

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA,
MINERA Y METALURGICA**



**DETERMINACION DE PARAMETROS DE
CONTROL EN EL TRATAMIENTO DE LOS
MINERALES DE ISCAYCRUZ**

INFORME DE INGENIERIA

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

Pedro Agripino Paucar Romero

Promoción - 89

**LIMA - PERU
1999**

A mis padres Pedro Paucar Salomè y Concepciona Romero Palacios, cuyos esfuerzos me permitieron salir adelante. Asimismo a la paciencia y comprensión de mi esposa Teresa Santiváñez Castillo e hijas Ana Paola y Antonia Teresa.

INDICE

PRESENTACION

I. INTRODUCCION	1
II. MARCO TEORICO	1
2.1 ETAPA DE SELECCION DE VARIABLES	2
2.2.1 Diseños factoriales	3
2.2.2 Diseños factoriales fraccionados	5
2.2.3 Análisis de significancia	8
Método de los signos	8
Método de Yates	8
Análisis de significancia por regresión	9
2.2 DISEÑO DE OPTIMIZACION	12
2.2.1 Diseño hexagonal	14
2.2.2 Diseño octogonal	16
2.2.3 Análisis estadístico de una regresión de un modelo cuadrático	17
III. TRABAJOS DESARROLLADOS	21
3.1 Diseño factorial en depresores de Zn durante la flotación del Pb-bulk	21
Selección de variables 2n	
Conclusiones	
Recomendaciones	
Regresión	
Anexo: Balances de las pruebas	
3.2 Diseño para la separación de cobre/zinc por flotación	27
Selección de variable Factorial Fraccionado $\frac{1}{4}$	
Conclusiones	
Recomendaciones	
Regresión	
Anexo: Balance de las pruebas	
3.3 Evaluación de la posibilidad de preparar un blending del mineral de Zn con Cu secundario de la zona Estela y el mineral normal “diseño hexagonal”	32
Regresión	
Análisis estadístico	
Calculo de valores máximo	
Diagrama de las curvas isométricas	
Conclusiones	
Recomendaciones	
Balance de la pruebas	
3.4 Sustitución parcial del Xantato Z-11 por el ditiofosfato de sodio en la flotación plomo - bulk.....	43
Regresión	

Análisis estadístico	
Diagrama isométrica de la activación de Zn en el rougher Pb	
Diagrama isométrica de la recuperación de Pb en el scavenger Pb	
Conclusiones	
Recomendaciones	
Anexos: Balance de las pruebas	
3.5 Optimización del pH en la flotación Pb-bulk “diseño octogonal”	61
Regresión	
Análisis estadístico	
Cálculo de máximos	
Diagrama del modelo	
Conclusiones	
Recomendaciones	
Anexos: Balance de las pruebas	
3.6 Optimización del nivel de pulpa y pH en tercera limpieza del Zn “diseño hexagonal”..	71
Regresión	
Consistencia matemática	
Diagramas	
Cálculo de máximos	
Diagramas del modelo	
Conclusiones	
Recomendaciones	
IV. REPERCUCIONES EN PLANTA	81
V. CONCLUSIONES GENERALES	82
VI. AGRADECIMIENTO	83
VII. BIBLIOGRAFIA	83
VIII. ANEXOS GENERALES	85
Tabla del t-student, F-99 y F-95	

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CONTROL EN EL TRATAMIENTO DE LOS MINERALES DE ISCAYCRUZ

Para optar él título Profesional de Ingeniero Metalurgista

Por : PAUCAR ROMERO, Pedro Agripino

PRESENTACIÓN

Analizando la situación actual en que se encuentra la investigación no es difícil deducir que se ha carecido de un sistema o esquema para investigar; las plantillas del Diseño Experimental son una primera parte de este sistema, con las mismas se logran efectuar pruebas variando al mismo tiempo muchas variables, pero para resolver la significancia de las variables o calcular la ecuación cuadrática de optimización generalmente se ha usado calculo matricial que involucra la inversión de la matriz de variables y luego esta matriz invertida debe ser multiplicada por la matriz columna de las respuestas, este largo camino ha sido poco comprendido debido a que el calculo muchas veces no es fácil de hacer, a todo este procedimiento reemplaza la REGRESION en Hoja de Calculo, entonces ahora si la ayuda para cualquier investigador ya esta dada del siguiente modo (1) investigara ordenadamente moviendo variables al mismo tiempo (2) determinara coeficientes usando regresión en Hoja de Calculo. Es ahora seguro que el investigador podrá utilizar un mayor tiempo en el análisis e interpretación de resultados.

El presente trabajo da cuenta de una serie de trabajos aplicando el esquema del diseño experimental, resolviendo ecuaciones con regresión en hoja de Calculo.

I. INTRODUCCIÓN

En el tratamiento de los minerales, para obtener resultados satisfactorios, es necesaria la conjugación de muchos factores. Dentro de ellos el determinar los parámetros óptimos para el control del proceso, la finalidad es obtener una buena calidad de concentrados con las mínimas perdidas .

Si bien el tratamiento de los datos estadísticos de muestras poblacionales tuvo sus comienzos en el campo de la bioquímica y la Agricultura, desde aquellos años todas las ramas de la ingeniería han puesto énfasis en aplicarlos para sus fines, y como era de esperarse el proceso de la Mineralurgia también ha encontrado en ella una herramienta muy útil, sobre todo con los DISEÑOS EXPERIMENTALES.

Mediante la técnica mencionada en primer lugar se determina variables que tienen mayor significancia en el proceso mediante el diseño factorial y posteriormente se optimiza dichas variables con los diseños de optimización, entre los mas conocidos : octogonal y hexagonal.

Debo relevar, que desde la llegada a la Planta Concentradora de Iscaycruz del Ing. José Manzaneda Cábala, esta técnica se ha puesto en práctica e intensificado las investigaciones haciendo uso del tratamiento estadístico de los datos experimentales, más aún mediante los diseños experimentales.

El presente trabajo plasma algunos de los parámetros o variables que influyen en el proceso de concentración de minerales y la optimización de ellos. Cabe mencionar que estos trabajos han servido incluso para definir la conveniencia o no de mezclar algunos minerales tal como el de Zn con Cu secundario, en el blending procesado en la planta.

II. MARCO TEÓRICO

Investigar con diseño experimental es determinar la distribución de experimentos que conviene usar para poder hacer un mejor estudio de las variables al mismo tiempo, determinando la influencia de cada una sobre el resultado o función objetivo, que como el caso general de flotación de minerales podría ser: Grados de concentrados, recuperación, desplazamientos, etc.

De acuerdo a los esquemas el ámbito del diseño experimental es posible distinguir dos grandes rutas excluyentes entre sí. Los DISEÑOS DINÁMICOS, que son factoriales secuenciales entre ellos el EVOP, SSEVOP, y que son pequeñas variaciones en el rango de las variables para lograr mejorar resultados sucesivamente iniciando de un simplejo o prueba con variables codificadas en un triángulo, descartando en una vez la peor respuesta siguiendo la ruta contrapuesta conformando nuevamente otro simplejo y así avanzando hasta una respuesta mejorada paulatinamente (normalmente la secuencia termina en una figura poligonal cerrada), para lograr resultados favorables es necesario que la materia prima sea constante, equivalente en mineral a que la ley de cabeza sea constante y ello es difícil de lograr generalmente.

La otra ruta de los DISEÑOS ESTÁTICOS que se usan en laboratorio o en escala de pilotaje que es la que nos ocupa, en este esquema del Diseño estático se distinguen dos grandes etapas recomendablemente secuenciales ambas complementarias, la PRIMERA o de SELECCIÓN DE VARIABLES que es el primer intento de estudiar y determinar la significancia de cada una de la mayor parte de variables y determinar su influencia metalúrgica alrededor de la respuesta elegida usando como estadístico de discreción el t-student, y la SEGUNDA ETAPA o de OPTIMIZACIÓN, en la misma que con el uso de modelos cuadráticos se ajusta un modelo en dos o tres variables como máximo, estimando finalmente los mejores valores de las variables para lograr un valor máximo en la respuesta elegida, usando como estadístico de discreción el F-Snedcor.

Entonces, la primera etapa descarta variables que no son influyentes e identifica dos o tres sobre las cuales se debe trabajar para modelos de optimización generalmente cuadráticos.

2.1 ETAPA DE SELECCIÓN DE VARIABLES.

Para este efecto se cuentan con los DISEÑOS FACTORIALES 2^n , si las variables son 2 y 3, al incrementar el número de variables entre 4 y 5 se usan los FACTORIALES FRACCIONADOS MITAD Y UN CUARTO (que son diseños factoriales recortados en bloques y que permiten evitar hacer un mayor número de pruebas como lo indicaría un factorial 2^n), si el número de variables crece aún mas será necesario usar plantillas de diseño tipo PLANCKETT - BURMANN que permiten estudiar hasta 20 variables con un mínimo de 21 pruebas, pero el criterio de las plantillas es el mismo, evitar un gran número de pruebas del factorial 2^n por bloqueo de columnas codificadas que tienen la misma distribución de signos que en el lenguaje técnico se conoce como "aliases".

La generalidad de las plantillas es que normalmente aparecen en variable codificada siendo -1 el rango real inferior elegido y +1 el rango superior, 0 expresa el punto central y la relación entre variable real y codificada es la siguiente:

$$V \text{ cod.} = \frac{V \text{ real} - \text{Valor central}}{\text{radio}} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

V cod.	= es el valor codificado
V real	= valor de la variable en unidades reales elegidas
Valor central	= el centro del rango elegido
radio	= distancia en el rango del centro a un valor real.

Se reconoce una plantilla porque cada columna correspondiente a cada variable suma siempre CERO.

Luego, la estrategia sugerida para una investigación en selección de variable sería la siguiente:

1. Elegir las variables de mayor influencia hacia determinada respuesta, o pueden ser varias respuestas como el caso de flotación: recuperación, grado de concentrado, desplazamiento, etc.
2. Según el número de variables elegir la plantilla adecuada.
3. Escoger los rangos reales de las variables lo mas ajustadamente posible a la experiencia metalúrgica.
4. Realizar las pruebas de la plantilla por sorteo a fin de evitar tendencias.
5. Análisis estadístico de resultados para hallar la significancia, esta puede hacerse por el método de signos, yates, etc.; ambos manuales, pero ahora con la aparición de la hoja de calculo es mejor usar regresión lineal en cuyo caso se puede alimentar la matriz de variables independientes en valor real o en codificado, los resultados serán similares aunque los coeficientes variaran de acuerdo a la relación de transformación citada (1).
6. Evaluar la posibilidad de ajuste del rango con el método de pendiente ascendente.
7. Elegida las dos o tres variables más influyentes en la respuesta, planificar un diseño de optimización con modelos cuadráticos: Hexagonal, octogonal o compuesto central.

2.1..1. DISEÑOS FACTORIALES.

Tiene por objetivo determinar que distribución de experimentos conviene para poder hacer una mejor estimación de los modelos que se está utilizando.

Como diseño factorial se entiende a todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada prueba completa o réplica investigada. Los niveles son los diferentes valores que pueden tomar las variables. Si se considera dos niveles, el diseño se denomina Diseño Factorial a dos niveles, o diseño factorial 2^n , el cual se emplea en el presente trabajo, por lo que detallaremos este modelo.

El número necesario de pruebas a realizar viene definido por la relación:

$$N = 2^n \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

n = Número de variables.

N = Número de experimentos.

En el caso de un diseño factorial 2^n , es económico usarlo solo hasta 3 variables con un máximo de 8 pruebas, constituyéndose una plantilla en variable codificada del siguiente modo:

Para 2 variables.

Variable	Rango	Central
X1	< 6 - 12 >	9
X2	< 3 - 7 >	5

Los rangos reales elegidos al ser codificados serian -1, 0, +1 para el rango mínimo, valor central y valor máximo respectivamente en cada una de las variables, luego un juego de experimentos 2^2 tendría 4 pruebas, cuya secuencia y orden sería:

Prueba	X1	X2
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+

Se confecciona intercalando en la primera columna valores -1 y +1 para la otra columna se hace el doble de la anterior y así sucesivamente hasta completar el número de pruebas que indique el diseño 2^n .

Para 3 variables: $2^3 = 8$ pruebas.

La plantilla a considerar sería la siguiente:

Prueba	X1	X2	X3
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Si: X1 = A

X2 = B

X3 = C

Existe una manera de representar estas plantillas con solo letras minúsculas figurando la correspondiente en la prueba en que la variable participa con signo +, si no figura en el literal se entiende que participa con el valor mínimo del rango (-).

Por lo tanto:

1	2	3	4	5	6	7	8
(1)	a	ab	ab	c	ac	bc	abc

El termino (1) indica que todas las variables participan con el rango mínimo.

2.1.2 DISEÑOS FACTORIALES FRACCIONADOS.

Se usan haciendo bloques de los diseños factoriales 2^n , buscando que eliminar columnas de "ALIASSES" o que con los signos sean iguales, significa por lo tanto dividir un diseño muy grande en otro pequeño.

Para 4 variables.

Una factorial indica $2^4 = 16$ pruebas, luego se elimina la mitad de las pruebas y queda con un factorial fraccionada Mitad $\frac{1}{2} (2^4) = 8$.

Cuya plantilla codificada sería:

Prueba	X1=A	X2=B	X3=C	X4=D	ABCD
1	-	-	-	-	1
2	+	+	-	-	Ab
3	+	-	+	-	Ac
4	-	+	+	-	Bc
5	+	-	-	+	Ad
6	-	+	-	+	Bd
7	-	-	+	+	Cd
8	+	+	+	+	Abcd

Este arreglo no se utilizó en los trabajos desarrollados.

Para 5 variables.

El factorial $2^5 = 32$ pruebas, se fracciona en un diseño fraccionado $(1/4) (2^5) = 8$ pruebas, cuya plantilla es la que sigue:

Ejemplo:

Si se toma bc tiene 2 elementos comunes con ABC y 2 con BCD.

- También tomamos ac - d que tiene igual elementos comunes con los contrastes elegidos.

4. El bloque principal será:

(1) (bc) (abd) (acd)	BLOQUE I
-------------------------------	----------

5. Para el siguiente bloque se escoge un tratamiento que no figure en el primero y se multiplica módulo 2 por todos los tratamientos del principal.

Ejemplo: abc, entonces el otro bloque será:

Abc x (1)	=	-1	BLOQUE II
Abc x bc	=	(bc)	
Abc x abd	=	(abd)	
Abc x acd	=	(acd)	

6. El tercer bloque se hace igualmente ubicando un tratamiento que no figure en los 2 anteriores y multiplicando módulo 2 por los bloques anteriores.

Ejemplo: b

B x (1)	=	b	BLOQUE III
B x (bc)	=	c	
B x (abd)	=	ad	
B x (acd)	=	abcd	

B x ac	=	ac	BLOQUE IV
B x a	=	ab	
B x cd	=	bcd	
B x bd	=	d	

Este es el sistema para hacer bloques y que dan origen a los diseños PLANKET BURMANN que se usan más de 6 variables.

- Para 7 variables.
- Para u variables.

El asunto importante es que através de los bloques se ha permitido investigar con el menor número de pruebas al máximo de variables.

Se reconoce a un diseño porque sumando y restando las columnas siempre da cero, así sean las interacciones.

2.1.3. ANALISIS DE SIGNIFICANCIA.

En selección de variable la intención es calificar cual de las variables son mas influyentes para una respuesta elegida, también es posible hallar interacciones; el hecho es que determinando los coeficientes correspondientes a cada variable estos se interpretan como la "significancia"; así mientras mas alto sea el coeficiente o "efecto" mayor será la importancia de participación de esa variable sobre la respuesta, seleccionar variable significa entonces escoger las variables mas importantes y determinar aquellas que no lo sean.

Para determinar la significancia de las variables existen tres métodos : (1) El método de los signos (2) El antiguo método de Yates y (3) usando regresión en Hoja de Calculo y estimando el estadístico t-student para comparar a un t de referencia a una confiabilidad suficiente

METODO DE LOS SIGNOS

En el siguiente ejemplo en que se usaron las variables A y B, la respuesta es Y, la columna de interacciones se halló multiplicando las columnas A y B, determinar la significancia de las variables y su interacción :

A	B	Y	AB
-	-	48	+
+	-	60	-
-	+	55	-
+	+	58	+

La plantilla anterior también puede ser expresada de modo que (1) es cuando las variables tienen signo negativo; a, b o ab cuando las respectivas variables intervienen en la prueba con signo positivo :

CODIFICADO	Y
(1)	48
A	60
B	55
Ab	58

Para estimar la significancia por el método de signos se suman las respuestas donde aparezcan la variable como positiva, restar en las que aparezca como negativa y dividir entre 2

$$\text{Efecto de A} = [(60+58) - (48+55)] / 2 = 7.5$$

$$\text{Efecto de B} = [(55+58) - (48+60)] / 2 = 2.5$$

$$\text{Efecto de AB} = [(48+58) - (60+55)] / 2 = -4.5$$

Entonces, para la respuesta Y la variable A es más influyente que B, la interacción tiene una influencia intermedia solo que de signo negativo.

METODO DE YATES

CODIFICADO	1	2	3	efecto
(1)	48	108	221	
A	60	113	15	7.5
b	55	12	5	2.5
ab	58	3	-9	-4.5

En el método de Yates la primera columna es la de las respuestas Y, luego se harán tantas columnas como variables hayan intervenido, en este caso simple $n=2$, se construyen las siguientes dos columnas del siguiente modo: En la columna (2) los dos primeros números son la suma por pares de la columna anterior, los dos siguientes son la diferencia de los mismos pares; la columna (3) se obtiene de manera similar pero usando los datos logrados en la columna (2). Con el resultado de la columna (3) se procede a calcular efecto, a cada valor se le divide entre 2^{n-1} , en nuestro caso 2

Como resultado se confirma la misma apreciación que la lograda con el método de los signos

ANALISIS DE SIGNIFICANCIA POR REGRESION.

Si un proceso tiene como respuesta Y debido a variables controlables (X_1, \dots, X_n) lógicamente que la mejor situación debe ocurrir cuando se tenga una ecuación matemática que relacione Y con las variables X, sencillamente algo así como:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + \dots + a_n X_n$$

Luego el problema radicará en estimar las constante a_0, a_1, a_2 , etc. que acompañarán a las variables X_1, X_2, \dots, X_n , etc., cada coeficiente es como el efecto calculado por YATES solo que a la mitad.

La regresión tiene un algoritmo:

B : Es la matriz de los coeficientes.

X : Es la matriz de las variables.

Y : Es la matriz de las respuestas.

X^t : Es la matriz transpuesta de X.

El hecho es que cada columna de un diseño experimental será una variable y para poder hacer una regresión necesitamos que:

$$\begin{array}{ccc} \# \text{ de observaciones} & - & \# \text{ de parámetros} & > & 1 \\ \text{Experimentos} & & \text{Columnas} & & \end{array}$$

Así en el siguiente ejemplo:

1. Sea X_1 y X_2 las variables en un factorial 2^n .

Prueba	X1	X2	Y
1	-	-	30
2	+	-	27
3	-	+	40
4	+	+	33

Y toma la forma de

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2$$

Entonces se debe calcular 3 parámetros $Y = a_0, a_1, a_2$ con cuatro observaciones o pruebas, entonces los grados de libertad disponibles son:

$$G.L. = 4 - 3 = 1$$

En el caso que de incluir la interacción $X_1 X_2$ (en matriz completa).

Prueba	X1	X2	$X_1 X_2$	Y
1	-	-	+	30
2	+	-	-	27
3	-	+	-	40
4	+	+	+	33

Luego la ecuación matemática de Y sería:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_{12} X_1 X_2$$

Serían los 4 parámetros o coeficientes a estimar: a_0, a_1, a_2 y a_{12} .

Entonces:

G:L: = # de pruebas - # de parámetros

G:L: 4 - 4

G:L: = 0

Si se desea incrementar los grados de libertad para que corra la regresión es necesario aumentar pruebas al centro

2. En variable dependiente, señalar la columna de respuesta.

Y
30
27
40
33

3. La correlación en EXCEL se realiza mediante las siguientes sentencias:

- Se activa en ? (herramientas) - aceptar.
- Ayuda de lotus - aceptar.
- Datos - aceptar.
- Regresión - aceptar.
- Dar el rango de X (sombrear) - aceptar.
- Dar el rango de Y (sombrear) - aceptar.
- Dar el rango de salida (sombrear) - aceptar.
- Actuar.

4. Se obtiene por respuesta:

- Constante
- Error típico de est Y
- R cuadrado
- N° de observaciones
- Grados de libertad

- Coeficientes X
- Error típico del coef

- Se calcula el estadístico t- student de cada coef. $\frac{\text{Coef. X}}{\text{Error típico del coef.}}$
- Este estadístico se compara para su significancia contra u t de tabla con 2 colas para n-1 pruebas.

Luego serán significantes aquellas variables que si la confianza determina en valor absoluto sean mayores a t de la tabla.

Si para el ejemplo de dos variables:

t de tabla, 95% = 1.86

t-student, $X_1 = 2.35$

$X_2 = 1.32$

$$X_1 X_2 = 1.92$$

Luego la significancia será de X_1 y la interacción de $X_1 X_2$.

Este es un ejemplo simple para el criterio usado en la etapa de SELECCION DE VARIABLES, cuando se usan factoriales fraccionados o Planket Burmann, que involucran muchas variables y sus posibles interacciones nos indicarán cuales son más significantes, sobre los mismos que debemos incidir en la investigación.

Se analiza en valor absoluto pero la tendencia de la variable sobre la respuesta según el signo será luego de un pleno conocimiento del tema investigado, así este asunto meramente estadístico toma ya una forma visualizada según la función respuesta elegida de acuerdo a la influencia de determinada variable que el investigador desea discernir como apropiadas o lo que es igual indicar a esta etapa como: SELECCION DE VARIABLE cuando aún se esta lejos del óptimo.

En etapas de optimización cuando las funciones son cuadráticas se analiza la significancia de la regresión con el estadístico F para la regresión y F para la falta de ajuste, es un proceso que se detalla mas adelante.

2.2. DISEÑO DE OPTIMIZACION.

OPTIMIZACIÓN.

La etapa de selección de variables corresponde a investigar en la parte baja de la “cima” que representa la FUNCIÓN OBJETIVO, cuyo máximo alcanzara estando alrededor de dicha “punta de cerro imaginario”, en esta etapa superior de la investigación generalmente se aplican para dos variables los diseños HEXAGONAL que consta de 6 pruebas que codificadas están ubicadas en las coordenadas de un hexágono regular con centro en el origen (0,0) inscrito en una circunferencia de radio 1 y para realizar las pruebas se descodifica los valores de acuerdo a la expresión (1) y también se agregan dos o tres pruebas adicionales al centro, esto con la finalidad de analizar el error experimental.

Un segundo diseño usado para dos variables es el denominado OCTOGONAL, que es un diseño compuesto, conformado por un factorial 2^n (cuadrilátero de radio 1 y centro en el origen) al que se le agrega el diseño ESTRELLA 2^n (rotación del factorial hasta que el vértice del cuadrilátero coincida con las coordenadas) y las consiguientes pruebas al centro para el análisis del error experimental, así cuando $n = 2$ el número de pruebas será $2^2 + 2 \times 2 = 8$ que corresponden a un octágono regular con “alfa” que tiene como valor numérico codificado $2^{1/n}$ así, cuando son dos variables se tiene que $\alpha = 1.4142$.

Generalmente ambas tienen una función respuesta Y cuadrática de la forma:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{12}X_1X_2$$

Luego para hacer la regresión será necesario contar en la matriz de las variables independientes tantas columnas como constantes $a_0, a_1, a_2, a_{11}, a_{22}, a_{12}$ se desea como indica la ecuación, naturalmente que con las pruebas adicionales al centro se tendrá finalmente los suficientes grados de libertad como para proceder a la regresión sin dificultad.

El tercer diseño típico de optimización es el COMPÓSITO CENTRAL PARA TRES VARIABLES, en este caso que no ocupa el presente trabajo el número de pruebas sería $2^3 + 2 \times 3 = 14$ pruebas añadiendo las 3 pruebas al centro para analizar el error experimental resultan 17 y el "alfa" codificado en la plantilla sería igual a $21/3$, este es un modelo de figura geométrica tridimensional y otorga los suficientes grados de libertad para analizar los coeficientes de las variables simples, elevadas al cuadrado y las interacciones entre las tres variables.

Más importante que graficar las conocidas elipses concéntricas características de un diseño cuadrático, es el análisis de la ecuación resultante, de acuerdo a la matriz hessiana que es una forma rápida de evaluar si existe un máximo o mínimo en determinada función, así, es necesario saber que si los coeficientes de las variables elevadas al cuadrado son negativos ambos estaremos ante una posibilidad de un máximo, si las dos son positivas calcularemos un mínimo (en ambos casos de forma elíptica concéntrica) y si los signos son diferentes gráficamente se tendrá una "montura" de forma hiperbólica que indica estar lejos del rango apropiado para optimizar y ocurre por desconocimiento de las variables escogidas y no se tomo los rangos adecuados, normalmente se presenta este caso cuando previamente no se ha hecho una etapa de SELECCIÓN DE VARIABLE.

En cuanto al análisis estadístico de resultados el F que es una estimación de la varianza se estima y compara para la regresión lo que significa que si el F resultante es $> F$ tabla la ecuación explica el evento con la correlación suficiente; y la segunda condición excluyente es estimar el F de la tabla de ajuste y si es menor que el F de tabla significara que los puntos no están alejados de la curva representativa de la ecuación y si las dos condiciones se cumplen estadísticamente el resultado es consistente y las conclusiones tendrán el suficiente soporte técnico.

Resumiendo son figuras geométricas que tienen el número de puntos suficientes de modo que se puedan estimar también los coeficientes de las interacciones del modelo cuadrático siguiente:

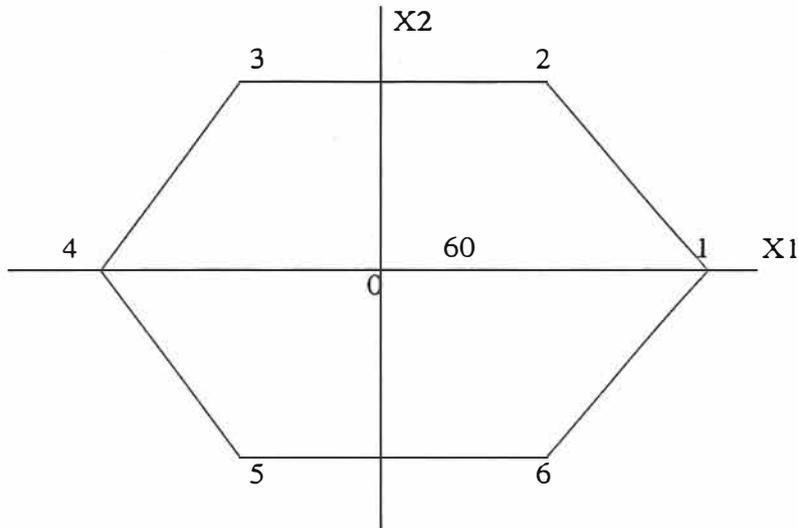
$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_{11} X_1^2 + a_{22} X_2^2 + a_{12} X_1 X_2$$

Para usar la regresión necesitamos más de 6 pruebas ($a_0 - a_1 - a_2 - a_{11} - a_{22} - a_{12}$), luego es que se propone K pruebas al centro, este último sirve no solo para dar suficientes grados de libertad para que la regresión tome lugar sino que sirve para determinar el error experimental.

Optimizar en 2 variables puede hacerse en dos tipos de diseño.

2.2.1. DISEÑO HEXAGONAL.

Es el diseño más popular utilizado, el cual en variable codificada es un hexágono regular inscrito en una circunferencia de radio 1.



Deduciendo la matriz del diseño hexagonal a partir de la figura geométrica en variable codificada se tendría:

Prueba	X1	X2
1	1.0	0.0
2	0.5	0.866
3	-0.5	0.866
4	-1.0	0.0
5	-0.5	-0.866
6	0.5	-0.866
7	0.0	0.0
8	0.0	0.0
9	0.0	0.0

Para el desarrollo de las pruebas se debe descodificar a variable real con:

$$X1 < 0, 20 >$$

$$X2 < 24, 25 >$$

$$V \text{ cod.} = \frac{X \text{ real} - X \text{ centro real}}{\text{radio}}$$

Por lo tanto en variable real se tendría:

Prueba	X1	X2	Y
1	20	24.50	68.99
2	15	24.93	45.14
3	5	24.93	16.01
4	0	24.50	4.49
5	5	24.07	12.63
6	15	24.07	54.69
7	10	24.50	48.45
8	10	24.50	40.42

Donde Y serán los resultados de la función respuesta en cada experimento, para hallar la regresión se debe completar la plantilla con las siguientes columnas.

Prueba	X1	X2	X1 ²	X2 ²	X1X2	Y
1	20	24.50	400.00	600.25	490.00	68.99
2	15	24.93	225.00	621.50	373.95	45.14
3	5	24.93	25.00	621.50	124.65	16.01
4	0	24.50	0.00	600.25	0.00	4.49
5	5	24.07	25.00	579.36	120.35	12.63
6	15	24.07	225.00	579.36	361.05	54.69
7	10	24.50	100.00	600.25	245.00	48.45
8	10	24.50	100.00	600.25	245.00	40.42

En el orden de las columnas aparecerán los coeficientes que arroje la regresión si se usa plantilla codificada, los coeficientes serán distintos cuando se usa plantilla real pero ambas se relacionan por la fórmula, que equivale decir que si tengo coeficientes codificados ellos se codifican a reales usando los valores de rango central y radio de la fórmula indicada.

Para que la ecuación lograda tenga un máximo, los términos coeficientes $X_1^2 + X_2^2$ deben ser negativos cumpliendo así la siguiente matriz hessiana.

$$H = \begin{vmatrix} d^2 Y / d X_1^2 & d^2 Y / d X_1 d X_2 \\ d^2 Y / d X_1 d X_2 & d^2 Y / d X_2^2 \end{vmatrix} > 0$$

$$H = \begin{vmatrix} 2 a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & 2 a_{22} \end{vmatrix}$$

Sale de que:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_{11} X_1^2 + a_{22} X_2^2 + a_{12} X_1 X_2$$

$$d Y / d X_1 = a_1 + 2a_{11} X_1 + a_{12} X_2$$

$$d^2 Y / d X_1 = 2 a_{11}$$

$$d Y / d X_1 X_2 = a_{12}$$

$$d Y / d X_2 = a_2 + 2 a_{22} X_2 + a_{12} X_1$$

$$d^2 Y / d X_2 = 2 a_{22}$$

Y en todo caso si cumple el punto máximo se logrará cuando las variables tengan el valor que dará para cada una de ellas, la siguiente resolución de ecuaciones simultáneas.

$$d Y / d X_1 = a_1 + 2a_{11} X_2 + a_{12} X_2 = 0$$

$$d Y / d X_2 = a_2 + 2 a_{22} X_2 + a_{12} X_1 = 0$$

Este análisis matemático es más útil que dibujar curvas concéntricas.

2.2.2. DISEÑO OCTOGONAL.

Este diseño se utiliza cuando se desea estudiar mas allá de los valores del rango elegido, el termino "alfa" y "-alfa" cumplen con este cometido. Es un Diseño Compuesto Central (D.C.C.) aplicado a 2 variables de optimización como todo D:C:C., esta conformado por un total de $2n + k$ pruebas, donde n es un número de variables así en el caso de 2 variables = $2*2 + k$ (pruebas al centro) = 8 pruebas a al centro.

La figura que representa es un octágono regular que resulta de un diseño factorial $(2n)$ más un diseño estrella $2n$. la geometría en variable codificada esta expresada por:

Prueba	X1	X2
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+
5	a	0
6	-a	0
7	0	a
8	0	a
9	0	0
10	0	0
11	0	0

Donde a en valor codificado es igual a:

$$a = 2^{1/n}$$

En nuestro caso $a = 2^{1/2} = 1.4142$

Prueba	X1	X2
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+
5	1.4142	0
6	-1.4142	0
7	0	1.4142
8	0	1.4142
9	0	0
10	0	0
11	0	0

Para realizar las pruebas se descodifica de acuerdo a la relación antes presentada.

Para hallar los coeficientes de la ecuación cuadrática se efectúa la regresión como el caso del Hexagonal, el análisis del máximo por matriz Hessiana será similar.

2.2.3. ANALISIS ESTADÍSTICO DE UNA REGRESIÓN DE UN MODELO CUADRÁTICO.

El resultado de una regresión es una ecuación de la forma:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_{11} X_1^2 + a_{22} X_2^2 + a_{12} X_1 X_2$$

Si se toma el ejemplo del hexagonal citado; se tendrá la siguiente ecuación:

$$Y = -34018.84 + 41.71X_1 + 2765.88X_2 - 0.077X_1^2 - 56.21X_2^2 - 1.503X_1X_2$$

Luego se pasa a la siguiente plantilla de regresión:

Prueba	X ₁	X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₁ X ₂	Y	Y*	(Y - Y*) ²	(Y - Prom.) ²
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
								SST	SSR

La columna Y* = predicho resulta de aplicar los valores en cada prueba a la ecuación resultante de la regresión.

Para el análisis estadístico se debe considerar que:

$$SST = SSM + SSR$$

Donde:

SST = Suma de Cuadrados Totales

SSM = Suma de Cuadrados del Modelo

SSR = Suma de Cuadrados Residual

Cada una de ellas se obtiene del siguiente modo:

$$SSR = \text{Suma } (Y - Y^*)^2$$

$$SST = \text{Suma } (Y - \text{Prom.})^2$$

Si N es el número de pruebas; M es el # de parámetros o coeficientes (incluida la constante).

Los grados de libertad de SST serán N-1, de SSM = M-1 y del SSR la diferencia de ambos = N - M, esta última queda registrada como los grados de libertad disponible de la regresión.

Luego el estadístico F de la regresión quedará determinada como:

$$F_c = \frac{SSM / (M - 1)}{SSR / (N - M)}$$

Si este Fc es mayor al F de tabla con (M - 1, N - M) grados de libertad a suficiente grado de confianza, entonces se acepta la regresión, el modelo explica el evento investigado, es decir las desviaciones de los puntos alrededor de la curva se compensan.

Para el ejemplo nuestro sería:

$$F_c = 36.21$$

Además

$$F_{\text{tabla}} = 19.30$$

Luego $F_c > F_{\text{tabla}}$

Ahora comprobar que:

$$F = \frac{R^2 (n-M)}{(1-R)(M-1)}$$

Pero ello no es suficiente ya que los puntos atravez de la curva de la ecuación pueda compensarse aún estando lejanos, deseamos que la nube de puntos este muy cerca de la curva solo así diremos que no hay falta de ajuste, para ello debemos hacer el siguiente análisis:

SSR: Significa la variación entre los puntos y la estimada, ésta variación está compuesta del S:S:E: (error experimental) + el S:S:F: (falta de ajuste).

Luego:

$$SSR = SSE + SSF$$

Donde:

$$SSR = \text{Suma } (Y - Y^*)^2$$

$$SSE = \text{Suma } (Y - Y_x)^2 \text{ par las pruebas del centro solamente.}$$

SSF = incógnita que se despeja.

Los grados de libertad para ellos serán:

$$SSR = N - M$$

$$SSE = K - 1$$

Donde K es el número de pruebas al centro, luego el # de grados de libertad para SSF será $= N - M - K + 1$, y el estadístico F para la falta de ajuste se da la relación siguiente:

$$F_{fc} = \frac{SSF / (N - M - K + 1)}{SSE / (K - 1)}$$

Si se compara con un F de tabla ingresando con $(N - M - K + 1, K - 1)$ grados de libertad a un determinado grado de confianza el F_{fc} calculado cuanto menor sea que el F_f de tabla significara que no hay falta de ajuste, o que los puntos están muy cercanos a la curva.

Estos dos estadísticos F de la regresión y de falta de ajuste son los que validaran definitivamente la ecuación lograda por la regresión.

En el ejemplo mencionado:

$$SSR = 39.70$$

$$SSE = 32.24$$

$$SSF = 7.46$$

Grados de libertad:

$$G.L. SSR = 2$$

$$G.L. SSE = 1$$

$$G.L. SSF = 1 = G.L. SSR - G.L. SSE$$

Entonces:

$$F_{fc} = \frac{SSF / (G.L. SSF)}{SSE / G.L. SSE}$$

El F_f de tabla al 95% es 18.10, luego $F_{fc} < F_f$ de tabla, por lo que no hay falta de ajuste.

III. TRABAJOS DESARROLLADOS

SELECCIÓN DE VARIABLE

TRABAJO # 3.1

DISEÑO FACTORIAL EN DEPRESORES DE ZINC DURANTE LA FLOTACION DE PLOMO - BULK

1. OBJETIVO

Investigar el efecto de los depresores Cianuro de Sodio, Bisulfito de Sodio y Sulfato de Zinc, para una flotación bulk. El material flotado fue una mezcla de muestras de faja de minerales disponibles en laboratorio Metalúrgico.

2. JUSTIFICACION

En todo proceso industrial es importante determinar las variables que influyen y el orden de prioridad de ellos. Por lo tanto en la flotación de Pb-Cu donde se emplea depresores de Zn, Fe, etc. es necesario conocer cual de ellos es el más influyente para mejorar la selectividad, es así que nos planteamos el presente trabajo.

3. METODOLOGIA

Para evaluar las variables tal como cianuro de sodio ($\text{NaCN} = X1$), bisulfito de sodio ($\text{NaHSO}_3 = X2$) y sulfato de zinc ($\text{ZnSO}_4 = X3$), se realizó 9 pruebas de un arreglo factorial $2^3 = 8$, mas uno al centro. El análisis estadístico se realiza con el t-student.

4. RESULTADOS DEL ESTUDIO

4.1. VARIABLES

Los rangos de las variables a investigar fueron los siguientes:

VARIABLE	MINIMO	CENTRO	MAXIMO
X1: Cianuro de Sodio	20	60	100
X2: Bisulfito de Sodio	50	225	400
X3: Sulfato de Zinc	50	225	400

El esquema de pruebas fue un arreglo factorial 2^3 con una prueba al centro.

4.2. ANALISIS DE LAS REGRESIONES

Con los resultados del balance metalúrgico para las nueve pruebas se hizo las regresiones lineales para cada la recuperación de cada elemento, el t-student de tabla para 9 pruebas al 95% es de 1.82 todos los valores menores se descartan. se tiene entonces el siguiente cuadro resumen:

RECUPERACION	CORR.	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3
PLOMO	98.8	-12.1	-3.90	-2.14			
ZINC	97.1	-7.19	-2.49			+2.44	
COBRE	69.8	-1.94					
FIERRO	90.1	-4.09					
PLATA	91.2	-4.32					

NOTA : X1= CIANURO DE SODIO
 X2 = BISULFITO DE SODIO
 X3 = SULFATO DE ZINC

5. CONCLUSIONES DEL FACTORIAL EN DEPRESORES

De los resultados del t-Student se debe concluir lo siguiente:

- El depresor (por el signo negativo) más significativo es el NaCN, deprime todos los valores, en especial fuertemente el Plomo (-12.1), también al Zinc (-7.19), Cobre (-1.94) , Fierro (-4.09) y Plata(-4.32)
- En lo que se refiere al Bisulfito de Sodio, tiene un efecto depresor contra el plomo (-3.90) pero en menor escala que el cianuro de sodio y también controla el zinc (-2.49) pero sin afectar el cobre, no interviene la depresión del fierro, tampoco en el de la plata.
- En cuanto al Sulfato de Zinc (X3), no tiene un marcado efecto depresor sobre el zinc, ni el fierro que serian asuntos de nuestro interés. Su uso deprime poco el Plomo (-2.14), menos comparado con el NaCN y al Bisulfito de Sodio. La interacción entre el cianuro de sodio y el Sulfato de Zinc (X1X3) se hace positiva +2.44, estaría indicando que la mezcla de ambos no mejora el efecto depresor en el zinc que individualmente si muestra el NaCN.

6. RECOMENDACIONES.

Para una depresión efectiva de Zn y Fe durante la flotación de Pb-Cu, se debe emplear con prioridad el cianuro de sodio, con lo cual se estaría controlando mejor la activación del Zn. Cabe mencionar la necesidad de optimizar la dosificación de este reactivo para evitar la depresión del Pb.

ANEXO : DISEÑO FACTORIAL DE DEPRESORES NaCN-BISULFITO DE SODIO Y SO₄Zn

A

VARIABLE		MIN	MAS	
NaCN	X1	20	100	Gr./t
BISULF.	X2	50	400	Gr./t
SO ₄ Zn	X3	50	400	Gr./t

PLANTILLA CODIFICADA						
No.	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3
1	-1	-1	-1	1	1	1
2	1	-1	-1	-1	-1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1
4	1	1	-1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	-1	-1
6	1	-1	1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	1
8	1	1	1	1	1	1
9	0	0	0	0	0	0

RECUPERACION TOTAL				
Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
62,26	15,29	77,81	42,68	48,41
53,95	8,21	71,97	9,17	35,12
60,53	11,72	77,25	26,33	42,82
51,55	6,74	69,10	8,08	33,13
60,52	12,90	78,25	39,06	46,17
53,80	9,64	74,14	10,14	37,55
57,53	12,02	78,16	37,80	45,52
51,13	9,33	73,22	9,79	35,58
55,13	9,53	68,72	9,87	35,78

REGRESIONES LINEALES PARA RECUPERACION TOTAL DE FLOTACION BATCH.

PLOMO

Constante		56,3				
Error típico de est Y		0,89				
R cuadrado		0,99				
Nº de observaciones		9				
Grados de libertad		2				
Coefficientes X	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3
Error típico del coef	0,314	0,31	0,314	0,314	0,31	0,31401
TSTUDENT	-12,1	-3,9	-2,11	-0,141	1,66	-0,60546

ZINC

Constante		10,6				
Error típico de est Y		0,89				
R cuadrado		0,97				
Nº de observaciones		9				
Grados de libertad		2				
Coefficientes X	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3
Error típico del coef	0,313	0,31	0,313	0,313	0,31	0,31304
TSTUDENT	-7,19	-2,49	0,772	1,0656	2,44	1,53585

COBRE

Constante	74,3					
Error típico de est Y	4,19					
R cuadrado	0,7					
Nº de observaciones	9					
Grados de libertad	2					
	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3
Coeficientes X	-2,88	-0,56	0,956	-0,392	0,62	0,30341
Error típico del coef	1,483	1,48	1,483	1,4828	1,48	1,48284
TSTUDENT	-1,94	-0,37	0,645	-0,264	0,42	0,20462

FIERRO

Constante	21,4					
Error típico de est Y	9,39					
R cuadrado	0,9					
Nº de observaciones	9					
Grados de libertad	2					
	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3
Coeficientes X	-13,6	-2,38	1,316	2,0208	-0,65	1,97839
Error típico del coef	3,319	3,32	3,319	3,3185	3,32	3,31852
TSTUDENT	-4,09	-0,72	0,397	0,609	-0,2	0,59617

PLATA

Constante	40					
Error típico de est Y	3,4					
R cuadrado	0,91					
Nº de observaciones	9					
Grados de libertad	2					
	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3
Coeficientes X	-5,19	-1,27	0,668	0,285	0,55	0,62176
Error típico del coef	1,203	1,2	1,203	1,2027	1,2	1,20271
TSTUDENT	-4,32	-1,06	0,556	0,237	0,46	0,51697

ANEXO VI-B: BALANCES DE PRUEBAS PARA DISEÑO FACTORIAL DE DEPRESORES

PRUEBA No. 1			ENSAYE					DISTRIBUCION				
Producto	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/TM	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Ro. Pb	72,24	7,6	1,63	19,11	7,36	24	6,2	34,4	6,1	65,8	10,9	29,3
Scv. Pb	161,14	17,0	0,59	13,08	0,6	31,4	1,81	27,8	9,2	12,0	31,8	19,1
Relave	716,6	75,4	0,18	26,97	0,25	12,7	1,1	37,7	84,7	22,2	57,3	51,6
total	949,98	100,0	0,36	24,02	0,85	16,75	1,61	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

PRUEBA No. 2			ENSAYE					DISTRIBUCION				
Producto	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/TM	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Ro. Pb	43,74	4,5	2,38	19,87	9,69	16,5	8,07	31,9	3,7	53,8	4,5	23,6
Scv. Pb	46,73	4,8	1,54	22,69	3,07	16,3	3,71	22,1	4,5	18,2	4,7	11,6
Relave	883,9	90,7	0,17	24,41	0,25	16,6	1,1	46,0	91,8	28,0	90,8	64,9
total	974	100,0	0,33	24,12	0,81	16,61	1,54	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

PRUEBA No. 3			ENSAYE					DISTRIBUCION				
Producto	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/TM	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Ro. Pb	56,13	5,9	1,92	18,45	8,81	20,8	6,92	31,5	4,5	61,6	7,2	25,7
Scv. Pb	108,9	11,4	0,91	15,45	1,15	28,7	2,38	29,0	7,3	15,6	19,2	17,1
Relave	793,5	82,8	0,17	25,8	0,23	15,1	1,09	39,5	88,3	22,7	73,7	57,2
total	958,53	100,0	0,36	24,19	0,84	17,01	1,58	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

PRUEBA No. 4			ENSAYE					DISTRIBUCION				
Producto	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/TM	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Ro. Pb	45,29	4,7	2,51	19,82	8,61	16,2	8,35	39,0	3,8	54,6	4,7	25,3
Scv. Pb	31,08	3,2	1,18	22,27	3,34	17,3	3,74	12,6	2,9	14,5	3,4	7,8
Relave	883,3	92,0	0,16	24,9	0,25	16,4	1,13	48,5	93,3	30,9	91,9	66,9
total	959,67	100,0	0,30	24,58	0,74	16,40	1,56	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

PRUEBA No. 5			ENSAYE					DISTRIBUCION				
Producto	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/TM	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Ro. Pb	91,82	9,62	1,23	14,68	5,59	25,6	4,97	35,7	5,9	66,0	14,7	30,6
Scv. Pb	127,04	13,31	0,62	12,72	0,75	30,6	1,82	24,9	7,0	12,3	24,3	15,5
Relave	735,5	77,07	0,17	27,21	0,23	13,2	1,09	39,5	87,1	21,8	60,9	53,8
total	954,36	100,00	0,33	24,08	0,81	16,74	1,56	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

PRUEBA No. 6			ENSAYE					DISTRIBUCION				
Producto	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/TM	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Ro. Pb	61,8	6,6	2,02	21,18	7,88	16,2	7,12	38,4	5,8	62,8	6,3	29,1
Scv. Pb	36,97	4,0	1,36	23,34	2,38	16,2	3,45	15,4	3,8	11,3	3,8	8,4
Relave	835,5	89,4	0,18	24,36	0,24	17	1,13	46,2	90,4	25,9	89,9	62,5
total	934,27	100,0	0,35	24,11	0,83	16,89	1,62	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

PRUEBA No. 7			ENSAYE					DISTRIBUCION				
Producto	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/TM	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Ro. Pb	85,23	8,9	1,33	13,87	6,35	26,2	5,29	34,3	5,2	66,6	13,8	29,9
Scv. Pb	128,13	13,5	0,6	12,24	0,73	30,3	1,83	23,3	6,9	11,5	24,0	15,6
Relave	739	77,6	0,19	27,24	0,24	13,6	1,11	42,5	88,0	21,8	62,2	54,5
total	952,36	100,0	0,35	24,03	0,85	16,99	1,58	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

PRUEBA No. 8			ENSAYE					DISTRIBUCION				
Producto	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/TM	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Ro. Pb	57,84	6,1	2,03	20,85	8,45	15,8	6,84	35,4	5,2	61,3	5,8	26,7
Scv. Pb	40,47	4,3	1,29	23,5	2,34	15,9	3,27	15,7	4,1	11,9	4,0	8,9
Relave	853,4	89,7	0,19	24,56	0,25	16,8	1,12	48,9	90,7	26,8	90,2	64,4
total	951,71	100,0	0,35	24,29	0,84	16,72	1,56	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

PRUEBA No. 9			ENSAYE					DISTRIBUCION				
Producto	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/TM	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Ro. Pb	53,81	5,6	2,11	20,69	7,24	15	7,08	37,4	4,8	51,2	5,0	25,5
Scv. Pb	50,64	5,3	1,06	22,13	2,64	15,6	3,05	17,7	4,8	17,6	4,9	10,3
Relave	850,6	89,1	0,16	24,92	0,28	17,1	1,13	44,9	90,5	31,3	90,1	64,2
total	955,05	100,0	0,32	24,53	0,80	16,94	1,57	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

CONDICIONES

molienda	24 minutos
peso	1000 gr
agua	550 cc
Acond. Pb	5 minutos
pH.	11.0
SO4Zn	VARIABLE
BISULFITO	VARIABLE
NaCN	VARIABLE
Z11	50 gr/TM
Op 521	20 gr/Tm
Ro. Pb	2 minutos
Scavenger Pb	3 minutos
Z11	20 gr/TM
Op 521	10 gr/TM

TRABAJO # 3.2

SELECCIÓN DE VARIABLE

PARA LA SEPARACION COBRE/ZINC POR FLOTACION

FECHA : 6 de Diciembre de 1998

1. OBJETIVO

El concentrado de cobre que se obtiene en la etapa de separación Pb/Cu, tiene alto contenido de lamas de zinc, se trata de recuperar estas ultimas en un grado comercial.

2. JUSTIFICACION.

Al tener un circuito abierto para la separación Plomo-Cobre, el concentrado de cobre es un flujo por el cual se pierde aproximadamente 0.5% de recuperación total de Zinc, el mismo que debe ser recuperado para incrementar la recuperación efectiva total del zinc.

3. METODOLOGIA

En los trabajos iniciales se investigaron la influencia de las siguientes variables: Carbón Activado, Xantato Z-6, Bisulfito de sodio y tiempo de acondicionamiento del depresor y colector.

Con el material bulk Zn/Cu se hacen flotación de Zinc y Flotación de Cobre para comparar ambos sistemas.

El diseño empleado en este trabajo es el factorial fraccionado, empleándose para el análisis de los resultados el t-student.

4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION:

4.1. DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES:

Las variables investigados con sus respectivos rangos fueron las siguientes:

variable	SIMBOLO	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO
Carbón activado	X1	gr./TM	0	50
Bisulfito de sodio	X2	gr./TM	200	1500
Acond. Bisulfito	X3	minuto	5	15
Xantato Z6	X4	gr./TM	30	90
Acondi. Z6	X5	minuto	0	5

En un arreglo de diseño factorial fraccionado $\frac{1}{4}$, se determina la siguiente significancia y correlación para recuperación de valores en concentrado flotado. En este caso después de las pruebas preliminares se flota el Cu.

RESPUESTA	correlación	X1 Cact	X2 bisulfito	X3 Ac.bisulf	X4 Z6	X5 Ac. Z6
Recup. Pb	78,9				3,16	
Recup. Zn	75,7				2,61	
Recup. Cu	84			2,71	2,01	
Recup. Fe	81,3				2,81	
Recup. Ag	80,9				3,27	

Correlación para el grado:

RESPUESTA	correlación	X1 Cact	X2 bisulfito	X3 Ac.bisulf	X4 Z6	X5 Ac. Z6
Grado Pb	34,6					
Grado Zn	71,1		-2,23			
Grado Cu	68				2,31	
Grado Fe	81,5				2,77	
Grado Ag	69,3					

El análisis estadístico del tstudent indica lo siguiente:

- El xantato Z-6 es un colector adecuado para flotar cobre en una recuperación adecuada (+2.01), con una influencia positiva en el grado de cobre (+2.31).
- El tiempo de acondicionamiento del Bisulfito de sodio será muy importante para una mayor recuperación de cobre (+2.71).
- El Bisulfito de sodio será importante en la depresión del zinc (-2.33)
- Para el grado y recuperación de hierro, el mismo que flotara junto al cobre será importante el colector xantato (+2.81 y +2.77).
- El carbón activado, en el rango investigado no tiene mayor influencia.
- El colector Z6 podrá ser alimentado sin que el acondicionamiento sea fundamental.

DE LA FLOTACION DEL ZINC DEPRIMIENDO COBRE

Se procedió a flotar esfalerita activando con CuSO_4 , ajustando el pH a 12, usando como colector Z-6 y espumante F521

	peso	%peso	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	OzAg/TM	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	% Ag
Ro. ZN	149,45	33,03	6,7	40,65	11	6,86	17,24	30,21	45,76	22,22	21,29	35,26
Scv Zn	85,51	18,90	10,26	35,17	11,72	7,75	19,8	26,47	22,65	13,55	13,76	23,17
Conc. Cu	217,57	48,08	6,6	19,28	21,84	14,37	13,96	43,32	31,59	64,23	64,94	41,57
total	452,53	100,00	7,32	29,34	16,35	10,64	16,15	100	100	100	100	100

DE LA FLOTACION DE COBRE DEPRIMIENDO ZINC

Considerando el avance de las condiciones logradas en las pruebas preliminares se acondiciono la pulpa durante 15 minutos con Bisulfito de sodio para deprimir esfalerita. El colector de Cobre fue Z-6 y el espumante F-521, el balance es el siguiente:

2

	peso	%peso	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	OzAg/TM	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	% Ag
Conc Cu	173,18	41,96	12,12	12,04	21,75	18,95	23,51	64,90	17,63	54,49	72,65	58,59
MEDIOS	128,53	31,14	7,06	31,85	15,53	8,28	16,07	28,06	34,62	28,87	23,56	29,73
CONC.ZN	111,03	26,90	2,05	50,86	10,36	1,54	7,31	7,04	47,75	16,64	3,79	11,68
total	412,74	91,21	7,84	28,65	16,75	10,94	16,84	100	100	100	100	100

5. CONCLUSIONES

Del avance de las pruebas se concluye lo siguiente:

1. Físicamente si es posible recuperar entre 40 a 50% del zinc que actualmente esta desplazado indebidamente junto al concentrado de cobre.
2. El sistema que mejor se adapta es el de flotar cobre deprimiendo zinc con Bisulfito de sodio
3. Flotar zinc también es físicamente posible, pero será necesario el uso de cianuro para deprimir cobre, y como se sabe, este depresor es bastante fuerte también para el zinc, por lo que se prevé que la separación será de menor calidad.

6. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, definitivamente se debe flotar el Cu, pero para una mejorar su grado debe investigarse la posibilidad de utilizar colectores más selectivos, tales como los ditiofosfatos acuosos o líquidos.

ANEXO

BALANCES METALURGICOS DE LAS PRUEBAS DE SEPARACION CU-ZN

prueba 1

	peso	%peso	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	OzAg/TM	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	% Ag
Conc Cu	243,22	43,32	13,45	14,9	18,85	15,24	16,8	73,33	33,52	38,32	51,05	65,38
Relave	318,19	56,68	3,74	22,6	23,19	11,17	6,8	26,67	66,48	61,68	48,95	34,62
total	561,41	100,00	7,95	19,24	21,31	12,93	11,13	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba 2

	peso	%peso	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	OzAg/TM	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	% Ag
Conc Cu	321,04	52,74	13,84	12,4	19,7	15,69	16,17	79,23	34,13	49,30	73,79	72,87
Relave	287,63	47,26	4,05	26,6	22,61	6,22	6,72	20,77	65,87	50,70	26,21	27,13
total	608,67	100,00	9,21	19,08	21,08	11,21	11,70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba 4

	peso	%peso	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	OzAg/TM	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	% Ag
Conc Cu	178,3	31,70	14,15	15,2	17,1	16,9	19,51	58,86	24,61	25,32	40,95	55,09
Relave	384,23	68,30	4,59	21,6	23,41	11,31	7,38	41,14	75,39	74,68	59,05	44,91
total	562,53	100,00	7,62	19,59	21,41	13,08	11,22	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba 5

	peso	%peso	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	OzAg/TM	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	% Ag
Conc Cu	193,3	32,01	12,33	12,8	18,54	19,8	18,62	52,65	20,00	28,44	48,07	53,14
Relave	410,6	67,99	5,22	24,1	21,96	10,07	7,73	47,35	80,00	71,56	51,93	46,86
total	603,9	100,00	7,50	20,48	20,87	13,18	11,22	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba 6

	peso	%peso	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	OzAg/TM	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	% Ag
Conc Cu	386,3	65,22	14,27	16,4	19,28	11,8	14,63	87,71	53,67	62,25	72,86	80,51
Relave	206,03	34,78	3,75	26,5	21,92	8,24	6,64	12,29	46,33	37,75	27,14	19,49
total	592,33	100,00	10,61	19,88	20,20	10,56	11,85	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba 7

	peso	%peso	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	OzAg/TM	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	% Ag
Conc Cu	252	44,29	13,18	12,3	19,22	18,96	15,27	60,19	26,90	42,35	64,82	60,13
Relave	317	55,71	6,93	26,6	20,8	8,18	8,05	39,81	73,10	57,65	35,18	39,87
total	569	100,00	9,70	20,30	20,10	12,95	11,25	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba 8

	peso	%peso	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	OzAg/TM	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	% Ag
Conc Cu	234,81	39,92	13,61	12,2	18,6	19,64	16,76	61,01	23,32	36,68	65,15	57,92
Relave	353,35	60,08	5,78	26,7	21,34	6,98	8,09	38,99	76,68	63,32	34,85	42,08
total	588,16	100,00	8,91	20,90	20,25	12,03	11,55	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba 9

	peso	%peso	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	OzAg/TM	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	% Ag
Conc Cu	340,54	58,10	12,02	12,9	20,76	15,26	13,91	76,99	39,32	58,37	71,12	71,97
Relave	245,63	41,90	4,98	27,5	20,53	8,59	7,51	23,01	60,68	41,63	28,88	28,03
total	586,17	100,00	9,07	19,00	20,66	12,46	11,23	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba 10

	peso	%peso	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	OzAg/TM	%Pb	% Zn	%Fe	%Cu	% Ag
Conc Cu	196,42	34,58	13,85	12,9	17,89	18,29	17,76	50,59	22,22	30,80	53,12	53,71
Relave	371,64	65,42	7,15	23,9	21,24	8,53	8,09	49,41	77,78	69,20	46,88	46,29
total	568,06	100,00	9,47	20,14	20,08	11,90	11,43	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

TRABAJO # 3.3

ETAPA DE OPTIMIZACION

DISEÑO DE SEGUNDO ORDEN “HEXAGONAL”

EVALUACION DE LA POSIBILIDAD DE PREPARAR UN BLENDING DEL MINERAL CON COBRE SECUNDARIO - ZONA ESTELA Y EL MINERAL NORMAL

FECHA Lunes, 21 de Diciembre de 1998

1. OBJETIVO

Determinar una proporción de blending del mineral de cobre secundario con el mineral normal tal que no afecte con altos desplazamientos de zinc en el circuito de Plomo.

2. JUSTIFICACION

Todas las plantas concentradoras que procesan minerales polimetálicos Pb-Cu-Zn tienen ocasionales y fuertes desplazamientos de zinc al circuito de plomo, la causa es el contenido natural de cobres secundarios en el mineral, que derivan en la formación de sulfato de cobre que es un activador natural de esfalerita bajo condiciones mínimas de acondicionamiento; entonces se pierde selectividad en el circuito de Plomo, y recuperación en el circuito de zinc.

En el caso nuestro, también se ha detectado que existen dos tipos de minerales de Cobre: Los primarios (calcopirita) y los secundarios (Bornita, covelita, calcosita), los primeros se separan fácilmente de un bulk de plomo/cobre, deprimiendo el cobre con MIXC; pero los secundarios activan mucha esfalerita en el circuito de Plomo, el efecto es una gran pérdida de valores de plomo y zinc que finalmente afectaran grados y recuperaciones en el producto de mayor importancia. como el 95% de la economía de Iscaycruz es por la Metalurgia del Zinc afectara mucho mas que a cualquier otra mina el hecho de que no se supere este problema

El presente trabajo esta orientado a tocar el tema de manera imparcial, para ello se utilizara un diseño estadístico a fin de evitar cualquier tipo de tendencia durante la investigación, se justifica por la existencia de aproximadamente 50,000TM de mineral con contenido de cobre secundario que deben ser extraídos para tratamiento en Planta concentradora.

3. METODOLOGIA

Para la investigación se hizo 8 pruebas de flotación batch que corresponden a un diseño hexagonal con dos pruebas al centro. La estrategia seguida fue elegir la proporción de mineral de cobre secundario entre 0 a 20% como la variable de mayor importancia a evaluar (X1), la otra variable:Tiempo de molienda entre 24 a 25 minutos, por lo ajustado del rango solo será una “variable de compañía”. Se hace un análisis estadístico de los resultados de regresión con el estadístico F tanto en la correlación como en la falta de ajuste.

4. RESULTADOS DEL ESTUDIO

4.1. DISEÑO HEXAGONAL

El trabajo de flotación batch se desarrollo bajo el esquema de 8 pruebas de flotación con los siguientes parámetros constantes en el estándar:

PRUEBA ESTANDAR PARA PRUEBAS DE DISEÑO HEXAGONAL

MOLIENDA

Mineral	1000 gr
Agua	550 gr
Cal	3500 gr/TM
Tiempo	24 min
%sólidos	65

FLOTACION Pb

	minuto	SO4Cu	Z11	OP52	pH	NaCN	Bisul	SO4Zn
	s			1				
Acondic.	5				11	20	400	400
Ro Pb	2		40	20				
Scave Pb	3		10	10			200	200
Cleaner 1 Pb	2							

FLOTACION Zn

Acond.	8	700	50	20	11,5			
Ro Zn	4							
Scv Zn	3	200	20	10				
1clean	3				12,4			
2clean	2							

4.2. VARIABLES EN ESTUDIO:

Las variables elegidas con su respectivo rango fueron las siguientes:

VARIABLE S		mínimo	máxim o
X1	% DE MINERAL DE COBRE SECUNDARIO	0	20
X2	TIEMPO DE MOLIENDA	24'	25'

La variable X1 es la que realmente se va a optimizar, por ello su rango es suficientemente amplio de 0 a 20% de mineral de cobre secundario en el blending con mineral normal, las leyes de los minerales de cabeza para hacer dicho blending fueron las siguiente:

	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/T
Mineral normal	1,16	19	0,27	20,93	1,81
Mineral de Cobres secundario	1,06	15,79	1,38	8,06	---

La variable X2 es tiempo de molienda, el rango entre 24 a 25 minutos para llegar a un grado de molienda entre 72 a 73% -m200 en la practica permanece constante, para el análisis estadístico del diseño experimental será una variable de compañía, que nos permitirá evaluar la variable X1 en un modelo cuadrático.

La plantilla de diseño aplicada en variable codificada y real fue la siguiente:

prueba	codificada		Real	
	x1	x2	x1	x2
			%	min.
1	1	0	20	24,50
2	0,5	0,866	15	24,93
3	-0,5	0,866	5	24,93
4	-1	0	0	24,50
5	-0,5	-0,87	5	24,07
6	0,5	-0,87	15	24,07
7	0	0	10	24,50
8	0	0	10	24,50

4.3. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS

La plantilla codificada (También podría ser usada la plantilla real para regresión) es usada para evaluar como respuesta (Y) el desplazamiento de zinc al concentrado de Plomo:

prueba	x1	x2	x1 ²	x2 ²	x1x2	y
1	1	0	1	0	0	69
2	0,5	0,866	0,25	0,75	0,433	45,1
3	-0,5	0,866	0,25	0,75	-0,43	16
4	-1	0	1	0	0	4,49
5	-0,5	-0,87	0,25	0,75	0,433	12,6
6	0,5	-0,87	0,25	0,75	-0,43	54,7
7	0	0	0	0	0	48,5
8	0	0	0	0	0	40,4

El resultado de la regresión es como sigue:

	Resultado de la regresión	G. Lib.
Constante	44,4	
Error típico de est Y	4,45	
R cuadrado	0,99	
Nº de observaciones	8	
Grados de libertad	2	

Calculo del F de la falta de ajuste (Faj)

Como el error residual SSR se debe a la suma de dos errores, el experimental SSE y el de la falta de ajuste SSF, siendo SSE el error residual pero solo en las pruebas al centro ($16.12+16.12 = 32.24$), en el siguiente cuadro se determina SSF:

		G.L.
SSR	39,678	2
SSE	32,24	1
SSF	7,4371	1

Los grados de libertad para SSR son los de la regresión (2), para SSE es el numero de pruebas al centro menos uno (1), y para el SSF la diferencia entre los anteriores (1).

Con los datos anteriores procedemos a calcular el F de falta de ajuste:

$$Faj = (SSF/1)/(SSE/1)$$

$$Faj = 0.2307$$

$$F_{tabla}(1,1) = 16.1$$

Resultado Del análisis de consistencia estadística:

$$F_{reg} > F_{tabla}$$

$$Faj < F_{tabla}$$

La efectiva consistencia estadística significa que la ecuación(1) expresa realmente al 99% el desplazamiento de zinc al concentrado de Plomo, y que los resultados están ajustados a una curva muy representativa por lo que se puede continuar con un análisis matemático en dicha ecuación.

CALCULO DE VALORES MAXIMOS

$$\delta y / \delta x_1 = 33.36 - 14.390x_1 - 7.46x_2 = 0$$

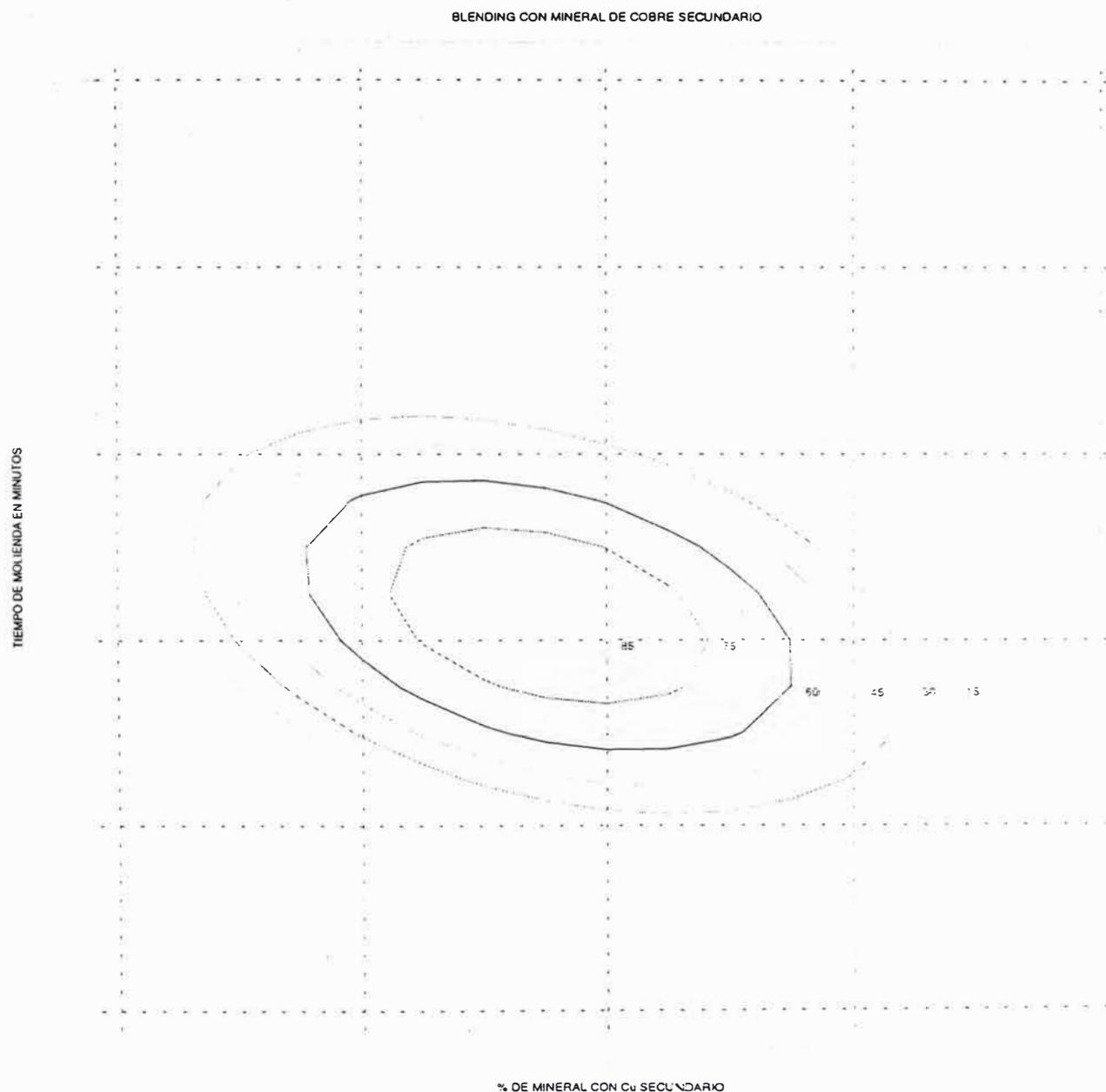
$$\delta y / \delta x_2 = -1.784 - 27.8x_2 - 7.46x_1 = 0$$

Resolviendo ambas ecuaciones se tiene que el valor máximo para X1 es 2.73 en valor codificado, descodificando representa 47.3% de mineral de cobre secundario, con el cual se tendría un máximo desplazamiento de zinc hacia el concentrado de plomo. Como el máximo excedió los limites de rango es posible deducir que más allá de 20% es posible esperar activaciones mayores al 69% de desplazamiento de zinc en el circuito de plomo, este ultimo es ya un exceso.

Para que la activación de zinc sea completa $Y=100$, cuando la molienda en valor codificado es cero, despejando de la ecuación (1), se tienen que X1 en valor codificado será 1.66,

descodificando en valores reales representa a 33.4%, que equivale a decir que en esa proporción la activación de zinc será completa; 33.4% representa 530 toneladas de mineral de cobre secundario serian suficientes para eliminar la flotación de plomo de un total de 1600 TM/día

Gráficamente la ecuación cuadrática para diferentes niveles de respuesta se observa de la siguiente manera:

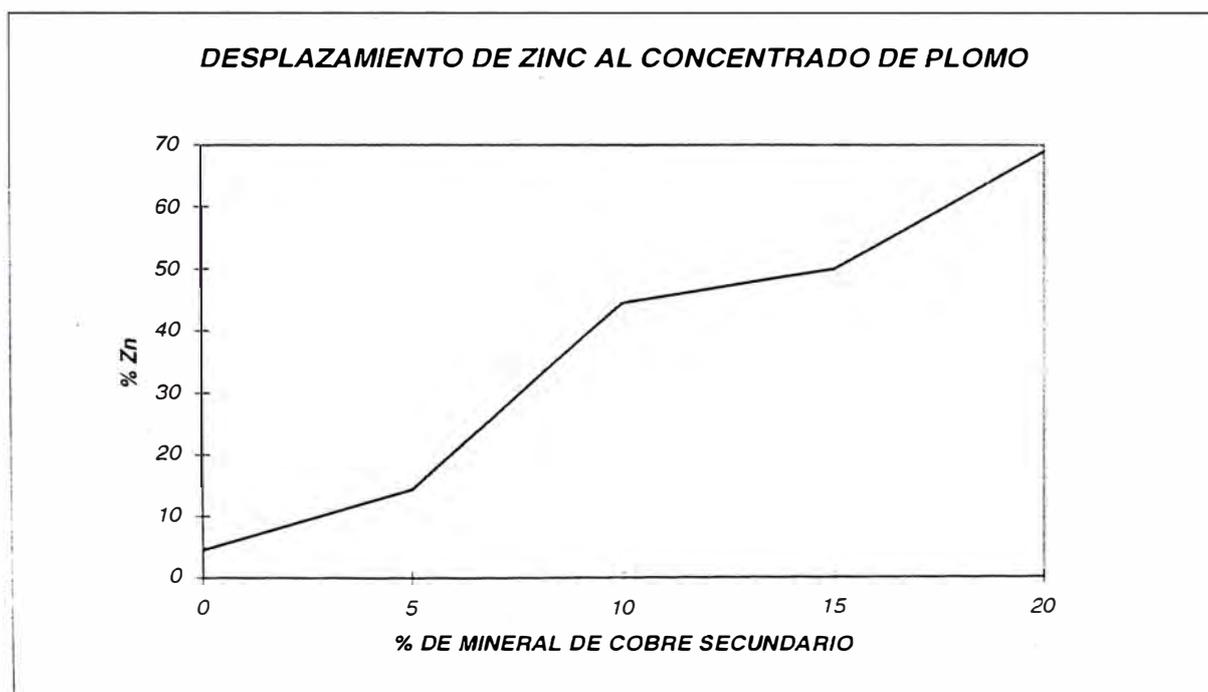


En el gráfico se observa claramente que hay un máximo de activación de Zn en función del porcentaje de mezcla del mineral de cobre secundario, esto en la etapa de la flotación de bulk. Este máximo puede ser debido a que el circuito de Pb – bulk es tan pequeño para tremenda ley de cabeza de Zn en el mineral.

Finalmente, como la estrategia de la investigación fue usar la variable X2 molienda con un rango que la hace insignificante, entonces de la tabla de variables en valor real se encuentran parejas de datos cuyos resultados debe ser muy similar, así en el cuadro respectivo, la prueba 2 y 5 son similares, igualmente la 3 y 4, finalmente la 7 y 8, la respuesta para estas parejas de pruebas puede ser promediada y finalmente confeccionar el siguiente cuadro:

x	y
20	68,9
15	49,9
10	44,4
5	14,3
0	4,5

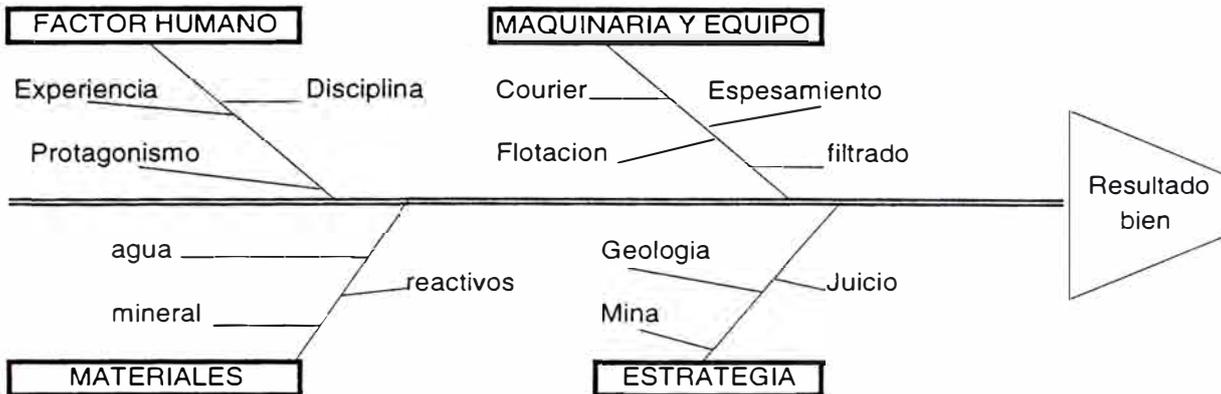
que gráficamente se aprecia del siguiente modo:



Que en pocas palabras significa que la ACTIVACION NO TIENE LIMITE, la proyección es que cuanto más se incremente la proporción de cobres secundarios mayor será la activación de zinc en el circuito de plomo.

Diagrama Causa-Efecto

CAUSA-EFECTO PARA EL TRAMIENTO DE COBRE SECUNDARIO



5. CONCLUSIONES

Desde el instante que se incremente la proporción del mineral con Cu secundario a valores mayor de 0 %, se tendrá activación de Zn en la flotación de Pb - bulk.

Al resolver la ecuación que representa la activación con un 99% de correlación, para un 100% de desplazamiento de Zn al Pb - bulk, bastara tener una porción de 33.4% del mineral antes mencionado en el blending.

En la planta cuando se tuvo presencia de este mineral el concentrado de Pb contenía valores de Zn hasta 54%.

6. RECOMENDACIONES

Es recomendable tratar este tipo de mineral por campañas, considerando solo la flotación de Zn, ya que si se trata de flotar Pb, la activación de Zn será tal que en concentrado de Pb en realidad seria de Zn. Para informar la evidencia de esta naturaleza de adjunta algunos trabajos preliminares donde se realizo incluso lixiviación ácida de l cobre contenido en este mineral.

ANEXO i. Balances metalúrgicos de las Pruebas Batch

EMISA-1998

PRUEBAS DE COBRE/ZINC
OLGA ESTELAARREGLO : DISEÑO
HEXAGONAL
VARIABLES

		mínim	máxim
X1	% DE MINERAL DE COBRE SECUNDARIO	0	0
X2	TIEMPO DE MOLIENDA	24'	25'

Flotación :
Ing. P. Paucar
Molienda-Filtrado :
Sr. Vito Cruz

prueba No.1			ensaye					distribución				
PRODUCTO	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/T	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Conc. Pb	95,71	9,6	5,32	52,40	2,36	6,82	5,18	47,63	26,75	46,29	3,50	30,89
Medios Pb	155,8	15,6	2,10	50,85	0,73	7,89	3,01	30,54	42,24	23,30	6,60	29,24
total Pb	251,5	25,1	3,32	51,44	1,35	7,48	3,84	78,17	68,99	69,59	10,10	60,13
Conc. Zn	101,1	10,1	0,80	48,69	0,50	10,90	2,37	7,54	26,26	10,36	5,92	14,96
Med. Zn	129,7	13,0	0,69	4,86	0,37	33,74	1,39	8,40	3,37	9,84	23,51	11,26
total Zn	230,9	23,0	0,74	24,06	0,43	23,74	1,82	15,94	29,63	20,20	29,42	26,22
Relave	519,3	51,8	0,12	0,50	0,10	21,69	0,42	5,89	1,39	10,22	60,47	13,65
total	1002	100,0	1,07	18,72	0,49	18,59	1,60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba No.2			ensaye					distribución				
PRODUCTO	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/T M	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Conc. Pb	72,26	7,2	8,44	49,26	2,60	7,19	6,63	57,09	18,92	42,43	2,70	28,57
Medios Pb	99,61	9,9	2,09	49,53	0,85	8,25	3,31	19,50	26,22	19,12	4,28	19,68
total Pb	171,9	17,1	4,76	49,42	1,59	7,81	4,71	76,59	45,14	61,54	6,98	48,25
Conc. Zn	147,1	14,7	0,45	56,74	0,38	6,56	2,33	6,18	44,37	12,63	5,02	20,42
Med. Zn	102,5	10,2	1,11	15,84	0,64	25,20	2,18	10,62	8,63	14,81	13,43	13,51
total Zn	249,6	24,9	0,72	39,95	0,49	14,21	2,27	16,81	53,00	27,44	18,45	33,73
Relave	581	58,0	0,12	0,60	0,08	24,68	0,52	6,60	1,87	11,02	74,57	18,02
total	1002	100,0	1,07	18,77	0,44	19,18	1,67	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba No.3			ensaye					distribución				
PRODUCTO	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/T M	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Conc. Pb	42,07	4,2	20,24	30,30	4,13	11,00	12,60	78,68	6,75	50,61	2,27	30,84
Medios Pb	52	5,2	1,79	33,62	0,68	11,52	3,42	8,61	9,26	10,29	2,93	10,35
total Pb	94,07	9,4	10,04	32,14	2,22	11,29	7,53	87,28	16,01	60,90	5,20	41,19
Conc. Zn	223,9	22,4	0,16	58,39	0,28	6,21	2,27	3,41	69,25	18,24	6,81	29,56
Med. Zn	108,9	10,9	0,33	21,23	0,28	23,39	1,73	3,34	12,24	8,87	12,47	10,96
total Zn	332,7	33,3	0,22	46,23	0,28	11,83	2,09	6,76	81,49	27,11	19,28	40,52
Relave	572,5	57,3	0,11	0,82	0,07	26,94	0,55	5,96	2,50	11,99	75,52	18,29
total	999,3	100,0	1,08	18,89	0,34	20,43	1,72	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba No.4			ensaye					distribución				
PRODUCTO	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/T M	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Conc. Pb	21,27	2,1	38,79	12,73	3,88	11,76	16,78	77,10	1,41	28,70	1,18	20,17
Medios Pb	29,76	3,0	3,04	19,80	1,88	15,56	6,90	8,47	3,08	19,48	2,19	11,61
total Pb	51,03	5,1	17,95	16,85	2,71	13,97	11,02	85,56	4,49	48,18	3,37	31,78
Conc. Zn	225,5	22,5	0,18	59,53	0,29	5,62	2,53	3,86	70,09	22,77	6,00	32,20
Med. Zn	137,6	13,7	0,34	32,37	0,35	18,05	2,12	4,39	23,25	16,77	11,75	16,47
total Zn	363,1	36,2	0,24	49,24	0,31	10,33	2,37	8,25	93,34	39,54	17,75	48,67
Relave	587,7	58,7	0,11	0,71	0,06	28,36	0,59	6,19	2,17	12,28	78,87	19,55
total	1002	100,0	1,07	19,12	0,29	21,09	1,77	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba No.5			ensaye					distribución				
PRODUCTO	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/T M	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Conc. Pb	35,8	3,6	23,06	26,24	4,56	11,48	13,33	76,40	5,02	47,68	2,01	28,15
Medios Pb	51,88	5,2	2,06	27,44	0,76	13,21	3,41	9,91	7,61	11,50	3,35	10,44
total Pb	87,68	8,8	10,63	26,95	2,31	12,51	7,46	86,31	12,64	59,18	5,35	38,59
Conc. Zn	233,9	23,4	0,18	57,98	0,29	6,71	2,30	3,97	72,52	19,79	7,66	31,73
Med. Zn	112,2	11,2	0,37	21,09	0,28	23,37	1,72	3,83	12,64	9,16	12,79	11,38
total Zn	346,1	34,7	0,24	46,02	0,29	12,11	2,11	7,80	85,16	28,96	20,46	43,11
Relave	564,5	56,5	0,11	0,73	0,07	26,93	0,55	5,89	2,20	11,86	74,19	18,30
total	998,3	100,0	1,08	18,74	0,34	20,52	1,70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba No.6			ensaye					distribución				
PRODUCTO	peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/T M	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Conc. Pb	90,79	9,1	8,10	48,68	2,46	7,56	6,42	68,87	23,49	50,65	3,55	35,45
Medios Pb	120,5	12,1	1,24	48,70	0,67	8,79	2,77	13,96	31,20	18,31	5,48	20,34
total Pb	211,3	21,2	4,19	48,69	1,44	8,26	4,34	82,83	54,69	68,96	9,03	55,79
Conc. Zn	128	12,8	0,35	54,47	0,35	7,94	2,22	4,17	37,07	10,16	5,25	17,31
Med. Zn	133,5	13,4	0,56	9,52	0,36	30,88	1,54	7,04	6,76	10,89	21,31	12,51
total Zn	261,5	26,2	0,46	31,53	0,36	19,65	1,88	11,21	43,82	21,06	26,56	29,82
Relave	524,3	52,6	0,12	0,53	0,08	23,77	0,45	5,96	1,48	9,99	64,42	14,39
total	997,1	100,0	1,07	18,87	0,44	19,40	1,65	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba No.7			ensaye					distribución				
PRODUCTO	Peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/T M	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Conc. Pb	85,53	8,5	9,32	47,28	2,44	8,07	7,03	76,41	21,41	52,07	3,45	36,24
Medios Pb	102,9	10,3	1,02	49,66	0,62	8,72	2,85	10,01	27,04	15,91	4,49	17,69
total Pb	188,4	18,8	4,79	48,58	1,45	8,42	4,75	86,42	48,45	67,98	7,94	53,93
Conc. Zn	143,5	14,3	0,23	55,71	0,32	7,95	2,20	3,15	42,33	11,46	5,71	19,06
Med. Zn	101,4	10,1	0,44	14,42	0,41	27,88	1,73	4,31	7,74	10,37	14,15	10,58
total Zn	244,9	24,5	0,32	38,61	0,36	16,20	2,01	7,46	50,07	21,83	19,86	29,64
Relave	567,1	56,7	0,11	0,49	0,07	25,44	0,48	6,12	1,47	10,19	72,20	16,43
total	1000	100,0	1,04	18,88	0,40	19,97	1,66	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

prueba No.8			ensaye					distribución				
PRODUCTO	peso	%Peso	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/T M	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	%Ag
Conc. Pb	63,1	6,3	12,00	41,18	3,12	8,76	8,60	73,75	13,81	49,87	2,78	32,05
Medios Pb	109,1	10,9	1,09	45,89	0,61	9,37	2,92	11,58	26,61	16,86	5,14	18,84
total Pb	172,2	17,2	5,09	44,16	1,53	9,15	5,00	85,33	40,42	66,73	7,92	50,90
Conc. Zn	146,3	14,6	0,21	57,98	0,31	6,93	2,23	3,00	45,07	11,49	5,09	19,29
Med. Zn	112,2	11,2	0,45	20,83	0,34	24,33	1,76	4,94	12,42	9,66	13,72	11,67
total Zn	258,5	25,8	0,32	41,85	0,32	14,48	2,03	7,94	57,50	21,15	18,81	30,95
Relave	569,4	56,9	0,12	0,69	0,08	25,60	0,54	6,73	2,08	12,12	73,27	18,15
total	1000	100,0	1,03	18,81	0,39	19,59	1,69	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

TRABAJO # 3.4

DISEÑO DE SEGUNDO ORDEN “HEXAGONAL”

SUSTITUCION PARCIAL DEL XANTATO Z-11 POR DITIOFOSFATO DE SODIO EN LA FLOTACION DE PLOMO Y BULK

FECHA 11 de Febrero de 1999

1. OBJETIVO

Determinar si usando una proporción de aerofloat sodico se logra hacer más selectivo al colector xantato Z-11 y así disminuir la activación del zinc al concentrado de plomo.

2. JUSTIFICACION

En la visita del Ing. Andy Wells se converso ampliamente sobre el tipo de mineral, cobres secundarios que se transformaban en sulfato de cobre natural y que en consecuencia tenían una fuerte activación de esfalerita durante la flotación de plomo; en condiciones normales aun sin cobres secundarios también se podría tener una gran activación de zinc cuando la cantidad de xantato es excesiva; esto indica que el xantato es un colector típico y muy enérgico para los sulfuros; de acuerdo a la sugerencia de Mr. Wells, se trata de mezclar el xantato Z-11 (cadena del alcohol isopropílico tiene 3 carbonos) con una proporción de ditiofosfato de sodio (muy selectivo por tener un alcohol etílico de cadena corta, 2 carbonos) con la finalidad de ganar selectividad especialmente frente al desplazamiento de zinc al concentrado de plomo.

3. ANTECEDENTES

El uso del Ditiofosfato de Sodio (colector auxiliar en adelante) en el Perú, se da en Chungar y NorPeru, en ambos casos en el circuito de zinc, sus experiencias indican que usando proporciones 8:1 de Z-11:Ditiofosfato de Sodio logran mejorar el grado de concentrado de zinc por menor presencia de insolubles, este caso no necesariamente es él nuestro pero es el antecedente de partida.

4. METODOLOGIA

Para estudiar la proporción de colector auxiliar inicialmente se determino un rango < 0 a 50%>, se hizo un estudio experimental reemplazando desde 0% hasta un 50% del total de colector xantato Z11, el arreglo fue en diseño hexagonal, el estudio fue descartado porque las correlaciones resultaron menores de 90% y los signos de los términos elevados al cuadrado eran distintos por ello es que se determino estar en una “montura” o fuera de rango.

La segunda etapa del estudio considera estudiar un menor rango, en este caso se escogió que la proporción de colector auxiliar debería estar entre <0 -20%>, el arreglo siempre en diseño hexagonal con la variable X2 molienda, con rango muy ajustado, para ser solo una variable de

compañía. Se evaluó la flotación batch de plomo en el estándar con un mineral de tratamiento normal y el análisis de los resultados se hace con el estadístico F tanto en la regresión como en el ajuste.

5. RESULTADOS DEL ESTUDIO

5.1 DE LA PRUEBA BATCH

La flotación batch se realizó solo en la etapa de plomo de acuerdo al objetivo trazado para el colector auxiliar, la molienda se realiza a 64% de sólidos y la flotación en 33%, las condiciones más importantes de la prueba estándar fueron:

Ley de mineral de cabeza:

	%Pb	%Zn	%Cu	%Fe	OzAg/T
Mineral de Faja alimentadora	1.71	18.93	0.30	19.85	1.65

MOLIEND

A	
Mineral	1000 gr
Agua	550 gr
Cal	3500 gr/TM
Tiempo	20 min
%sólidos	65

FLOTACION Pb

	minutos	SO ₄ Cu	Z11	OP521	pH	gr/TM NaCN	Bisul	SO ₄ Zn
Acondic.	5				11	40	600	200
Ro Pb	2		varia	20				
Scave Pb	3		varia	10				

5.2. VARIABLES EN ESTUDIO:

Las variables elegidas con su respectivo rango fueron las siguientes:

VARIABLES		mínimo	máximo
X1	% DE DITIOFOSFATO DE SODIO	0	20
X2	TIEMPO DE MOLIENDA	20'	20.5'

La variable X1 es la única que se va a estudiar, por ello es que el rango es de 0 a 20% de colector ditiofosfato de sodio que reemplazara en peso al Z-11, La variable X2 es tiempo de molienda, el rango entre 20 a 20.5 minutos para llegar a un grado de molienda entre 68 a 70% -m200 que para una operación industrial significaría constante, en este caso para el diseño experimental será una "variable de compañía", que nos permitirá estudiar la variable X1 en un modelo cuadrático.

5.3. PLANTILLA CODIFICADA Y REAL

La plantilla de diseño aplicada en variable codificada y real fue la siguiente:

prueba	codificada		Real	
	x1	x2	x1	x2
			%	min.
1	1	0	20	20,25
2	0,5	0,866	15	20,46
3	-0,5	0,866	5	20,46
4	-1	0	0	20,25
5	-0,5	-0,87	5	20,03
6	0,5	-0,87	15	20,03
7	0	0	10	20,25
8	0	0	10	20,25

DE LAS CORRELACIONES EN REGRESION

Las regresiones en las distintas respuestas están en el anexo II, un cuadro resumen de las mismas es el siguiente:

ROUGHER PLOMO	correlación	SIGNO	
		TERMINOS AL CUADRADO	
Recuperación		x1 ²	X2 ²
plomo	0,97	+	+
zinc	0,98	+	+
cobre	0,92	+	+
fierro	0,95	+	+
SCAVENGER PLOMO			
plomo	0,99	-	-
zinc	0,69	-	-
cobre	0,89	-	-
fierro	0,88	-	-

Del cuadro anterior se desprende que serán dos las respuestas que tienen consistencia estadística, serán las que tengan una correlación superior a 98%; y en el caso de los signos: cuando los dos sean positivos la ecuación tendrá un mínimo (como ocurre en todas las respuestas del rougher) y cuando los dos signos sean negativos se tendrá un máximo como ocurre en la etapa scavenger; reiterando del anexo II las que son superiores en correlación se tiene:

a) Regresión para el Zn en el Rougher Pb

Resultado de la regresión

Constante	4489,1				
Error típico de est Y	0,1253				
R cuadrado	0,9843				
Nº de observaciones	8				
Grados de libertad	2				
	x1	x2	x1 ²	x2 ²	x1x2
Coeficientes X	-8,294	-438,5	0,0088	10,711	0,40
Error típico del coef	1,1802	82,371	0,0013	2,0344	0,05 ²² ₈₃

la función respuesta es:

$$Y = 4489.1 - 8.294X_1 - 438.5X_2 + 0,0088 X_1^2 + 10.711X_2^2 + 0.4022X_1X_2(1)$$

b) Regresión para el plomo en el scavenger Pb:

Resultado de la regresión

Constante	-19062				
Error típico de est Y	0,403				
R cuadrado	0,9886				
Nº de observaciones	8				
Grados de libertad	2				
	x1	x2	x1 ²	x2 ²	x1x2
Coeficientes X	14,131	1869,4	-0,031	-45,81	-0,67
Error típico del coef	3,7952	264,89	0,004	6,5422	0,1874

La función respuesta es:

$$Y = -19062 + 14.131X_1 + 1869.4X_2 - 0.031 X_1^2 - 45.81X_2^2 - 0,67X_1X_2.....(2)$$

5.5 . ANALISIS ESTADISTICO

A pesar de que las correlaciones en ambos casos son superiores es necesario determinar las consistencias estadísticas de las regresiones en especial las de falta de ajuste:

a) Para el desplazamiento de zinc en el Rougher Pb:

Con la ecuación (1) se determina las respuestas esperadas para cada prueba, la diferencia de las respuestas observadas de la predicha por la ecuación, esto elevado al cuadrado será la suma residual al cuadrado SSR, la diferencia de cada respuesta observada menos el promedio de las observaciones será la suma de cuadrados total SST; la diferencia entre SST y SSR es la suma de cuadrados del modelo SSM, el cuadro resumen que esta en el anexo III, es el siguiente:

Y(obs. Zn)	Y(pred)	(Yobs-Ypred)^2	(Yobs-Yprom)^2
2,35	2,35503691	2,53705E-05	0,29975625
2,33	2,324845987	2,65638E-05	0,27825625
1,22	1,225154151	2,65653E-05	0,33930625
1,85	1,844963022	2,53711E-05	0,00225625
2,42	2,424919872	2,42051E-05	0,38130625
1,8	1,795080261	2,42038E-05	6,25E-06
1,35	1,224999898	0,015625025	0,20475625
1,1	1,224999898	0,015624975	0,49350625
1,8025		0,03140228	1,99915
promedio		SSR	SST
	GL	2	7
			SSM
			5
			1,96774772

Calculo de F de la regresión (Fr)

$$F_{reg} = (SSM/5) / (SSR/2)$$

$$F_{reg} = 25,07$$

$$F_{tabla}(5,2) = 19,3$$

Calculo del F de la falta de ajuste (Faj)

Como el error residual SSR se debe a la suma de dos errores, el experimental SSE y el de la falta de ajuste SSF, siendo SSE el error residual pero solo en las pruebas al centro (0.015625+0.0156249= 0,03125), en el siguiente cuadro se determina SSF:

		G.L.
SSR	0,03140228	2
SSE	0,03125	1
SSF	0,0015228	1

Los grados de libertad para SSR son los de la regresión (2), para SSE es el numero de pruebas al centro menos uno (1), y para el SSF la diferencia entre los anteriores (1).

Con los datos anteriores procedemos a calcular el F de falta de ajuste:

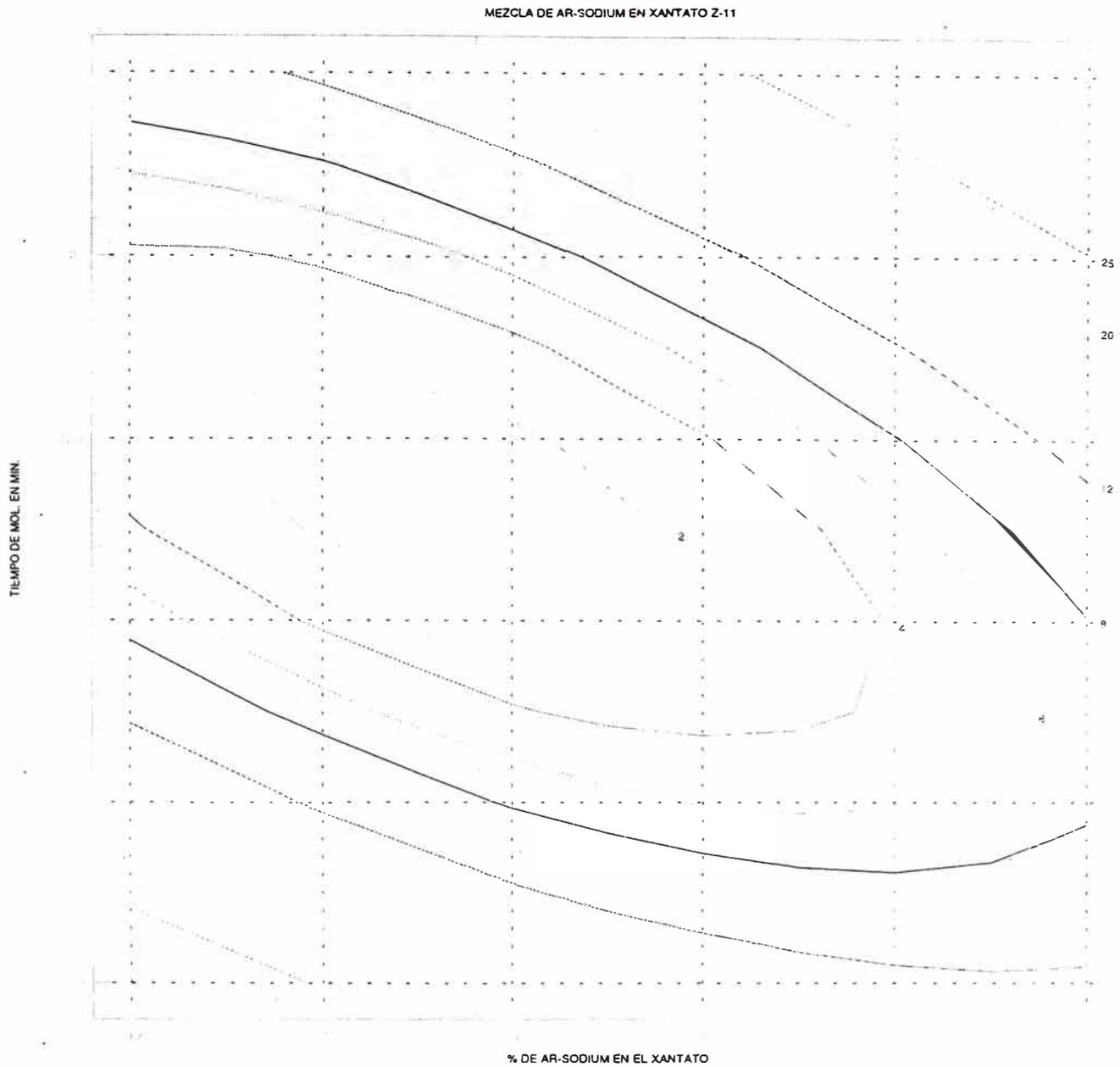
$$F_{aj} = (SSF/1)/(SSE/1)$$

$$F_{aj} = 0.00487$$

$$F_{tabla}(1,1) = 16,1$$

Resultado Del análisis de consistencia estadística: $F_{reg} > F_{tabla}$ y $F_{aj} < F_{tabla}$

La ecuación cuadrática para la activación del Zn en la flotación rougher de Pb a diferentes niveles se presenta de la siguiente forma:



En el gráfico la tendencia es hacia un mínimo, el cual se refiere a la activación de Zn en el rougher de Pb, tal como se halló matemáticamente tiende a una proporción de mezcla de 6% de AR-Sodium en el Z-11.

b) Para la recuperación de Plomo en el scavenger.

Con la ecuación (2) se obtiene el siguiente cuadro:

Y(obs.Pb)	Y(pred)	(Yobs-Ypred)^2	(Yobs-Yprom)^2
8,45	8,345502939	0,010919636	1,68350625
9,7	9,806927078	0,0114334	0,00225625
11,86	11,75307233	0,011433527	4,46265625
9,32	9,424497353	0,010919697	0,18275625
6,97	6,867932673	0,010417739	7,71450625
7,7	7,802066752	0,010417622	4,19225625
11,63	11,99000044	0,129600315	3,54380625
12,35	11,99000044	0,129599685	6,77300625
9,7475		0,32474162	28,55475
	GL	SSR 2	SST 7
			28,230008 38 SSM 5

Calculo de F de la regresión (Fr)

$$F_{reg} = (SSM/5) / (SSR/2)$$

$$F_{reg} = 34,77$$

$$F_{tabla}(5,2) = 19,3$$

Calculo del F de la falta de ajuste (Faj)

		G.L.
SSR	0,32474	2
SSE	0,2592	1
SSF	0.0655416	1

Con los datos anteriores procedemos a calcular el F de falta de ajuste:

$$F_{aj} = (SSF/1)/(SSE/1)$$

$$F_{aj} = 0,25$$

$$F_{tabla}(1,1) = 16,1$$

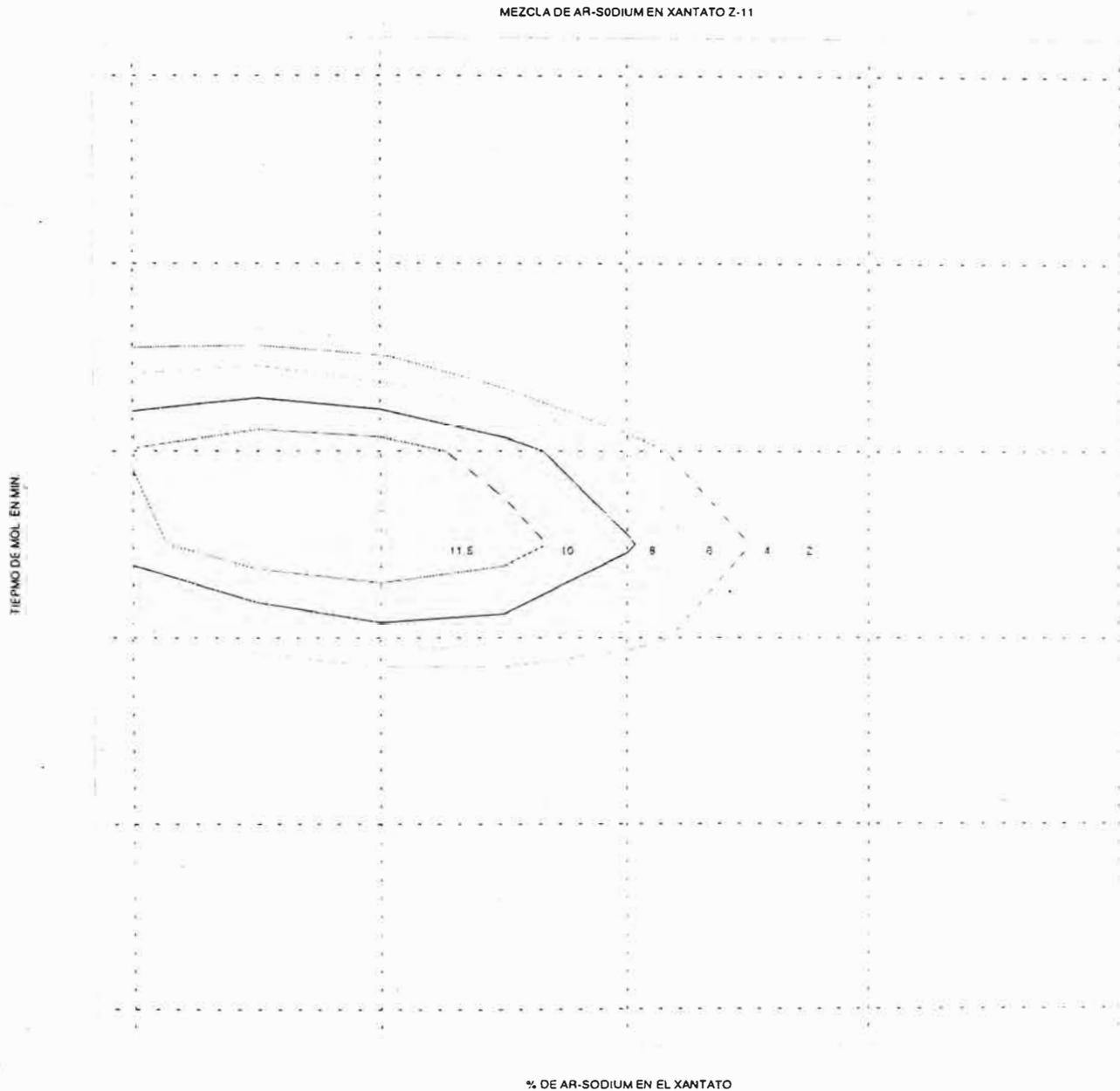
Resultado Del análisis de consistencia estadística:

$$F_{reg} > F_{tabla}$$

$$F_{aj} < F_{tabla}$$

Cumplidas las dos condiciones también la ecuación (2) que representa a la recuperación de plomo en el scavenger tiene consistencia estadística como para continuar en el análisis matemático.

La ecuación cuadrática para este caso se observa gráficamente de la siguiente manera:



En este caso se tiene un máximo para la recuperación de Pb en el scavenger de Pb, el cual corresponde a una proporción de mezcla del 8% de AR-Sodium en peso.

5.6 CALCULO DE VALORES MAXIMOS Y MINIMOS

a) Un mínimo para el desplazamiento de zinc al Rougher Pb:

derivando parciales de la función de Y respecto de X1 y X2, se igualan a cero y resuelven esas dos ecuaciones:

$$\delta y / \delta x_1 = -8.294 + 0.0176x_1 - 0.4022x_2 = 0$$

$$\delta y / \delta x_2 = -458.5 + 21.422x_2 + 0.4022x_1 = 0$$

Resolviendo ambas ecuaciones se tiene que el valor de X1 es 6.08%, otorgara a la función respuesta un mínimo.

b) Un máximo para la recuperación de plomo en el scavenger

$$\delta y / \delta x_1 = -14.131 + 0.062x_1 + 0.67x_2 = 0$$

$$\delta y / \delta x_2 = -1869.4 + 91.62x_2 + 0.67x_1 = 0$$

También en este caso resolviendo ambas ecuaciones para X1 es 8.04% se tiene un máximo de la función respuesta.

6. CONCLUSIONES

Como resultado del estudio experimental de laboratorio, se arriba a las siguientes conclusiones

- La mezcla del xantato Z-11 y el ditiofosfato de sodio, tiene un mínimo en el desplazamiento de zinc en la etapa rougher (al 98% de correlación) y que la proporción sería 6% del colector auxiliar; por otro lado en la etapa scavenger la mezcla también tiene la ventaja de ser persistente en la recuperación de plomo, un máximo se espera en 8.04%. estas dos condiciones ventajosas podrían ser evaluadas en el promedio del valor de X1 que significaría 7% de ditiofosfato de sodio y 93% de xantato Z11 en la etapa de flotación de Plomo, tanto en el rougher como en el scavenger.
- El colector ditiofosfato de sodio ha mostrado ser un colector poco energético en la etapa rougher (menor desplazamiento de zinc al concentrado de plomo) pero persistente en el scavenger (un máximo de recuperación de plomo), esto viene confirmado por los signos de los términos al cuadrado, en el primer caso ambos son positivos (un mínimo) y en el segunda caso ambos negativos (un máximo).
- El aerofloat sodico difícilmente resolverá el problema de activación de zinc en el circuito cuando se tienen sales solubles de cobre porque esta activación natural no tiene como principio el exceso de colector xantato Z11, pero como auxiliar tiene las propiedades de un colector poco energético pero persistente y sería importante una evaluación industrial cuando el tratamiento sea de mineral normal.

7. RECOMENDACION

Visto los resultados del estudio se propone hacer una prueba industrial, inicialmente con una proporción de 7% de aerofloat sodico para 93% en peso de xantato Z-11 en el circuito de plomo, siendo la preparación del ditiofosfato en cilindros aparte del tanque del xantato Z-11. Para un consumo de 5 gr./TM, un cilindro de aerofloat sodico (225 kilos) duraría entre 20 a 25 días que sería el periodo de prueba.

ANEXO I: BALANCES METALURGICOS PARA EL DISEÑO HEXAGONAL DEL AEROFLOAT SODICO

Prueba 1

Producto	Peso	%										
	(gr)	Peso	% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Plomo	38.84	4.03	31.59	11.12	1.16	13.92	9.76	77.80	2.35	15.10	2.83	23.82
Plomo Cv	20.10	2.09	6.63	17.22	3.61	16.89	5.46	8.45	1.88	24.32	1.78	6.90
Relave	903.70	93.88	0.24	19.49	0.20	20.13	1.22	13.75	95.77	60.58	95.39	69.28
Total	962.64	100.00						100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Cabeza calculada: 1.64 19.10 0.31 19.81 1.65

Cabeza

ensayada: 1.71 18.93 0.30 19.85 1.65

Prueba 2

Producto	Peso	%										
	(gr)	Peso	% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Plomo	36.81	3.84	32.96	11.43	1.67	14.17	10.08	75.74	2.33	20.83	2.75	23.60
Plomo Cv	25.77	2.69	6.03	18.51	3.15	16.24	4.85	9.70	2.65	27.51	2.21	7.95
Relave	896.90	93.48	0.26	19.09	0.17	20.07	1.2	14.56	95.02	51.66	95.04	68.45
Total	959.48	100.00						100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Cabeza calculada: 1.67 18.78 0.31 19.74 1.64

Cabeza

ensayada: 1.71 18.93 0.30 19.85 1.65

Prueba 3

Producto	Peso	%										
	(gr)	Peso	% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Plomo	26.45	2.72	43.77	8.43	1.97	12.64	12.38	74.27	1.22	16.97	1.73	20.85
Plomo Cv	22.06	2.27	8.38	17.48	4.02	16.94	6.12	11.86	2.11	28.88	1.93	8.60
Relave	923.50	95.01	0.23	19.17	0.18	20.19	1.2	13.86	96.68	54.14	96.34	70.56
Total	972.01	100.00						100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Cabeza	1.60	18.84	0.32	19.91	1.62
Calculada :					
Cabeza	1.71	18.93	0.30	19.85	1.65
Esyada :					

Frutilla 4

Producto	Peso	%										
	(gr)	Peso	% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Frutilla	31.83	3.34	40.51	10.26	2.05	13.72	11.43	78.03	1.85	21.41	2.32	23.43
Residuo	28.93	3.03	5.32	19.06	3.03	16.67	4.68	9.32	3.12	28.77	2.56	8.72
Residuo	893.00	93.63	0.23	18.82	0.17	20.09	1.18	12.65	95.04	49.82	95.13	67.85
Total	953.76	100.00						100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Cabeza	1.73	18.54	0.32	19.77	1.63
Calculada :					
Cabeza	1.71	18.93	0.30	19.85	1.65
Esyada :					

Frutilla 5

Producto	Peso	%										
	(gr)	Peso	% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Frutilla	41.33	4.33	30.74	11.22	2.01	14.33	10.40	79.17	2.42	26.98	3.17	26.16
Residuo	23.44	2.46	4.77	18.90	3.14	17.79	4.69	6.97	2.31	23.90	2.23	6.69
Residuo	889.61	93.21	0.25	20.51	0.17	19.88	1.24	13.86	95.27	49.12	94.60	67.15
Total	954.38	100.00						100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Cabeza	1.68	20.07	0.32	19.59	1.72
Calculada :					
Cabeza	1.71	18.93	0.30	19.85	1.65
Esyada :					

Frutilla 6

Producto	Peso	%										
	(gr)	Peso	% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Frutilla	33.11	3.45	37.71	9.81	1.86	13.44	11.35	79.11	1.80	20.96	2.34	24.15
Residuo	21.58	2.25	5.63	17.81	3.63	16.77	5.18	7.70	2.13	26.66	1.90	7.18
Residuo	905.30	94.30	0.23	19.12	0.17	20.10	1.18	13.19	96.06	52.38	95.75	68.66
Total	959.99	100.00						100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Cabeza	1.64	18.77	0.31	19.80	1.62
Calculada :					

Prueba 7

Producto	Peso	%										
	(gr)	Peso	% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
	27.33	2.85	41.47	9.05	1.55	12.56	11.99	73.21	1.35	14.01	1.86	20.95
S	27.80	2.90	6.48	18.24	3.83	17.19	5.51	11.64	2.76	35.22	2.58	9.79
Flave	902.61	94.24	0.26	19.53	0.17	19.59	1.2	15.16	95.90	50.76	95.56	69.25
Total	957.74	100.00						100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

C:peza 1.62 19.19 0.32 19.32 1.63
 C:culada :
 C:peza 1.71 18.93 0.30 19.85 1.65
 E:syada :

Prueba 8

Producto	Peso	%										
	(gr)	Peso	% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
	24.25	2.53	48.74	7.54	2.21	11.11	13.37	74.53	1.10	17.64	1.39	21.07
	31.63	3.30	6.21	18.63	3.06	17.48	5.03	12.39	3.20	31.86	2.85	10.34
Flave	902.40	94.17	0.23	19.53	0.17	20.6	1.17	13.09	95.80	50.50	95.76	68.60
	958.28	100.00						100.00	100.11	100.00	100.00	100.00

beza 1.65 19.20 0.32 20.26 1.61
 lculada :
 beza 1.71 18.93 0.30 19.85 1.65
 syada :

ANEXO II : Regresiones del diseño Hexagonal

X1 PROPORCION DE AEROFLOAT SODICO
 X2 MOLIE NDA

ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS

prueba	x1	x2	x1^2	x2^2	x1x2	ROUGHER					
						Pb	Zn	Cu	Fe	Pb+Cu	Ro+Scv
1	1	0	1	0	0	77.8	2.35	15.1	2.83	92.9	86.25
2	0.5	0.866	0.25	0.75	0.433	75.74	2.33	20.83	2.75	96.57	85.44
3	-0.5	0.866	0.25	0.75	-0.433	74.27	1.22	16.97	1.73	91.24	86.13
4	-1	0	1	0	0	78.03	1.85	21.41	2.32	99.44	87.35
5	-0.5	-0.866	0.25	0.75	0.433	79.17	2.42	26.98	3.17	106.15	86.14
6	0.5	-0.866	0.25	0.75	-0.433	79.11	1.8	20.96	2.34	100.07	86.81
7	0	0	0	0	0	73.21	1.35	14.01	1.86	87.22	84.84
8	0	0	0	0	0	74.36	1.10	17.64	1.39	92	86.71

REGRESION PARA EL Pb:

	resultado de la regresión				
Constante		73.79			
Error típico de est Y		0.74			
R cuadrado		0.97			
Nº de observaciones		8			
Grados de libertad		2			
Coeficientes X	0.158	-2.387	4.130	3.007	0.883
Error típico del coef	0.430	0.430	0.745	0.745	0.860

REGRESION PARA EL Zn:

	Resultado de la regresión				
Constante		1.22			
Error típico de est Y		0.13			
R cuadrado		0.98			
Nº de observaciones		8			
Grados de libertad		2			
Coeficientes X	0.248	-0.193	0.875	0.665	0.999
Error típico del coef	0.072	0.072	0.125	0.125	0.144

REGRESION PARA EL Cu:

	Resultado de la regresión				
Constante		15.83			
Error típico de est Y		2.17			
R cuadrado		0.92			
Nº de observaciones		8			
Grados de libertad		2			
Coeficientes X	-2.463	-2.927	2.430	6.670	5.705
Error típico del coef	1.256	1.256	2.175	2.175	2.511

REGRESION PARA EL Fe:

	Resultado de la regresión				
Constante	1.62				
Error típico de est Y	0.25				
R cuadrado	0.95				
Nº de observaciones	8				
Grados de libertad	2				
Coeficientes X	0.202	-0.297	0.950	0.847	1.068
Error típico del coef	0.146	0.146	0.253	0.253	0.292

REGRESION PARA (Pb+Cu):

	Resultado de la regresión				
Constante	89.61				
Error típico de est Y	2.92				
R cuadrado	0.93				
Nº de observaciones	8				
Grados de libertad	2				
Coeficientes X	-2.305	-5.315	6.560	9.677	6.588
Error típico del coef	1.684	1.684	2.917	2.917	3.368

REGRESION PARA (Ro+Scv):

	Resultado de la regresión				
Constante	85.78				
Error típico de est Y	0.99				
R cuadrado	0.56				
Nº de observaciones	8				
Grados de libertad	2				
Coeficientes X	-0.370	-0.398	1.025	0.132	-0.785
Error típico del coef	0.569	0.569	0.986	0.986	1.138

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS
RESULTADOS

prueba	x1	x2	x1 ²	x2 ²	x1x2	SCAVENGER				
						Pb	Zn	Cu	Fe	Pb+Cul
1	1	0	1	0	0	8.45	1.88	24.32	1.78	125.67
2	0.5	0.866	0.25	0.75	0.433	9.7	2.65	27.51	2.21	133.78
3	-0.5	0.866	0.25	0.75	-0.433	11.86	2.11	28.88	1.93	131.98
4	-1	0	1	0	0	9.32	3.12	28.77	2.56	137.53
5	-0.5	-0.866	0.25	0.75	0.433	6.97	2.31	23.9	2.23	137.02
6	0.5	-0.866	0.25	0.75	-0.433	7.7	2.13	26.66	1.9	134.43
7	0	0	0	0	0	11.63	2.76	35.22	2.58	134.07
8	0	0	0	0	0	12.35	3.23	31.86	2.85	136.21

REGRESION PARA EL Pb:

Resultado de la
regresión

Constante	11.99
Error típico de est Y	0.39
R cuadrado	0.99
Nº de observaciones	8
Grados de libertad	2

Coeficientes X	-0.528	1.989	-3.105	-2.875	-1.669
Error típico del coef	0.228	0.228	0.395	0.395	0.456

REGRESION PARA EL Zn:

Resultado de la
regresión

Constante	3.00
Error típico de est Y	0.52
R cuadrado	0.69
Nº de observaciones	8
Grados de libertad	2

Coeficientes X	-0.353	0.092	-0.495	-0.762	0.416
Error típico del coef	0.299	0.299	0.518	0.518	0.598

REGRESION PARA EL Cu:

Resultado de la regresión					
Constante		33.54			
Error típico de est Y		2.38			
R cuadrado		0.89			
Nº de observaciones		8			
Grados de libertad		2			
Coeficientes X	-1.252	1.683	-6.995	-6.738	-2.385
Error típico del coef	1.374	1.374	2.380	2.380	2.748

REGRESION PARA EL Fe:

Resultado de la regresión					
Constante		2.72			
Error típico de est Y		0.25			
R cuadrado		0.88			
Nº de observaciones		8			
Grados de libertad		2			
Coeficientes X	-0.268	0.003	-0.545	-0.682	0.352
Error típico del coef	0.144	0.144	0.250	0.250	0.289

REGRESION PARA
(Pb+Cu)total:

Resultado de la regresión					
Constante		135.14			
Error típico de est Y		3.37001			
R cuadrado		0.77			
Nº de observaciones		8			
Grados de libertad		2			
Coeficientes X	-4.085	-1.643	-3.54	0.063	2.535

EMISA-1999

Anexo III : Analisis Estadístico de las regresiones mayores a 0.98

Feb-99

		min	max
X1	proporcion de aerofloat sodico	0%	20%
X2	molienda	20 min	20.5 min

PLANTILLA CODIFICADO						PLANTILLA REAL					Y(obs. Zn)	Y(pred)	(Yobs-Ypred)^2	(Yobs-Yprom)^2	
prueba	x1	x2	x1^2	x2^2	x1x2	x1	x2	x1^2	x2^2	x1x2					
1	1	0	1	0	0	20	20.25	400	410.1	405	2.35	2.35503691	2.53705E-05	0.29975625	
2	0.5	0.866	0.25	0.75	0.433	15	20.46	225	418.6	306.9	2.33	2.32484599	2.65638E-05	0.27825625	
3	-0.5	0.866	0.25	0.75	-0.433	5	20.46	25	418.6	102.3	1.22	1.22515415	2.65653E-05	0.33930625	
4	-1	0	1	0	0	0	20.25	0	410.1	0	1.85	1.84496302	2.53711E-05	0.00225625	
5	-0.5	-0.866	0.25	0.75	0.433	5	20.03	25	401.2	100.2	2.42	2.42491987	2.42051E-05	0.38130625	
6	0.5	-0.866	0.25	0.75	-0.433	15	20.03	225	401.2	300.5	1.8	1.79508026	2.42038E-05	6.25E-06	
7	0	0	0	0	0	10	20.25	100	410.1	202.5	1.35	1.2249999	0.015625025	0.20475625	
8	0	0	0	0	0	10	20.25	100	410.1	202.5	1.1	1.2249999	0.015624975	0.49350625	
											1.8025		0.03140228	1.99915	1.96774772

DESPLAZAMIENTO DE Zn AL Pb :

GL 2 SST 7 SSM 5

Resultado de la regresión

Constante	4489
Error típico de est Y	0.125
R cuadrado	0.984
Nº de observaciones	8
Grados de libertad	2
	x1 x2 x1^2 x2^2 x1x2
Coefficientes X	-8.294 -438.5 0.009 10.71 0.402
Error típico del c	1.18 82.37 0.001 2.034 0.058

Fregresion(Frg) :
Frg = 25.07
Fajuste(Faj) :
Faj = 0.00487

SSR 0.03140228 GL 2
SSE 0.03125 1
SSF 0.00015228 1

Ftabla(1,1) = 18.1

sigue anexo III
 RECUPERACION DE Pb EN EL SCAVENGER :

	PLANTILLA CODIFICADO					PLANTILLA REAL					Y(obs.Pb)	Y(pred)	(Yobs-Ypred) ²	(Yobs-Yprom) ²	
	x1	x2	x1 ²	x2 ²	x1x2	x1	x2	x1 ²	x2 ²	x1x2					
1	1	0	1	0	0	20	20.25	400	410.1	405	8.45	8.34550294	0.010919636	1.68350625	
2	0.5	0.866	0.25	0.75	0.433	15	20.46	225	418.6	306.9	9.7	9.80692708	0.0114334	0.00225625	
3	-0.5	0.866	0.25	0.75	-0.433	5	20.46	25	418.6	102.3	11.86	11.7530723	0.011433527	4.46265625	
4	-1	0	1	0	0	0	20.25	0	410.1	0	9.32	9.42449735	0.010919697	0.18275625	
5	-0.5	-0.866	0.25	0.75	0.433	5	20.03	25	401.2	100.2	6.97	6.86793267	0.010417739	7.71450625	
6	0.5	-0.866	0.25	0.75	-0.433	15	20.03	225	401.2	300.5	7.7	7.80206675	0.010417622	4.19225625	
7	0	0	0	0	0	10	20.25	100	410.1	202.5	11.63	11.9900004	0.129600315	3.54380625	
8	0	0	0	0	0	10	20.25	100	410.1	202.5	12.35	11.9900004	0.129599685	6.77300625	
											9.7475		0.32474162	28.55475	28.2300

Recuperacion de Plomo en el scavenger

GL	SSR	SST	SSM
2	2	7	5
Fregresion(Frg) :			
Frg =		34.77	
Fajuste(Faj) :			
Faj =		0.25	
SSR	0.32474162	GL	2
SSE	0.2592		1
SSF	0.06554162		1

Resultado de la regresión
 Constante -19062
 Error típico de est Y 0.403
 R cuadrado 0.989
 N° de observaciones 8
 Grados de libertad 2

	x1	x2	x1 ²	x2 ²	x1x2
Coefficientes X	14.13	1869	-0.031	-45.81	-0.67
Error típico del c	3.795	264.9	0.004	6.542	0.187

Ftabla(1,1) = 18.1



EMPRESA MINERA ISCAYCRUZ S.A.
LABORATORIO METALURGICO

TRABAJO # 3.5

DISEÑO DE SEGUNDO ORDEN “OCTOGONAL”

pH EN LA FLOTACION PLOMO-COBRE

FECHA : 30 de Diciembre de 1998

1. OBJETIVO

Determinar el mejor pH para la flotación de valores de plomo y cobre en el primer circuito, con la finalidad de tener un menor desplazamiento de estos valores hacia el concentrado de zinc y en consecuencia mejorar el grado del mismo.

2. JUSTIFICACION

El desplazamiento de plomo es siempre un tema especial para toda flotación diferencial Pb-Zn, a la fecha en lo que ha transcurrido de 1998, en la metalurgia de Iscaycruz, se tiene un desplazamiento de 29.5% de Pb hacia el concentrado de zinc, este es un desplazamiento típicamente alto para una metalurgia normal con 5 a 10% de Zinc en mineral de cabeza, pero la alta ley de zinc en Iscaycruz puede ser la causa para que este desplazamiento sea considerado “normal”, toda vez que durante la flotación la colección por arrastre es un criterio valido y vigente, en este caso para el plomo. En este mismo marco se debe considerar al cobre, el desplazamiento promedio acumulado a la fecha es de 70% del cobre desplazado hacia el concentrado de zinc, pero estamos seguros que de ese total por lo menos la mitad es cobre en posibilidad de flotar en un bulk Pb/Cu. Si estos desplazamientos disminuyeran a la mitad todo iría en beneficio de una mejor metalurgia del zinc.

Una variable que esta pendiente y es necesario evaluar es el pH de flotación del circuito de Plomo, porque en Iscaycruz, el uso de cemento en el sostenimiento de zonas de minado, tiene como resultado cierto grado de alcalinidad en la pulpa desde la molienda, así la flotación del circuito de Plomo siempre ha sido mayor de 11 y hasta un 11.4 como valores óptimos, pero es necesario determinar que grado de sensibilidad tiene el pH sobre la flotación de Plomo y Cobre, probar por ejemplo pH entre 10 y 11, la dificultad es que se tendría que usar H₂SO₄ para disminuir algunos decimos el pH natural (>11), pero si las posibilidades de mejorar el zinc es una alternativa, entonces el trabajo de investigación se justifica, y si es necesario no detenerse hasta escalar a una prueba industrial.

3. METODOLOGIA

Para evitar la tendencia del operador durante la flotación batch de laboratorio se prefiere desarrollar las pruebas en un esquema de diseño experimental, con las siguientes consideraciones generales:

- Se escoge el diseño octogonal porque tiene la ventaja de investigar mas arriba del valor máximo y más abajo del valor mínimo del rango de pH elegido.
- Como se desea evaluar solo la variable pH se escoge una segunda variable : Molienda, como de “compañía”, por esto su rango será muy corto, solo entre 24 a 25 minutos
- Se evaluara una ecuación de segundo orden para determinar un máximo en la función respuesta, previamente un análisis estadístico de Regresión y ajuste en el estadístico F

4. RESULTADOS DEL ESTUDIO

4.1. Del batch experimental

Las condiciones más importantes para el desarrollo de las pruebas batch de flotación fueron las siguientes:

MOLIENDA

Mineral	1000 Gr
Agua	550 Gr
Cal	varia
Tiempo	varia
%sólidos	65

FLOTACION Pb

	minutos	Z11	OP521	gr./TM	NaCN	Bisul	SO 4Zn
Acondic.	5	40			30	600	200
Ro Pb	2		20				
Scave Pb	3	10	10			100	100
Cleaner 1 Pb	2				6	100	100

4.2. Del rango de las variables:

Para el arreglo octogonal se considera el pH en un rango que realmente nos interesa estudiar, entre 10 y 11.8 que son valores que podrían presentarse en nivel industrial, además que el arreglo del “alfa” en la plantilla nos garantizara que investigaremos una prueba con pH debajo de 10 y otra prueba por encima de 11.8 (cerca de 12). En lo que se refiere a la variable molienda, por ser el estándar de molienda 24 minutos para alcanzar 75% -m200, un minuto

adicional prácticamente no será un gran cambio en molienda, entonces será una variable solo de “compañía”

VARIABLE		mínimo	centro	máximo
X1	pH	10	10,9	11,8
X2	Molienda minutos	24	24,5	25

4.3. De las Plantillas codificadas y real :

Es importante observar que los términos “alfa” o 1.41 en valor codificado son los puntos estrella del octágono y que salen un poco mas abajo del rango mínimo (pH=9.63) y un tanto mas arriba del rango máximo (pH=12.17)

Plantilla Prueba	Codificado		Real	
	X1	X2	pH	t mol.
1	-1,00	-1,00	10,00	24,00
2	1,00	-1,00	11,80	24,00
3	-1,00	1,00	10,00	25,00
4	1,00	1,00	11,80	25,00
5	1,41	0	12,17	24,50
6	-1,41	0	9,63	24,50
7	0	1,41	10,90	25,21
8	0	-1,41	10,90	23,79
9	0	0	10,90	24,50
10	0	0	10,90	24,50

4.4. De las regresiones

Como rango de X para la regresión es necesario completar la plantilla con los términos $X1^2$, $X2^2$ y $X1X2$, como respuesta se analiza la recuperación de Pb+Cu, esto es casi una respuesta obligada porque haciendo solo para recuperación de plomo en la regresión se obtiene una ecuación fuera de rango o “montura”, por el contrario en la suma Pb+Cu los términos elevados al cuadrado son negativos lo que indica que la función respuesta tiene un máximo; el cuadro de plantilla y la regresión es como sigue:

Prueba	pH	t	$X1^2$	$X2^2$	$X1X2$	Obs.
	X1	X2				Pb+Cu
1	10,00	24,00	100,0	576,0	240,0	136,98
2	11,80	24,00	139,2	576,0	283,2	93,75
3	10,00	25,00	100,0	625,0	250,0	133,79
4	11,80	25,00	139,2	625,0	295,0	87,85
5	12,17	24,50	148,1	600,3	298,2	42,11
6	9,63	24,50	92,7	600,3	235,9	138,37
7	10,90	25,21	118,8	635,5	274,8	135,16
8	10,90	23,79	118,8	566,0	259,3	132,72
9	10,90	24,50	118,8	600,3	267,1	134,95
10	10,90	24,50	118,8	600,3	267,1	141,21

		Resultado de la regresión				
		Pb+Cu				
Constante		-7658,66				
e						
Error típico de est Y		8,94799				
R		0,9667				
cuadrado						
Nº de observaciones		10				
Grados de libertad		4				
		X1	X2	X1^2	X2^2	X1X2
Coeficientes X		644,78	364,94	-29,32	-7,14	-1,51
Error típico del coef		268,59	822,06	5,19	16,63	9,94

4.5. Análisis estadístico de la Regresión y Ajuste:

Antes de usar la ecuación cuadrática resultante de la regresión, es necesario determinar la consistencia estadística del trabajo, se inicia este trabajo calculando con la ecuación de la regresión una columna de Y predicho; entonces la diferencia del predicho menos el observado elevado al cuadrado, sumados prueba a prueba es el termino SSR (Suma de residuos al cuadrado); por otro lado, las respuestas observadas menos el promedio de estas observaciones, elevadas al cuadrado representa el termino SST (Suma de cuadrados Total), la diferencia entre ambas es SSM (suma de cuadrados del modelo) :

Obs. Pb+Cu	Pred.	SSR Pb+Cu	SST Pb+Cu	
136,98	140,76	14,26	372,14	
93,75	85,74	64,21	573,08	
133,79	140,71	47,89	259,24	
87,85	82,98	23,71	890,37	
42,11	51,01	79,27	5712,19	
138,37	130,56	60,93	427,70	
135,16	133,49	2,80	305,24	
132,72	135,48	7,60	225,93	
134,95	138,08	9,81	297,94	
141,21	138,08	9,78	553,24	
117,69		320,27	9617,06	9296,80
		SSR	SST	SSM
Grados Libertad		4	9	5

- **Calculo de F de la regresión (Fr)**

$$F_{reg} = (SSM/5) / (SSR/4)$$

$$F_{reg} = 23,22$$

$F_{\text{tabla}}(5,4) = 6.26$

- **Calculo del F de la falta de ajuste (Faj)**

Cómo el error residual SSR se debe a la suma de dos errores, el experimental SSE y el de la falta de ajuste SSF, siendo SSE el error residual pero solo en las pruebas al centro ($9,81+9,78 = 19,59$), en el siguiente cuadro se determina SSF :

		G.L.
SSR	320,27	4
SSE	19,59	1
SSF	300,68	3

Los grados de libertad para SSR son los de la regresión (4), para SSE es el numero de pruebas al centro menos uno (1), y para el SSF la diferencia entre los anteriores (3).

Con los datos anteriores procedemos a calcular el F de falta de ajuste :

$$F_{aj} = (SSF/3)/(SSE/1)$$

$$F_{aj} = 5,12$$

$$F_{\text{tabla}}(3,1) = 216$$

Resultado Del análisis de consistencia estadística:

$$F_{reg} > F_{\text{tabla}}$$

$$F_{aj} < F_{\text{tabla}}$$

La efectiva consistencia estadística significa que la ecuación de la regresión expresa realmente al 96,7% de correlación, una función de recuperación de Pb+Cu por flotación, y que los resultados están ajustados a una curva muy representativa por lo que se puede continuar con un análisis matemático en dicha ecuación para determinar los valores de X1 y X2 para obtener un máximo.

4.6. Cálculo de la respuesta máxima

$$Y = -7658.66 + 644.782X_1 + 364.940X_2 - 29.322X_1^2 - 7.141X_2^2 - 1.506X_1X_2$$

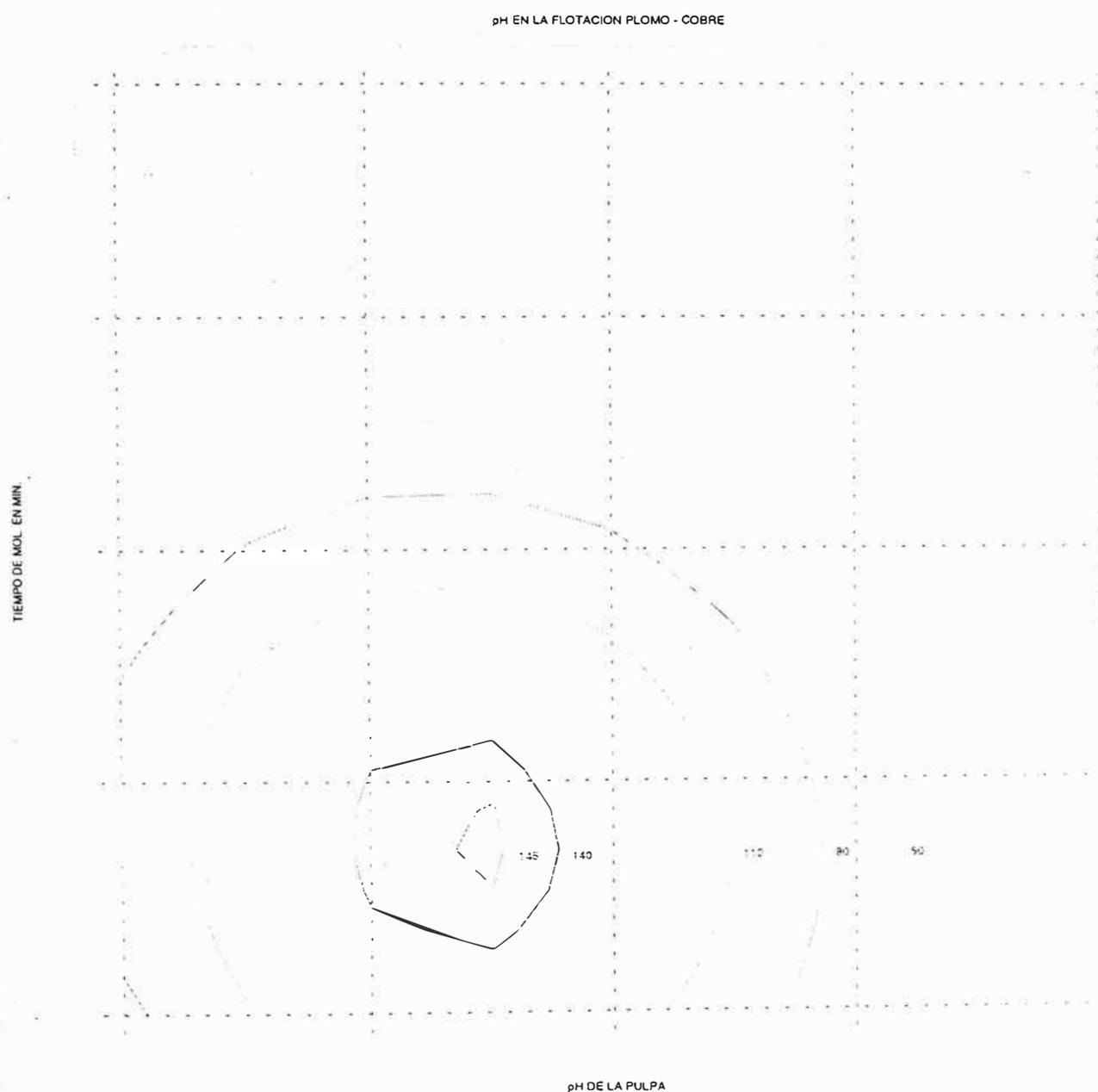
Para hallar un máximo se hacen derivadas parciales de la función de Y respecto de X1 y X2, se igualan a cero y resuelven esas dos ecuaciones :

$$\delta y / \delta x_1 = 664.782 - 58.644x_1 - 1.506x_2 = 0$$

$$\delta y / \delta x_2 = 364.940 - 14.282x_2 - 1.506x_1 = 0$$

Resolviendo ambas ecuaciones se tiene que el valor máximo de Y se logra cuando X1 o el valor del pH es 10.38, el análisis de la molienda no es importante porque el rango es muy pequeño. Y así fue elegido al iniciar la investigación.

La ecuación cuadrática para este trabajo se observa de la siguiente forma, para diferentes niveles de respuesta.



Gráficamente se observa un máximo en la recuperación de Pb + Cu en función del pH, que sumados deben estar alrededor de 147% de los cuales aproximadamente el 61% correspondería

al Pb que representa un 89% de recuperación del mismo. Actualmente en la planta se esta llegando a obtener alrededor del 70%, esto debe mejorarse.

Adjunta : Anexo de Balances metalúrgicos de 10 pruebas batch.

5. CONCLUSIONES

Del desarrollo y análisis estadístico de la regresión se concluye lo siguiente

- Una correlación de 96% es suficiente para aceptar la consistencia estadística de que el pH si afecta la recuperación de Plomo+Cobre, el F de regresión es mayor que el F de tabla ($23.22 > 6.26$) y el F de falta de ajuste es menor que el F de Tabla ($5.16 < 216$)
- Para determinar si la ecuación de Y en función del pH y Molienda tiene un máximo , solo basta con observar que los términos elevados al cuadrado sean negativos; siendo así se procede a derivar la función Y respecto de las variables X1 y X2, igualando a cero ambas ecuaciones, se determina que el valor de pH para alcanzar un máximo de recuperación de Plomo+ Cobre es de 10.38
- Exceso de pH como en la prueba No. 5 , en que el pH fue de 12.17 se observa que es muy dañino tanto para el plomo como para el cobre.

6. RECOMENDACIÓN

Iniciar los trabajos necesarios para hacer una prueba industrial en pH alrededor de 10.4, la corrección del pH de la pulpa mediante ácido sulfúrico y con sistema automático a fin de comprobar industrialmente esta ventaja.

ANEXO I.

BALANCE METALURGICO PARA DISEÑO OCTOGONAL: EVALUACION DEL pH EN FLOTACION PLOMO
prueba 1

Producto	Peso	% Peso										
			% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Co. Bulk	44,63	4,44	43,97	7,33	2,95	5,85	14,42	75,89	1,74	42,10	1,35	24,35
Med.	35,68	3,55	6,07	29,01	0,93	12,30	6,04	8,38	5,51	10,61	2,27	8,15
Ro+Scv.		7,99	27,13	5,00	3,28	21,22	4,03	84,27	7,25	52,71	3,63	32,50
Relave	924,40	92,01	0,44	18,86	0,16	20,12	1,93	15,73	92,75	47,29	96,37	67,50
C. Cal.	1004,71	100,00	2,57	18,71	0,31	19,21	2,63	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
C. Ensy.			2,57	19,34	0,32	19,50	2,66					

2

Producto	Peso	% Peso										
			% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Co. Bulk	30,25	3,01	44,75	14,85	2,95	4,99	16,39	52,79	2,31	28,89	0,77	19,49
Med.	28,68	2,86	4,65	25,95	0,74	10,88	5,18	5,20	3,83	6,87	1,59	5,84
Ro+Scv.		5,87	25,23	20,25	1,87	7,86	10,93	57,99	6,15	35,76	2,35	25,33
Relave	944,80	94,13	1,14	19,28	0,21	20,32	2,01	42,01	93,85	64,24	97,65	74,67
C. Cal.	1003,73	100,00	2,55	19,34	0,31	19,59	2,53	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
C. Ensy.			2,57	19,34	0,32	19,50	2,66					

3

Producto	Peso	% Peso										
			% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Co. Bulk	41,44	4,12	47,32	11,48	3,04	6,07	14,90	74,81	2,48	41,27	1,30	23,46
Med.	28,62	2,84	7,37	23,90	1,03	13,11	6,26	8,05	3,57	9,66	1,94	6,81
Ro+Scv.		6,96	31,00	16,55	2,22	8,95	11,37	82,86	6,05	50,93	3,24	30,27
Relave	936,20	93,04	0,48	19,25	0,16	19,97	1,96	17,14	93,95	49,07	96,76	69,73
C. Cal.	1006,26	100,00	2,60	19,06	0,30	19,20	2,62	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
C. Ensy.			2,57	19,34	0,32	19,50	2,66					

4

Producto	Peso	% Peso										
			% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Co. Bulk	25,09	2,49	49,59	11,90	3,29	4,74	17,96	47,56	1,54	26,86	0,61	16,49
Med.	26,55	2,63	5,57	24,76	0,90	12,22	5,64	5,65	3,40	7,78	1,67	5,48
Ro+Scv.		5,12	26,96	18,51	2,06	8,59	11,63	53,21	4,94	34,64	2,29	21,97
Relave	956,30	94,88	1,28	19,22	0,21	19,81	2,23	46,79	95,06	65,36	97,71	78,03
C. Cal.	1007,94	100,00	2,60	19,18	0,30	19,23	2,71	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
C. Ensy.			2,57	19,34	0,32	19,50	2,66					

5

Producto	Peso	% Peso										
			% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Co. Bulk	8,28	0,83	33,32	16,62	4,63	4,45	23,08	10,78	0,71	12,57	0,19	6,98
Med.	30,27	3,02	6,04	24,46	1,17	11,21	6,14	7,14	3,83	11,61	1,76	6,79
Ro+Scv.		3,85	11,90	22,78	1,91	9,76	9,78	17,93	4,55	24,18	1,95	13,77
Relave	963,40	96,15	2,18	19,13	0,24	19,62	2,45	82,07	95,45	75,82	98,05	86,23
C. Cal.	1001,95	100,00	2,55	19,27	0,30	19,24	2,73	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
C. Ensy.			2,57	19,34	0,32	19,50	2,66					

6

Producto	Peso	% Peso										
			% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Co. Bulk	44,54	4,43	44,26	11,86	3,04	6,27	14,82	76,11	2,73	44,34	1,46	24,51
Med.	35,15	3,49	5,74	24,49	0,88	13,30	5,62	7,79	4,44	10,13	2,45	7,34
Ro+Scv.		7,92	27,27	17,43	2,09	9,37	10,76	83,90	7,17	54,47	3,91	31,85
Relave	926,80	92,08	0,45	19,40	0,15	19,78	1,98	16,10	92,83	45,53	96,09	68,15
C. Cal.	1006,49	100,00	2,57	19,24	0,30	18,96	2,68	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
C. Ensy.			2,57	19,34	0,32	19,50	2,66					

7

Producto	Peso	% Peso										
			% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Co. Bulk	45,15	4,49	42,34	13,56	3,00	6,19	14,82	74,84	3,20	43,34	1,44	24,96
Med.	34,32	3,41	5,77	27,02	0,84	12,75	5,70	7,75	4,85	9,22	2,25	7,30
Ro+Scv.		7,90	26,55	19,37	2,07	9,02	10,88	82,59	8,05	52,57	3,68	32,26
Relave	926,50	92,10	0,48	18,97	0,16	20,24	1,96	17,41	91,95	47,43	96,32	67,74
C. Cal.	1005,97	100,00	2,54	19,00	0,31	19,35	2,66	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
C. Ensy.			2,57	19,34	0,32	19,50	2,66					

8

Producto	Peso	% Peso										
			% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Co. Bulk	44,68	4,44	43,19	13,00	3,04	6,07	14,54	74,72	3,05	42,29	1,41	24,49
Med.	29,84	2,97	6,29	27,31	0,91	12,49	5,98	7,27	4,28	8,45	1,93	6,73
Ro+Scv.		7,41	28,41	18,73	2,19	8,64	11,11	81,98	7,33	50,74	3,34	31,22
Relave	930,70	92,59	0,50	18,97	0,17	20,02	1,96	18,02	92,67	49,26	96,66	68,78
C. Cal.	1005,22	100,00	2,57	18,95	0,32	19,18	2,64	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
C. Ensy.			2,57	19,34	0,32	19,50	2,66					

9

Producto	Peso	% Peso										
			% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Co. Bulk	46,25	4,61	42,74	15,04	2,95	6,14	14,30	75,74	3,61	43,96	1,49	24,65
Med.	32,84	3,27	5,48	26,60	0,79	12,54	5,50	6,90	4,53	8,36	2,17	6,73
Ro+Scv.		7,88	27,27	19,84	2,05	8,80	10,65	82,63	8,14	52,32	3,66	31,39
Relave	925,00	92,12	0,49	19,15	0,16	19,80	1,99	17,37	91,86	47,68	96,34	68,61
C. Cal.	1004,09	100,00	2,60	19,20	0,31	18,93	2,67	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
C. Ensy.			2,57	19,34	0,32	19,50	2,66					

10

Producto	Peso	% Peso										
			% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Co. Bulk	51,18	5,11	39,24	17,11	2,87	6,36	13,73	77,54	4,59	46,97	1,68	26,20
Med.	39,05	3,90	4,87	29,88	0,75	12,45	5,45	7,34	6,11	9,36	2,51	7,94
Ro+Scv.		9,02	24,37	22,64	1,95	9,00	10,15	84,88	10,70	56,33	4,19	34,14
Relave	910,50	90,98	0,43	18,72	0,15	20,37	1,94	15,12	89,30	43,67	95,81	65,86
C. Cal.	1000,73	100,00	2,59	19,07	0,31	19,34	2,68	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
C. Ensy.			2,57	19,34	0,32	19,50	2,66					

TRABAJO # 3.6

OPTIMIZACION CON PRUEBAS EN PLANTA INDUSTRIAL

DISEÑO DE SEGUNDO ORDEN “HEXAGONAL”

ALTURA DE ESPUMA Y pH EN LA 3RA LIMPIEZA DE ZINC

FECHA : 30 de Abril 1999

1. OBJETIVO

Determinar la mejor altura de la columna de espumas para lograr un buen concentrado de zinc, la segunda variable será el pH, en un rango ajustado para que sea variable “adjunta”.

2. JUSTIFICACION

No solo los reactivos y el manejo de las densidades de pulpa serán importantes en la etapa de limpiezas de concentrados de zinc, el manejo de la columna de espuma significara el manejo de la parte mecánica mas importante del mecanismo de control de nivel de la celda de flotación.

3. METODOLOGIA

La altura de espuma se varia entre 30 a 70% de la altura total (15”), cada movimiento según una plantilla de diseño hexagonal, la otra variable , el pH tiene un rango muy ajustado, como corresponde a la característica típica de la 3ra. Limpieza de Iscaycruz. Los seis movimientos del hexagonal más dos pruebas al centro se realizaron cada hora durante un turno de operación, se tomaron muestras de alimentación, concentrado y relave del banco de flotación, se hizo la evaluación para recuperación de valores y grado de concentrado, el análisis de consistencia estadística se hace con el estadístico F :mas arriba del valor máximo y más abajo del valor mínimo del rango de pH elegido.

4. RESULTADOS DEL ESTUDIO

4.1. Del rango de las variables:

Para el arreglo Hexagonal se considera el pH en un rango ajustado, entre 12.1 a 12.6 haciendo compañía a la variable que realmente nos interesa estudiar X_1 = Altura de columna de espuma, la misma que varia entre 30% (4.5”) y 70% (10.5”) que son los valores que se usan normalmente a escala industrial

VARIABLE		mínimo	Centro	máximo
X1	Columna %	30	50	70
X2	pH	12.10	12.35	12.6

4.2. Plantilla codificada y real :

Prueba	Codificado		Real	
	X1	X2	X1	X2
1	1	0	70	12.35
2	0.5	0.866	60	12.57
3	-0.5	0.866	40	12.57
4	-1	0	30	12.35
5	-0.5	-0.866	40	12.13
6	0.5	-0.866	60	12.13
7	0	0	50	12.35
8	0	0	50	12.35

4.3. De las regresiones

Se realizan las regresiones con las respuestas de recuperación y grado de cada elemento, un resumen de las correlaciones resultantes indica lo siguiente :

CORRELACIONES EN REGRESION DEL HEXAGONAL

	RECUPERACION	GRADO
PLOMO	80.09	81.85
ZINC	99.72	98.74
FIERRO	94.45	93.88
INSOLUBLE	99.14	97.72

Una de las maneras de identificar aproximadamente la consistencia estadística de la regresión es cuando en un diseño hexagonal la correlación es mayor a 98%, si esto es así, el análisis estadístico solo se hará para Recuperación de zinc e insoluble y para el grado de zinc.

4.4. Análisis estadístico de la Regresión y Ajuste:

Calcular con la ecuación de la regresión una columna de Y predicho; entonces la diferencia del predicho menos el observado elevado al cuadrado, sumados prueba a prueba es el termino SSR (Suma de residuos al cuadrado); por otro lado, las respuestas observadas menos el promedio de estas observaciones, elevadas al cuadrado representa el termino SST (Suma de cuadrados Total), la diferencia entre ambas es SSM (suma de cuadrados del modelo)

ZINC

Prb.	X1	X2	X1^2	X2^2	X1X2	Recuperacion		SUM=SSR	SUM=SST
						Zn			
						Obs.	Pred.	(Obs-Pred)^2	(Obs-Prom)^2
1	70	12.35	4900	152.52	864.5	72.8	72.94	0.0201	171.9049
2	60	12.57	3600	158.00	754.2	65.97	65.83	0.0201	39.4541
3	40	12.57	1600	158.00	502.8	55.59	55.73	0.0201	16.7998
4	30	12.35	900	152.52	370.5	54.86	54.72	0.0201	23.3168
5	40	12.13	1600	147.14	485.2	42.01	42.15	0.0201	312.5382
6	60	12.13	3600	147.14	727.8	50.42	50.28	0.0201	85.9097
7	50	12.35	2500	152.52	617.5	68.94	67.93	1.0201	85.5856
8	50	12.35	2500	152.52	617.5	66.92	67.93	1.0201	52.2910
						59.69		2.1606	787.8001

Resultado de la regresión para Zn

Constante	-4.2502
Error típico de est Y	1.03938
R cuadrado	0.99726
Nº de observaciones	8
Grados de libertad	2

Coefficientes X	-1.28413	6864.17	-0.01025	-277.014	0.22386
Error típico del coef	2.92905	398.002	0.0026	16.1061	0.23622

$$Y = -4.2502 - 1.28413X_1 + 6864.166X_2 - 0.01025X_1^2 - 277.014X_2^2 + 0.223864X_1X_2$$

$$SSM = 785.6395$$

$$F_{reg.} = 145.447$$

$$F_{TABLA} (5,2) = 19.3$$

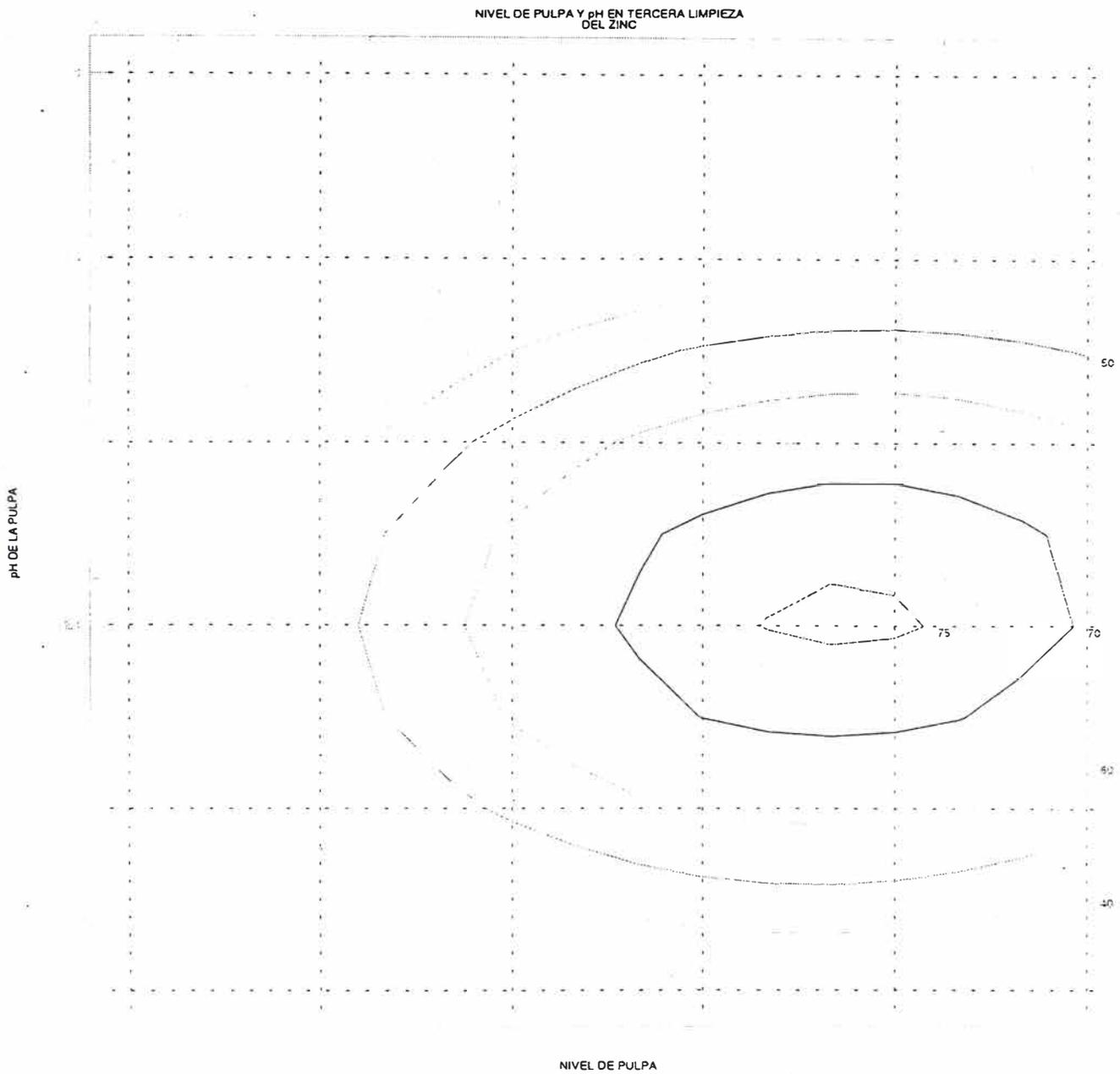
$$SSE = 2.0402$$

$$SSF = 0.1204$$

$$F_{ajuste} = 0.0590$$

$$F_{TABLA} (1,1) = 161$$

Gráficamente la ecuación cuadrática para la recuperación del Zn en tercera limpieza del Zn se observa de la siguiente forma:



Se observa un máximo de recuperación de Zn en función del nivel de pulpa y pH del medio.

RECUPERACION DE INSOLUBLES

Prb.	X1	X2	X1^2	X2^2	X1X2	Recuperaciones		SSR	SST
						Ins.			
						Obs.	Pred.	(Yob-Ypred)^2	(Yob-Yprom)^2
1	70	12.35	4900	152.52	864.5	94.91	93.72	1.42	799.55
2	60	12.57	3600	158.00	754.2	100.00	101.19	1.42	1113.31
3	40	12.57	1600	158.00	502.8	56.82	55.63	1.42	96.31
4	30	12.35	900	152.52	370.5	34.95	36.14	1.42	1003.86
5	40	12.13	1600	147.14	485.2	53.57	52.38	1.42	170.66
6	60	12.13	3600	147.14	727.8	63.20	64.39	1.42	11.79
7	50	12.35	2500	152.52	617.5	61.72	64.81	9.55	24.14
8	50	12.35	2500	152.52	617.5	67.90	64.81	9.55	1.60
prom						66.63		27.62	3221.22

Resultado de la regresión para Ins.

Constante	12996
Error típico de est Y	3.716
R cuadrado	0.9914
Nº de observaciones	8
Grados de libertad	2

Coeficientes X	-45.67	-1961	0.0003	73.502	3.8125
Error típico del	10.472	1422.9	0.0093	57.582	0.844535

$$Y = 12996.46 - 45.675X_1 - 1960.61X_2 + 0.0003X_1^2 + 73.50206X_2^2 + 3.8125X_1X_2$$

$$SSM = 3193.61$$

$$F_{reg} = 46.2563$$

$$F_{tabla}(5,2) = 19.3$$

$$SSE = 19.0962$$

$$SSF = 8.5204$$

$$F_{ajuste} = 0.4462$$

$$F_{tabla}(1,1) = 161$$

GRADO EN ZINC

Prb.	X1	X2	X1^2	X2^2	X1X2	Grado		SUM=SSR	SUM=SST
						Zn			
						Obs.	Pred.	(Obs-Pred)^2	(Obs-Prom)^2
1	70	12.35	4900	152.52	864.5	50.20	50.29	0.0072	5.7241
2	60	12.57	3600	158.00	754.2	51.68	51.59	0.0072	0.8327
3	40	12.57	1600	158.00	502.8	53.35	53.43	0.0072	0.5738
4	30	12.35	900	152.52	370.5	53.91	53.83	0.0072	1.7358
5	40	12.13	1600	147.14	485.2	53.94	54.02	0.0072	1.8158
6	60	12.13	3600	147.14	727.8	52.41	52.32	0.0072	0.0333
7	50	12.35	2500	152.52	617.5	52.41	52.63	0.0462	0.0333
8	50	12.35	2500	152.52	617.5	52.84	52.63	0.0462	0.0613
						52.59		0.1358	10.8100

Resultado de la regresión de grado Zn

Constante	1204.53
Error típico de est Y	0.26058
R cuadrado	0.98744
Nº de observaciones	8
Grados de libertad	2

Coefficientes X	0.25048	-185.699	-0.00143	7.48967	-0.01591
Error típico del coef	0.73432	99.7807	0.00065	4.03786	0.05922

$$Y = 1204.532 + 0.250477X_1 - 185.699X_2 - 0.00143X_1^2 + 7.489669X_2^2 - 0.01591X_1X_2$$

$$SSM = 10.6742$$

Freg. =	31.4408
F DE TABLA =	19.3
SSE =	0.0925
SSF =	0.1358

En los tres casos cumple con el análisis de consistencia estadística en que el F de la regresión sea mayor que F de tabla $(95,5,2) = 19.3$ y que el F de la falta de ajuste sea menor que el F de tabla $(95\%,1,1) = 161$

CONSISTENCIA MATEMATICA

Para determinar si la respectiva ecuación de segundo grado tiene un máximo, mínimo o montura se analiza los signos de los términos al cuadrado, el resumen es el siguiente :

	Signo del termino		observacion
	X1^2	X2^2	
Recuperacion de zinc	-	-	MAXIMO
Recuperacion insoluble	+	+	MINIMO
Grado de Zinc	-	+	MONTURA

La consistencia matemática descarta a la regresión de Grado de Zinc por ser una “montura” o estar fuera de rango ya que tiene los signos de los términos al cuadrado cambiados. Entonces la consistencia estadística y matemática del estudio explican que las variaciones amplias de columna de espuma están muy relacionadas a la recuperación de valores de zinc e insolubles, es decir evitar el desplazamiento de zinc a los relaves de la tercera limpieza y por el contrario que no flote mucho insoluble en la espuma de la tercera limpieza, para determinar este punto de equilibrio es necesario derivar las ecuaciones correspondientes para cada caso .

respuesta máxima para Recuperación de Zinc

$$Y = -4.2502 - 1.28413X_1 + 6864.166X_2 - 0.01025X_1^2 - 277.014X_2^2 + 0.223864X_1X_2$$

respuesta mínima para Recuperación de Insolubles

$$Y = 12996.46 - 45.675X_1 - 1960.61X_2 + 0.0003X_1^2 + 73.50206X_2^2 + 3.81X_1X_2$$

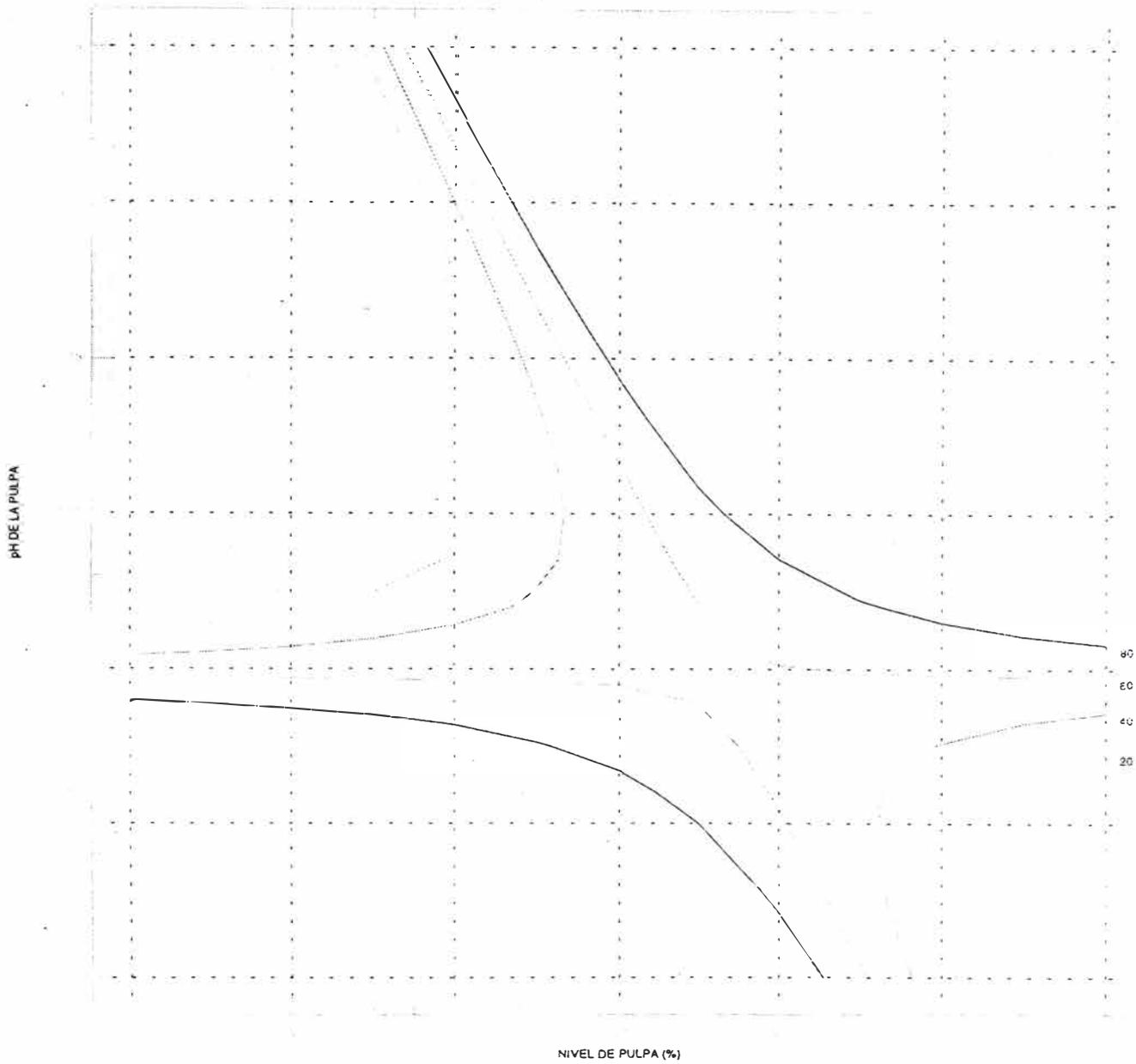
Derivando la función de Y de ambas ecuaciones se iguala a cero y resuelven simultáneamente se tiene el siguiente cuadro resumen de los valores hallados :

	Altura	pH
Maximo Zinc	73	12.4
Minimo Insoluble	53	11.97

Es notorio observar como de los cuatro valores dos salen del respectivo rango, así para la recuperación de zinc la altura máxima del rango es 70 (10.5”) sin embargo la respuesta es 73 (10.95”), si bien es un valor matemático este no se ajusta a la operatividad de la prueba, por lo tanto quedaría solo el pH 12.4 para una máxima recuperación de zinc, en el caso del insoluble es el pH el que esta fuera de rango y debe ser eliminado, por lo tanto el mínimo insoluble es a 53 (7.95”) de columna de espuma.

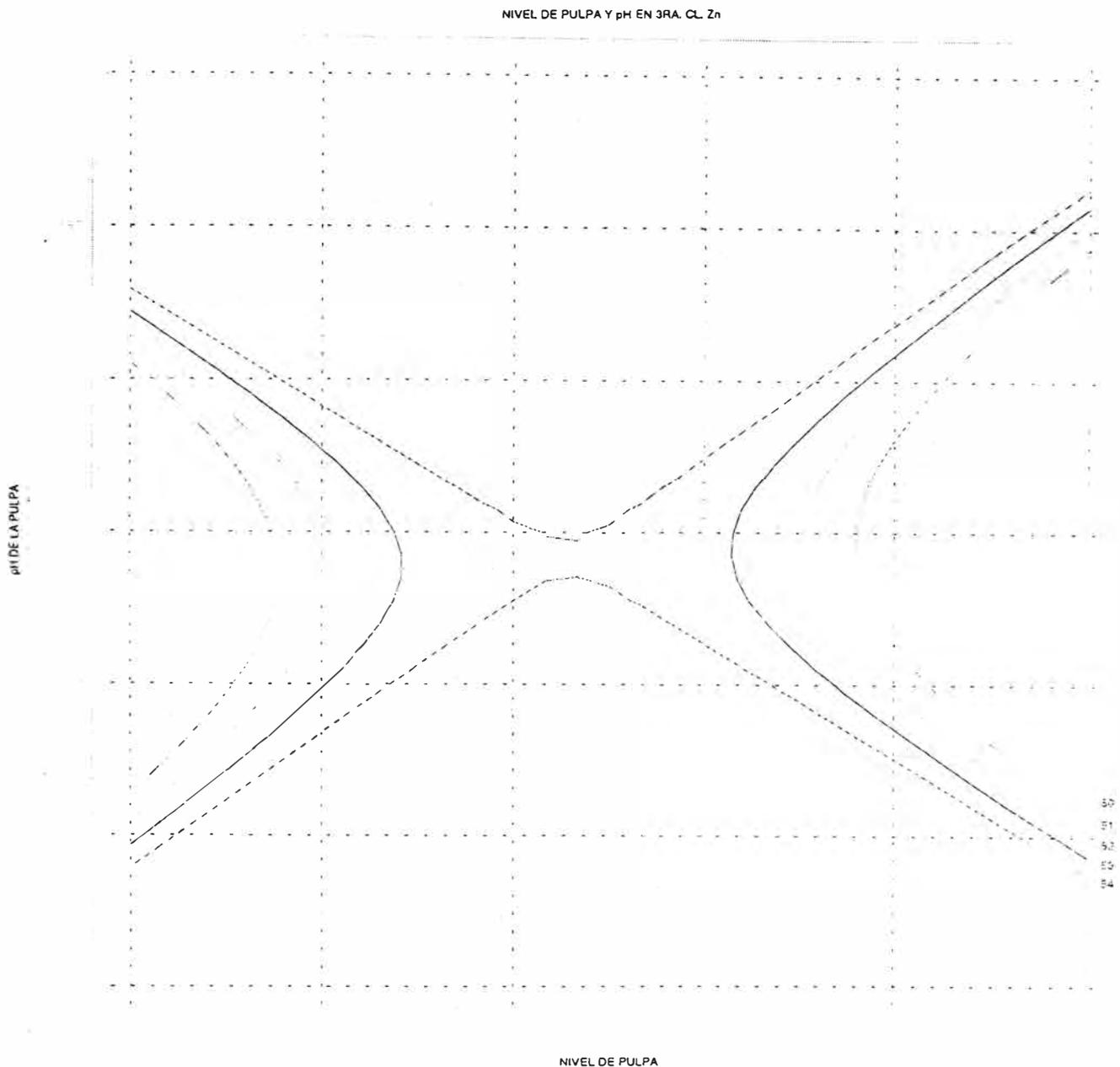
La ecuación cuadrática para la recuperación de los insolubles en esta etapa de limpieza gráficamente se observa así:

NIVEL DE PULPA Y pH EN 3RA CL. Zn



En este caso se puede visualizar un mínimo para la flotabilidad de los insolubles en función del nivel de pulpa y el pH.

Gráficamente para el grado del Zn, la ecuación cuadrática tiene la siguiente representación:



El presente gráfico es una montura clásica, cuya forma es paralela al eje X1 (nivel de pulpa).

5. CONCLUSIONES

Para obtener una máxima recuperación de Zn en la tercera etapa de limpieza no se debe exceder un pH de 12.4, a valores mayores se estará deprimiendo especies básicamente tales como la esfalerita el cual al generar una carga circulante se desplazara hacia el relave.

Por otro lado al observar la flotabilidad de los insolubles se puede controlar mejor con el nivel de pulpa, es decir si mantenemos el colchón de espuma a valores mayores de 53% (7.95") se tendrá

menor desplazamiento de insolubles hacia el concentrado. Cabe mencionar que la lechada de cal es también portadora de insolubles.

6. RECOMENDACIÓN

Operar en la tercera limpieza con un pH de 12.4 y a 53% (7.95") de columna de espuma verificando los resultados hallados..

Datos obtenidos en la prueba.

Muestra Prueba	Ensayes					Recuperaciones (%)				
	Pb %	Zn %	Cu %	Fe %	Ins. %	Pb	Zn	Cu	Fe	Ins.
Alimento. # 1	0.62	47.81	0.74	10.70	4.52					
Conc. Zn.	0.47	50.20	0.68	8.22	4.44	31.92	72.80	18.77	40.98	94.91
Relave.	0.73	42.40	0.75	13.53	6.81					
Alimento. # 2	0.62	47.81	0.74	10.70	4.52					
Conc. Zn.	0.61	51.68	0.69	8.12	4.52	92.02	65.97	22.22	39.71	100.00
Relave.	0.73	41.75	0.75	13.53	6.81					
Alimento. # 3	0.62	47.81	0.74	10.70	4.52					
Conc. Zn.	0.47	53.35	0.66	7.39	3.60	31.92	55.59	14.16	31.79	56.82
Relave.	0.73	42.31	0.75	13.53	6.81					
Alimento. # 4	0.62	47.81	0.74	10.70	4.52					
Conc. Zn.	0.46	53.91	0.71	7.30	2.78	30.05	54.86	34.31	31.02	34.95
Relave.	0.73	42.03	0.75	13.53	6.81					
Alimento. # 5	0.62	47.81	0.74	10.70	4.52					
Conc. Zn.	0.50	53.54	0.75	7.28	3.50	38.52	42.01	#¡DIV/0!	30.84	53.57
Relave.	0.73	44.37	0.75	13.53	6.81					
Alimento. # 6	0.62	47.81	0.74	10.70	4.52					
Conc. Zn.	0.50	52.41	0.76	8.01	3.78	38.52	50.42	-147.06	38.36	63.20
Relave.	0.73	43.89	0.75	13.53	6.81					
Alimento. # 7	0.62	47.81	0.74	10.70	4.52					
Conc. Zn.	0.52	52.41	0.75	7.75	3.74	43.99	68.94	#¡DIV/0!	35.50	61.72
Relave.	0.73	40.01	0.75	13.53	6.81					
Alimento. # 8	0.62	47.81	0.74	10.70	4.52					
Conc. Zn.	0.51	52.84	0.75	7.91	3.90	41.13	66.92	#¡DIV/0!	37.18	67.90
Relave.	0.73	40.10	0.75	13.53	6.81					

IV. REPERCUSIONES EN PLANTA

1. En la actualidad se esta dando mayor uso al cianuro de sodio como depresor del Fe y otras gangas, asimismo para contrarrestar la activación de Zn durante la flotación del Pb - bulk.
2. Posteriormente a las evaluaciones preliminares para limpiar el concentrado de "cobre sucio" (12% de Cu con 30% de suma Pb y Zn), se procedió a un pilotaje industrial, instalando 6 celdas DR-100 en dos etapas, donde se adiciona el bisulfito de sodio como depresor del Zn y como colector del Cu el Z-6, posteriormente para ganar mayor selectividad se sustituyo el colector por él AR-1242, luego por el AP-7518 y finalmente el que mejor resultado esta dando es el AR-1238, con lo cual se ha llegado a obtener los siguientes resultados hasta el momento: Un concentrado de Cobre de 20% Cu con un contenido de Pb y Zn menor a 14% de suma entre ambos, considerándose ya un producto comercial. La estrategia sugerida en el diseño de selección de variable esta paulatinamente siendo aprovechada.
3. En la actualidad se esta haciendo campañas con los minerales de Zn con Cobres secundarios, durante los por lo menos dos días al mes, es decir tratando como si fuera solo mineral de Zn donde se trata de deprimir el Pb y Cu. Pero como era de esperar, se obtiene un grado aproximadamente 50% de Zn, sacrificando la recuperación, con esto la ventaja es que no se pierde mucho Zn, como si sucediese al flotar el bulk Pb-Cu, por la fuerte activación de Zn en esta etapa; muchas veces en planta se ha llegado a obtener concentrado de Pb con una ley de Zn de 54%, prácticamente cuando ocurre esto todo el Pb se desplaza hacia el Zn. Pero continuamos investigando alternativas para poder neutralizar la activación del Zn al tratar este tipo de minerales. Un balance del promedio obtenido en las campañas se presenta a continuación.

BALANCE METALURGICO DE LAS CAMPAÑAS DE MINERAL DE COBRE SECUNDARIO

Producto	Ensayes						Distrib. (%)				
	TMS	% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	Ag *	Pb	Zn	Cu	Fe	Ag
Cabeza	8903.53	1.46	17.00	1.10	19.13	2.14					
Conc.Zn	2855.98	2.69	49.72	2.63	8.06	4.56	74.68	92.62	75.19	13.35	73.93
Relave	6047.54	0.43	1.87	0.41	24.69	0.76	25.32	7.38	24.81	86.65	26.07

4. Respecto al pH en el rougher del bulk esta en etapa de proyecto, porque sé esta implementando para adicionar el ácido sulfúrico de manera automática enlazado con un medidor de pH, el ajuste sugerido radica en estabilizar el pH alrededor de 10.4 par mejorar la flotación bulk Pb Cu
5. En la tercera etapa de limpieza del Zn se ha establecido el pH de 12.40 para la operación industrial, además el nivel de pulpa se controla a valores menores del 50 % de apertura (7.5" de colchón de espuma), con ello sé esta controlando mejor la operación, puesto que el grado del concentrado se mantiene dentro los estándares alcanzados hasta la fecha. De mantener este pH alrededor de 12.4 significara un menor uso de 1.29 kgr de cal por tonelada de concentrado producido, equivalente a ahorrar SUS 3185 por mes, para un mismo resultado en lo que se refiere a grado de concentrado de zinc.

V. CONCLUSIONES GENERALES

1. Es mejor investigar mediante un modelo estadístico donde se empleara un mínimo de pruebas para obtener un máximo de respuestas con consistencia. Esto mismo se lograría a través de las técnicas tradicionales donde para obtener las mismas respuestas sería necesario realizar tal vez el doble, cuatro veces o más evaluaciones, que llevaría a un mayor gasto de dinero y tiempo.
2. Es posible realizar pruebas de diseños experimentales estáticos en ciertas etapas de un proceso continuo, pero debe tenerse presente que para efectos de la regresión es necesario mantener constante las leyes del alimento a dicha etapa, para nuestro caso se sacó un promedio de las leyes reportadas durante el periodo de las evaluaciones que se realizó en la tercera etapa de limpieza del Zn.
3. La importancia de conocer la influencia de los reactivos, parámetros, etc., que influyen ya sea de manera positiva o negativa sobre los objetivos trazados en un proceso industrial, es tal que con ello se puede mejorar el sistema y trabajar en función de ellos. Para todo esto en Iscaycruz ya se tomó conciencia en la ayuda que nos da estos diseños experimentales.
4. En selección de variable, efectuada la regresión se tienen para cada variable un correspondiente *t*-student, la interpretación del signo será la convalidación metalúrgica de la variable, por ejemplo si un colector es significativa su valor siempre será positivo, lo contrario sucede con los depresores que el signo será negativo. Si estadísticamente el análisis del *t*-student es en valor absoluto, la interpretación del signo lleva la experiencia del investigador.
5. Si se desea optimizar en dos variables existen dos opciones: El diseño Hexagonal y el Octogonal, el primero de 6 pruebas y el otro de 8, la diferencia de cuando usar uno u otro es la siguiente: Cuando se usa Hexagonal el ámbito del estudio será sobre el rango de las variables elegidas; con el Octogonal ampliamos el rango mediante la parte correspondiente al diseño estrella, que son cuatro pruebas con la ampliación "alfa" que es 1.4142 veces el radio 1 del valor codificado, de esta manera el rango de estudio queda ampliado "más arriba del límite máximo y más abajo del límite mínimo".
6. Los diseños de optimización también pueden ser utilizados para estudiar el comportamiento de una sola variable, una vez elegida esta, se debe tomar otra variable que no tenga mucha trascendencia porque su rango será mínimo, luego todo el análisis estadístico en *F* de regresión y *F* de la falta de ajuste queda validado solo para la primera variable en nuestro caso siempre que se usó esta estrategia se escogió como variable de compañía al tiempo de molienda en un rango de amplitud 30 segundos que no afectaría la molienda en las pruebas y por tanto se hacía intrascendente.
7. El uso de plantillas de diseño experimental es la manera más imparcial de efectuar un estudio. la aplicación de regresión en Hoja de Cálculo es la manera más rápida de encontrar coeficientes en lugar de hacerlo por matrices.
8. En Selección de variable la significancia de las mismas se determina por el estadístico *t*-student, es equivalente a trabajar por el método de signos o el de Yates. La ventaja es que el cálculo es más rápido en regresión y el signo expresa físicamente la acción de la variable sobre la respuesta *Y*.

9. En Optimización que el F de la regresión sea mayor que el de tabla significa que los puntos expresan estar compensados en su desviación respecto de la curva, la otra condición: Que el F de la falta de ajuste sea menor que el F de Tabla significan que los puntos se compensan pero además están en una banda de distribución muy cercana a la curva, es decir no hay una gran dispersión.
10. En el análisis de la ecuación cuadrática del diseño de optimización, caben dos posibilidades (1) que los dos signos de los términos elevados al cuadrado sean negativos, que expresara que estamos ante un máximo de la función, (2) que los dos signos de los términos al cuadrado sean positivos estaremos ante un mínimo. Los casos (1) y (2) expresan que el trabajo se ha desarrollado dentro de un rango adecuado. No existe la posibilidad "minimax" (inventada en el texto de la referencia bibliográfica 5) es decir que los signos de los términos elevados al cuadrado sean diferentes, esa situación simplemente es una "montura" que indica que una de las variables esta completamente fuera de rango y cualquier análisis estadístico sobre esta ecuación es invalido, en este caso se debe rehacer el trabajo con un rango mas cercano a la realidad de nuestra respuesta a investigar.

VI. AGRADECIMIENTO:

El autor del presente trabajo desea expresar su especial agradecimiento a los Ingenieros: J. J. Herrera Gerente General, Enrique Ramírez Gerente de Operaciones y Marcos Villegas Superintendente de Planta Concentradora por autorizar la difusión de los resultados de los trabajos de investigación propiedad de Empresa Minera Iscaycruz S.A.

Asimismo a los ingenieros: José Manzaneda y Wilson Arzapalo por su apoyo prestado durante las pruebas en laboratorio y en la elaboración del presente trabajo.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. RIZOPATRON, Peter; CURSO COMPUTACION APLICADA A LA METALURGIA 1990 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
2. MANZANEDA, José; DISEÑO EXPERIMENTAL: Aplicaciones por regresión 1999
3. HITOSHI Kume; HERRAMIENYAS ESTADISTICAS BASICAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD, editorial Norma, 1993.
4. WILLIAM G. Cochran and GERTRUDE M. Cox; DISEÑOS EXPERIMENTALES, editorial Trillas, 1973.
5. AYALA MINA, Jorge y PARDO MERCADO, Richard; OPTIMIZACION POR DISEÑOS EXPERIMENTALES, impreso en Lima A y B.S.A., 1995.

Anexo

TABLA DE T - STUDENT

v	n1									
	t(0.995)	t(0.99)	t(0.975)	t(0.95)	t(0.90)	t(0.80)	t(.75)	t(0.70)	t(0.60)	t(0.55)
1	63.66	31.82	12.71	6.31	3.08	1.376	1.000	0.727	0.325	0.158
2	9.92	6.96	4.30	2.92	1.89	1.061	0.816	0.617	0.289	0.142
3	5.84	4.54	3.18	2.35	1.64	0.978	0.765	0.584	0.277	0.137
4	4.60	3.75	2.78	2.13	1.53	0.941	0.741	0.569	0.271	0.134
5	4.03	3.36	2.57	2.02	1.48	0.920	0.727	0.559	0.267	0.132
6	3.71	3.14	2.45	1.94	1.44	0.906	0.718	0.553	0.265	0.131
7	3.50	3.00	2.36	1.90	1.42	0.896	0.711	0.549	0.263	0.130
8	3.36	2.90	2.31	1.86	1.40	0.889	0.706	0.546	0.262	0.130
9	3.25	2.82	2.26	1.83	1.38	0.883	0.703	0.543	0.261	0.129
10	3.17	2.76	2.23	1.81	1.37	0.879	0.700	0.542	0.260	0.129
11	3.11	2.72	2.20	1.80	1.36	0.876	0.697	0.540	0.260	0.129
12	3.06	2.68	2.18	1.78	1.36	0.873	0.695	0.539	0.259	0.128
13	3.01	2.65	2.16	1.77	1.35	0.870	0.694	0.538	0.259	0.128
14	2.98	2.62	2.14	1.76	1.34	0.868	0.692	0.537	0.258	0.128
15	2.95	2.60	2.13	1.75	1.34	0.866	0.691	0.536	0.258	0.128
16	2.92	2.58	2.12	1.75	1.34	0.865	0.690	0.535	0.258	0.128
17	2.90	2.57	2.11	1.74	1.33	0.863	0.689	0.534	0.257	0.128
18	2.88	2.55	2.10	1.73	1.33	0.862	0.688	0.534	0.257	0.127
19	2.86	2.54	2.09	1.73	1.33	0.861	0.688	0.533	0.257	0.127
20	2.84	2.53	2.09	1.72	1.32	0.860	0.687	0.533	0.257	0.127
21	2.83	2.52	2.08	1.72	1.32	0.859	0.686	0.532	0.257	0.127
22	2.82	2.51	2.07	1.72	1.32	0.858	0.686	0.532	0.256	0.127
23	2.81	2.50	2.07	1.71	1.32	0.858	0.685	0.532	0.256	0.127
24	2.80	2.49	2.06	1.71	1.32	0.857	0.685	0.531	0.256	0.127
25	2.79	2.48	2.06	1.71	1.32	0.856	0.684	0.531	0.256	0.127
26	2.78	2.48	2.06	1.71	1.32	0.856	0.684	0.531	0.256	0.127
27	2.77	2.47	2.05	1.70	1.31	0.855	0.684	0.531	0.256	0.127
28	2.76	2.47	2.05	1.70	1.31	0.855	0.683	0.530	0.256	0.127
29	2.76	2.46	2.04	1.70	1.31	0.854	0.683	0.530	0.256	0.127
30	2.75	2.46	2.04	1.70	1.31	0.854	0.683	0.530	0.256	0.127
40	2.70	2.42	2.02	1.68	1.30	0.851	0.681	0.529	0.255	0.126
60	2.66	2.39	2.00	1.67	1.30	0.848	0.679	0.527	0.254	0.126
120	2.62	2.36	1.98	1.66	1.29	0.845	0.677	0.526	0.254	0.126
	2.58	2.33	1.96	1.645	1.28	0.842	0.674	0.524	0.253	0.126

TABLA DE " F " PARA UN GRADO DE CONFIANZA DE 95%

F(n1,n2)

n2	1	n1												
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	243.91	245.95	248.01	
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	
5	6.61	5.70	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.84	2.77	
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.33	2.23	2.15	2.07	
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	
-	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	

TABLA DE " F " PARA UN GRADO DE CONFIANZA DE 95%

F(n1,n2)

n2		n1												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	243.91	245.95	248.01	
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	
5	6.61	5.70	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.84	2.77	
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.33	2.23	2.15	2.07	
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	
	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	