

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA  
GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA**



**TEMA: EVALUACIÓN DE CONDICIONES EN FLOTACIÓN BULK  
CU-PB PARA EL CASO DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE AG EN  
EL RELAYE FINAL ASÍ COMO EN EL CONCENTRADO DE ZINC  
EN LA PLANTA CONCENTRADORA DE SHOREY DE LA  
COMPAÑÍA MINERA NOR PERÚ.**

**INFORME DE INGENIERIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**PRESENTADO POR:**

**FEDERICO RICARDO SANCHEZ CUEVA  
PROMOCIÓN 1994-I**

**LIMA - PERU  
1,997**

# INDICE

**AGRADECIMIENTO**

**INTRODUCCION**

**CAPITULO I**

**1.0. FLOTACION BULK TOMANDO EN CUENTA LOS EFECTOS DEL pH Y COLECTOR CON Y SIN AEREACION.**

**1.1. Generalidades.**

**1.2. Características de la muestra utilizada.**

**1.3. Condiciones evaluadas.**

**1.3.1. Evaluación de pH y dosificación de Z-11.**

**1.3.2. Evaluación de acondicionamiento con aereación.**

**1.4. Parámetros metalúrgicos evaluados.**

**1.4.1. Flotación rougher bulk Cu-Pb.**

**1.4.2. Flotación total rougher y scavenger Cu-Pb.**

**1.5. Determinación de modelos.**

**1.5.1. Flotación rougher bulk.**

**1.5.2. Flotación total rougher y scavenger Cu-Pb.**

**1.6. Conclusiones y recomendaciones.**

**CAPITULO II**

**2.0. EVALUANDO SELECTIVIDADES Ag/Fe y Ag/Zn.**

**2.1. Generalidades.**

**2.2. Condiciones evaluadas.**

**2.2.1. Condiciones para el pH con respecto a las selectividades.**

**2.2.2. Condiciones para el NaCN / ZnSO<sub>4</sub> con respecto a las selectividades.**

**2.2.3. Condiciones para el Z-11 con respecto a las selectividades.**

**2.3. Desarrollo de modelos.**

## **2.4. Conclusiones y recomendaciones.**

### **CAPITULO III**

#### **3.0. EFECTO DEL COMPLEJO $\text{NaCN} / \text{ZnSO}_4$ .**

##### **3.1. Generalidades.**

##### **3.2. Efecto de la adición del complejo en forma total.**

##### **3.3. Efecto de la adición del complejo por separado.**

##### **3.4. Influencia del pH para la adición del complejo.**

##### **3.5. Consideraciones Finales.**

### **CAPITULO IV**

#### **4.0. DOSIFICACIONES NORMALES CONSIDERANDO LA DENSIDAD DE PULPA COMO VARIABLE DE ESTUDIO.**

##### **4.1. Consideraciones iniciales.**

##### **4.2. Efecto de la densidad de pulpa.**

##### **4.3. Efecto del ph.**

##### **4.4. Efecto del complejo $\text{NaCN} / \text{ZnSO}_4$ total.**

##### **4.5. Consideraciones finales.**

### **CAPITULO V**

#### **5.0. DOSIFICACIONES ANORMALES CONSIDERANDO AL pH DE FLOTACION COMO VARIABLE DE EMPUJE.**

##### **5.1. Consideraciones iniciales.**

##### **5.2. Efecto de las variables para este caso.**

##### **5.3. Consideraciones finales.**

### **CAPITULO VI**

#### **6.0. MODELO CONSIDERANDO DEPRESOR EN MOLIENDA Y pH EN FLOTACION ROUGHER INVESTIGANDO COMO VARIABLE Z-11 EN EL SCAVENGER.**

##### **6.1. Consideraciones iniciales.**

##### **6.2. Con respecto al efecto del colector Z-11.**

##### **6.3. Con respecto al efecto del depresor $\text{NaCN} / \text{ZnSO}_4$ .**

##### **6.4. Modelos considerando colector en el scavenger.**

###### **6.4.1. Condiciones operativas optimas para este modelo.**

**6.4.2. Efecto del colector en dos puntos de aplicación.**

**6.4.3. Consideraciones con respecto a la cabeza de Ag.**

**6.5. Pérdidas de Ag en relaves.**

**6.6. Desplazamiento de Ag al concentrado de zinc.**

**6.7. Consideraciones finales.**

## **CAPITULO VII**

**7.0. MODELOS CONSIDERANDO DOSIFICACION DEL COLECTOR TOTAL Y DEPRESOR A MOLIENDA.**

**7.1. Consideraciones iniciales.**

**7.1.1. Consideraciones para los resultados del análisis de Au y Cu.**

**7.1.2. Consideraciones para el análisis de Ag en el laboratorio de Shorey con respecto a SGS.**

**7.2. Pérdidas de Ag en relaves.**

**7.3. Desplazamiento de Ag al concentrado de zinc.**

**7.4. Consideraciones finales.**

## **CAPITULO VIII**

**8.0. MODELOS CONSIDERANDO TONELAJE TRATADO Y DOSIFICACION SEPARADA DEL DEPRESOR.**

**8.1. Consideraciones iniciales.**

**8.2. Pérdidas de Ag en relaves.**

**8.3. Desplazamiento de Ag al concentrado de zinc.**

**8.4. Consideraciones finales.**

## **CAPITULO IX**

**9.0. MODELOS MATEMATICOS EN FUNCION DEL REGULADOR DE pH EN LA FLOTACION DE COBRE Y DEPRESOR POR SEPARADO EN LA FLOTACION BULK PARA PERDIDAS DE Ag EN RELAVE.**

**9.1. Consideraciones iniciales.**

**9.2. Pérdidas de Ag en relaves.**

**9.3. Consideraciones finales.**

# AGRADECIMIENTO

A mis padres Estela y Carlos en estas líneas les agradezco todo lo que hicieron por mí y gracias a ellos soy lo que soy, por el máximo apoyo desde todo el sentido de la palabra, padres ejemplares que logran y siguen logrando muchas cosas por mí y por mis hermanos, a mi novia Kathy por ser la única mujer que me hizo valorar todo lo logrado por eso le agradezco a Dios por haberla puesto en mi camino y a mis hermanos Elizabeth y Paul.

Un párrafo especial a mis maestros por la dedicación y muchas veces la comprensión hacia nosotros sus alumnos, ejemplos de muchas generaciones que siguen egresando y que pienso yo en forma personal cada día mejor preparados y con los ánimos de hacer las cosas mejor gracias a nuestros maestros.

# INTRODUCCION

Nuestra forma de vida depende mucho de lo que nos rodea, es muy importante tener el sentido de las cosas, valorar nuestra persona como función principal de la sociedad.

La educación primaria y secundaria nos ofrece aptitudes que nos hacen despertar a la imaginación y al sentido logrando muchas virtudes, tratando que los defectos salgan a relucir para combatirlos con el estudio posterior.

Nuestra educación profesional ayuda a desaparecer nuestros defectos aunque siempre nos quedara un pequeño porcentaje porque nosotros como seres humanos sabemos que el único perfecto es Dios.

Este inicio fuera de lo explicable hace que el espíritu de ser el mejor y que dentro de mi forma de ser la palabra triunfo siempre sea primordial en mi vida profesional, ahora con este nuevo reto académico que es mi titulación para poder lograrlo como todos sabemos se tiene uno que sacrificar. Un sacrificio que es bien compensado por eso pensando en este sacrificio es que me dedique a hacer este trabajo de ingeniería.

Estos capítulos del trabajo de ingeniería trata de ver los alcances que se pueden lograr con las variables de operación como son los reactivos, el tonelaje, etc., en la Flotación de Plata tratando de controlar los desplazamientos en el concentrado de zinc y el desplazamiento en el relave, hay que tener en cuenta que logrando esto nuestra recuperación se va a controlar siempre pensando en el principio recuperación-grado la cual nos va a ayudar a no dejar de obtener ingresos para la compañía que confía en nosotros los supervisores.

Estos nueve capítulos como los he denominado fueron desarrollados con el gran aporte de la Gerencia de Metalurgia en lo que respecta a la información practica y en la parte estadística con la ayuda de software estadísticos incluidos en las hojas de calculo o independientemente. En concreto cada capitulo aporta la variación cuando se analiza con determinada variable explicando las pautas a seguir cuando ocurra dicho caso y en general para los problemas cotidianos que ocurren en la operación buscando una tendencia a la Recuperación de Plata teniendo en cuenta las modalidades citadas.

**Espero que el presente trabajo de ingeniería ayude en un mínimo porcentaje a los futuros colegas que optan por el grado académico de Ingeniero Metalúrgico y siempre viendo hacia delante tomando conciencia del agradecimiento hacia la Universidad Nacional de Ingeniería por haberme formado en la excelente pero sacrificada profesión como es la Ingeniería Metalúrgica.**

**Muchas Gracias**

**Federico Ricardo Sánchez Cueva**

# CAPITULO I

## 1.0. FLOTACION BULK TOMANDO EN CUENTA LOS EFECTOS DEL pH Y COLECTOR CON Y SIN AEREACION.

### 1.1. Generalidades.

En este capítulo se muestran los efectos de pH y dosificación del colector Z-11 sobre recuperaciones y selectividad, ofreciendo elementos adicionales para optimizar condiciones en planta utilizando pH's en el rango de 9.00 a 9.50 para flotación rougher bulk y scavenger Cu-Pb, dejaremos el estudio profundo de selectividad para el capítulo II.

Las conclusiones más importantes se sumarían a continuación, teniendo en cuenta pruebas a escala laboratorio tratado a un mineral característico de Quiruvilca:

*La metalurgia de flotación Cu-Pb puede ser mejorada aún con nuestro esquema standard de reactivos, incrementando el pH al rango de 9.00 a 9.50. El principal aporte que se obtuvo en el estudio fue:*

a) Mejora de la cinética de flotación de los minerales de Cu y Ag, acompañado de mayor selectividad Ag/Zn y Ag/Fe, válido para el rango de condiciones de las pruebas.

*Disminuyendo la dosificación de Z-11 a niveles de  $\pm 0.045$  lbs/TCS en laboratorio, los resultados en flotación rougher y scavenger también mejoran en términos de selectividad y cinética, sin embargo debido al mayor consumo que reporta la operación industrial (7.5 veces el requerido en laboratorio), la manipulación de esta variable será posible sólo en rango muy restringido.*

*Otra variable importante es la dosificación de NaCN/ZnSO<sub>4</sub>, que aunque fue mantenida constante en la experimentación, por efecto de la variación en peso de las muestras utilizadas en la experimentación, mostró efecto positivo de primer orden. En este caso, el consumo en laboratorio se aproxima a dos veces el de planta, debidas ambas desviaciones a la operación en circuito cerrado en gran medida, razón por la que accionar sobre la dosificación del complejo también tendrá restricciones y probablemente será necesario reducir el consumo por el aumento de pH.*



Para la optimización de condiciones se recomienda emplear el siguiente procedimiento iterativamente:

*Una vez precisado el nivel óptimo de pH para maximizar la recuperación de Cu y Ag en flotación bulk, deberemos gradualmente reducir el consumo de Z-11 coordinado estrechamente con los operadores en rangos de reducción de 10% en molienda y flotación rougher, manteniendo estrecha supervisión sobre las pérdidas de valores y desplazamiento de Zn al concentrado de cobre.*

*Una vez completado este ciclo, deberemos optimizar el uso del circuito de remolienda, ajustando las adiciones de depresor y colector. Es conveniente incorporar el relave de limpieza de bulk Cu-Pb al alimento a este circuito.*

El suministro de cal es muy importante con respecto al stock recomendado y calidad en sitio, se tendrá virtualmente resuelto en cuanto a volúmenes de compra, todavía considerando por la opción de contar con algunos problemas de calidad, instrucciones para que la conformación de nuestro stock no sea menos de 100 TM están siendo estudiadas, con el cual además de controlar la calidad del producto recibido; dependiendo mucho de nuestro laboratorio químico, deberemos reajustar el pH de neutralización en Santa Catalina a no menos de 8.00 hasta 8.50 y progresivamente determinar el óptimo.

Es importante también obtener muestras de minerales procedentes de diferentes zonas de minado particularmente de los de labores superficiales para evaluación en laboratorio y desarrollo de condiciones apropiadas para mejorar resultados.

Se debe indicar también que en el estudio no fue posible precisar dificultades de colección de los minerales de plomo que los relaves de planta reportan. Mientras revisamos la metodología analítica, debemos ubicar críticamente en el flow sheet de la planta concentradora, en caso lo hubiere, puntos de ingreso de agua en exceso a las etapas de limpieza del concentrado bulk Cu-Pb y reducir la adición de agua al mínimo necesario. La adición de colector en remolienda de productos intermedios es parámetro importante que debemos optimizar.

Debido a los resultados metalúrgicos a nivel laboratorio según los alcances observados hasta el momento, con variación periódica según se deduce de los

reportes del laboratorio analítico, se tomaron muestras de cabeza de los molinos primarios con la finalidad de realizar pruebas de flotación bulk Cu-Pb con conocimiento de la gerencia de metalurgia en el laboratorio metalúrgico de Shorey.

Se presentan los resultados obtenidos a condiciones standard de flotación bulk Cu-Pb en la experimentación en laboratorio para las etapas rougher y scavenger, incluyendo evaluación del acondicionamiento con aereación para comparación.

Las condiciones estudiadas fueron: dosificación de Z-11 y pH; los resultados se determinan en términos de selectividad y recuperación tanto en la etapa rougher bulk como en el total: rougher y scavenger.

Por los resultados favorables obtenidos se ha preparado el presente capítulo con la finalidad de asistir en la aplicación de los cambios que se infieren sobre la base de los resultados obtenidos. El aumento de pH a valores en el rango de 9.00 a 9.50 para flotación rougher bulk Cu-Pb fue solicitado con anterioridad a su emisión por las mayores selectividades Ag/Zn y Ag/Fe reportadas por el laboratorio de Shorey y que esperamos confirmar en los resultados de planta.

## 1.2. Características de la muestra utilizada.

Las leyes de la muestra de cabeza empleada en el presente trabajo fueron las siguientes:

Ensayes: % , *oz/TCS				
Muestras	Ag*	Cu	Pb	Zn
Muestra A	9.77	0.28	1.55	4.42
Muestra B	7.58	0.24	1.43	4.06
Muestra C	9.26	0.28	1.56	4.64

Los resultados obtenidos en la operación de planta con ensayos también del laboratorio de Shorey, en dos tipos de muestras se sumarían a continuación:

**Muestra B:**

Concentrado	RECUPERACION (%)				SELECTIVIDAD (%)	
	Ag	Cu	Pb	Desp.Zn	Ag/Zn	Cu/Pb
Concentrado Cu	51.87	53.19	2.28	1.71		
Concentrado Pb	24.00	19.86	82.65	1.83		84.18
Total Cu-Pb	75.87	73.05	84.93	3.54	85.55	
Concentrado Zn	4.23	8.05	1.70	86.14	90.83	
Total Concentrado	80.10	81.10	86.63	89.68		

**Muestra C:**

Concentrado	RECUPERACION (%)				SELECTIVIDAD (%)	
	Ag	Cu	Pb	Desp.Zn	Ag/Zn	Cu/Pb
Concentrado Cu	57.73	55.73	4.52	2.53		
Concentrado Pb	20.55	16.41	81.01	2.20		85.54
Total Cu-Pb	78.28	72.14	85.53	4.73	86.36	
Concentrado Zn	5.47	8.35	2.81	87.64	91.02	
Total Concentrado	83.75	80.49	88.64	92.37		

Las condiciones aplicadas en planta para flotación bulk Cu-Pb en dichas muestras fueron las siguientes teniendo en cuenta dosificaciones en lbs/TCS.

Reactivos	Puntos de Aplicación	Muestra B	Muestra C
Z-11	Molienda	0.159	0.141
	Flotación Rougher	0.094	0.107
	Flotación Scavenger	0.064	0.100
	TOTAL en lbs/TCS	0.317	0.348
NaCN/ZnSO <sub>4</sub>	Molienda	0.264	0.215
PH	Alimento Rougher	8.2	8.4

Consideraciones importantes a tener en cuenta en los resultados:

Valores en concentrados de zinc:

Ensayes: %, \*oz/TCS

Muestra	Ag*	Cu	Pb	Zn
Muestra A	5.84	0.36	0.39	57.86
Muestra B	5.42	0.34	0.41	58.59
Muestra C	7.27	0.36	0.63	58.34

Valores en relaves:

Ensayes: %, \*oz/TCS

Muestra	Ag*	Cu	Pb	Zn
Muestra A	1.74	0.06	0.19	0.38
Muestra B	1.66	0.05	0.21	0.45
Muestra C	1.66	0.06	0.20	0.39

Estos resultados muestran algunas de las características normales de los minerales de Quiruvilca tanto para los alcances de las pruebas standard en el punto llamado generalidades como en la operación de planta.

Características comunes son las siguientes:

*Alto consumo relativo de colector Z-11 tanto respecto a la condición de laboratorio como en comparación a otras operaciones.*

*Menor consumo del complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> respecto a la prueba standard de laboratorio.*

*Incremento en selectividad de separación Cu-Pb superando 80%, pero no confirmados por la producción física debido a varios factores entre los que están: derrames producidos por diversas causas, habiendo iniciado acciones para recuperación de los producidos por paralizaciones intempestivas de planta, evitando las ocurrencias "accidentales". También se ha recomendado reforzar la supervisión y métodos para el control de despachos de concentrados, particularmente de los de cobre.*

*Reducción gradual de la recuperación de Zn sin producir diferencias significativas entre la cabeza ensayada y calculada a pesar de que en los meses anteriores la recirculación de derrames a través del espesador de la planta de chancado fue importante y lo continúa siendo. Conteniendo los derrames leyes promedio de no menos de 8% de Zn superiores a la ley normal de los minerales*

*de mina. Además del alto stock de concentrados de zinc en Shorey que están expuestos a lluvia y arrastre mecánico.*

**Características no comunes son las siguientes:**

*De acuerdo con las observaciones para con nuestra supervisión de planta, a partir del inicio de las pruebas se discontinuó la práctica de mezclar derrames antiguos en el alimento a la cabeza.*

*El Pb contenido en relaves reporta aproximadamente 20% en forma oxidada, indicando su solubilidad en soluciones saturadas de NaCl (sin contener  $Fe_2(SO_4)_2$ ).*

*El desplazamiento de Ag y de los minerales de Cu y Pb, sus principales portadores, al concentrado de Zn se mantiene en niveles bajos relativamente, mientras que las pérdidas de Ag y Pb en relaves superan los límites normales y no mantiene correlación con sus desplazamientos al concentrado de zinc. Correlaciones directas se aprecian cuando existen deficiencias en flotación bulk Cu-Pb.*

**Tanto por estas características como por las correlaciones observadas entre el contenido de Ag con metales base en relaves definido para el mes anterior a las pruebas (asumiendo correctos ensayos del laboratorio de Shorey), debemos considerar formas diferentes de presencia de minerales de Ag:**

*Mayor contenido relativo de piritas que también son portadoras de Ag en el mineral tratado.*

*Presencia de piritas con mayor contenido de Ag finamente diseminada.*

*Presencia de minerales de Ag con reducida flotabilidad a las condiciones standard para flotación bulk Cu-Pb.*

*Asociación preferente de minerales de Ag a formas oxidadas de plomo, no flotables a las condiciones standard para Cu-Pb ni las del circuito de zinc.*

**Indudablemente que los dos primeros tipos sólo tendrían solución con la ejecución del proyecto de recuperación de Au y Ag de relaves. Las dos formas siguientes serían superables corrigiendo condiciones.**

**Para mejorar la flotabilidad de los minerales débilmente refractarios de Ag es suficiente corregir el pH en algunos casos y en otras se deben emplear reactivos**

colectores específicos. Signos de débil colección de los minerales de plomo fueron definidos en la evaluación piloto de separación Cu-Pb con celda Jamesón.

### 1.3. Condiciones evaluadas.

Por las razones anteriores, el trabajo experimental desarrollado en el laboratorio metalúrgico se concentró en las siguientes áreas:

a.-Evaluación del efecto de pH en condiciones standard de laboratorio, variando la adición de colector Z-11.

b.-Evaluación del proceso de acondicionamiento con aereación, para reconfirmar su vigencia.

c.-Empleo de diversos colectores.

Los resultados de la parte a, del trabajo se presentan en detalle así como el resultado de la parte b, realizada con acondicionamiento-aereación, tratando de ver la posibilidad de actualizar nuestro stock de colectores para la parte c.

#### 1.3.1. Evaluación de pH y dosificación de Z-11.

Las condiciones para flotación total rougher-scavenger evaluadas variaron en los siguientes rangos:

Reactivo	Punto de Adición	lbs/TCS		
		Mínimo	Máximo	Media
CaO	Molienda	0.307	0.723	0.515
NaCN/ZnSO <sub>4</sub>	Molienda	0.614	0.621	0.618
Z-11	Flotación Rougher	0.010	0.031	0.021
	Flotación Scavenger	0.010	0.010	0.010
MIBC	Flotación Rougher	0.061	0.062	0.062
	Flotación Scavenger	0.020	0.020	0.020
PH	Alimento Rougher	8.38	9.10	8.740

Relación NaCN/ZnSO<sub>4</sub>= 1/3

La dosificación de reactivos en el trabajo experimental difiere significativamente respecto al normalmente usado en planta, particularmente en lo que respecta a Z-11, que en laboratorio se aproxima a 1/7.5 del aplicado en planta; mientras que el NaCN/ZnSO<sub>4</sub> es aproximadamente 2/1 respecto a

planta. Estas diferencias son en parte debida al uso de agua recuperada en planta. Posteriores estudios serán realizados para corregirlas.

### 1.3.2. Evaluación de acondicionamiento con aereación.

En la evaluación de este procedimiento se aplicó tiempo constante de acondicionamiento/aereación de 20 min. , Variándose la dosificación de Z-11 en rango similar al aplicado a condiciones standard, mientras que el del complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> se estudió en el rango del nivel experimental anterior hasta 50% . Esta prueba que mostramos fue realizada a las condiciones básicas de la standard, excepto que incorpora la etapa de aereación. La dosificación de reactivos resultante fue la siguiente:

Reactivo	Punto de Adición	Dosif.	lbs/TCS
CaO	Molienda		0.514
NaCN/ZnSO <sub>4</sub>	Molienda		0.617
Z-11	Flotación Rougher		0.031
	Flotación Scavenger		0.010
MIBC	Flotación Rougher		0.062
	Flotación Scavenger		0.020
pH <sub>inicial</sub> /pH <sub>final</sub>	Alimento Rougher		9.0/8.7
Relación NaCN/ZnSO <sub>4</sub> = 1/3			

### 1.4. Parámetros metalúrgicos evaluados.

El principal parámetro metalúrgico estudiado fue la recuperación de Ag, el cual fue correlacionado con la recuperación de los otros valores y desplazamiento de impurezas. Esto se realizó tanto para la flotación rougher bulk como para la total rougher-scavenger.

#### 1.4.1. Flotación rougher bulk Cu-Pb.

La recuperación de Ag esta íntimamente relacionada con la recuperación de Cu, que en el caso de la muestra evaluada continuó siendo el mayor portador, la función de correlación es la siguiente:

$$\text{Recuperación Ag(\%)} = -14.63 + 1.291 * \text{Recuperación Cu(\%)} \quad \text{COR} = 0.942$$

En consecuencia, para explicar variaciones en recuperación de Cu es suficiente analizar la de Ag.

Similares funciones de correlación se obtuvieron con la selectividad Ag/Zn y la de Ag/Fe, indicando que los efectos serán proporcionalmente similares. Las funciones de correlación obtenidas fueron las siguientes:

$$\text{Recuperación Ag(\%)} = -52.86 + 1.585 * \text{Selectividad Ag/Zn(\%)} \quad \text{COR}=0.992$$

$$\text{Recuperación Ag(\%)} = -49.63 + 1.500 * \text{Selectividad Ag/Fe(\%)} \quad \text{COR}=0.982$$

En cambio la recuperación de Pb varió en un rango mas estrecho, indicando que las variaciones de condiciones en los rangos experimentales no aportan efecto significativo sobre la recuperación de Pb y por consiguiente también de Ag.

Los rangos de variación de los parámetros metalúrgicos en flotación rougher Cu-Pb se muestran a continuación:

Parámetro	Resultado (%)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Con Aereación
Recuperación Ag	55.0	76.6	62.12	78.7
Recuperación Cu	53.5	70.1	59.44	78.5
Recuperación Pb	88.9	92.2	90.18	91.9
Selectividad Ag/Zn	68.41	82.01	72.50	82.59
Selectividad Ag/Fe	68.86	83.26	74.49	85.87

Los resultados de la prueba realizada con acondicionamiento/aereación son superiores a los máximos obtenidos a condiciones standard, excepto en recuperación de Pb, siendo inferior al máximo en 0.3%, lo cual no es significativo. Es decir que el proyecto de acondicionamiento con aereación mantiene sus significativas ventajas que justificaron su presentación y aprobación metalúrgica.

#### 1.4.2. Flotación total rougher y scavenger Cu-Pb.

Similares parámetros metalúrgicos se utilizaron para la evaluación de efectos sobre la flotación total Cu-Pb, los rangos de variación se presentan a continuación:



**Resultado: (%)**

<b>Parámetro</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Promedio</b>	<b>Con Aereación</b>
Recuperación Ag	71.6	88.0	80.72	92.1
Recuperación Cu	75.9	83.5	75.90	91.0
Recuperación Pb	92.0	84.1	93.14	94.2
Selectividad Ag/Zn	84.48	93.72	89.68	86.64
Selectividad Ag/Fe	79.15	87.40	83.02	89.82
Ensaye Ag Relave	1.30	3.27	2.24	0.92

El procedimiento de acondicionamiento/aereación mantiene sus principales ventajas respecto a los mejores resultados frente al de condiciones standard, principalmente en los que se refiere a recuperación de Ag, Cu, etc., solamente en el caso de la selectividad Ag/Zn se obtienen resultados inferiores. Pruebas complementarias para optimizar el pH en este procedimiento serán realizadas.

La recuperación de Ag total en flotación rougher y scavenger Cu-Pb presenta la siguiente correlación respecto a la recuperación de Cu:

$$\text{Recuperación Ag(\%)} = -27.26 + 1.345 * \text{Recuperación Cu(\%)} \quad \text{COR}=0.696$$

Resultando virtualmente independiente del contenido de Pb debido al reducido rango de variación obtenido en la experimentación. El ensaye de Fe, aunque varió en el rango de 11.2 a 12.8 tampoco aportó efecto significativo.

La recuperación de Ag en flotación total Cu-Pb se correlaciona con las selectividades Ag/Zn y Ag/Fe según las funciones que se muestran a continuación:

$$\text{Recuperación Ag(\%)} = -78.28 + 1.773 * \text{Selectividad Ag/Zn(\%)} \quad \text{COR}=1.000$$

$$\text{Recuperación Ag(\%)} = -70.51 + 1.821 * \text{Selectividad Ag/Fe(\%)} \quad \text{COR}=0.870$$

Indicando que para expresar las variaciones en índices metalúrgicos de esta etapa es suficiente determinar las condiciones que controlan la recuperación de Ag para explicar el resto.

#### **1.5. Determinación de modelos.**

Para definir los efectos de las condiciones de operación sobre la recuperación de Ag en las etapas rougher bulk y total (rougher-scavenger) se utilizó el procedimiento de regresión múltiple.

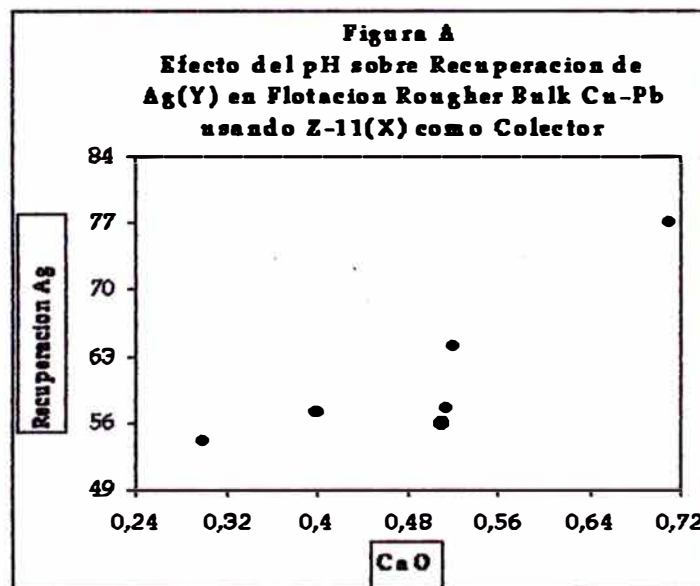
### 1.5.1. Flotación rougher bulk.

El parámetro que controla la recuperación de Ag y la selectividad de flotación Ag/Fe es la adición de CaO en molienda. Las funciones se muestran a continuación:

$$\text{Recuperación Ag(\%)} = 35.28 + 52.11 \cdot \text{CaO}(\text{lbs/TCS}) \quad \text{COR}=0.856$$

$$\text{Selectividad Ag/Fe(\%)} = 56.57 + 34.79 \cdot \text{CaO}(\text{lbs/TCS}) \quad \text{COR}=0.812$$

Los resultados de la primera función para este caso se presentan en la figura A, con la finalidad de hacer mas objetivo la dosificación de CaO. Anteriores estudios indicaban que con pH en el rango de 8.5 se maximizaba la cinética de



flotación para el tratamiento de minerales normales.

### 1.5.2. Flotación total rougher y scavenger Cu-Pb.

El modelo que explica variaciones de recuperación de Ag es la siguiente:

$$\text{Recuperación de Ag (\%)} = -296.20 + 720.16 \cdot \text{Z-11} + 3.27 \cdot \text{pH} + 522.7 \cdot \text{NaCN/ZnSO}_4$$

En la que la dosificación de Z-11 y NaCN/ZnSO<sub>4</sub> esta expresada en lbs/TCS.

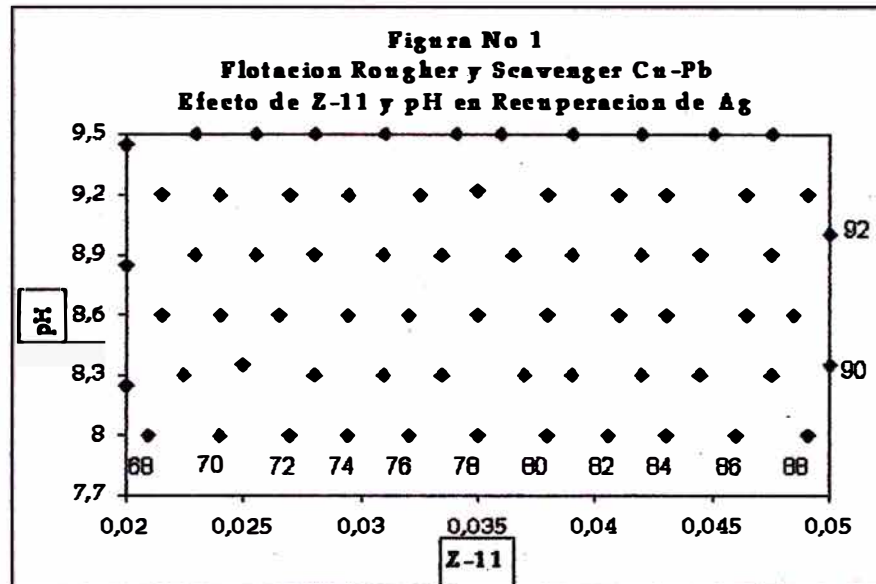
El coeficiente de correlación es de 0.981 indicando alta confiabilidad para tomar decisiones. En el rango de trabajo esta función simplificada para la dosificación promedio de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> se presenta gráficamente en la figura N° 1.

Respecto a selectividades Ag/Zn y Ag/Fe las mejores funciones obtenidas para explicar sus variaciones son de estructura similar a la anterior, estas se presentan a continuación:

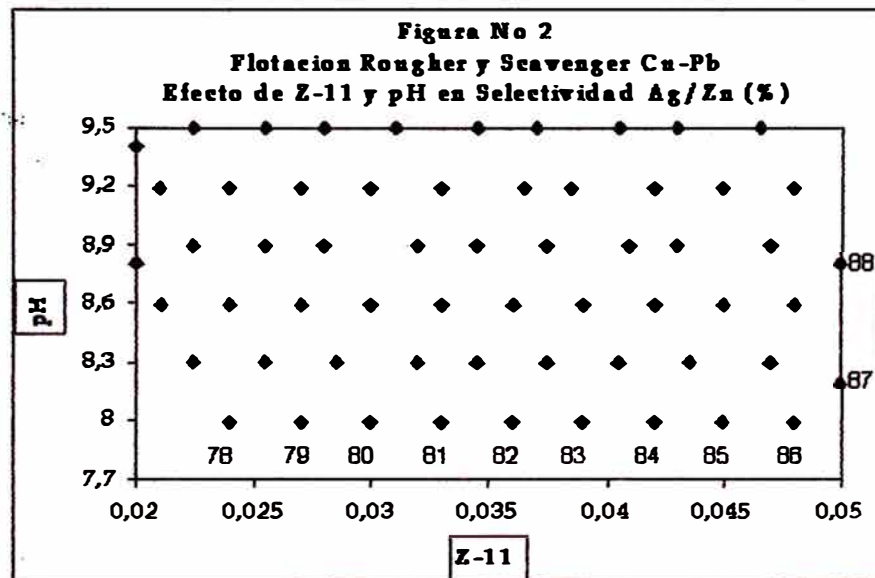
$$\text{Selectividad Ag/Zn} = -126.83 + 406.37 \cdot \text{Z-11} + 1.63 \cdot \text{pH} + 304.3 \cdot \text{NaCN/ZnSO}_4$$

Selectividad Ag/Fe =  $-339.65 + 332.32 \cdot Z-11 + 1.68 \cdot \text{pH} + 641.6 \cdot \text{NaCN} / \text{ZnSO}_4$   
 Ambas funciones tienen coeficientes de correlación mayor a 0.98 y consecuentemente son también confiables para tomar decisiones.

Para la comparación gráfica de resultados se simplificó la función de



selectividad Ag/Zn siguiendo el mismo procedimiento anterior y los resultados se muestran en la figura N° 2, indicando al igual que en el gráfico anterior que la metalurgia de flotación Cu-Pb se optimiza incrementando la dosificación de Z-11 y aumentando el pH a valores sobre 9.0.



### 1.6. Conclusiones y recomendaciones.

Los resultados obtenidos permiten ofrecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

*La recuperación de Ag en flotación rougher, mejora significativamente aumentando el pH a valores de 9.00 a 9.50 manteniendo nuestro esquema standard de reactivos. Favoreciendo también la selectividad para el rango de condiciones de la experimentación en laboratorio.*

*Los índices metalúrgicos de la flotación rougher y scavenger son mejorados aumentando las dosificaciones de CaO, Z-11 y NaCN/ZnSO<sub>4</sub>. Recomendándose realizar pruebas de optimización de pH en planta utilizando el rango entre 9.00 y 9.50 para seguir standarizando así como 9.50 y 10.00.*

*Debido a que el consumo de Z-11 en la operación industrial es aproximadamente 10 veces mayor al consumo en laboratorio, no se recomienda actuar sobre esta variable. Es preferible definir colectores alternativos de mayor eficiencia.*

*En cuanto a la dosificación del complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub>, esta deberá variarse en rango restringido. Paralelamente se debe estudiar las posibilidades de recircular el agua de espesadores de concentrados de cobre y/o de plomo. Pruebas de laboratorio serán realizadas para verificar su viabilidad por lo menos en la limpieza del concentrado bulk.*

*En cuanto a la metalurgia de plomo, los resultados del trabajo de laboratorio reportan menores pérdidas en relaves que los reportados en planta. Sería conveniente revisar en el flow sheet puntos de excesiva adición de agua que pudiesen afectar la flotabilidad en las etapas posteriores a las rougher y scavenger. Asimismo se deberá optimizar condiciones de la etapa de remolienda de medios de flotación Cu-Pb, particularmente en dosificación de colector, así como incorporar el relave de limpieza de bulk al alimento.*

*El procedimiento de acondicionamiento con aereación confirma su vigencia al haber reportado resultados favorables con mayores recuperaciones de valores y superior selectividad.*

**Es importante remarcar la necesidad de obtener muestras de los minerales procedentes de la explotación de superficie inicialmente. La significativa presencia de minerales de plomo oxidados en los relaves según lo indican los resultados de nuestro laboratorio hacen imperiosos realizar pruebas**

complementarias para definir condiciones más apropiadas para su tratamiento. Este tipo de trabajos es siempre conveniente sobretudo en operaciones en las que se tienen diversos tipos de minerales y los resultados que se obtengan permitirán mejor planificación de las operaciones en conjunto.

## CAPITULO II

### 2.0. EVALUANDO SELECTIVIDADES Ag/Fe y Ag/Zn.

#### 2.1. Generalidades.

Los resultados completos de las pruebas realizadas; tanto adicionales al capítulo I, se describen en este capítulo habiéndose profundizado en el análisis de los efectos de condiciones operativas del esquema standard de reactivos para flotación Cu-Pb, cuyos resultados fuesen analizados en términos de recuperación de Ag en relaves únicamente en gran parte de lo expresado en el capítulo I.

Los parámetros metalúrgicos evaluados fueron: selectividad Ag/Zn y Ag/Fe en flotación rougher bulk Cu-Pb y flotación total, los cuales a su vez determinan recuperaciones de los elementos valiosos y remoción de las impurezas no deseables. Además por el hecho de incorporar dos productos y dos análisis en cada una de estas variables reducen probabilidades de error en las conclusiones por tendencias analíticas dándole mayor grado de confianza.

Los resultados completos de la evaluación de condiciones para optimizar resultados metalúrgicos utilizando Z-11 fueron mejorados, incluyendo resultados de pruebas complementarias para ampliar el rango de evaluación de las variables operativas más importantes de nuestro esquema standard de reactivos para flotación rougher bulk Cu-Pb así como en la flotación total rougher y scavenger.

Esta información se sometió a análisis estadístico por múltiple regresión para explicar variaciones de los parámetros metalúrgicos más significativos en términos de las condiciones operativas.

La definición de los parámetros metalúrgicos que gobiernan la metalurgia de flotación Cu-Pb fue realizada por funciones que las correlaciona. Determinándose que las variables metalúrgicas que explican variación integral de resultados en flotación total (rougher y scavenger) Cu-Pb es el Índice de Selectividad Ag/Zn y en la flotación rougher bulk Cu-Pb es el Índice de Selectividad Ag/Fe.

Los rangos de las variables operativas: pH, NaCN/ZnSO<sub>4</sub> y Z-11 fueron ampliados basados en las proyecciones obtenidas con los modelos desarrollados en el capítulo I y por la respuesta positiva obtenida en la optimización de condiciones de la operación industrial.

Los modelos obtenidos para explicar variaciones en selectividad Ag/Zn y Ag/Fe se presentan y discuten ofreciéndose conclusiones y recomendaciones para mejorar resultados en flotación Cu-Pb.

Los resultados confirman que aceptable metalurgia será obtenida aplicando pH de 9.00 a 9.50 y adicionando Z-11 en niveles de 0.060 lbs/TCS. La dosificación de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> requerida en laboratorio fue de aproximadamente 0.300 lbs/TCS usando 0.060 lbs/TCS de Z-11 en pruebas batch. En la operación industrial este consumo es menor por recircular parte en los relaves de limpieza del concentrado rougher bulk.

Uno de los objetivos mas importantes en la evaluación industrial sera optimizar las condiciones de operación para hacer el mejor uso posible del circuito de remolienda 6' x 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub>' .

## 2.2. Condiciones evaluadas.

El rango normal de pH evaluadas en laboratorio para flotación bulk Cu-Pb fue de 8.30 a 9.50, sin embargo los modelos desarrollados previamente indicaban también posibilidades de mejorar la flotación de Ag a pH menores así como ante la necesidad de uniformizar criterios se decidió incorporar en el estudio de laboratorio pH más bajos, hasta el natural que promedió 7.61, que se desplaza bastante con el rango respectivo proyectado en el capítulo I.

El rango de adición de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> fue también ampliado, cubriendo menores niveles de adición, esto debido a la inmediata respuesta tenida en el ajuste de condiciones para optimizar resultados en la operación industrial y a la insensibilidad de reducir las pérdidas de Ag en relaves con el propósito de mejorar la recuperación de las pruebas iniciales que se realizaron con dosificaciones virtualmente constantes en 0.600 lbs del complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub>.

Los rangos de las variables operativas estudiadas en el presente trabajo se muestran a continuación:

Reactivo	Máximo	Mínimo	Media
pH	9.42	7.50	8.48
NaCN/ZnSO <sub>4</sub> lbs/TCS	0.660	0.103	0.534
Z-11 lbs/TCS	0.062	0.020	0.037

El pH fue ajustado con cal de nuestro stock CaO (X en lbs/TCS) y la función de correlación con el pH (Y) fue la siguiente:

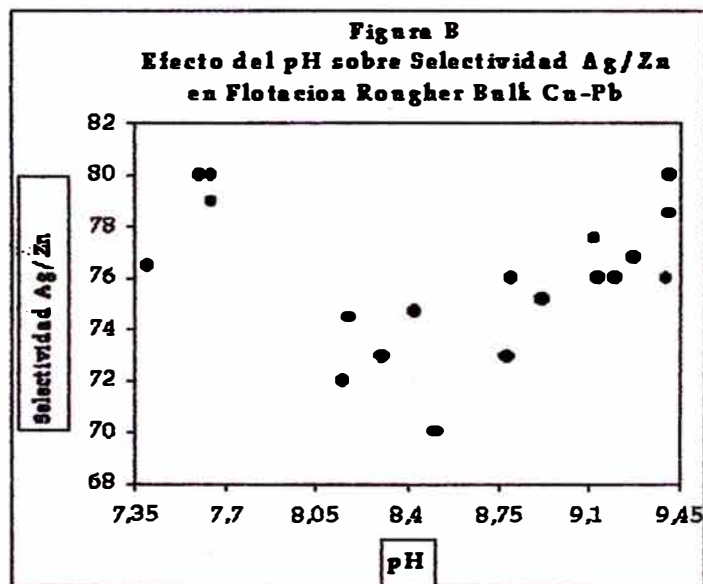
$$Y = 7.61 + 1.83*(X \text{ en lbs/TCS}) \quad \text{COR}=0.977$$

Cifras consistentes y que indican que las características de los minerales evaluados para el capítulo anterior se mantienen en los de la presente evaluación.

Los efectos de condiciones operativas individuales: pH, NaCN/ZnSO<sub>4</sub> y Z-11 sobre los dos parámetros metalúrgicos seleccionados: Selectividad Ag/Zn y Ag/Fe en flotación rougher bulk Cu-Pb, se presentan gráficamente en las figuras C, D, E, F, G y H respectivamente.

### 2.2.1. Condiciones para el pH con respecto a las selectividades.

Observándose las siguientes características:



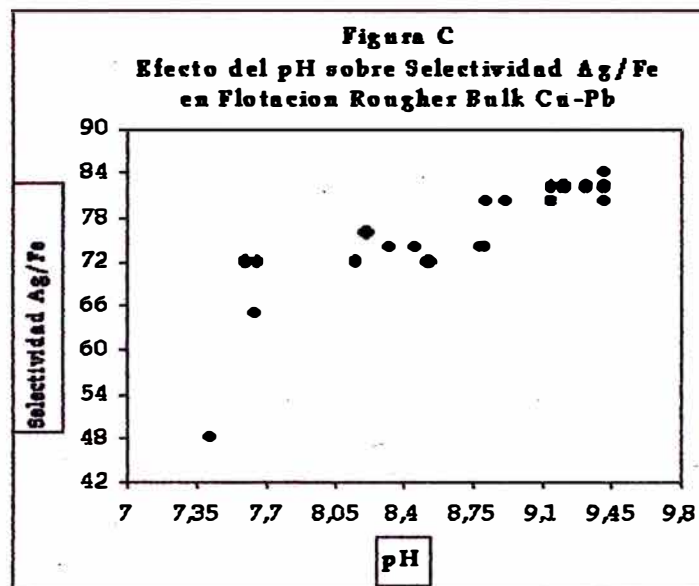
#### a.- pH

*Es posible obtener selectividades Ag/Zn superiores a 75% tanto en el rango de pH mayor a 9.1 así como en el próximo al pH natural, existiendo efecto de segundo orden alcanzando un mínimo en lo que constituyó nuestro rango normal de operación para pH's desde 8.20 a 8.50, ver figura B.*



*La selectividad Ag/Fe en cambio presenta un mínimo a pH's próximos al natural/neutro, mejorando gradualmente conforme se aumenta, alcanzando los mejores resultados en pH 9.10, ver figura C.*

Es decir que para obtener resultados metalúrgicos satisfactorios en flotación rougher bulk Cu-Pb es imprescindible ajustar el pH a valores no menores de 9.10 con lo que se obtienen las mejores selectividades tanto Ag/Zn como de Ag/Fe.



Operar a menores pH reduce gradualmente ambos índices metalúrgicos, aunque el Ag/Zn puede ser restituido a pH cercanos al neutro, el de Ag/Fe es notablemente afectado.

Desarrollar eficiente depresión de los minerales de Fe a menores pH es uno de los objetivos que se logrará en acondicionamiento con aereación, sin embargo la de ajustar el pH es la mejor económicamente porque en este nivel la acción del complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> es más efectiva requiriendo menores consumos.

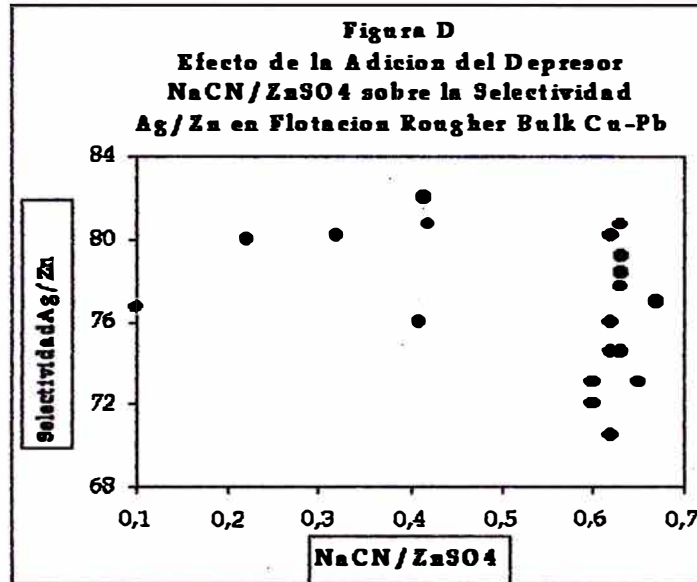
**2.2.2. Condiciones para el NaCN/ZnSO<sub>4</sub> con respecto a las selectividades.**

Observándose las siguientes características:

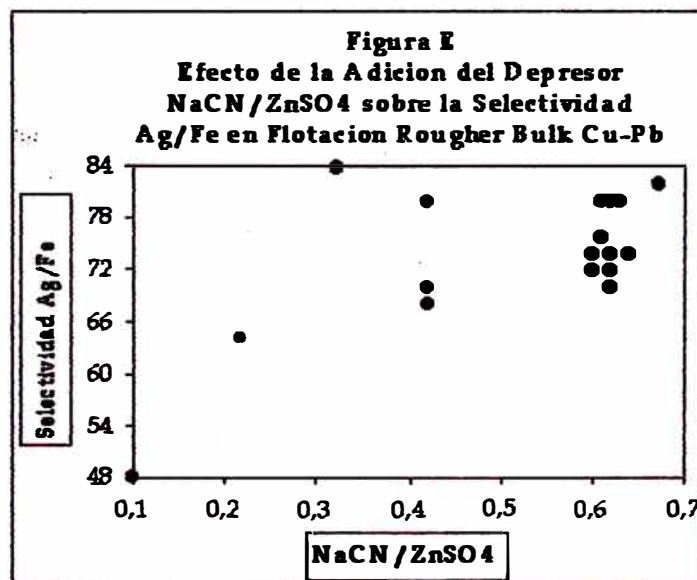
b.- NaCN/ZnSO<sub>4</sub>

*Sobre la selectividad Ag/Zn, presenta efecto de segundo orden para maximizar resultados, alcanzando valores de 80% cuando la dosificación es de 0.20 a 0.40 lbs/TCS, tal como se observa en la figura D, con mayores niveles de adición se*

aumentan las probabilidades de producir altas pérdidas de Ag en relaves, sin reducir el desplazamiento de Zn al concentrado rougher bulk Cu-Pb en comparación con la depresión alcanzada en el rango indicado anteriormente. Sobre selectividad Ag/Fe, una vez ajustado el pH a niveles cercanos al óptimo



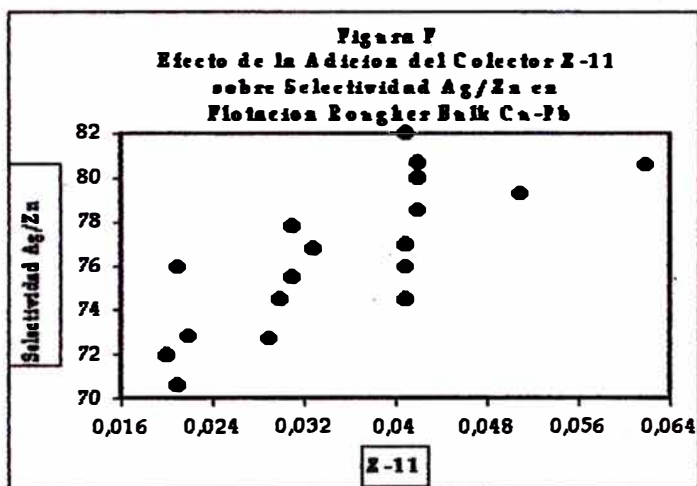
en laboratorio, la adición de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> a niveles de 0.300 lbs/TCS es suficiente, según se muestra en la figura E, mayor adición reduce la selectividad Ag/Fe por depresión de los minerales de Ag que en más de 85% no están asociados a los de Fe.



Cuando se emplean pH's próximos al natural, la demanda de complejo incrementa significativamente, no resultando conveniente su uso por esta razón.

Debe también destacarse la extrema sensibilidad de los minerales de Ag en actual tratamiento a sobredosis en la dosificación de este reactivo, razón por la que en la operación industrial deberá tenderse a menores consumos aún respecto a los actuales.

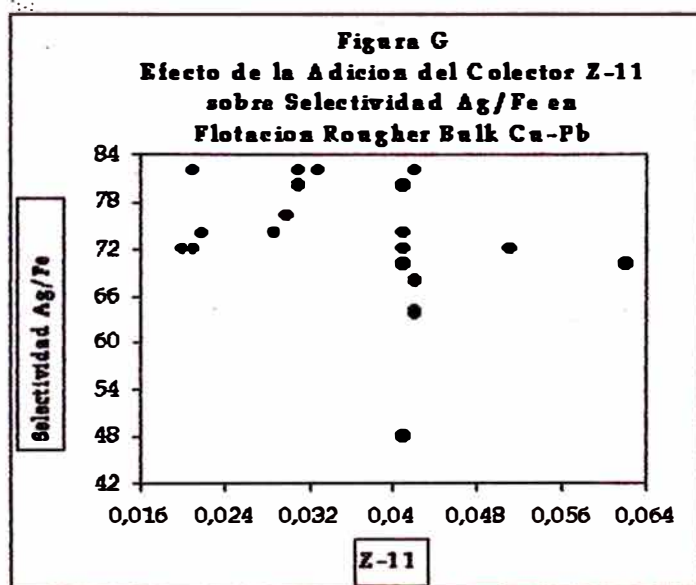
### 2.2.3. Condiciones para el Z-11 con respecto a las selectividades.



Observándose las siguientes características:

c.- Z-11

*Adiciones mayores a 0.040 lbs/TCS, aumentan las probabilidades de reducir la selectividad Ag/Zn, siendo factible contrarrestarla con mayores adiciones del complejo. Esto ha sido práctica anteriormente y con pH's de 9.10 a 9.50 es factible alcanzar recuperaciones de Ag satisfactorias sin exceder los 0.060 lbs de Z-11/TCS, observado en la figura F.*



*Selectividades Ag/Fe mayores a 80% pueden obtenerse con dosificaciones de Z-11 entre 0.024 a 0.040 lbs/TCS, aunque las probabilidades de reducirla aumenta conforme se incrementa. Esto se muestra claramente en la figura G.*

Una vez establecido el pH en valores superiores a 9.10, el siguiente parámetro a establecer es la dosificación de Z-11, en la etapa rougher bulk Cu-Pb que inicialmente deberá mantenerse en niveles de 0.060 lbs/TCS, y luego optimizar la adición de complejo, reduciéndolo gradualmente.

### 2.3. Desarrollo de modelos.

Tomando las condiciones operativas en conjunto, se determinaron las funciones que explican las variaciones en selectividades Ag/Zn y Ag/Fe en flotación rougher bulk Cu-Pb. Estas funciones se presentan a continuación:

Selectividad Ag/Zn (%) =  $Y_{Ag/Zn}$

$$Y_{Ag/Zn} = 429.5 - 88.71 \cdot X_1 + 5.41 \cdot (X_1)^2 + 34.2 \cdot X_2 - 41.38 \cdot (X_2)^2 + 905.8 \cdot X_3 - 95.98 \cdot X_1 \cdot X_3$$

COR=0.867

Selectividad Ag/Fe (%) =  $Y_{Ag/Fe}$

$$Y_{Ag/Fe} = 60.6 - 15.37 \cdot X_1 + 1.68 \cdot (X_1)^2 + 189.85 \cdot X_2 - 11.65 \cdot X_1 \cdot X_2 - 86.78 \cdot (X_2)^2 + 4.06 \cdot X_3$$

COR=0.956

En las que:

X1= pH en alimento a flotación rougher bulk Cu-Pb.

X2= Dosificación de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en lbs /TCS a molienda primaria.

X3= Dosificación de Z-11 en lbs/TCS en cabeza de flotación bulk Cu-Pb.

Estas funciones simplificadas para dosificación de 0.060 lbs de Z-11/TCS (X3) se presentan a continuación:

$$Y_{Ag/Zn} = 483.85 - 94.47 \cdot X_1 + 5.41 \cdot (X_1)^2 + 34.3 \cdot X_2 - 41.38 \cdot (X_2)^2$$

$$Y_{Ag/Fe} = 60.84 - 15.37 \cdot X_1 + 1.68 \cdot (X_1)^2 + 189.85 \cdot X_2 - 86.78 \cdot (X_2)^2 - 11.65 \cdot X_1 \cdot X_2$$

En las que:

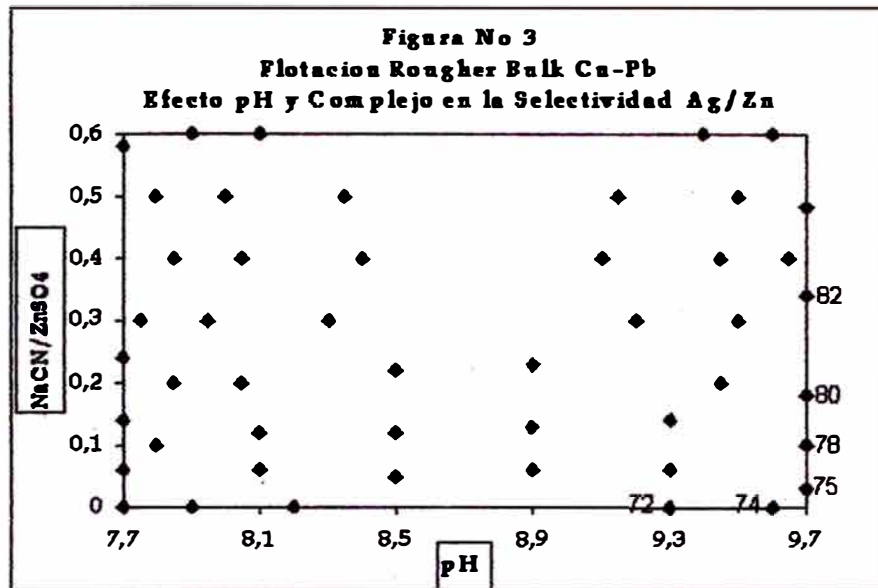
$Y_{Ag/Zn}$  = Selectividad Ag/Zn(%) en flotación rougher bulk Cu-Pb.

$Y_{Ag/Fe}$  = Selectividad Ag/Fe(%) en flotación rougher bulk Cu-Pb.

X1= pH en alimento a flotación rougher bulk Cu-Pb.

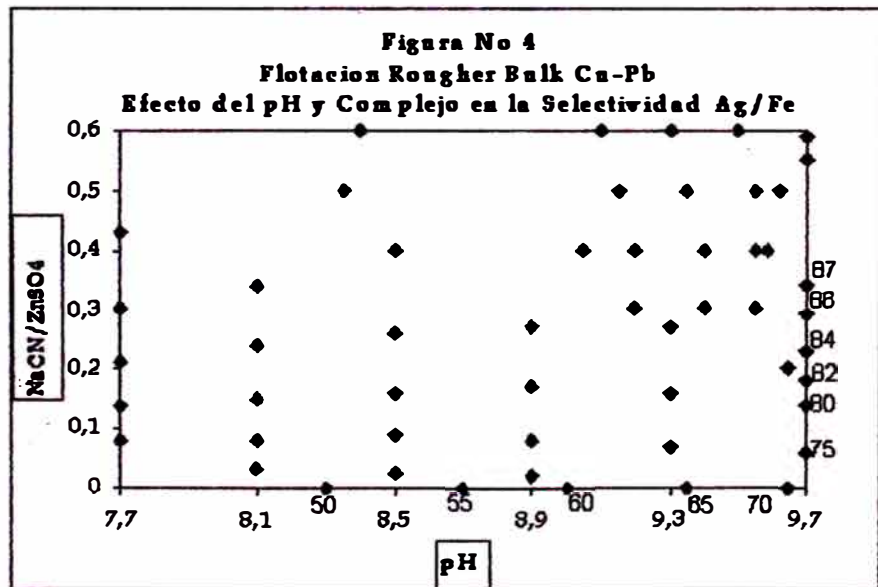
X2= NaCN/ZnSO<sub>4</sub> (lbs/TCS) adicionadas en molienda.

Estas funciones simplificadas se presentan gráficamente en las figuras N<sup>os</sup> 3 y 4



para el rango de pH entre 7.70 y 9.70 y de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> entre 0 y 0.600 lbs/TCS.

Confirmando que los mejores resultados de flotación rougher bulk se obtienen

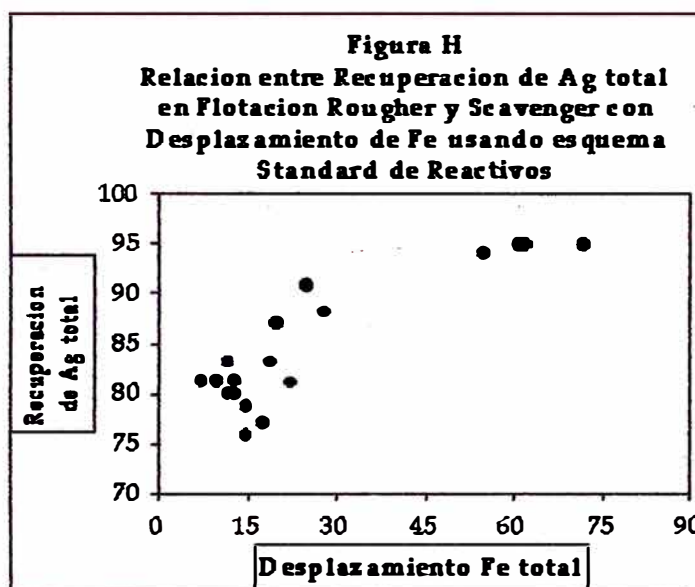


en pH 9.10 mínimo, siendo conveniente alcanzar pH's de 9.50 para aproximarnos al óptimo. A estas condiciones se maximizan ambas selectividades.

También se aprecia que la selectividad Ag/Zn puede maximizarse en el rango bajo de pH, próximos al natural, pero afectando significativamente la selectividad Ag/Fe por notable incremento del desplazamiento de minerales de Fe. Es decir que esta condición sería adecuada para un circuito integrado de

recuperación de Au de los relaves de limpieza del concentrado rougher bulk Cu-Pb, análisis complementarios de Au se deberían realizar en las muestras para confirmación. Para nuestra operación actual de flotación selectiva directa, mucho más conveniente resulta utilizar pH's en el rango más alcalino para remover eficientemente la pirita estéril o de muy bajo contenido de minerales de Ag. Esto se aprecia en la figura H en la que se muestra la recuperación de Ag en el concentrado rougher y scavenger Cu-Pb en función del desplazamiento de Fe, indicando que recuperaciones de Ag entre 84% y 91% podrán obtenerse con desplazamiento moderados de Fe.

Mayores recuperaciones solas se obtienen con notables incrementos en el



desplazamiento de Fe. Para maximizar la transferencia de Ag al concentrado final de Cu-Pb será necesario optimizar el recurso que representa el circuito de remolienda que disponemos: molino 6' x 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub>', debiéndose ajustar las dosificaciones de Z-11 y NaCN/ZnSO<sub>4</sub> para asegurar la recirculación de partículas no liberadas a dicho circuito.

Pruebas complementarias de flotación bulk Cu-Pb serán realizadas para precisar posibilidades de operar a pH más bajos con otros depresores: NaHSO<sub>3</sub> y thiosulfatos entre otros. También se realizarán pruebas cerradas para ajustar condiciones de operación en planta.

#### 2.4. Conclusiones y recomendaciones.

La evaluación de condiciones y resultados se presentan en el resumen adjunto ofreciéndose conclusiones y recomendaciones para optimizar resultados en flotación Cu-Pb, especialmente sobre la recuperación de Ag, que aún es deficitaria en la operación industrial. Las principales conclusiones y recomendaciones se sumarían a continuación:

*Para optimizar la flotación bulk Cu-Pb de los minerales de Quiruvilca actualmente tratados en la Concentradora de Shorey es condición fundamental aumentar el pH de flotación a valores sobre 9.10, siendo preferible operar con pH 9.50. En esta zona se maximizan tanto la selectividad Ag/Zn como la Ag/Fe, que a su vez indican mejores recuperaciones y leyes de los metales de interés: Cu, Pb y Ag, reduciendo los desplazamientos de Fe y Zn para su subsecuente recuperación.*

*La adición de colector Z-11, apropiada en laboratorio para la etapa rougher Cu-Pb, fue de 0.060 lbs/TCS. En la operación industrial se varía entre 0.200 a 0.090 lbs/TCS, recomendándose mantenerla en el nivel inferior y optimizar primero la dosificación de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> para luego ir ajustando y optimizando gradualmente la del colector Z-11. Es preferible que las dosificaciones menores sean aplicadas preferentemente en la flotación scavenger para promover trasferencia de las partículas asociadas al circuito de remolienda.*

*El consumo de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> es dependiente de la adición de Z-11, aumentando en la medida que se aumente al Z-11. Efectos de primer y segundo orden fueron determinados y para consumos de 0.060 lbs de Z-11/TCS, la óptima adición de complejo para pruebas abiertas en laboratorio se determinó en 0.30 a 0.40 lbs/TCS. Debe destacarse que los minerales de Ag, tratados en la actualidad son sumamente sensibles a depresión por sobredosis de este reactivo recomendándose mantener la tendencia a reducir su dosificación a niveles más bajos que los anteriores.*

En operación industrial el consumo de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> es de aproximadamente 0.200 lbs/TCS, menor por su recirculación en los relaves de limpieza del concentrado bulk Cu-Pb así como recirculación de aguas recuperadas de los

espesadores de concentrados de cobre y de plomo y del de pre-concentrados de cobre. Los resultados de las pruebas realizadas en planta con niveles de Z-11 en el rango de 0.288 a 0.129 a pH's de 9.10 a 9.00 indican necesario reducir complementariamente las dosificaciones de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en las etapas de flotación total, recomendándose hacerlo gradualmente (de 10 en 10% por operación) y coordinado con los supervisores de la operación. En caso de requerir mayores dosificaciones del complejo y para optimizar la calidad de los concentrados finales de cobre y de plomo así como para mantener la carga circulante al circuito de retratamiento de pre-concentrados de cobre en límites razonables, su dosificación deberá variarse preferentemente en la etapa de limpieza del bulk Cu-Pb de la planta principal.

*Optimizar la flotación de valores en la etapa scavenger Cu-Pb y maximizar el uso del circuito de remolienda del molino 6' x 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub>' son tareas importantes que debemos realizar paralelamente, debiéndose de mantener la adición de Z-11 en el rebose del ciclón de remolienda y evaluar dosificaciones complementarias de reactivos e inclusive reajuste del pH.*

Debe remarcarse nuevamente que la recuperación de Pb fue virtualmente constante en todo el rango de trabajo, manteniéndose siempre sobre 90%, situación que difiere de los resultados observados en planta, donde mayores pérdidas de Ag van acompañadas de mayores pérdidas de Pb.

Aunque existen varias probables causas, una que comúnmente se presenta es por alta dilución con agua adicionada en canaletas del circuito de limpieza, recomendándose revisar los puntos de adición de agua y reducirla al mínimo posible. Se ha comprobado mayor grado de oxidación de los minerales de plomo en los minerales tratados por su alta solubilidad en salmuera acidificada, lo cual los hace más sensibles a perder su carga de colector por dilución, razón por la que mejores recuperaciones de Pb serán obtenidas reduciéndola al mínimo posible.

Pruebas de laboratorio tanto abiertas como cíclicas cerradas se deberían realizar, ampliando el rango de pH de flotación Cu-Pb al lado alcalino donde los modelos desarrollados proyectan mejores resultados aún.



Las pruebas abiertas cubrirán detenidamente los rangos de pH y de adición de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> y Z-11, ampliando el rango de pH desde 9.70 a 10.00.

Uso de depresores no convencionales como NaHSO<sub>3</sub> y FeSO<sub>4</sub> (usados solo uno en flotación de cobre) será nuevamente revisado junto con aereación en el acondicionamiento cuyos resultados son superiores a los obtenidos con el procedimiento convencional.

Con este tipo de experimentación se deberá evaluar la limpieza de concentrados rougher producidos a óptimas condiciones, estudiándose el efecto de dilución y otros con relación a la producción de intermedios, sobre todo en lo que respecta a la transferencia de Pb a relaves intermedios.

## CAPITULO III

### 3.0. EFECTO DEL DEPRESOR NaCN/ZnSO<sub>4</sub>.

#### 3.1. Generalidades.

Se empezó a evaluar el progreso de la variación de condiciones sobre los resultados de flotación rougher bulk Cu-Pb utilizando el esquema standard de reactivos con modificaciones para adecuarnos a la calidad del mineral tratado.

Para este fin se utilizó información de condiciones y resultados reportados en los informes por guardia para el inicio de pruebas.

El procedimiento de análisis fue por el método de regresión múltiple considerando el software de aplicación estadística y teniendo en cuenta que por disponer de doce observaciones fue ampliado el número de variables estudiadas. Los resultados indican lo siguiente:

Los rangos de condiciones operativas se incrementaron según se indica a continuación:

Reactivo	Punto de Adición	Dosif. *M in.	Dosif*. Max.
Z-11	Molienda y Flotación Rougher	0.069	0.206
	Flotación Scavenger	0.024	0.094
NaCN/ZnSO <sub>4</sub>	Molienda	0.103	0.233
	Limpieza Bulk	0.058	0.093
pH	Alimento Rougher Cu-Pb	8.8	9.4

(\* ) = lbs/TCS

#### 3.2. Efecto de la adición del complejo en forma total.

Las dosificaciones de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en molienda variaron entre 0.102 y 0.106 lbs/TCS el último día incluso de las evaluaciones, mientras que su adición en limpieza bulk varió entre 0.047 a 0.083 lbs/TCS. El pH en flotación rougher bulk Cu-Pb fue aumentado a 9.2.

Los resultados mostraron tendencia a reducir las pérdidas de Ag en relaves pero con cierta inconsistencia debido a relaves de plata con variaciones de 50% entre uno y otro.

*Las variables de mayor efecto sobre las pérdidas de Ag en el relave continuaron siendo la ley de cabeza de Ag y la adición de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> total; vistos en el capítulo I y II que a su vez, según la función que se muestra a continuación:*

$$Y1 = -0.133 + 0.158*X1 + 2.76*X2 \quad (1)$$

**COR=0.827**

**Y1= Pérdidas de Ag en el relave**

**X1= Variación de la ley de Ag en cabeza.**

**X2= Dosificación de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> (lbs/TCS) en molienda y limpieza bulk.**

Confirmando la correlación determinada en la ecuación (1), excepto que el coeficiente o efecto de ley de cabeza aumenta en  $\pm 58\%$ , pero el término independiente toma un valor negativo.

La adición total de complejo (en molinos y limpieza bulk) también mantuvo efecto directo y de primer orden sobre el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc tal como se muestra a continuación:

$$Y2 = -5.45 + 79.20*X2 \quad (2)$$

**COR=0.723**

**Y2= Desplazamiento de Ag al concentrado de zinc**

**X2 = Dosificación de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> (lbs/TCS) en molienda y limpieza bulk.**

La función se mantiene muy similar a la del estudio previo en la ecuación (1) y el coeficiente de correlación es menor por ampliación de los rangos de las condiciones operativas y por errores normales de medición pero sin afectar su validez estadística.

### **3.3. Efecto de la adición del complejo por separado.**

Ambos modelos asignados como (1) y (2) confirma que existe exceso en la adición total de complejo. Como este reactivo se adiciona en dos puntos del circuito principal, y por existir suficiente número de datos se evaluaron independientes ambas dosificaciones: X3 en molienda y X4 en limpieza. La función resultante fue la siguiente:

$$Y1 = -0.650 + 0.184*X1 + 1.647*X3 + 9.59*X4 \quad (3)$$

**COR=0.838**

**X1= Variación de la ley de Ag en cabeza.**

X3= Dosificación de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> a los molinos primarios en lbs/TCS.

X4= Dosificación de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> a la etapa de limpieza del concentrado bulk Cu-Pb en lbs/TCS.

Esta es ligeramente de mayor significado estadístico que la desarrollada con el consumo total de complejo (X2) e indica que mejoras significativas adicionales en la recuperación de Ag se lograrán reduciendo el uso de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en limpieza rougher bulk Cu-Pb. En este punto su poder depresor sobre los minerales de Ag es 5.82 veces mayor que cuando se emplea en molienda.

La dosificación de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en molienda (X5) reportó el siguiente efecto sobre las pérdidas de Ag (Y1) en relave final:

$$Y1 = 0.136 + 0.152*X1 + 2.61*X5 \quad (4)$$

COR=0.800

Sobre el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc (Y2), continuó mostrando efecto similar al observado inicialmente, tal como se muestra a continuación:

$$Y2 = -0.35 + 74.28*X5 \quad (5)$$

COR = 0.659

Los resultados anteriores indican que puede ser factible reducir las pérdidas de Ag en relaves, reduciendo la dosificación de NaCN/ZnSO<sub>4</sub>, en molienda de 0.090 a 0.080 lbs/TCS y en limpieza bulk de 0.050 a 0.040 lbs/TCS correspondiente desde ± 50% hasta un 59%.

#### 3.4. Influencia del pH para la adición del complejo.

Los efectos de ley de Ag en cabeza (X1) y de pH (X6) se mantuvieron similares a las demás incógnitas de las funciones anteriores y las funciones actualizadas fueron las siguientes:

$$Y1 = -4.54 + 0.158*X1 + 0.553*X6 \quad (6)$$

COR=0.804

$$Y2 = -133.13 + 15.84*X6 \quad (7)$$

COR=0.669

Como se podrá observar, el valor absoluto del efecto de pH se reduce respecto a las observaciones iniciales para Y1/0.762 y para Y2/19.107 en 27.5 y 17.1%

respectivamente y los coeficientes de correlación son menores que los obtenidos cuando se incorpora la adición de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en la función de variación de pérdidas de Ag en relaves (Y1) y su desplazamiento a los concentrados de zinc (Y2).

Por lo tanto además de las modificaciones en las dosificaciones de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> indicadas, se solicita operar con pH's de 9.3 a 9.4 en la flotación rougher bulk Cu-Pb, para definir el mismo nivel de adición de complejo requerido en este nivel.

### **3.5. Consideraciones Finales.**

Finalmente se debe comentar que a pesar del amplio rango de uso del Z-11 para las etapas rougher 0.206 a 0.069 lbs/TCS y scavenger 0.094 a 0.024 lbs/TCS, su efecto no es aún apreciable. Razón por la que una vez alcanzado el nivel óptimo de adición de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> se deberá proceder con la optimización de esta variable. Dosificaciones de 0.120 lbs/TCS en molienda-rougher y 0.060 lbs/TCS en scavenger podrán mantenerse, salvo el caso que se observaran variaciones notables en leyes de cabeza, que se está tornando común en nuestras operaciones.

Proximidad al nivel óptimo de dosificación de complejo se observará cuando comience a incrementar el desplazamiento de minerales de Zn al concentrado bulk Cu-Pb, alimentado a separación Cu-Pb en la planta principal. En dicho momento evaluar progresivamente menores dosificaciones de Z-11.

## CAPITULO IV

### 4.0. DOSIFICACIONES NORMALES CONSIDERANDO LA DENSIDAD DE PULPA COMO VARIABLE DE ESTUDIO.

#### 4.1. Consideraciones iniciales.

Con relación al progreso del trabajo de optimización de condiciones para flotación bulk Cu-Pb, reportado en el presente capítulo, es necesario ampliarlo con respecto al capítulo anterior e incorporar otra variable que tendría efecto significativo y consistente sobre las pérdidas de Ag en relaves y en el concentrado de Zn; esta es la densidad de pulpa del alimento a flotación rougher bulk Cu-Pb, la cual por influir sobre la concentración de NaCN libre y por su efecto sobre liberación de los minerales de Cu-Pb y sobre los portadores de Ag, reporta efecto remarcable que se adiciona en el modelo como en el caso de la función (1) del capítulo anterior.

El procedimiento de evaluación fue similar al normalmente aplicado para estos casos, incluyendo variables adicionales por el mayor número de observaciones disponibles. Los resultados del análisis de condiciones se explicaran progresivamente dependiendo de cada variable de la cual encontramos:

#### 4.2. Efecto de la densidad de pulpa.

Incorporando la densidad de pulpa en el alimento a flotación bulk Cu-Pb (X7) a los datos utilizados para elaborar las funciones desarrolladas en la función (1), la función que mejor explica las pérdidas de Ag en relaves finales (Y1) se convierte en la siguiente:

$$Y1 = -19.34 + 0.188*X1 + 3.17*X3 + 10.12*X4 + 0.0139*X7 \quad (8)$$

$$COR=0.942$$

En la que:

X1 = Variación de la ley de Ag en cabeza.

X3 = Dosificación del complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> a los molinos primarios en lbs/TCS.

X4 = Dosificación del complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en la etapa de limpieza del concentrado rougher bulk Cu-Pb en lbs/TCS.

X7 = Densidad de pulpa en el alimento a flotación rougher Cu-Pb en gr/lt.

Esta función es de mayor significado estadístico que las presentadas en el capítulo anterior, y confirma las conclusiones anteriores, reforzándolas por el hecho de que menores densidades de pulpa son beneficiosas en reducir las pérdidas de Ag en relaves por la mayor liberación que se logra, así como por reducir la concentración de NaCN libre (proporción en peso del complejo) en flotación bulk Cu-Pb que aún es excesiva. Las pruebas en planta deberán tener como objetivo trabajar en la densidad de pulpa más baja posible: 1,315 a 1,317 gr/lt e intentar aún niveles más bajos sin afectar la capacidad de tratamiento.

### 4.3. Efecto del pH.

Los rangos de las condiciones empleadas en las pruebas: P1, P2 y P3 en la operación fueron las siguientes:

Reactivo	Punto de Adición	Dosificación*		
		P1	P2	P3
Z-11	Molienda y Flotación Rougher	0.202	0.145	0.174
	Flotación Scavenger	0.096	0.056	0.061
NaCN/ZnSO <sub>4</sub>	Molienda	0.097	0.094	0.088
	Limpieza Bulk	0.056	0.068	0.069
	Total	0.153	0.162	0.157
PH	Alimento Rougher Cu-Pb	9.4	9.3	9.1
Densidad de Pulpa	Alimento Rougher Cu-Pb	1,330	1,325	1,317

(\* ) = lbs/TCS

Los resultados obtenidos se sumarían a continuación:

Punto de muestreo	Ensaye de Ag oz/TCS		
	P1	P2	P3
En relaves finales	2.05	1.75	1.19
En concentrado Zinc	10.08	9.40	7.27
En cabeza	7.60	7.55	7.00

Los resultados indican que los niveles de adición de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> alcanzados son adecuados para operar con pH's de 9.1, aunque todavía con ligero exceso de

complejo por el relativamente alto desplazamiento de Ag reportado al concentrado de zinc.

Para pH's 9.4, los niveles utilizados de complejo exceden en 27.5% lo requerido para minimizar las pérdidas de Ag en relaves. Esto se observa claramente en la alta recirculación de Ag y minerales de cobre que son sus principales portadores en los relaves del circuito de retratamiento. Si comparamos estos resultados con los desplazamientos de Ag a los concentrados de zinc obtenidos al principio del trabajo (parámetros anormales de operación) en el que se emplearon 0.233 y 0.093 lbs/TCS de complejo en molienda y limpieza bulk respectivamente, se concluye que el mineral responde respectivamente al haberse reducido en 44.0% dicho desplazamiento; valores que varían entre 4 y 5%, pero resultado aún alto para minimizar las pérdidas de Ag en relaves, tal como se analizara más adelante.

#### 4.4. Efecto del complejo NaCN / ZnSO<sub>4</sub> total.

La mejor función de correlación que explica las pérdidas de Ag en relaves (Y1) se presenta a continuación:

$$Y1 = -18.07 + 0.171*X1 - 17.59*X2 + 2.13*X2*X6 + 0.136*X7 \quad (9)$$

COR=0.838

Por otro lado la función que mejor explica las variaciones en el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc (Y2) es la siguiente:

$$Y2 = -182.88 + 0.463*X1 - 286.5*X2 + 37.27*X2*X6 + 0.135*X7 \quad (10)$$

COR=0.876

En la que:

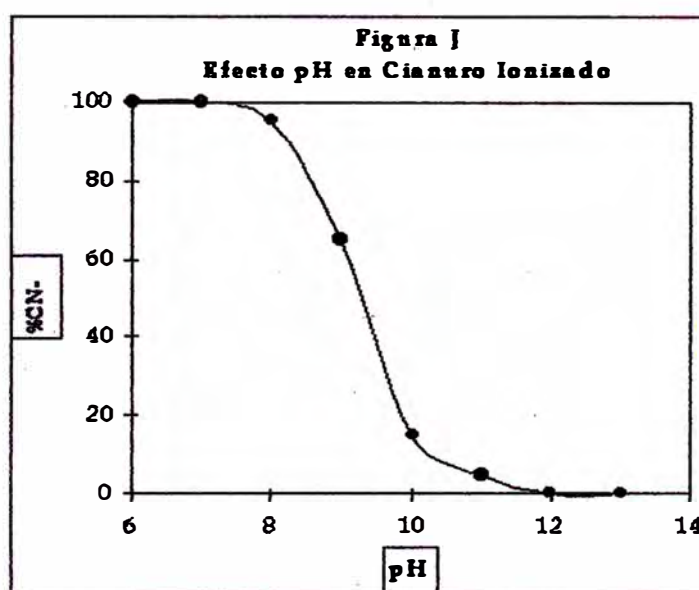
X2= Adición de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> total en lbs/TCS y es igual a X3+X4 según las definiciones de la función (8). El resto de variables son idénticas a la función (8) anterior.

Estas funciones son algo más complejas que las iniciales, sin embargo son lógicas y concordantes con los principios que gobiernan la flotación de Ag de los minerales actualmente tratados y nos permiten proyectar consumos de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> para minimizar las pérdidas de Ag en relaves así como reducir su desplazamiento al concentrado de zinc con diferentes pH's.



Asumiendo que el resto de condiciones se mantienen constantes a los de la prueba 3 (P3), y que para reducir las pérdidas de Ag en relaves utilizando un pH de 9.10 es suficiente usar 0.155 lbs de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> total por TCS de mineral tratado, para mantener el mismo nivel de pérdidas de Ag con pH 9.40 será necesario reducir la adición total de complejo a 0.115 lbs/TCS; esto se obtiene reemplazando valores en la función (9), siendo necesario hacerlo en los términos que incluyen la interacción pH y adición de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> (X6 y X2) así como X2 únicamente.

Luego si consideramos que la descomposición de NaCN a la forma menos



efectiva: HCN, en función del pH, es según se muestra en la figura J adjunta, a pH 9.10 solo nos quedará 40% del NaCN total adicionado como efectivo mientras que a pH 9.40 será 60%, es decir que para tener depresión equivalente será necesario reducir el consumo de complejo en 50% (0.078 lbs/TCS), cifra que estaría en el rango bajo debido a que el HCN siempre ejerce acción depresora, pero menos intensa. Por ser el pH 9.40 más efectivo para flotación de los minerales de Cu-Ag, por los trabajos de laboratorio, se deberán realizar pruebas coordinadas en planta variando la dosificación total de complejo en el rango de 0.115 a 0.075 lbs/TCS y manteniendo el pH constante.

La proporción de adición de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en molienda deberá mantenerse en los niveles actuales: 56.0% respecto al total usado, con gradual tendencia a

reducirlo complementariamente en limpieza en función a la calidad de los concentrados producidos.

#### **4.5. Consideraciones finales.**

*Para reducir el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc a niveles similares al obtenido con pH 9.10 con nivel de adición total de complejo de 0.155 lbs/TCS se realiza cálculo similar con la función (10), resultando que con pH 9.40 será necesario reducir la dosificación de complejo a 0.126 lbs/TCS, cifra que en orden de magnitud es similar a la anterior.*

*En cuanto a la densidad de pulpa en el alimento a flotación rougher bulk (X7), que es también de importante impacto sobre la metalurgia de Cu-Pb, se solicita mantenerla en 1,315 a 1,317 gr/lit y evaluar reducirla a niveles inferiores sin afectar la capacidad de tratamiento. Es muy probable que una vez que logremos optimizar la dosificación de complejo reduciéndola en función al mayor pH empleado, esta variable deje de tener marcado efecto que se observa por el exceso de complejo que aún se usa.*

*La adición de Z-11, a pesar del amplio rango de variación en operación industrial, se mantiene sin mostrar efecto significativo alguno, por lo que una vez alcanzado el nivel óptimo de adición de complejo a pH 9.4 deberá evaluarse reducción gradual y en función de las variaciones en leyes de cabeza.*

*Es importante remarcar que las pérdidas de Ag en relaves están íntimamente asociadas a minerales de Cu en primer término y a los de Pb complementariamente, según se indica a continuación:*

$$Y1 = -0.010 + 21.88 * \text{Cu}(\% \text{ en relaves}) + 3.10 * \text{Pb}(\% \text{ en relaves}) \quad (11)$$

**COR=0.960**

La sensibilidad de los minerales de Ag a exceso de NaCN es importante, y precisar el nivel mínimo de adición de complejo a pH mas altos que los que estamos usando actualmente es urgente, solicitándose proceder en forma concordada y organizando el trabajo con los supervisores de la operación en planta, con los que adecuadamente se reducirá el trabajo experimental en planta al mínimo.

Existe otra consideración importante para actuar aceleradamente sobre estas variables, ésta es la alta disolución de Pb apreciable en los reboses de los espesadores de concentrados de cobre y plomo como en el de pre-concentrados. Disolución es sinónimo de depresión metalúrgicamente hablando y que podrá reducirse en niveles muchos mas bajos de adición de  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$ .

## CAPITULO V

### 5.0. DOSIFICACIONES ANORMALES CONSIDERANDO AL pH DE FLOTACION COMO VARIABLE DE EMPUJE.

#### 5.1. Consideraciones iniciales.

Las condiciones aplicadas en flotación rougher bulk Cu-Pb se apartan de las razonablemente deducibles del trabajo que veníamos realizando por probable variación en las características de los minerales tratados. Por este motivo, las condiciones y resultados metalúrgicos se analizan independiente de los anteriores.

Las condiciones empleadas para las pruebas fueron las siguientes en lbs/TCS:

Reactivo	Punto de Adición	P4	P5	P6
Z-11	Molienda y Flotación Rougher	0.191	0.142	0.158
	Flotación Scavenger	0.098	0.058	0.059
NaCN/ZnSO <sub>4</sub>	Molienda	0.100	0.092	0.232
	Limpieza Bulk	0.064	0.054	0.079
	Total	0.164	0.146	0.311
pH	Alimento Rougher Cu-Pb	8.8	8.9	9.07
Densidad de Pulpa	Alimento Rougher Cu-Pb	1,330	1,315	1,310

Sus principales resultados para Ag se muestran a continuación en oz/TCS:

Punto de muestreo	P4	P5	P6
En relaves finales	1.35	1.65	1.07
En concentrado Zinc	10.09	11.51	6.42
En cabeza	7.87	6.22	5.96

Las condiciones empleadas para las pruebas fueron las siguientes en lbs/TCS:

Reactivo	Punto de Adición	P7	P8	P9
Z-11	Molienda y Flotación Rougher	0.151	0.225	0.190
	Flotación Scavenger	0.060	0.068	0.096
NaCN/ZnSO <sub>4</sub>	Molienda	0.135	0.212	0.161
	Limpieza Bulk	0.066	0.095	0.085
	Total	0.201	0.307	0.246
pH	Alimento Rougher Cu-Pb	8.8	9.0	8.50
Densidad de Pulpa	Alimento Rougher Cu-Pb	1,320	1,317	1,323

Sus principales resultados para Ag se muestran a continuación en oz/TCS:

Punto de muestreo	P7	P8	P9
En relaves finales	1.27	0.98	1.55
En concentrado Zinc	14.95	12.35	17.54
En cabeza	6.37	6.12	6.61

La variación de pérdidas de Ag en relaves es explicada por la siguiente función:

$$Y1 = 6.25 - 2.74 \cdot X3 - 0.51 \cdot X6 \quad (12)$$

COR=0.725

Incorporando los datos de la densidad de pulpa en el alimento a flotación rougher bulk Cu-Pb (X7: gr/lt), esta función se convierte en la siguiente:

$$Y1 = 43.90 - 3.89 \cdot X3 - 0.942 \cdot X6 - 0.025 \cdot X7 \quad (13)$$

COR=0.904

El comportamiento expresado por la función difiere notablemente con la de los minerales tratados en los capítulos anteriores.

## 5.2. Efecto de las variables para este caso.

*Las pérdidas de Ag en relaves serían reducidas por mayor adición de complejo (X3) a los molinos, teniendo en cuenta la indiferencia del pH (X6) lo cual solo sería factible en minerales fuertemente activados por la presencia de mayor volumen de sales solubles o de minerales oxidados solubles en cianuro, lo cual se observó en las muestras de cabezas y relaves para el presente consumo de reactivos, en que el contenido de Pb en forma oxidada alcanzo a 40% del contenido total de Pb en relaves. Parte del mayor consumo de complejo podría*

*haber sido causado por menor recirculación de aguas recuperadas de los overflow especialmente de los espesadores de concentrados.*

*El pH (X6) confirma efecto favorable en mayores niveles sobre la metalurgia de Cu-Pb, es decir que las pérdidas de Ag serán menores en la medida que el pH se incremente, conclusión que es consistente con resultados de evaluaciones previas.*

*La densidad de pulpa (X7) reportó efecto favorable en mayores niveles indicando que mayores densidades de pulpa habrían reducido también las pérdidas de Ag en relaves, pero asumiendo que es una densidad de partículas finas hasta un máximo de 1,400 gr/lit característica opuesta a la de los minerales tratados en el período inicial. Estos resultados se contradicen con el alto, por no decir incongruentes, desplazamientos de Ag obtenido en los concentrados de zinc (Y2), la cual está expresada por la siguiente correlación:*

$$Y2 = -1087.3 - 8.45*X6 - 9.32*X1 + 0.936*X7 \quad (14)$$

**COR=0.979**

Que muestra precisamente efecto contrario de la densidad de pulpa. También si consideramos que los minerales tratados fueron activados por oxidación, sales solubles y/o presencia de reactivos en derrames recuperados es razonable el mayor consumo de NaCN/ZnSO<sub>4</sub>; pero acompañada de aumento en la dosificación de Z-11 es remarcable, por lo tanto se recomienda revisar la consistencia de la información reportada en los informes de consumos diarios de reactivos. Debe indicarse que el efecto de pH es la única condición operativa que mantuvo efecto consistente, reiterando conveniencia de operar a pH's no menores de 9.0 en flotación rougher bulk Cu-Pb.

### **5.3. Consideraciones finales.**

Especial mención merece las condiciones usadas en la prueba 9 (P9), esta utilizo pH de 8.5 en flotación bulk Cu-Pb, aplicando mayores cantidades de colector y virtualmente duplicando el consumo de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> práctica que se dio en la prueba 6 (P6), pero produciendo bajas recuperaciones de Ag por alto desplazamiento al concentrado de zinc y al relave final. Mejores recuperaciones

**de Ag pueden lograrse a este pH, incrementando adicionalmente la dosificación de colector, reduciendo los débiles márgenes económicos de nuestras operaciones.**

## CAPITULO VI

### 6.0. MODELO CONSIDERANDO DEPRESOR EN MOLIENDA Y pH EN FLOTACION ROUGHER INVESTIGANDO COMO VARIABLE Z-11 EN EL SCAVENGER.

#### 6.1. Consideraciones iniciales.

Las condiciones de operación en flotación bulk Cu-Pb y sus efectos sobre pérdidas de Ag en relaves, así como sobre su desplazamiento al concentrado de zinc, continuaron en evaluación, utilizando el procedimiento de regresión múltiple.

Los resultados se presentan adjunto y las condiciones más adecuadas para optimizar la recuperación de Ag en flotación Cu-Pb se suman a continuación:

Reactivo	Punto de Adición	Mínimo *	Máximo *
Z-11	Molienda y Flotación Rougher	0.250	0.340
	Flotación Scavenger	0.040	0.070
NaCN/ZnSO <sub>4</sub>	Molienda	0.090	0.100
	Limpieza Bulk	0.040	0.070
	Total	0.150	0.180
pH	Alimento Rougher Cu-Pb	9.5	9.5
Densidad de Pulpa	Alimento Rougher Cu-Pb	1,305	1,310

(\*) = lbs/TCS

Aunque la principal variable que gobierna la recuperación de Ag en flotación bulk continua siendo la ley de cabeza de Ag, existe variables bajo control directo de la supervisión de planta las cuales tienen efecto significativo y se comentan a continuación.

De particular importancia sobre la metalurgia de Ag es reducir la densidad de pulpa del alimento a flotación rougher Cu-Pb. Esfuerzos deberán dirigirse para mantenerla en valores de 1,305 a 1,310 gr/lt. Como objetivo fundamental se deberá tener que reducir la densidad de pulpa a valores menores aún en lo posible sin afectar la capacidad de molienda.



Los problemas analíticos detectados en el laboratorio de Shorey que generaron subestimación de las leyes de Ag generalmente en cabeza serán estudiados mas adelante pero para este capitulo no se considerara y los reajustes requeridos en las balanzas de control del tonelaje tratado han interferido con los valores absolutos de los efectos de las variables operativas determinados en el presente trabajo, sin embargo las tendencias se mantienen y consecuentemente las recomendaciones ofrecidas son consistentes y confiables para la toma de decisiones.

#### **6.2. Con respecto al efecto del colector Z-11.**

La adición total de Z-11 en la etapa bulk Cu-Pb se mantiene en niveles promedio de 0.340 a 0.380 lbs/TCS, mientras el rango de uso del colector en flotación scavenger varia de operación en operación entre 0.050 a 0.150 lbs/TCS que porcentualmente es muy amplio. Por otro lado se ha determinado efecto negativo de la adición de Z-11 en este último punto sobre recuperación de Ag, siendo en consecuencia conveniente mantenerlo en el nivel mas bajo posible. La cantidad reducida en este punto de adición debe ser reemplazada con adición equivalente en la etapa de molienda de acuerdo a la demanda del mineral por las ventajas indicadas en los modelos desarrollados.

Es decir que la adición de Z-11 en molienda es más efectiva y algo menos en flotación rougher bulk, mientras que en flotación scavenger reporta efecto negativo.

#### **6.3. Con respecto al efecto del depresor $\text{NaCN} / \text{ZnSO}_4$ .**

En cuanto al uso de complejo  $\text{NaCN} / \text{ZnSO}_4$ , también se observa alguna tendencia a emplear dosificaciones superiores a 0.100 lbs/TCS en molienda, siendo más conveniente mantener la adición de complejo en este punto en el rango de 0.090 a 0.100 lbs/TCS. En el caso que por razones de calidad del concentrado bulk Cu-Pb sea necesario intensificar la depresión esto podrá lograrse incrementando la adición de complejo en la limpieza del concentrado bulk únicamente, debido a que el efecto en este punto es favorable sobre la recuperación de Ag con pH de 9.50 aplicado en flotación rougher.

#### **6.4. Modelos considerando colector en el scavenger.**

Las condiciones y resultados obtenidos durante el proceso de optimización de flotación rougher bulk Cu-Pb continuaron siendo evaluados utilizando el procedimiento de múltiple regresión.

Las funciones obtenidas son algo más complejas que las reportadas anteriormente debido a la ampliación del rango de condiciones particularmente por el incremento de la dosificación de Z-11 tanto en la flotación rougher como en la scavenger. Las nuevas funciones o modelos desarrollados para explicar variaciones de la metalurgia de Ag son para determinar las pérdidas de Ag en relaves (Y1 = en oz/TCS) o para su desplazamiento al concentrado de zinc (Y2 = en oz/TCS) se muestran a continuación:

**Función 15: Pérdidas de Ag en Relave Final.**

$$Y1 = -9.26 + 0.134 \cdot X1 - 0.725 \cdot X2 + 0.00779 \cdot X3 + 30.76 \cdot (X4)^2 - 0.619 \cdot X4 \cdot X5 - 0.384 \cdot X5 \cdot X6 + 1.03 \cdot X7$$

**COR= 0.782**

**Función 16: Desplazamiento de Ag al Concentrado de Zinc.**

$$Y2 = -116.69 + 0.292 \cdot X1 + 71.9 \cdot X2 + 0.0886 \cdot X3 + 153.4 \cdot (X4)^2 + 9.70 \cdot X4 \cdot X5 - 612.4 \cdot X2 \cdot X4 - 0.0951 \cdot (X5)^2$$

**COR=0.788**

X1= Ley de Ag en mineral de cabeza en oz/TCS.

X2= Dosificación de Z-11 a los molinos y flotación rougher bulk Cu-Pb en lbs/TCS.

X3= Densidad de pulpa del alimento a flotación rougher bulk Cu-Pb en gr/lt.

X4= Dosificación de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en molienda primaria en lbs/TCS.

X5= pH en alimento a flotación rougher bulk Cu-Pb.

X6= Dosificación de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en la etapa de limpieza del concentrado rougher bulk Cu-Pb, en lbs/TCS.

X7= Dosificación de Z-11 en flotación scavenger Cu-Pb, en lbs/TCS.

#### **6.4.1. Condiciones operativas optimas para este modelo.**

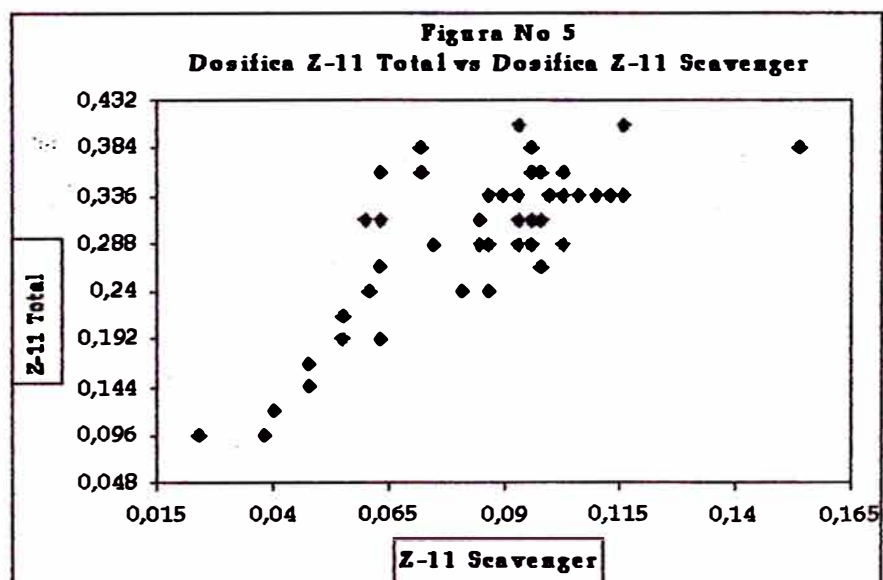
Los rangos de variación de las condiciones de operación utilizadas, en los modelos desarrollados son válidos y se presentan a continuación en lbs/TCS:

Reactivo	Punto de Adición	Mínimo	Máximo	Media
Z-11	Molienda y Flotación Rougher	0.069	0.320	0.217
	Flotación Scavenger	0.023	0.155	0.085
NaCN/ZnSO <sub>4</sub>	Molienda	0.049	0.233	0.122
	Limpieza Bulk	0.045	0.113	0.071
	Total	0.138	0.327	0.193
pH	Alimento Rougher Cu-Pb	8.8	9.7	9.31
Densidad de Pulpa	Alimento Rougher Cu-Pb	1,303	1,350	1,320

La tendencia actual es a estabilizar las condiciones operativas según los niveles que se indican en la tabla anterior alcanzando mejores resultados metalúrgicos especialmente en cuanto a disminuir las pérdidas de Ag en relaves, mejorando su recuperación en los concentrados de cobre y de plomo, disminuyendo su desplazamiento al concentrado de zinc. Sin embargo en datos de operación de la concentradora existen diferencias significativas en las dosificaciones de Z-11, no tanto en la dosificación total pero en la proporción por punto de adición tiene cierta consistencia que se discutirá en el siguiente punto.

#### 6.4.2. Efecto del colector en dos puntos de aplicación.

Esta variación se muestra en la figura N° 5 en la que se presenta la



correlación de adición total Z-11 en la etapa bulk: molienda y flotación rougher (Y), como con la adición de Z-11 en flotación scavenger Cu-Pb (X). En la etapa bulk se aprecia que para una adición total de 0.384 lbs de Z-11/TCS existen

operaciones que emplean 0.150 a 0.060 lbs de Z-11/TCS en la flotación scavenger. Esto significa que con la información derivada es posible determinar el punto de adición de Z-11 más efectivo en flotación Cu-Pb, aunque a simple vista es posible también identificar que mejores resultados metalúrgicos se obtienen con dosificaciones menores en la etapa scavenger a igualdad de adición total de Z-11, es decir que el colector Z-11 es más efectiva cuando se le adiciona en la etapa rougher bulk. Este efecto del colector y depresor se estudia en el presente trabajo utilizando el procedimiento estadístico indicado anteriormente.

#### 6.4.3. Consideraciones con respecto a la cabeza de Ag.

La variación de los principales resultados metalúrgicos se muestra a continuación:

Punto de muestreo	Ensaye Ag: oz/TCS		
	Mínimo	Máximo	Media
En relaves finales	0.90	2.05	1.39
En concentrado de zinc	4.12	17.99	8.71
En cabeza	4.11	10.27	6.96
Recuperación de Ag total	73.42	89.09	81.60

Es importante indicar que por el notable efecto que tiene la ley de cabeza de Ag sobre su comportamiento metalúrgico, al haber existido significativa y consistente subestimación de las leyes de cabeza de Ag en el período de realización de las pruebas para este capítulo, la evaluación del valor absoluto del efecto de esta variable es interferida parcialmente.

Los ensayos complementarios de muestras de la operación así como de los compositos de cabeza en laboratorio independiente y en la evaluación de análisis realizado por asesoramiento de la gerencia de metalurgia, reconfirmaron sistemática subestimación de las leyes de Ag en cabeza por parte del laboratorio analítico de Shorey, que se prolongo hasta finalizar las pruebas correspondientes a este capítulo, corrigiéndose el procedimiento de cálculo a partir del próximo capítulo con la siguiente base de datos e iniciado con el compósito mensual de cabeza en el periodo de las pruebas. Por la naturaleza

del error, del ensaye de Ag en cabeza es posible reconstruir la base de datos, sin embargo para el presente estudio se considera suficiente la información original.

Basado en los resultados obtenidos se ofrecen conclusiones y recomendaciones complementarias las que se describirán de acuerdo a las condiciones iniciales.

### 6.5. Pérdidas de Ag en relaves.

Función 15: Pérdidas de Ag en Relave Final (Y1 en oz/TCS).

$$Y1 = -9.26 + 0.134 \cdot X1 - 0.725 \cdot X2 + 0.00779 \cdot X3 + 30.76 \cdot (X4)^2 - 0.619 \cdot X4 \cdot X5 - 0.384 \cdot X5 \cdot X6 + 1.03 \cdot X7$$

COR= 0.782

El principal parámetro que controla la variación de Ag en relaves finales continúa siendo la ley de Ag en cabeza (X1), obviamente que este elemento es a su vez dependiente de los contenidos de Cu y Pb que son sus principales portadores, e indica que importante mejora en la función podrá obtenerse controlando la dosificación de reactivos con medición de leyes de cabeza. Esta consideración será incorporada posteriormente a los modelos para precisar posibles ventajas que tendría análisis on-stream (en acarreo) por no decir en el lugar del mineral tratado, como por ejemplo cabeza de flotación.

Los parámetros operativos bajo control directo de la supervisión de planta, de mayor influencia en la variación de pérdidas de Ag en relaves son los siguientes:

*Z-11 Adicionado en Molienda y Flotación Rougher Cu-Pb: X2 en lbs/TCS.- El efecto de aumentar la adición de Z-11 específicamente en molienda y flotación rougher es favorable para reducir las pérdidas de Ag en relaves, siendo el valor de su coeficiente de -0.725 es decir que por cada 0.100 lbs de Z-11 se reduce la pérdida de Ag en 0.07 oz/TCS en el relave final.*

Esta variable ha ido aumentando consistentemente desde 0.100 lbs/TCS hasta haber alcanzado a 0.300 lbs/TCS consumo que se considera suficiente por los resultados recientemente obtenidos, mayores niveles de Z-11 demanda aumentar la dosificación de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub>, lo cual ya se aprecia en los

reportes diarios de condiciones, razón por la que se solicita proceder cuidadosamente por que exceso en la dosificación de Z-11 en este punto incrementara costos innecesariamente.

*Densidad de Pulpa en Alimento a Flotación Rougher: X3 en gr/lt.- Este parámetro que desde el inicio del estudio reportó efecto significativo sobre las pérdidas de Ag en relaves mantiene propiedad similar, es decir que las pérdidas de Ag serán menores en la medida que la densidad de pulpa sea menor. El coeficiente de esta variable es +0.00779 y por lo tanto bajar la densidad de pulpa del alimento en 10 gr/lt, equivale a reducir las pérdidas de Ag en 0.078 oz/TCS, equivalente a adicionar 0.100 lbs de Z-11/TCS en molienda/flotación rougher; tomando en cuenta los decimales a la centésima, consecuentemente realizar el esfuerzo de mantener densidades de pulpa < 1,310 gr/lt es objetivo prioritario para maximizar la recuperación de Ag.*

*NaCN/ZnSO<sub>4</sub> Adicionado en Molienda Primaria: X4 en lbs/TCS.- Mantiene tendencia similar a la mostrada anteriormente, con efecto de 2do orden positivo y negativo en interacción con el pH (X5). El nivel óptimo de adición de complejo puede ser determinado derivando la función respecto a la adición de este reactivo y resolviendo la derivada parcial en función de pH, con la que se obtienen los siguientes resultados:*

pH	Optima dosificación NaCN / ZnSO <sub>4</sub> en lbs/TCS
8.8	0.088
9.0	0.090
9.2	0.092
9.4	0.094
9.5	0.096
9.6	0.097

Como se podrá observar, la variación del óptimo nivel de adición es en rango muy estrecho y para propósitos prácticos se puede concluir que la dosificación de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> deberá mantenerse en niveles de 0.095 a 0.100 lbs/TCS en la

etapa de molienda, mayores dosificaciones afectan los resultados metalúrgicos, en especial la recuperación de Ag.

En algunos datos de operación recientes se observa tendencia a incrementar el consumo de este complejo demandando incrementar la dosificación de Z-11 en molienda/flotación rougher. Para contrarrestar esta acción es conveniente modificar la preparación de complejo reduciendo la proporción de NaCN y aumentando la de ZnSO<sub>4</sub> en su preparación.

*NaCN/ZnSO<sub>4</sub> adicionado en Limpieza del Concentrado Bulk Cu-Pb: X6 en lbs/TCS.- La dosificación de complejo en limpieza del concentrado rougher bulk Cu-Pb presenta interacción negativa con el pH (X5), es decir que aumentando el pH y la adición de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> se reducen las pérdidas de Ag en relaves, es decir que cuando se tengan problemas de desplazamiento de Zn y otras impurezas en el concentrado bulk Cu-Pb, resultados favorables se obtendrán aumentando la dosificación de complejo en este punto hasta niveles de 0.105 lbs/TCS. Siendo esta práctica de menor impacto sobre las pérdidas de Ag en relaves que cuando se incrementa su adición en molienda primaria.*

En la actualidad el nivel de adición se mantiene en 0.070 lbs/TCS y solo en casos justificados deberá incrementarse.

*Z-11 Adicionado en Flotación Scavenger: X7 en lbs/TCS.- Reportó efecto positivo de +1.03, indicando que no es conveniente incrementar la adición en este punto, probable causa es que sea debido a disminución del pH y variación del potencial redox promoviendo flotación preferente de impurezas no deseadas que luego ocupan lugar en los circuitos de limpieza, desplazando flotación de valores.*

En consecuencia la adición de Z-11 es efectiva en las etapas anteriores, mientras que en flotación scavenger deberá reducirse al mínimo posible, recomendándose proceder gradualmente.

Simplificando la función (15), es posible reducir el número de variables operativas a dos para interpretación gráfica. Para apreciar los efectos de

complejo y Z-11 adicionado en molienda y flotación rougher se dieron los siguientes valores a las otras variables.

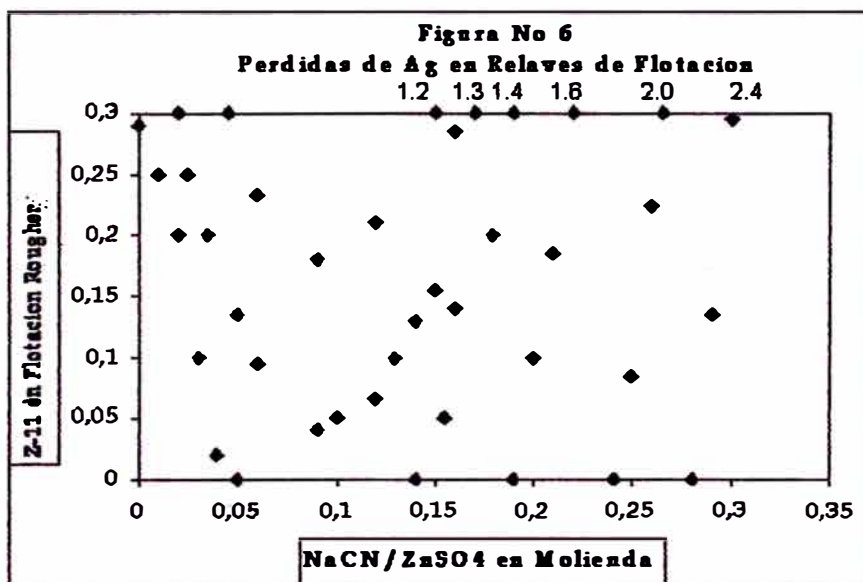
**Valores óptimos en operación standard**

PH	9.5
Densidad de pulpa del alimento	1,312 gr/lt
NaCN/ZnSO <sub>4</sub> en limpieza bulk	0.070 lbs/TCS
Z-11 en flotación scavenger	0.040 lbs/TCS
Ag en cabeza	6.5 oz/TCS

Sustituyendo estos valores se obtuvo la función simplificada que se muestra a continuación:

$$Y1 = 1.61732 - 0.725 \cdot X2 - 5.8805 \cdot X4 + 30.76 \cdot (X4)^2 \quad (17)$$

la cual coincidiendo los valores normales de operación se muestra el gráfico en la figura N° 6, en la que se confirman las observaciones anteriores y la importancia relativa que tiene mantener óptima dosificación de la adición de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en molienda, aunque existe amplio rango para trabajar eficientemente.



**6.6. Desplazamiento de Ag al concentrado de zinc.**

Función 16: Desplazamiento de Ag al Concentrado de Zinc (Y2 en oz/TCS).

$$Y2 = -116.69 + 0.292 \cdot X1 + 71.9 \cdot X2 + 0.0896 \cdot X3 + 153.4 \cdot (X4)^2 + 9.70 \cdot X4 \cdot X5 - 612.4 \cdot X2 \cdot X4 - 0.0951 \cdot (X5)^2$$

COR=0.788



Otro parámetro metalúrgico importante es el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc, producto en que la Ag es pagada en mucha menor proporción que en los concentrados de cobre o de plomo. Este índice también mantiene estrecha correlación con las pérdidas de Ag en el relave final, es decir que cuando no es recuperado en la etapa bulk, su recuperación en flotación de Zn es menos eficiente. Por estas razones y para confirmar observaciones previas se determinó el modelo que explica su variación. Los resultados se muestran en la función (16) que indica consideraciones para los coeficientes que se irán explicando.

Variable importante continua siendo la ley de cabeza de Ag ( $X_1$ ) aunque en menor grado que para el caso anterior, su coeficiente es +0.292 indicando que por cada oz de Ag en cabeza se desplazan 0.292 oz/TCS al concentrado de zinc. Entre las variables operativas controlables directamente por operaciones con mayor efecto sobre el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc se determinaron a las siguientes:

*Z-11 Adicionado en Molienda y Flotación Rougher Bulk Cu-Pb:  $X_2$  en lbs/TCS.- Reporta efecto individual de primer orden positivo e interacción negativa con la adición de NaCN/ $ZnSO_4$  en molienda primaria ( $X_4$ ), indicando que cuando la adición de NaCN/ $ZnSO_4$  en molienda excede 0.110 lbs/TCS se requieren mayores niveles de adición Z-11 para contrarrestar su efecto. Los efectos de ambas variables se presentan en la figura N° 7.*

*Densidad de Pulpa en Alimento a Flotación Rougher:  $X_3$  en gr/lit.- Su efecto es similar al observado para las pérdidas de Ag en relaves, es decir positivo y de primer orden con coeficiente de +0.0896 que indica que por cada 10 gr/lit de reducción en la densidad de pulpa en el alimento a flotación bulk Cu-Pb el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc se reduce en aproximadamente 0.90 oz/TCS.*

Este efecto favorable de menores densidades de pulpa puede ser debido a dos razones las cuales pudiesen tener lugar al mismo tiempo:

a) Aumento de la fineza de molienda, y

b) Mayor dilución de complejo, particularmente del NaCN que es el componente con efecto de segundo orden porque excesos afectan la recuperación de valores, no así el ZnSO<sub>4</sub>.

*NaCN/ZnSO<sub>4</sub> Adicionado en Molienda Primaria: X4 en lbs/TCS.- Reporta efecto positivo de segundo orden e interacciones positivas con el pH (X5) y negativa con la adición de Z-11 en molienda y flotación rougher bulk (X2). Si derivamos la función respecto a esta variable y damos valores al pH de 9.5 obtendremos la siguiente igualdad:*

$$306.8 \cdot X_4 + 92.15 = 612.4 \cdot X_2$$

*desde donde podremos determinar los requerimientos de Z-11 aplicado en molienda y flotación rougher en función de la dosificación de complejo para mantener el desplazamiento de Ag en el mínimo posible, los resultados se suman a continuación:*

Dosificación en lbs/TCS	
NaCN / ZnSO <sub>4</sub> (X4)	Z-11 (X2)
0.300	0.300
0.200	0.250
0.100	0.200

Sobreponiendo en la figura N° 6 la línea recta de mínimos anterior, determinamos las condiciones comunes para optimizar resultados para la flotación de Ag, las cuales se ubican en dosificaciones de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> de 0.100 lbs/TCS en molienda y 0.200 lbs de Z-11/TCS en molienda y flotación rougher. El resto de condiciones se mantienen similares a las de la elaboración de la figura N° 6. Esta correlación continuará en revisión y por lo tanto se recomienda mantener la dosificación de Z-11 en 0.300 a 0.340 lbs/TCS en molienda y flotación rougher bulk mientras que la de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en 0.100 lbs/TCS aplicada en molienda.

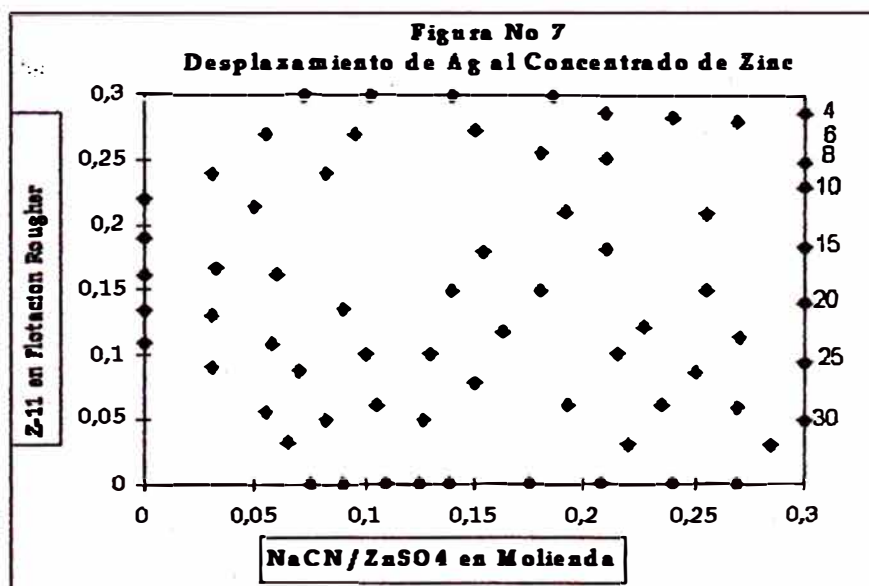
*pH Alimento a Flotación Rougher Bulk Cu-Pb: X5.- Muestra efecto negativo de segundo orden e interacción positiva con la dosificación de complejo en*

*molienda, indicando que el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc se reduce incrementando el pH en el alimento a flotación rougher bulk Cu-Pb y reduciendo los niveles de adición de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en molienda, valido para los rangos de las variables en el rango experimental.*

Por lo tanto mantener el pH en valores de 9.50 en alimento a flotación rougher continua siendo acción fundamental para mejorar la metalurgia de Ag con los minerales tratados en la actualidad y la dosificación de complejo debe mantenerse en niveles de aproximadamente 0.100 lbs/TCS. Pruebas en planta deben dirigirse hacia menores niveles, debiendo ser acompañado con reducción proporcional de la dosificación de Z-11 en molienda y flotación rougher.

Para graficar los efectos de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> y Z-11 adicionados en molienda y flotación rougher sobre el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc, se dieron valores a las otras variables de la función (16) idénticos a los aplicados para la definición del efecto sobre las pérdidas de Ag en relaves. Los resultados se presentan en la figura N° 7, sobreponiendo esta a la figura N° 6 es posible definir las dosificaciones de ambos reactivos para optimizar la metalurgia de Ag.

Los resultados de esta comparación indican que operando en los siguientes



rangos se obtendría metalurgia satisfactoria de Ag:

NaCN/ZnSO<sub>4</sub> adicionado en molienda 0.090 a 0.100 lbs/TCS

Z-11 adicionado en molienda y flotación rougher Cu-Pb 0.25 a 0.34 lbs/TCS.

### 6.7. Consideraciones finales.

Maximizar la recuperación de Ag en los concentrados de cobre y plomo, reduciendo el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc, es factible siempre y cuando se mantenga justo balance en las dosificaciones de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> y de Z-11, ambos adicionados en molienda y el segundo incluyendo adición en flotación scavenger.

Los rangos de trabajo adecuados en operación de planta para optimizar la metalurgia de Ag se indican a continuación:

Reactivo	Punto de Adición	Dosificación en lbs/TCS	
		Mínimo	Máximo
Z-11	Molienda y Flotación Rougher	0.250	0.340
	Flotación Scavenger	0.040	0.070
NaCN/ZnSO <sub>4</sub>	Molienda	0.090	0.100
	Limpieza Bulk	0.040	0.070
pH	Alimento Rougher Cu-Pb	9.5	9.5
Densidad de Pulpa	Alimento Rougher Cu-Pb	1,305	1,310

En la actualidad se aprecia adición variable de Z-11 en flotación scavenger, mientras que la adición total de Z-11 se mantiene en niveles de 0.34 a 0.38 lbs/TCS. El rango de uso del colector en flotación scavenger varia de operación en operación de acuerdo a las pruebas entre 0.050 a 0.150 lbs/TCS y por otro lado se ha determinado efecto negativo sobre recuperación de Ag cuando se incrementa la dosificación en este punto, siendo en consecuencia conveniente mantenerla en el nivel más bajo posible. La cantidad reducida en este punto de adición debe ser reemplazada con adición equivalente en la etapa de molienda o flotación rougher Cu-Pb.

En cuanto al uso de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub>, también se observa algunas operaciones con tendencia a emplear dosificaciones superiores a 0.100 lbs/TCS en molienda. Se reitera que más conveniente es mantener la adición de complejo en este punto en el rango indicado en la tabla anterior. En el caso que

por razones de calidad del concentrado bulk Cu-Pb sea necesario intensificar la depresión esto podrá lograrse con mayor efectividad incrementando la adición de complejo en la limpieza del concentrado bulk.

De particular y consistente importancia es reducir la densidad de pulpa del alimento a flotación rougher Cu-Pb. Serio esfuerzo para mantenerla en valores de 1,305 a 1,310 gr/lt.

## CAPITULO VII

### 7.0. MODELOS CONSIDERANDO DOSIFICACION DEL COLECTOR TOTAL Y DEPRESOR A MOLIENDA.

#### 7.1. Consideraciones iniciales.

Se continuó evaluando condiciones y resultados de las pérdidas de Ag en relaves (Y1), así como su respectivo desplazamiento al concentrado de zinc (Y2), incorporando a la base de datos la información obtenida hasta la realización de las pruebas para el presente capítulo.

Los modelos o funciones que explican variaciones en ambos parámetros se presentan a continuación, obteniéndose coeficientes de correlación de 0.771 y 0.766 para las pérdidas de Ag en relaves y desplazamiento de Ag al concentrado de zinc respectivamente.

**Función 18. - Pérdidas de Ag en relave final (Y1 en oz/TCS)**

$$Y1 = -9.25 + 0.125 \cdot X1 - 0.954 \cdot X2 + 0.00745 \cdot X3 + 19.102 \cdot (X4)^2 - 15.76 \cdot X2 \cdot X4 - 0.596 \cdot X5 \cdot X6 + 2.31 \cdot X7$$

COR=0.771

**Función 19. - Desplazamiento de Ag al concentrado de zinc (Y2 en oz/TCS)**

$$Y2 = -41.93 + 51.35 \cdot X2 + 0.0356 \cdot X3 + 437.86 \cdot (X4)^2 - 459.42 \cdot X2 \cdot X4 - 6.09 \cdot X5 \cdot X6 + 16.504 \cdot X7$$

COR=0.766

En las que:

X1= Ley de Ag en mineral de cabeza en oz/TCS.

X2= Dosificación de Z-11 a los molinos y flotación rougher bulk Cu-Pb en lbs/TCS.

X3= Densidad de pulpa del alimento a flotación rougher bulk Cu-Pb en gr/lit.

X4= Dosificación de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> a los molinos primarios en lbs/TCS.

X5= pH en alimento a flotación rougher bulk Cu-Pb.

X6= Dosificación de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en la etapa de limpieza del concentrado rougher bulk Cu-Pb, en lbs/TCS.

X7= Dosificación de Z-11 en flotación scavenger Cu-Pb, en lbs/TCS.

Basado en los modelos desarrollados se ofrecen conclusiones y recomendaciones para las funciones siguientes buscando la optimización de condiciones a escala industrial.

#### 7.1.1. Consideraciones para los resultados del análisis de Au y Cu.

Los resultados analíticos de compósitos de concentrados de cobre y resultados de Au en cabeza fueron proporcionados por la gerencia de metalurgia los cuales se muestran a continuación junto con las condiciones promedio empleadas para flotación Cu-Pb según nuestra carta de valores:

Mes	Ensayes % , * oz/TCS						Dosificación lbs/TCS				
	Concentrado de Cobre						NaCN /ZnSO <sub>4</sub>		Z - 11		
	Ag*	Cu	Au*	Pb	Zn	CabAu*	pH	Mol	Limp	Mol/Ro	Scav
Ene.	338.5	15.9	0.102	8.0	16.0	0.037	8.4	0.213	0.082	0.154	0.067
Feb.	405.4	16.9	0.114	9.4	16.0	0.034	8.4	0.205	0.080	0.202	0.089
Mar.	428.5	18.4	0.143	9.1	13.1	0.033	9.1	0.207	0.080	0.188	0.080

Es apreciable que la cabeza de Au ha aumentado respecto a los valores usuales significativamente; valores que van de 5 a 10%, pero en el período mostrado podemos decir que la ley de cabeza ha disminuido y la concentración de Au en los concentrados de Cu ha aumentado consistentemente. Si comparamos la proporcionalidad del aumento de la ley de Cu esta alcanza a 15.7% mientras que el aumento de la ley de Au en el concentrado es de 40.2%. Es decir que la mejora en el contenido de Au en los concentrados de Cu es independiente de la ley de Au en cabeza y del grado de Cu en este concentrado, aproximándose a la proporción en que aumenta la Ag en 26.5%, es decir habría Au asociado a los minerales de Ag.

7.1.2. Consideraciones para el análisis de Ag en el laboratorio de Shorey con respecto a SGS.

De las variables operativas la única que muestra consistencia con el incremento del contenido de Au es el pH que aumento de 8.40 a un promedio de 9.10, pero manteniendo relativamente alta dosificación de complejo.

Sustituyendo las condiciones reportadas en nuestra carta de valores y la ley de Ag en cabeza reportada por la gerencia de metalurgia para los meses indicados

anteriormente, se determinaron los contenidos de Ag en relaves proyectados, los cuales se comparan con los ensayos de Shorey (DML) y de la gerencia de metalurgia (SGS) en relaves a continuación:

Mes	Ag en cabeza oz/TCS				Ag en relaves oz / TCS			
	SGS	Calc	SH(DML)	Dif %	SGS(1)	Calc(1)	SH(DML)	Dif %
Ene.	6.59	5.82	6.51	-1.2	1.49	1.51	1.22	-18.1
Feb.	7.66	6.72	6.63	-13.4	1.59	1.43	1.38	-13.2
Mar.	7.29	7.26	6.72	-7.8	1.63	1.41	1.44	-11.6

Significativa subestimación de la ley de Ag en cabeza es observada en los meses de pruebas experimentales en los capítulos anteriores, razón por la que se establecieron medidas correctivas en los patrones, obteniéndose ensayos de Ag en el compósito con un valor de 7.30 oz/TCS con la standarización revisada y se espera que los resultados de la operación para el presente capítulo se ajusten a la realidad.

En relaves, la significativa subestimación del contenido de Ag mostrada por el laboratorio de Shorey en comparación con el análisis de compositos reportado por la gerencia de metalurgia no es perceptible en la misma magnitud en las muestras de la operación, por esta razón se reitera la conveniencia de supervisar permanentemente el mantenimiento y operación de los muestreadores automáticos y del procedimiento de preparación del compósito por el laboratorio de Shorey.

Con las limitaciones indicadas, los resultados muestran que con las condiciones empleadas es posible aproximar las pérdidas de Ag en relaves.

## 7.2. Pérdidas de Ag en relaves.

Función 18. - Pérdidas de Ag en relave final (Y1 en oz/TCS)

$$Y1 = -9.25 + 0.125 \cdot X1 - 0.954 \cdot X2 + 0.00745 \cdot X3 + 19.102 \cdot (X4)^2 - 15.76 \cdot X2 \cdot X4 - 0.536 \cdot X5 \cdot X6 + 2.31 \cdot X7$$

$$COR=0.771$$



Si derivamos la función respecto a la dosificación de  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$  en molienda (X4), se obtiene la función que igualada a cero determina óptimas dosificaciones de complejo en este punto como función de la dosificación de Z-11 en molienda y flotación rougher (X2), esta es la siguiente:

$$X4 = 15.85 \cdot X2 / 38.2$$

Esta simple igualdad precisa la óptima adición de complejo en molienda, que debe mantenerse en cada nivel de adición de Z-11 en molinos primarios y flotación rougher Cu-Pb.

Dando valores a las variables según su efecto y en el rango de trabajo es posible simplificar la función (18) para expresarla gráficamente. Por la importancia que tienen las dosificaciones de  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$  en molienda (X4) y de Z-11 en molinos y flotación rougher bulk Cu-Pb (X2) se determinó la función simplificada para ambas variables, dando los siguientes valores a las otras.

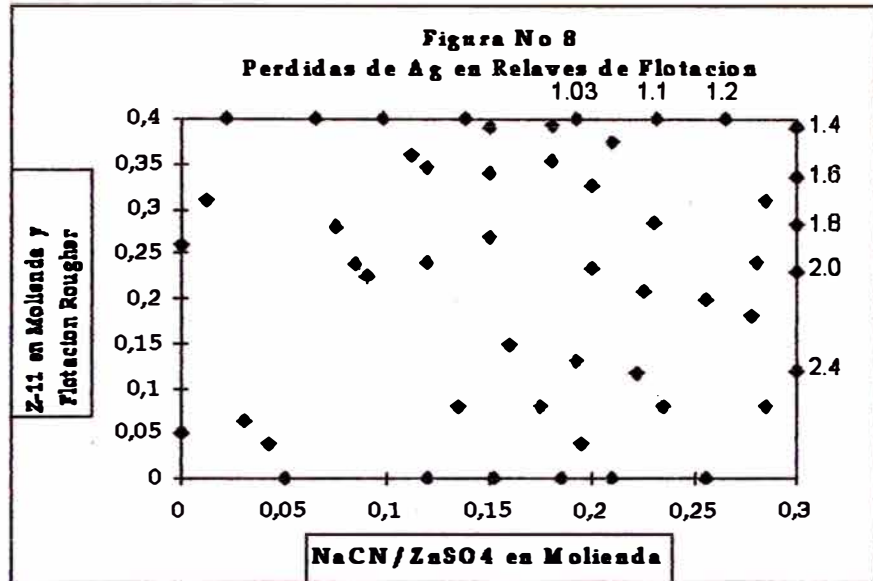
#### Valores óptimos en operación standard

pH (X5)	9.5
Densidad de pulpa del alimento (X3)	1,310 gr/lt
$\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$ en limpieza bulk (X6)	0.060 lbs/TCS
Z-11 en flotación scavenger (X7)	0.060 lbs/TCS
Ag en cabeza (X1)	6.5 oz/TCS

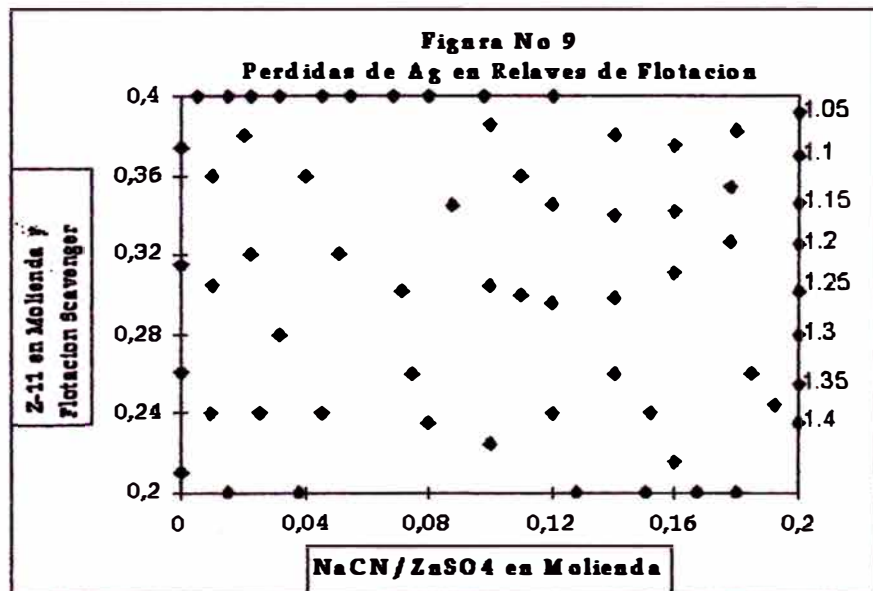
La función simplificada resulta:

$$Y1 = 1.155 + 0.954 \cdot X2 + 19.102 \cdot (X4)^2 - 15.76 \cdot X2 \cdot X4 \quad (20)$$

Esta se presenta gráficamente en la figura N° 8 en la que se ha sobrepuesto la función que minimiza las pérdidas de Ag en relaves. También se incluyen las dosificaciones de ambos reactivos aplicadas en el período evaluado, apreciándose que en la actualidad las dosificaciones de ambos reactivos se aproximan a las óptimas.



Debido a la posibilidad de afinar adicionalmente la optimización de condiciones, en este mismo gráfico pero reduciendo los rangos de adición de complejo en molienda de 0.0 - 0.30 lbs/TCS a 0.0 - 0.20 lbs/TCS y de Z-11 en molienda y flotación rougher de 0.0 - 0.40 a 0.20 - 0.40 se presenta en la figura N° 9. En este gráfico nuevamente se incluye la línea de óptimos y las dosificaciones empleadas en operación industrial.



La evaluación gráfica de condiciones y resultados proyecta aún menores pérdidas de Ag a las logradas, aumentando la dosificación de Z-11 en molienda y flotación rougher y proporcionalmente la del complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en molienda según la función (18). Razón por la que se ha solicitado realizar las

pruebas correspondientes en la operación de planta para precisar posibilidades de mejora adicional.

Esto puede ser logrado sin aumentar la dosificación total de Z-11, transfiriendo parte de la adición de Z-11 aplicado en flotación scavenger (X7) a los circuitos de molienda y/o flotación rougher Cu-Pb. Es importante remarcar que la adición de Z-11 en flotación scavenger resulta desfavorable sobre la recuperación de Ag en flotación rougher bulk Cu-Pb, mientras que en molienda se obtiene el máximo beneficio. Si consideramos que nuestro consumo total de Z-11 en la etapa bulk Cu-Pb alcanza a 0.38 - 0.40 lbs/TCS, su dosificación en flotación scavenger podría reducirse a 0.040 lbs/TCS, utilizándose 0.34 a 0.36 en molienda y flotación rougher.

En cuanto a la adición de complejo en molienda, si comparamos las figuras N<sup>os</sup> 8 y 9 de este capítulo con las figuras N<sup>os</sup> 6 y 7 del capítulo anterior, vemos que es posible incrementar su dosificación proporcionalmente a la adición de Z-11. Sin embargo por el efecto favorable que se observa al adicionar complejo en limpieza, se solicita que en el caso de incrementar el desplazamiento de Zn al concentrado bulk, este deberá ser controlado adicionando complejo preferentemente en dicha etapa.

En cuanto a condiciones operativas los más importantes efectos que se aprecian en el período evaluado fueron debidos a baja dosificación de Z-11 en molienda y flotación rougher debido en parte al alto contenido de cobre en las soluciones de colas de cementación; esta apreciación se estudiara en un capítulo. Además en dicho periodo se aplicó cantidades altas de complejo, situación que está siendo superada para el siguiente capítulo dependiendo de las pruebas experimentales, con las consecuentes mejoras en los resultados metalúrgicos.

### 7.3. Desplazamiento de Ag al concentrado de zinc.

La función que explica variaciones para (Y2) se muestra a continuación.

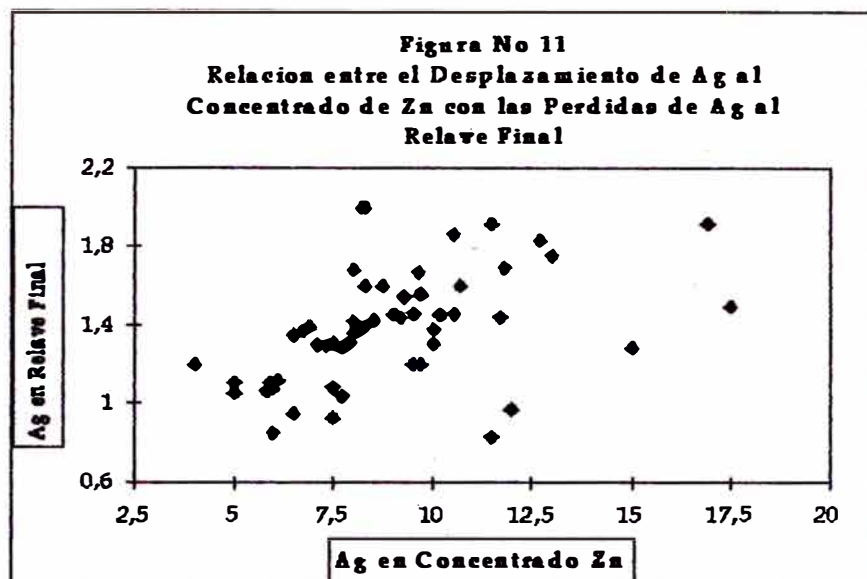
Función No 19

$$Y2 = -41.93 + 51.35 \cdot X2 + 0.0356 \cdot X3 + 437.86 \cdot (X4)^2 - 459.42 \cdot X2 \cdot X4 - 6.09 \cdot X5 \cdot X6 + 16.504 \cdot X7$$

Dando valores a las variables operativas similares a los empleados para simplificar la función de pérdidas de Ag en relaves, obtenidos de la función (20)



amplían el rango de variación y es probable causa para que la línea de mínimos



del desplazamiento de Ag al concentrado de zinc sea corrida hacia el rango de mayor nivel de adición de complejo.

Adicionalmente al haberse iniciado la práctica de reducir la proporción de NaCN en el complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> de 1/3 a 1/4, se habría producido el cambio de pendiente de la línea de mínimos, esperamos obtener mayor número de datos para precisarla finalmente.

#### 7.4. Consideraciones finales.

Con el progreso del trabajo de optimización de condiciones de la etapa bulk Cu-Pb para maximizar la recuperación de Ag; reduciendo las pérdidas en relaves y su desplazamiento al concentrado de zinc, se llega a la conclusión que ambas condiciones se logran manteniendo un justo balance en la dosificación de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en molienda (X4) con la adición de Z-11 en molienda y flotación rougher (X2), la cual esta expresada por la siguiente función de correlación:

$$X4 \pm X2 / 2$$

Esta expresión indica que la cantidad de complejo adicionada en molienda depende de la dosificación de Z-11 en molienda y flotación rougher bulk. La función de correlación ha ido variando con el progreso del trabajo experimental, debido a la necesidad de modificar la relación NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en la preparación del complejo de 1/3 a 1/4 con la finalidad de reducir el empleo de NaCN.

Otras conclusiones importantes a ser consideradas en la experimentación industrial son las siguientes:

*La adición de Z-11 en flotación scavenger Cu-Pb reporta efecto desfavorable tanto para el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc como para las pérdidas en relaves, recomendándose transferir parte de esta dosificación a la molienda (cajones de bombas 8"x6") y mantener en la flotación scavenger propiamente dicha dosificaciones mínimas < 0.040 lbs de Z-11/TCS.*

*Por el efecto favorable que reporta la adición de Z-11 en molienda y flotación rougher Cu-Pb, se recomienda evaluar gradualmente incrementando la adición en diferentes puntos y bajar en otros sin aumentar el consumo total, dosificaciones de 0.36 a 0.38 lbs/TCS al empezar.*

*La adición de complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en limpieza de los concentrados bulk Cu-Pb reporta interacción favorable con el pH, por el momento nos mantendremos operando a pH 9.50, pero posteriormente se evaluarán mayores pH, para lo cual se realizarán pruebas complementarias. En cuanto a la adición de complejo en esta etapa, podrá aumentarse en la medida que el mineral lo demande para controlar el desplazamiento de Zn al concentrado bulk final.*

Finalmente se debe indicar que en flotación de Ag existen plantas concentradoras que utilizan pH mayores a los que venimos utilizando con resultados superiores a nuestros procedimientos convencionales. Ejemplos que ilustran estos casos son: Cerro de Pasco que utiliza pH 9.00. Otro caso en el que se lograron mejoras substanciales tanto en recuperación de Ag y Au como en calidad de los concentrados fue de la concentradora Caylloma en la que con pH de 10.50 fue posible aumentar la recuperación de Ag en mas de 10.0% removiendo selectivamente piritita y minerales estériles de zinc. Estos resultados y los que estamos obteniendo confirman que los minerales de Ag pueden ser flotados eficientemente utilizando altos pH's ajustados con CaO, siempre y cuando las otras condiciones sean compatibles, en nuestro caso es la adición controlada de NaCN.

También se debe indicar que uno de los objetivos trazados a corto plazo es aumentar la recuperación de Au en los concentrados bulk y preferentemente en

los de cobre. Por ser el principal mineral portador de Arsenopirita, las condiciones de flotación deberán aproximarse a las de Marmatita sin alcanzarla para mantener bajo desplazamiento de Zn a los concentrados de cobre y plomo. Los resultados obtenidos en el presente periodo de pruebas que se comentan en este capítulo indican que estamos progresando muy positivamente y el esfuerzo desplegado a la fecha esperamos culmine con incrementar la recuperación de Au en los concentrados de cobre como futuro paso importante.

## CAPITULO VIII

### 8.0. MODELOS CONSIDERANDO TONELAJE TRATADO Y DOSIFICACION SEPARADA DEL DEPRESOR.

#### 8.1. Consideraciones iniciales.

Se continuó evaluando condiciones y resultados de las pérdidas de Ag en relaves (Y1) así como su desplazamiento al concentrado de zinc (Y2), incorporando a la base de datos la información obtenida de las diferentes pruebas (Pm) realizadas. La información comprendida no tuvo en consideración el parámetro densidad de pulpa del rebose de los hidrociclones primarios siendo esta sustituida por la capacidad de tratamiento por guardias. Debido al inicio del uso de relación NaCN/ZnSO<sub>4</sub> de 1 a 4 en la formulación del complejo, se evaluaron las adiciones de ambos reactivos, separadamente, determinándose sus efectos individuales.

Los modelos o funciones que explican variaciones en ambos parámetros metalúrgicos se presentan a continuación obteniéndose coeficientes de correlación de 0.731 y 0.764 para las pérdidas de Ag en relaves así como del desplazamiento de Ag al concentrado de zinc respectivamente.

**Función 22. - Pérdidas de Ag en Relave Final (Y1 en oz/TCS)**

$$Y1 = 0.591 + 0.122 \cdot X1 - 1.72 \cdot X2 + 0.00103 \cdot X3 - 28.65 \cdot X4 + 563.3 \cdot (X4)^2 - 0.569 \cdot X5 \cdot X6 + 2.25 \cdot X7$$

**COR=0.731**

**Función 23. - Desplazamiento de Ag al concentrado de zinc (Y2 en oz/TCS)**

$$Y2 = 7.55 + 19.86 \cdot X2 + 0.0095 \cdot X3 + 82.9 \cdot X4 + 3607 \cdot (X4)^2 - 947.5 \cdot X2 \cdot X4 - 10.307 \cdot X5 \cdot X6 - 74.7 \cdot X2 \cdot X8$$

**COR=0.764**

X1= Ley de Ag en mineral de cabeza en oz/TCS.

X2= Dosificación de Z-11 a los molinos y flotación rougher bulk Cu-Pb en lbs/TCS.

X3= Tonelaje tratado por guardia.

X4= Dosificación de NaCN a los molinos primarios en lbs/TCS.

X5= pH en alimento a flotación rougher bulk Cu-Pb.

X6= Dosificación de NaCN en la etapa de limpieza del concentrado rougher bulk Cu-Pb, en lbs/TCS.



X7= Dosificación de Z-11 en flotación scavenger Cu-Pb, en lbs/TCS.

X8 = Dosificación de ZnSO<sub>4</sub> a los molinos primarios en lbs/TCS.

Basado en los resultados se ofrecen conclusiones y recomendaciones para las etapas siguientes de optimización a escala industrial.

## 8.2. Pérdidas de Ag en relaves.

Función 22. - Pérdidas de Ag en Relave Final (Y1 en oz/TCS)

$$Y1 = 0.591 + 0.122 \cdot X1 - 1.728 \cdot X2 + 0.00103 \cdot X3 - 28.65 \cdot X4 + 563.3 \cdot (X4)^2 - 0.569 \cdot X5 \cdot X6 + 2.25 \cdot X7$$

$$COR=0.731$$

La estructura de la función se mantiene similar, excepto que al no haberse considerado el efecto de la densidad de pulpa, la capacidad de tratamiento (X3) la reemplaza indicando que conforme se incrementa el tonelaje tratado las pérdidas de Ag en relaves aumentan según el coeficiente de +0.00103 oz de Ag por TCS tratada por guardia. Debe indicarse que en el informe de la operación por guardias existen ocasiones en que por el reducido período de tiempo operado en la guardia anterior, el tonelaje es reportado en la guardia siguiente, habiendo reportado 622 TCS como tonelaje máximo tratado. Para los cálculos de condiciones prácticas para la optimización de condiciones de operación en planta se utilizó como tonelaje tratado 570 TCS por guardia.

Si derivamos la función (22) respecto a la dosificación de NaCN en molienda (X4), se obtiene la función que igualada a cero nos permite determinar la dosificación óptima de NaCN en este punto, esta es la siguiente:

$$X4 = 28.6 / 1126 = 0.025$$

Es decir que para reducir las pérdidas de Ag al mínimo, la óptima adición de NaCN en molienda debe mantenerse en 0.025 lbs/TCS. Si consideramos que la mezcla de NaCN con ZnSO<sub>4</sub> es de 1/4 en la actualidad, la dosificación de ZnSO<sub>4</sub> se mantendrá en 0.100 y como consecuencia el complejo deberá mantenerse en 0.125 lbs/TCS en este punto.

En la función se trató de incorporar el efecto de la adición de ZnSO<sub>4</sub> independientemente; como decir también en molienda, sin embargo no fue

significativo, manteniéndose la importancia de la adición de NaCN en molienda primaria.

La adición de Z-11 en molienda y flotación rougher bulk Cu-Pb continuó mostrando efecto favorable mientras que el del mismo reactivo en flotación scavenger confirma efecto contrario, es decir que es conveniente reducir el nivel de adición de Z-11 en este punto, aumentándolo en la misma cantidad en molienda y flotación rougher bulk Cu-Pb.

También se confirmó que la adición de NaCN en limpieza del concentrado bulk interactuando con el pH de la flotación rougher bulk reportan efectos favorables recomendándose aumentar su adición en este punto en el caso de existir alto desplazamiento de Zn al concentrado bulk Cu-Pb o al concentrado Cu.

Dando valores a las variables según su efecto y en el rango de trabajo es posible simplificar la función para expresarla gráficamente. Por la importancia que tienen las dosificaciones de NaCN en molienda (X4) y de Z-11 en molinos y flotación rougher Cu-Pb (X2) se determinó la función simplificada para ambas variables, dando los siguientes valores a las otras. :

#### Valores óptimos en operación standard

pH (X5)	9.5
Tonelaje tratado por guardia (X3)	570 TCS
NaCN en limpieza bulk (X6)	0.026 lbs/TCS
Z-11 en flotación scavenger (X7)	0.040 lbs/TCS
Ag en cabeza (X1)	6.5 oz/TCS

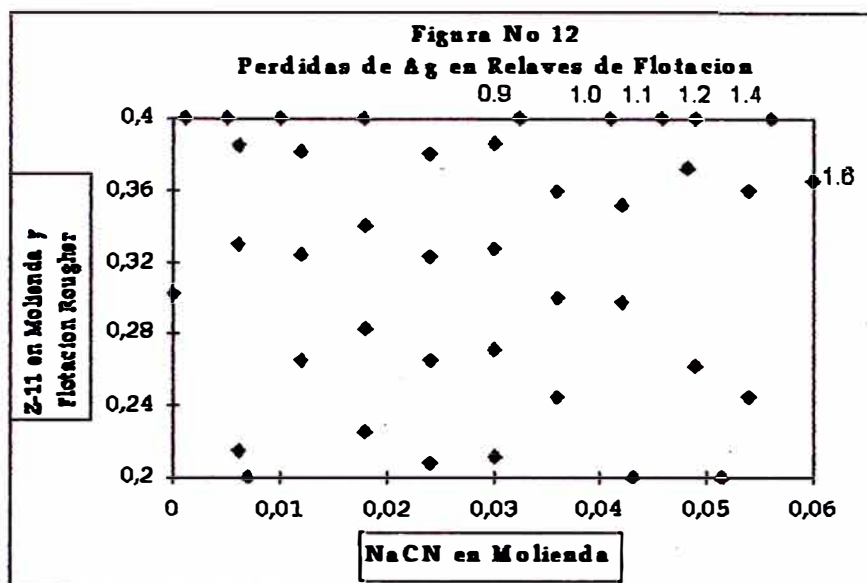
La función simplificada resulta:

$$Y1 = 1.621 - 1.728*X2 - 28.65*X4 + 563.3*(X4)^2 \quad (24)$$

Esta se presenta gráficamente en la figura N° 12 en la que se han sobrepuesto las funciones que minimizan las pérdidas de Ag en relaves así como se estila para el desplazamiento al concentrado de zinc. También se incluyen las dosificaciones de ambos reactivos aplicadas en el período evaluado,

apreciándose que en la actualidad las dosificaciones de ambos reactivos se aproximan a las óptimas.

La evaluación gráfica de condiciones y resultados proyecta aún menores



pérdidas de Ag aumentando la dosificación de Z-11 en molienda y flotación rougher bulk (X2) manteniendo constante la adición de NaCN en molienda (X4) en 0.025 lbs/TCS según la función 22. Esta condición puede ser lograda sin aumentar la dosificación total de Z-11, transfiriendo parte de la adición de Z-11 aplicado en flotación scavenger (X7) a los circuitos de molienda. Es importante remarcar que la adición de Z-11 en flotación scavenger resulta desfavorable sobre la recuperación de Ag en flotación rougher bulk Cu-Pb, mientras que en molienda se obtiene el máximo beneficio. Si consideramos que nuestro consumo total de Z-11 en flotación rougher bulk Cu-Pb alcanza a 0.38 - 0.40 lbs/TCS, su dosificación en flotación scavenger podría reducirse a 0.040 lbs/TCS utilizándose 0.34 a 0.36 en molienda y flotación rougher.

### 8.3. Desplazamiento de Ag al concentrado de zinc.

La función que explica variaciones en el desplazamiento de Ag a los concentrados de zinc (Y2) se muestra en la función 23.

**Función 23. - Desplazamiento de Ag al concentrado de zinc (Y2 en oz/TCS)**

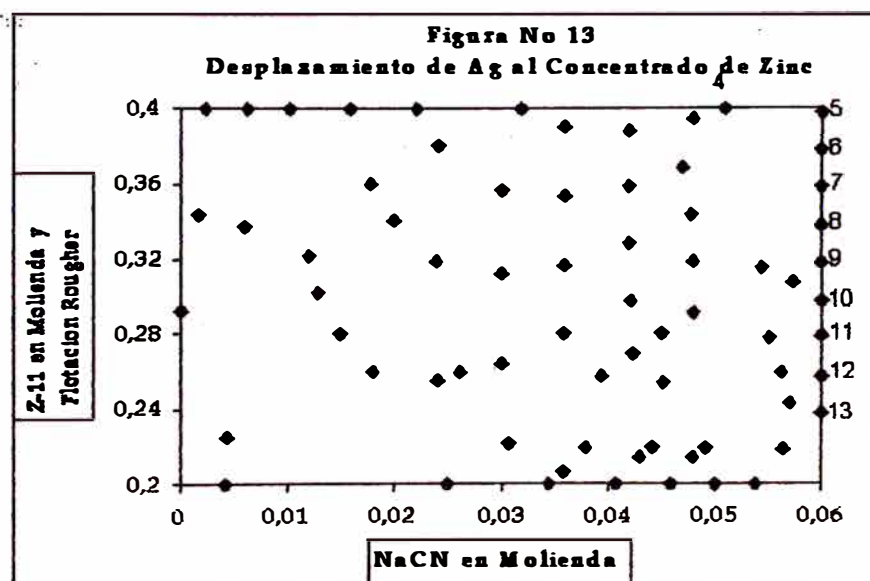
$$Y2 = 7.55 + 19.86 \cdot X2 + 0.0095 \cdot X3 + 82.9 \cdot X4 + 3607 \cdot (X4)^2 - 947.5 \cdot X2 \cdot X4 - 10.307 \cdot X5 \cdot X6 - 74.7 \cdot X2 \cdot X8$$

$$COR=0.764$$

Para reducir al mínimo el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc, la dosificación de ZnSO<sub>4</sub> en molienda (X8) muestra efecto favorable en interacción con la adición de Z-11 en molienda y flotación rougher bulk Cu-Pb (X2), razón por la que pruebas a escala industrial deberán realizarse utilizando relación de NaCN/ZnSO<sub>4</sub> de 1/5, pero con adición constante de NaCN en 0.025 lbs/TCS en molienda para mantener las pérdidas de Ag en relaves próximas al mínimo. La adición de Z-11 en molienda y flotación rougher bulk (X2) presenta interacciones favorables con las adiciones de NaCN en molienda (X4) y en limpieza del concentrado rougher (X6) mientras que su efecto de primer orden es inconveniente. En el rango de condiciones de planta, en actual uso, el efecto integral de adición de Z-11 en molienda y flotación rougher resulta favorable en conjunto. Dando valores a las variables operativas similares a las empleadas para simplificar la función de pérdidas de Ag en relaves, es posible también obtener función simplificada del desplazamiento de Ag al concentrado de zinc, esta se presenta a continuación:

$$Y2 = 5.10 + 12.39 \cdot X2 + 82.9 \cdot X4 + 3607 \cdot (X4)^2 - 947.5 \cdot X2 \cdot X4 \quad (25)$$

Esta función para los mismos rangos de adición de NaCN en molienda (X4) y de Z-11 en molienda y flotación rougher bulk Cu-Pb (X2) utilizados para la figura N° 12 para pérdidas de Ag en relaves se presentan en la figura N° 13 para el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc.



Si derivamos la función 23 respecto a la dosificación de NaCN en molienda (X4), obtenemos la ecuación de mínimos que es expresada de la siguiente forma:

$$X4 = (947.5 \cdot X2 - 82.9) / 7214$$

Indica las dosificaciones de NaCN en molienda para mantener el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc en el mínimo en función de la adición de Z-11 en molienda y flotación rougher bulk, estas dosificaciones se indican a continuación:

Z-11 lbs/TCS en molienda y flotación rougher bulk	NaCN en molienda
0.400	0.041
0.300	0.028
0.200	0.015

Esta correlación ha sido incorporada en la figura N° 13, la cual esta inclinada respecto a la línea de óptimos para minimizar las pérdidas de Ag en relaves. Es decir, que para minimizar el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc debemos actuar sobre las variables que en la actualidad se han mantenido como secundarias, que son las que muestran consistencia entre sí para optimizar resultados metalúrgicos.

#### 8.4. Consideraciones finales.

Las condiciones fundamentales para optimizar los resultados metalúrgicos en flotación Cu-Pb se encuentran cercanas al óptimo particularmente en lo que respecta a la adición de NaCN en molienda (X4). En cuanto a la adición de Z-11 se recomienda minimizarla en la etapa de la flotación scavenger, aumentándola en la misma cantidad en molienda y flotación rougher bulk, es decir manteniendo el consumo total en 0.38 a 0.40 lbs/TCS.

Conclusiones importantes a ser consideradas en la experimentación industrial para el presente capítulo se describen a continuación:

*La adición de Z-11 en flotación scavenger Cu-Pb reporta efecto desfavorable para el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc, recomendándose transferir esta dosificación a la molienda (cajones de bombas 8"x 6") y mantener*

*en la flotación scavenger dosificaciones mínimas < 0.040 lbs de Z-11/TCS comparable al capítulo anterior.*

*Para minimizar el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc, la adición de NaCN en limpieza de los concentrados rougher bulk Cu-Pb muestra efecto favorable en interacción con el pH, recomendándose aumentar gradualmente la adición de NaCN en este punto, el cual se encuentra en aproximadamente 0.011 lbs/TCS, solicitando evaluar el rango de 0.011 a 0.018 lbs/TCS. Debe reiterarse que esta interacción también reporta efecto favorable similar sobre las pérdidas de Ag en relaves razón por la que se solicita iniciar su estudio a escala industrial a la brevedad posible.*

*También existe interacción favorable para reducir el desplazamiento de Ag al concentrado de zinc de la adición de ZnSO<sub>4</sub> en molienda (X8) con el Z-11 aplicado en molienda y flotación rougher bulk Cu-Pb (X2), y por ser la tendencia necesaria para optimizar resultados como en aumentar la dosificación de Z-11 en estos puntos, se solicita evaluar la preparación del complejo NaCN/ZnSO<sub>4</sub> en la proporción de 1/5, manteniendo adición de NaCN en molienda de 0.025 lbs/TCS. Con esta acción aumentaremos proporcionalmente la adición de ZnSO<sub>4</sub>.*

**También se solicita forzar la flotación de minerales de Zn incrementando la dosificación de Z-6, para determinar la relación grado-recuperación y probable incremento de la proporción de marmatita/estalerita que podría ocurrir por incremento en el alimento de minerales de los niveles inferiores del pique satélite.**

**De confirmarse no-existencia de anomalías se solicita reemplazar el Aerofloat Sodico por el Mercaptobenzothiasol sodico: Na-MBT. En los análisis de las muestras compósito de los productos de la operación, se verificara probables cambios en la mineralogía de los minerales de Zn.**

## CAPITULO IX

### 9.0. MODELOS MATEMATICOS EN FUNCION DEL REGULADOR DE pH EN LA FLOTACION DE COBRE Y DEPRESOR POR SEPARADO EN LA FLOTACION BULK PARA PERDIDAS DE AG EN RELAVES.

#### 9.1. Consideraciones iniciales.

Se continuaron evaluando los efectos de condiciones de operación en flotación bulk Cu-Pb sobre las pérdidas de Ag en relaves en este solo caso, utilizándose el procedimiento de múltiple regresión.

Debido al significativo incremento del contenido de cobre en colas de cementación teniendo esta solución como función lograr mantener un pH ( $\pm 8.0$ ) para la cabeza de flotación en este circuito de cobre, para esta forma utilizada como regulador en el circuito de retratamiento (circuito de cobre), se incorporó esta variable evaluándose tanto sus efectos de primer y segundo orden, así como sus interacciones, haciéndose mención en capítulos anteriores.

Los resultados y sus análisis son materia del presente capítulo. La función determinada para explicar las variaciones en pérdidas de Ag en relaves se muestra a continuación:

Función 26. - Pérdidas de Ag en relaves final (Y1 en oz/TCS)

$$Y1 = - 6.12 + 0.118*X1 - 2.71*X2 + 2.69*(X2)^2 + 0.00503*X3 - 5.93*X4 + 279.5*(X4)^2 + 8.34*X5 + 3372*(X5)^2 - 1673.3*X4*X5 + 52.81*X6 - 2080*(X6)^2 + 2.23*X7$$

En las que:

X1= Ley de Ag en mineral de cabeza en oz/TCS.

X2= Dosificación de Z-11 a los molinos y flotación rougher bulk Cu-Pb en lbs/TCS.

X3= Densidad de pulpa del alimento a flotación rougher bulk Cu-Pb en gr/lt.

X4= Dosificación de NaCN a los molinos primarios en lbs/TCS.

X5= Contenido de cobre en la solución de colas de cementación en % Cu.

X6= Dosificación de NaCN en la etapa de limpieza del concentrado rougher bulk Cu-Pb, en lbs/TCS.

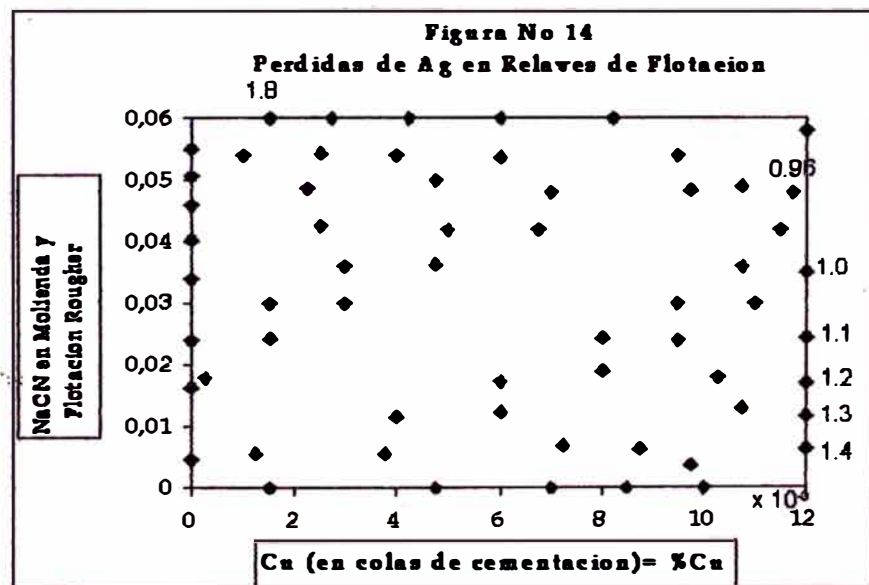
X7= Dosificación de Z-11 en flotación scavenger Cu-Pb, en lbs/TCS.

Basado en los resultados obtenidos se ofrecen conclusiones y recomendaciones para corregir las condiciones operativas por que el alto contenido de Cu en las colas de cementación es causa fundamental de los problemas de pérdidas de Ag en el relave final como el principal que venimos experimentando en la operación.

### 9.2. Pérdidas de Ag en relaves.

El modelo o función (26) presentado, incorpora las principales variables determinadas como significativas anteriormente, incluyendo además los efectos del contenido de cobre en la cola de cementación (X5) tanto de primer como de segundo orden, así como en interacción con el NaCN adicionado en molienda y flotación rougher bulk Cu-Pb (X4), desde la cual con los parámetros básicos en (26) obtenemos la figura N° 14 como resultado de la derivada parcial con respecto a X4 y X5 se presenta entonces a continuación:

El efecto de esta variable (X5), junto con la adición NaCN en molienda y



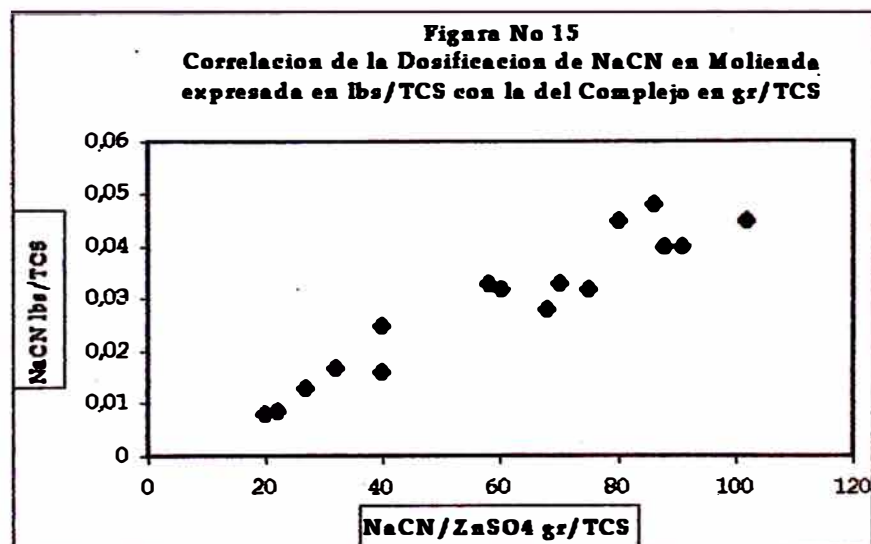
flotación rougher bulk Cu-Pb (X4) sobre las pérdidas de Ag en relaves se presenta gráficamente en la figura N° 14. Es apreciable que para minimizar las pérdidas de Ag, la dosificación necesaria de NaCN (X4) aumenta en la medida que aumenta el contenido de cobre en las colas de cementación (X5), esta función se presenta a continuación:

$$X4 = 4.55 * X5 + 0.002$$



La función de mínimos anterior (26) ha sido graficada en la figura N° 14, confirmando que mayores dosificaciones de NaCN en (X4) serán necesarias cuando el contenido de Cu en la cola de cementación aumenta, como es el presente caso en que hemos alcanzado 0.012% Cu, resultando necesario aumentar la dosificación de complejo a aproximadamente 110 gr/TCS, caso contrario las pérdidas de Ag será mayores. Este efecto es lógico y consistente con el problema generado por el exceso de Cu en solución, que interfiere con la colección y depresión de impurezas no deseables en los concentrados de cobre y plomo. Debido a que el NaCN es adicionado como complejo con  $ZnSO_4$ , obviamente que también aporta efecto favorable proporcional.

En razón de que las dosificaciones de NaCN (X4) están dadas en lbs/TCS y a que su aplicación es como complejo con  $ZnSO_4$  formulado en la proporción de 1/4, siendo el control de adición en gr de complejo por TCS de mineral tratado; se ha preparado la figura N° 15 con la que es posible convertirla a la dosificación usual de complejo en los molinos en gr/TCS una vez definida la adición más adecuada de NaCN en molienda (X4) sobre la base del contenido de Cu en la cola de cementación (según la igualdad anterior).



Los efectos de las otras variables permanecen similares a los observados anteriormente, salvo algunas variaciones que se comentan a continuación:

*Z-11 adicionado en molienda y flotación rougher: X2.- Muestra efecto favorable hasta un máximo en 0.450 lbs/TCS, sobre este nivel el efecto se torna inconveniente, recomendándose no exceder a 0.350 lbs/TCS.*

*Densidad de Pulpa del overflow de los ciclones: X3.- Mantiene efecto negativo en la medida que se aumenta la densidad de pulpa. Si consideramos que durante el prolongado periodo de paralización de la operación de la Chancadora Symons 3' fue posible mantener la capacidad de tratamiento en molinos con densidad de pulpa de 1,325 gr/lit, en la actualidad con un chancado más fino es más fácil aun obtener densidades en el overflow de los ciclones menores, solicitándose mantenerla en 1,310 gr/lit.*

*Z-11 adicionado en flotación scavenger: X7.- Mantiene efecto desfavorable consistente, recomendándose reducir su adición a aproximadamente 0.050 lbs/TCS.*

*NaCN adicionado en limpieza rougher bulk Cu-Pb: X6.- Reporta efecto de primer orden positivo y negativo de segundo orden, indicando existencia de un nivel en el cual se obtienen las mayores pérdidas de Ag, este se ubica en 0.012 lbs/TCS, reduciendo las pérdidas de Ag conforme se incrementa sobre este nivel. Para el cálculo de la función simplificada para la evaluación gráfica de resultados se utilizó 0.020 lbs/TCS, que es el que se recomienda aplicar en la optimización industrial inmediata. Equivalente a aproximadamente 40 gr de complejo por TCS de mineral tratado.*

### **9.3. Consideraciones finales.**

Los resultados obtenidos en el período evaluado permiten ofrecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

*El deterioro de la recuperación de Ag en este caso específico se debe principalmente al aumento del contenido de Cu en las colas de cementación usadas como depresor en la planta de retratamiento. Siendo en consecuencia prioritario acelerar las siguientes acciones:*

a) Normalizar suministro de chatarra de hierro de primera calidad para mejorar la eficiencia de cementación de cobre.

b) Completar la ejecución del proyecto de instalación de la planta de recementado, para lo cual es imprescindible terminar la fabricación del maniflod de HPDE.

*Para superar el problema parcialmente, es necesario corregir las condiciones operativas primero dosificando la adición de complejo  $\text{NaCN}/\text{ZnSO}_4$  en función al contenido de  $\text{Cu}^{++}$  en la cola de cementación. Para el nivel de 0.012%  $\text{Cu}^{++}/\text{lt}$ , es necesario aplicar 110 gr de complejo en los molinos por TCS de mineral tratado. Aunque esta acción aumenta nuestros costos *significativamente*, resulta imprescindible mientras subsista la baja eficiencia de cementación de cobre por falta de chatarra.*

Gradualmente se deberá reducir la dosificación de complejo en la medida que baje el contenido de Cu en colas de cementación hasta su normalización total.

Variable también importante es la gravedad específica del overflow de ciclones, la cual se solicita reducir a 1,310 gr/lt para minimizar las pérdidas de Ag en relaves.

El resto de condiciones mantienen tendencias similares a las observadas en los capítulos anteriores, razón por la que las recomendaciones se mantienen similares a lo ya reportado.

Para facilitar el control de condiciones se solicita incorporar en el certificado diario de análisis los contenidos de cobre en el alimento a la planta de cementación y del relave producido en esta.

Finalmente se debe indicar que en los relaves de las operaciones que reportaron leyes altas de Ag, los valores calculados con el modelo con las correspondientes condiciones resultan menores consistentemente, indicando posible reaparición del problema de muestreo o de ensayos detectados anteriormente. Se reitera que cuando se tengan altas pérdidas de Ag en relaves, se deberá realizar muestreo horario para contrastar los ensayos de la muestra de la operación con el promedio ponderado del muestreo horario. Esta modalidad deberá realizarse ocasionalmente.

# **BIBLIOGRAFIA**

**Handbook of Mineral Dressing A.F. TAGGART-1954**

**Operaciones Básicas de la Ingeniería Química GEORGE G. BROWN**

**Introducción al Procesamiento de Minerales ERROL G. KELLY-1990**

**Introduction to Mineral Processing JOHN M. CURIE**

**Concentración de Minerales I y II RICARDO ZACARIAS**

**Ingeniería Metalúrgica IVAN QUIROZ N.**

**Información Teórica y Practica de los Minerales de Quiruvilca**

**DEPARTAMENTO DE METALURGIA**

**Condiciones Operativas para la Flotación Bulk Cu-Pb JUAN ZEGARRA  
WUEST**

**Condiciones Operativas para la Flotación Total Cu-Pb JUAN ZEGARRA  
WUEST**

**Programa de Computación parte Estadística JKSMIT**

**Software de Computación parte Estadística EXCEL**

**Información sobre Ensayes e Impurezas MAXIMILIANO GONZALES**

**Valorización de Concentrados de Cobre y Plomo DEPARTAMENTO DE  
COMERCIALIZACION NOR-PERU**

**Diseños Estadísticos de Flotación para ATIMMSA JUAN ZEGARRA WUEST**

**Estudio de Factibilidad para la Celda Jameson para ATIMMSA JUAN  
ZEGARRA WUEST**

**Introducción a la Flotación de Minerales VENANCIO ASTUCURI**

**Dosificación de Reactivos de Operación DEPARTAMENTO DE METALURGIA**

**Balance Metalúrgico de Operación DEPARTAMENTO DE METALURGIA**