valor Flujo de Pulpa	167	38	10,534.92
	gpm	m3/Hr	cm3/seg

	gpm	l/min	cm3/seg
Valor Flujo de Pulpa	167	632	10,534.92
Valor Flujo de Aire	100.2	379.3	6320.95
Aire / Pulpa	0.6		

#### Condiciones de Diseño para la Celda

Jg Definido para la Celda	0.8 cm/seg con aumento de aire	
Area de la Celda Requerido	0.79 m <sup>2</sup>	8.50 pie <sup>2</sup>
Diámetro de la Celda	1.003 m	3.29 pies

Diámetro de la Celda Escogido	1.050 metros	3.44 pies
Espuma lleno		
Diámetro del tubo lavador	0.00 cm	0.00 pulg.
Jg para el Diámetro Escogido	0.73 cm/seg	

#### Condiciones para el Diseño del Downcomer

Diámetro del orificio	30 mm
Cantidad de Downcomers	1
Velocidad en la Boquilla	14.91 m/seg

Max. DI del Downcomer para 2 Ft/seg (60cm/seg)	18.92 cm	7.45 pulg.
Diámetro Escogido del Downcomer	20.32 cm	8 pulg
Velocidad en el Downcomer	52.00 cm/seg	1.71 pie/seg

#### 4.0 BIBLIOGRAFIA

Manual de ensamble, operaciones y mantenimiento  
Celda Piloto Jameson (300/1).

##### **MIM HOLDINGS LIMITED MARKETING OF TECHNOLOGY**

Trabajo presentado sobre la Celda Jameson por el  
Ing° Juan Zegarra Wuest, en el curso taller  
organizado por TECSUP. JUNIO DE 1994