

## Optimización de Sulfato de Zinc en proceso de beneficio

### Zinc Sulfate Optimization in benefit process

ROACHO-TORRES, María Guadalupe†\*, ENCINAS-BACA, Cesar Octavio y GRIJALVA-DELGADO, Melchor Omar

*Universidad Tecnológica de Parral*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *María Guadalupe, Roacho-Torres* / CVU CONACYT ID: 964639

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Cesar Octavio, Encinas-Baca* / CVU CONACYT ID: 103864

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Melchor Omar, Grijalva-Delgado* / CVU CONACYT ID: 360907

DOI: 10.35429/JCPE.2019.19.6.39.43

Recibido 09 Abril, 2019; Aceptado 28 Junio, 2019

#### Resumen

Objetivos: Calcular la cantidad de reactivo de Sulfato de Zinc que maximice el beneficio de Plomo en el proceso de beneficio de una planta de la región sur del estado de Chihuahua. Metodología: Se realizaron pruebas con diferentes cantidades de sulfato de Zinc, sobres las cuales se calculó la varianza y se determinó el valor promedio de beneficio de Plomo y Zinc. Luego, se obtuvieron las ecuaciones que describen el comportamiento del beneficio de los minerales y se calcularon los valores máximos o mínimos respecto a la ley. Se calculó el valor optimo de sulfato y se generaron cartas de control como seguimiento al proceso. Contribución: Al optimizar y estandarizar la cantidad de sulfato de Zinc como reactivo en el beneficio en un proceso donde se realizaba de forma empírica, no sólo se tiene un mayor control sobre los resultados de la ley, sino que también se optimizan los costos, considerando que el uso del reactivo es un importante insumo para el proceso.

#### Optimización, Sulfatos, Beneficio

#### Abstract

Goals: Calculate the amount of Zinc Sulfate reagent that maximizes the lead benefit in the process of benefiting a plant in the southern region of the state of Chihuahua. Methodology: Tests were carried out with different amounts of zinc sulfate, on which the variance was calculated and the average benefit value of Lead and Zinc was determined. Then, the equations were obtained that describe the behavior of the benefit of the minerals and the maximum or minimum values with respect to the law were calculated. The optimized sulfate value was calculated and control charts were generated as follow-up to the process. Contribution: By optimizing and standardizing the amount of Zinc sulfate as a reagent in the benefit in a process where it was performed empirically, not only does it have greater control over the results of the law, but also the costs are optimized, considering that the Reagent use is an important input for the process.

#### Optimization, Sulfates, Benefit

**Citación:** ROACHO-TORRES, María Guadalupe, ENCINAS-BACA, Cesar Octavio y GRIJALVA-DELGADO, Melchor Omar. Optimización de Sulfato de Zinc en proceso de beneficio. Revista de Energía Química y Física. 2019. 6-19: 39-43

†Investigador contribuyendo como primer Autor

## Introducción

El proceso de beneficio de los minerales es sin lugar a dudas una de las actividades económicas más importantes de nuestro país, ya que de acuerdo con la Secretaría de Economía, la industria minera contribuye con el 4% del PIB nacional, además de generar más de 350 mil empleos directos y más de 1.6 millones indirectos (Secretaría de Economía, 2019) [1]

La investigación desarrollada responde a una necesidad de la industria de beneficio minero, al optimizar la cantidad de reactivo de Sulfato de Zinc Flottec requerida para recuperación del Pb y Zn. La importancia de la investigación no sólo radica en el impacto económico que la optimización conlleva, sino que también representa un punto de partida para el desarrollo de investigaciones posteriores respecto al uso del reactivo según las variaciones en ley que la extracción del mineral puede presentar.

La hipótesis de la investigación está centrada en la demostración estadística del impacto de la cantidad de Sulfato de Zinc Flottec en el porcentaje de beneficio de los minerales.

En la primera sección se hace una descripción genérica de la metodología de toma de muestras. En la sección sobre la colección de los datos del reactivo se muestran las adiciones del reactivo en las operaciones de molino, limpia y mixtura.

En la tercera sección se hace un comparativo de las diferentes cantidades adicionadas de  $ZnSO_4$  y los resultados que están generaron en los análisis químicos. Posteriormente, en la sección de Análisis de varianza se valida y demuestra estadísticamente la Hipótesis que afirma que diferentes adiciones de  $ZnSO_4$  generan diferencias significativas en el porcentaje de recuperación de los minerales.

En la sección de resultados se calcula matemáticamente la cantidad de  $ZnSO_4$  que genera el mayor beneficio de Pb. Además, se demuestra como la estandarización de la cantidad de reactivo utilizado no sólo incrementó el beneficio promedio de recuperación de Pb, sino que disminuyó de forma considerable la variabilidad del porcentaje, dando con ello, mayor estabilidad al proceso.

## Generación de muestras

Para la obtención de las muestras analizadas en las diversas pruebas se obtuvieron 30 kg. de mineral, al cual se le dieron 5 procesos de cuarteo, y una vez pulverizado se pasó por la maya 100.

En el molino de bolas se le dieron 20, 30, 40 y 50 minutos a las muestras de forma previa a pasarse por la maya 200 hidratada. Una vez filtrado el mineral, fue secado en mufla por un tiempo de 40 minutos.

## Colección de datos del reactivo

Se corrieron diversas muestras sobre la cantidad de  $ZnSO_4$  que se adhería a las celdas de plomo, generando estadística sobre:

- Molino, en la operación de molienda
- Limpia, cuando el mineral es flotado en las celdas
- Mixtura, adherido a los acondicionadores antes de pasar por la celda

Las operaciones eran realizadas de forma completamente empírica, un ejemplo de las adiciones del reactivo llevadas a cabo en una de las recompensas se muestran en la Tabla 1.

<b>Reactivo:</b>	$ZnSO_4$ sulfuro de zinc
<b>Dilucion:</b>	10%

Adición de reactivo en proceso:

HR	Molino	Limpia	Mixtura
08:00	3500	1200	360
09:00	3500	1200	400
10:00	3600	1200	360
11:00	3500	1200	360
12:00	3500	1250	360
13:00	3600	1200	360
14:00	3500	1200	360
Promedio	3528.5714	1207.1429	365.7143

**Tabla 1** Ejemplo de adiciones de  $ZnSO_4$

Fuente: *Elaboración Propia*

Así, el cálculo de las adiciones se generó en 30 muestras a fin de lograr hacer un comparativo una vez que se cuente con el cálculo de la cantidad de sulfato óptimo a ser adicionado.

## Muestreo del Sulfato de Zinc

Se realizaron 30 muestras con la adición desde 1000 hasta 2000 grs/ton en intervalos de 250 grs/ton, generando el certificado de análisis químico de cada uno de ellos, a fin de realizar un comparativo del beneficio de los minerales.

Un ejemplo de los certificados generados en cada muestra se presenta en la Tabla 2.

Reactivos Circuito de Pb				
ZnSO <sub>4</sub> flottec	2000 grs/ton			
Mixtura ZnSO <sub>4</sub> flottec /NaCn	200 grs/ton			
Aherophine 3418	15 grs/ton			
Espumante 834	16 grs/ton			
Xantato 343	10 grs/ton			
Descripción	Peso gr	Au	Ag	Pb
R-5584				
Conc Pb	34.1	6.6	643	67
Medios Pb	106.9	1.7	121	7.8
Cola Pb	859	0.3	22	0.8
Cabeza calculada		0.7	54	3.8
		54.9%	59.1%	79.0%
R-5584			Zn	Fe
Conc Pb	34.1			
Medios Pb	106.9		3.5	2
Cola Pb	859		7.9	5.5
Cabeza calculada			5.6	4.3
Recuperación			3.0%	1.1%

**Tabla 2** Ejemplo de certificado de análisis químico  
Fuente: *Planta de Beneficio*

## Análisis de Varianza para los muestreos

A fin de validar cada una de las muestras tomadas con las diferentes adiciones, se realizó un análisis de varianza, ya que acuerdo con Montgomery (2013) [2] el Análisis de Varianza o ANOVA permite resolver estos casos, en donde una variable  $x$  tiene a tratamientos, de forma que evaluando el porcentaje de Zn y Pb obtenido, ya que son los minerales de mayor importancia para el resultado del proceso del beneficio. La tabla 3 muestra los datos colectados, donde en la primera fila se muestran los grs/ton de ZnSO<sub>4</sub> que se adicionaron y en las siguientes filas se muestra el porcentaje de Pb beneficiado.

2000	1750	1500	1250	1000
77	81	82	82	78
82	78	79	81	75
75	82	81	82	81
80	88	87	86	83
78	84	86	87	82
79	91	92	88	84

**Tabla 3** Datos colectados de porcentaje de Pb beneficiado con diferentes adiciones de ZnSO<sub>4</sub>  
Fuente: *Elaboración Propia*

Mediante el uso del software Minitab, se realizó el ANOVA, obteniendo la información mostrada en la Figura 1.

Null hypothesis  
All means are equal

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value
Factor	4	177.1	44.28	3.08
Error	25	359.8	14.39	
Total	29	537.0		

**Figura 1** ANOVA para muestras de Pb  
Fuente: *Elaboración Propia*

El valor de la F teórica con un nivel de confianza de 95% es de 2.759. Por lo tanto, se rechaza  $H_0$  y las diversas adiciones producen diferencias significativas en el beneficio de Pb. El análisis ANOVA para el beneficio de Zn en base a la adición de ZnSO<sub>4</sub> se muestra en la Figura 2.

Analysis of Variance

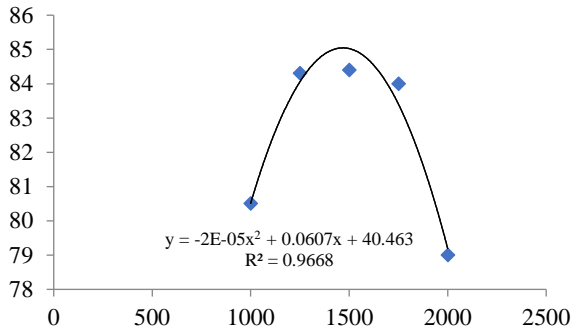
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value
Factor	4	328.80	82.200	73.39
Error	25	28.00	1.120	
Total	29	356.80		

**Figura 2** ANOVA para muestras de Zn  
Fuente: *Elaboración Propia*

Al igual que en el beneficio de Pb, se rechaza  $H_0$  y las diversas adiciones producen diferencias significativas en el beneficio de Zn.

## Resultados

A partir de los promedios de los resultados de porcentajes beneficiados de Pb, se graficó y se encontró la ecuación que describe su comportamiento y se muestra en la Grafica 1.



**Gráfica 1** Ecuación de % de beneficio de Pb  
Fuente: *Elaboración Propia*

Así, la ecuación que describe el comportamiento del beneficio del Pb, teniendo como variable independiente (x) los gramos de ZnSO<sub>4</sub> adicionados es:

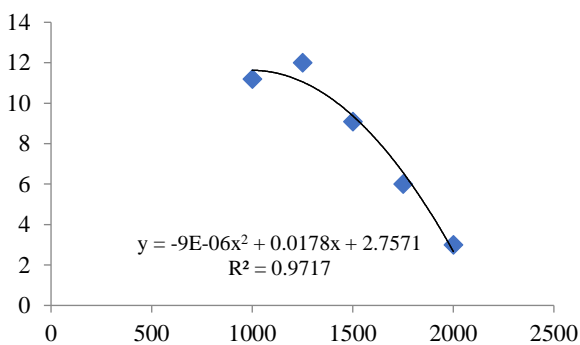
$$\% \text{ de Beneficio Pb} = -0.00002x^2 + 0.0607x + 40.463 \quad (1)$$

De la cual, por máximos y mínimos se obtiene:

$$y' = -0.00004x + 0.0607 \quad (2)$$

donde x= 1,518 grs/ton de ZnSO<sub>4</sub> Flottec que deben ser adicionados para obtener el beneficio óptimo, estimado en un promedio de 86.5%

El gráfico que describe el comportamiento del beneficio del Zn se muestra en la Gráfica 2.



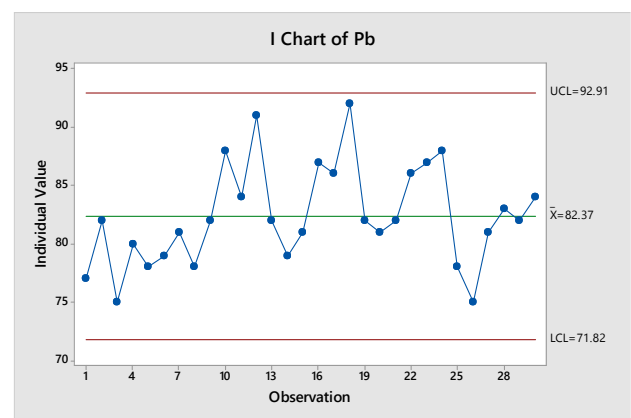
**Gráfica 2** Ecuación de % de beneficio de Zn  
Fuente: *Elaboración Propia*

$$\% \text{ de Beneficio Zn} = -0.000009x^2 + 0.0178x + 2.757 \quad (3)$$

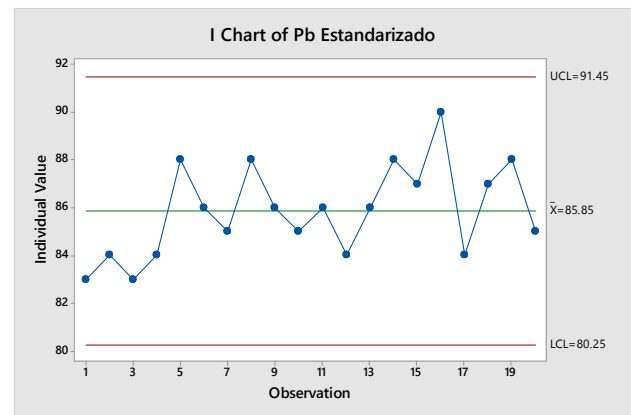
Al igual que lo planteado con la ecuación 1, por máximos y mínimos se obtiene que x= 988 grs/ton de ZnSO<sub>4</sub> Flottec que deben ser adicionados para obtener el beneficio óptimo de 11.55%

Sin embargo, dado que la desviación estándar es mayor en el beneficio del Zn y que el Pb produce una mayor compensación económica, se decidió enfocar los resultados de la investigación en el beneficio óptimo en base al Pb.

Una vez que se estandarizó la adición del ZnSO<sub>4</sub> Flottec se elaboraron cartas de control en base al beneficio de Pb en 20 muestras. La Gráfica 3 arroja los resultados de las muestras tomadas al inicio de la investigación, mientras que la Gráfica 4 muestra datos posteriores a la estandarización.



**Gráfica 3** Carta de Control de las muestras con adición de ZnSO<sub>4</sub> aleatorio  
Fuente: *Elaboración Propia*



**Gráfica 4** Carta de Control de las muestras con adición de ZnSO<sub>4</sub> estandarizado  
Fuente: *Elaboración Propia*

Además, la desviación estándar disminuyó de 4.303 a 1.927, con lo cual, la variación del beneficio es menor.

**Conclusiones**

A partir de los resultados obtenidos se desprenden una serie de contribuciones en el proceso de recuperación de los minerales analizado.

Por una parte, el calcular la cantidad óptima de  $ZnSO_4$ , permitió obtener el porcentaje de recuperación más alto de Pb. Además, generó un proceso más estable al estandarizar la operación.

Con ello, el costo del reactivo disminuyó, al evitar la aleatoriedad que de forma empírica generaba la adición del reactivo. Además, el mantener un proceso de beneficio más estable contribuye a que la planta tenga una mayor certeza en los cálculos de su capacidad de producción, ya que si bien, dada la misma naturaleza del proceso de extracción, existe una variabilidad inherente, contar con un cálculo exacto permite proveer una mayor certeza.

Como recomendación es importante considerar que el cálculo de la cantidad óptima de  $ZnSO_4$  Flottec debe realizarse de forma periódica, bajo la metodología ya establecida. Así, la cantidad se “ajustara” según las variaciones en ley de las extracciones.

Por otro lado, la posibilidad de mejora de la investigación radica en encontrar la cantidad óptima de  $ZnSO_4$  Flottec a adicionar, considerando tanto el beneficio del Pb como el de Zn, para lo cual deben considerarse los valores de venta de los minerales como funciones a optimizar y las adiciones como restricciones del sistema.

## Referencias

[1]Secretaría de Economía (2019). *El sector minero-metalúrgico en México contribuye con el 4 por ciento del Producto Interno Bruto nacional*. Recuperado el 06 de Junio de 2019 a partir del sitio <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/mineria>

[2]Montgomery D. (2013). *Diseño y Análisis de Experimentos*. México: Limusa Wiley

Arthur F. Taggart. *Handbook of Mineral Dressing. Fourth Printing Sec. 12-Flotation*. New York, September, 1950, pp. 1-140

Azañero Ortiz, Ángel. *Modelos matemáticos para simular flotación industrial a partir de pruebas de laboratorio*. En Revista del Instituto de Investigación de la FGMMCG-UNMSM, vol. 2, N.º3, Lima, junio 1999; pp. 69-83

Espejo, R., & Marcelino, G. (2019). *Estudio metalúrgico del tajo t4929 para optimizar el tratamiento de mineral de cobre, mediante el Blending en Compañía Minera Condestable SA*.

Huerta Solano, C. R. (2019). *Evaluación del cianuro de sodio para la optimización del proceso metalúrgico de la planta de beneficio SantaFilomena II de la empresa Sotrami SA*.

Pacho, A., & Carlos, J. (2019). *Optimización del proceso de cianuración mediante el uso de peróxido de hidrogeno en planta metalurgica Chala ONE SAC*.

Río Württrole, Justo Felipe. *Método de producción y análisis químico y físico del plomo y sus óxidos*. Tesis Facultad de Ingeniería Química. UNMSM, Lima,1982, pp.10-30.