

## Optimización del proceso de flotación Pb-Zn por medio de sub-proceso de pre- flotación de especies carbonosas

R. Recio S.<sup>1</sup>, S. Sánchez L.<sup>2</sup>, J. C. Sánchez Hernández.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Saltillo - División de Estudios de Posgrado e Investigación.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Metropolitana, División de Ciencias Básicas e Ingeniería.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería. [jocsh@hotmail.com](mailto:jocsh@hotmail.com)

### RESUMEN

En el yacimiento que actualmente procesa la planta de procesos está conformado por minerales de valor de Pb, Cu y Zn; dentro del mismo yacimiento se detectó una nueva zona con posibilidades de extraer minerales de Pb y Zn, esta zona es considerada de Alto Fe, con valores de hasta 40%.

Este mineral presenta problemas para obtener un efecto de concentración en los minerales de valor, ya que los concentrados obtenidos no tienen ley comercial y presentan baja recuperación, además de presentar cinética de flotación lenta; con base las condiciones actuales de operación de la planta, como lo son granulometría y tiempo de residencia.

En este trabajo se propone un subproceso de pre-flotación para recuperar toda la materia carbonosa y destinarla a las colas, con esto se obtuvo una mejora en la cinética de los minerales de valor, así como su grado y recuperación y el consumo de reactivos, sin embargo, es necesario disminuir la granulometría de alimentación a flotación y por lo tanto, una disminución en el tonelaje alimentado a la planta.

**PALABRAS CLAVE:** *Cinética de flotación, materia carbonosa, pre-flotación*

## ANTECEDENTES

En una operación minera en la región de tierra caliente, en el estado de Guerrero, Mexico, La planta de beneficio procesaba en ese momento minerales de un zona polimetálica Pb-Cu-Zn, desafortunadamente el mineral de esa zona estaba en la etapa final, por lo que se volvió indispensable procesar una nueva zona de mineral que solo contiene minerales Pb y Zn; esta nuevo cuerpo mineral presento una mineralogía más compleja al tener menores tamaños de liberación, cinéticas de flotación lenta; 50% del Pb como oxido y mayores contenidos de Fe, por ende presentó problemas para su procesamiento y recuperación de minerales de valor.

Con la información disponible en ese momento se decidió alimentar este mineral a la planta como campaña para evaluar su comportamiento en el proceso, desafortunadamente con las características y condiciones del proceso con el que se contaba no fue posible procesar correctamente este mineral al tener baja recuperación y concentrados finales fuera de especificaciones.

Este mineral presenta un comportamiento anormal en las pruebas cinéticas, por lo que se decide desarrollar nuevas alternativas de tratamiento a nivel laboratorio donde se destaca la implementación de un proceso de pre-flotación de material carbonoso para mejorar las condiciones de procesamiento; el proyecto benefició la flotación de Pb y de Zn, pero en este parte del trabajo solo se enfocará en el proceso de flotación de Pb.

## PRUEBAS Y RESULTADOS

### *Pruebas de flotación*

Se obtienen 4 muestras representativas de las diferentes zonas del cuerpo mineral, las muestras recibidas de mina tienen características y leyes muy diferentes entre sí; coinciden en que tienen 50% de PbO; Las leyes obtenidas se muestran a continuación en la Tabla 1.

**Tabla1.-** Leyes de cabeza en muestras recibidas de mina para investigación.

Muestra	Cabeza, %						
	Ag (g/t)	Au (g/t)	Zn	Cu	Pb	Fe	PbO
1137 muestra 1	444.0	0.61	4.63	0.09	2.02	20.25	0.95
1137 muestra 2	134.1	0.58	4.08	0.25	1.36	38.99	0.58
1137 muestra 3	54.0	0.60	1.36	0.28	0.32	39.10	0.15
1137 muestra 4	93.3	n/d	4.15	0.26	0.74	39.56	0.26

No fue posible determinar el % de C de estas muestras, pero durante las pruebas metalúrgicas, todas las muestras mostraron presencia de carbón.

En la prueba estándar se identifica un comportamiento anormal en la flotación de Pb, regularmente al inicio de la flotación el concentrado obtenido en los primeros minutos es el de mayor grado, este mineral no presentó este comportamiento, ya que al inicio de la flotación no hay un efecto de concentración, hasta después de 4 minutos; por otro lado, se presentan altos consumos de reactivo y espumante para formar una cama mineralizada de forma correcta, se infiere que la materia carbonosa presente actúa como un consumidor adicional de reactivo.

Los concentrados obtenidos en la etapa de flotación de Pb presentan: bajo grado, alto peso de concentrado y baja recuperación se decide bajar la dosificación de del colector para mejorar el grado, sin resultados, continua el comportamiento de alto peso en los concentrados aun sin adición de colector; la investigación se centró en entender este comportamiento, denominado como “flotabilidad natural”.

Esta condición de flotabilidad natural no permite obtener un efecto de concentración, ya que éste concentrado tiene la misma ley de cabeza, lo cual produce un efecto de dilución, además de tener consumos de colector y espumante considerados excesivos. En el Figura 1 se muestra el comportamiento cinético del peso obtenido en la etapa denominada pre-flotación para la muestra1.

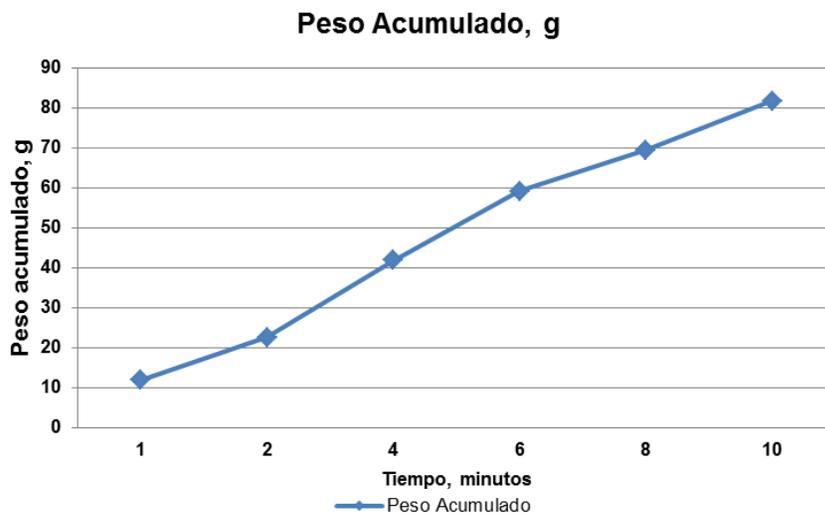


Figura 1.- Peso acumulado en pre-flotación sin colector

En 10 minutos es posible recuperar el 8 % del mineral alimentado, el cual presenta la ley de alimentación como se mencionó anteriormente; este concentrado de pre-flotación “diluye” la ley del concentrado primario. En la Tabla 2 es posible observar que después del minuto 6 el cambio en la espuma ya no es considerable.

**Tabla 2.-** Características de carbón en cinética de pre-flotación

Inicio de pre-flotación, 0 minutos	
1 minuto de pre-flotación	
2 minutos de pre-flotación	
4 minutos de pre-flotación	
6 minutos de pre-flotación	
8 minutos de pre-flotación	

La espuma pierde el color característico de carbón a los 8 minutos en laboratorio y corresponden a un tiempo de retención en planta de 16 minutos.

En la etapa posterior de investigación se probaron diferentes depresores para disminuir este efecto de flotabilidad natural, los resultados se muestran en Tabla 3.

**Tabla 3.-** Pesos de concentrado de pre-flotación con diferentes depresores

Prueba	Condición	Peso de concentrado de flotabilidad natural
41	Sin Depresor	81.72
42	5 kg/ton MBS	59.81
43	5 kg/ton ZnSO <sub>4</sub>	123.29
44	5 kg/ton Dextrina	61.88
45	5 kg/ton 50%ZnSO <sub>4</sub> -50% MBS	64.99

El Metabisulfito de sodio, la dextrina y la mezcla de 50% MBS: 50% ZnSO<sub>4</sub> son los depresores que menor cantidad en peso recuperan; en el caso de la dextrina se logró identificar un efecto depresor permanente, lo cual presentaría un riesgo a la operación, debido a que la variabilidad en la alimentación y la presencia de minerales de flotabilidad natural harían compleja su dosificación, un incremento en la dosificación provocará un riesgo en la depresión de minerales de valor o incremento en el consumo de colector para minimizar el efecto depresor.

Se determina que para este mineral, es indispensable una etapa de pre flotación de especies carbonosas y de flotabilidad natural para evitar la dilución del concentrado primario de Pb, en la cual no se debe adicionar colector ya que éste tiene un efecto inhibitor sobre el colector, afecta la cinética y selectividad de los minerales de interés; las pruebas cinéticas indican que con 8 minutos de pre-flotación y posterior limpieza de este concentrado disminuye considerablemente el peso obtenido en el concentrado con lo que se elimina dicho efecto de dilución de concentrado, lo anterior se puede ver a continuación en el Figura 2.

Con los datos obtenidos a nivel laboratorio se propone la instalación de 2 celdas de 20 m<sup>3</sup>/h ya que estas cumplen el tiempo requerido a las condiciones estándar de operación de la planta y una celda de 5 m<sup>3</sup> para la limpia del concentrado primario de pre-flotación, el esquema propuesto de operación es el mostrado en la Figura 3.

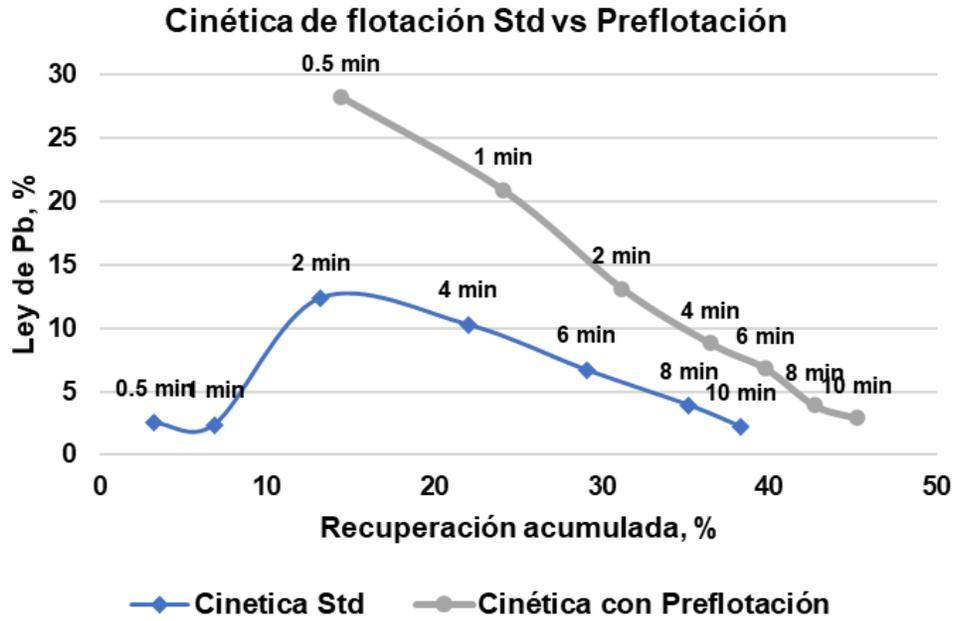


Figura 2.- Cinética de Pb Estándar vs pre-flotación



Figura 3.- Diagrama general de Pre-flotación propuesto

El concentrado de pre-flotación debe ser limpiado, de no hacerlo se pierden 8 % del total de los valores ya que este concentrado tiene las leyes de cabeza, se puede ver en la Tabla 4, que la finalidad es producir la menor cantidad de masa en pre-flotación asegurando sacar todo el carbón posible del circuito.

**Tabla 4-.** Recuperación con y sin limpia de pre-flotación

Prueba	Ley			Concentrado de Pre-flotación, g
	Pb, %	Zn, %	Ag, g/ton	
PA-11 sin limpia de pre-flotación	2.4	4.8	458	81.7
PA-12 con limpia de pre-flotación	2.9	4.0	478	9.1

Con base en las pruebas realizadas y en el diagrama de la planta se determinó la prueba estándar, posteriormente se evaluaron diversos colectores, el más sobresaliente fue el 3418 por su mejor recuperación de Ag como se puede ver a en la Tabla 5.

**Tabla 5.-** comparación de recuperación con diferentes colectores.

Prueba	P80, micras	Colector	Ley			Recuperación, %			Reactivo, g/ton	Concentrado de pre-flotación, g
			Pb, %	Zn, %	Ag, g/ton	Pb	Zn	Ag		
PA-12	148	3418	9.9	10.0	1,768.0	46.4	17.0	37.1	40.0	6.1
PA-13	148	7583	10.5	10.0	1,967.0	41.2	14.2	34.7	45.0	5.3
PA-14	148	7310	8.2	10.0	1,057.0	52.5	23.7	33.1	60.0	4.5

En la siguiente etapa de investigación se evaluó la posibilidad de incrementar el grado y recuperación del concentrado de Pb con una etapa de remolienda de Pb, pero debido a la complejidad del material se presentaron diversos problemas ya que al remoler el concentrado se presentó una liberación adicional de carbón y lamas de Pb que presentaron flotación lenta e incremento en consumo de colector; por lo que se decide hacer pruebas con diferente granulometría en la flotación primaria, los resultados se muestran en la Figura 4.

Para el caso de la plata se tiene el mismo comportamiento, tal como se muestra en la Figura 5.

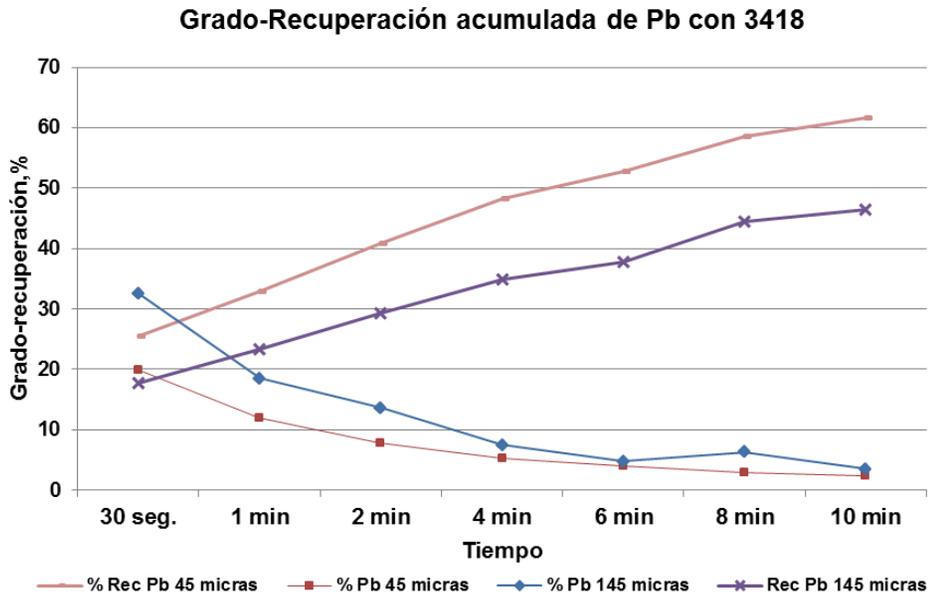


Figura 4.- Grado-Recuperación de Pb acumulada a diferente granulometría.

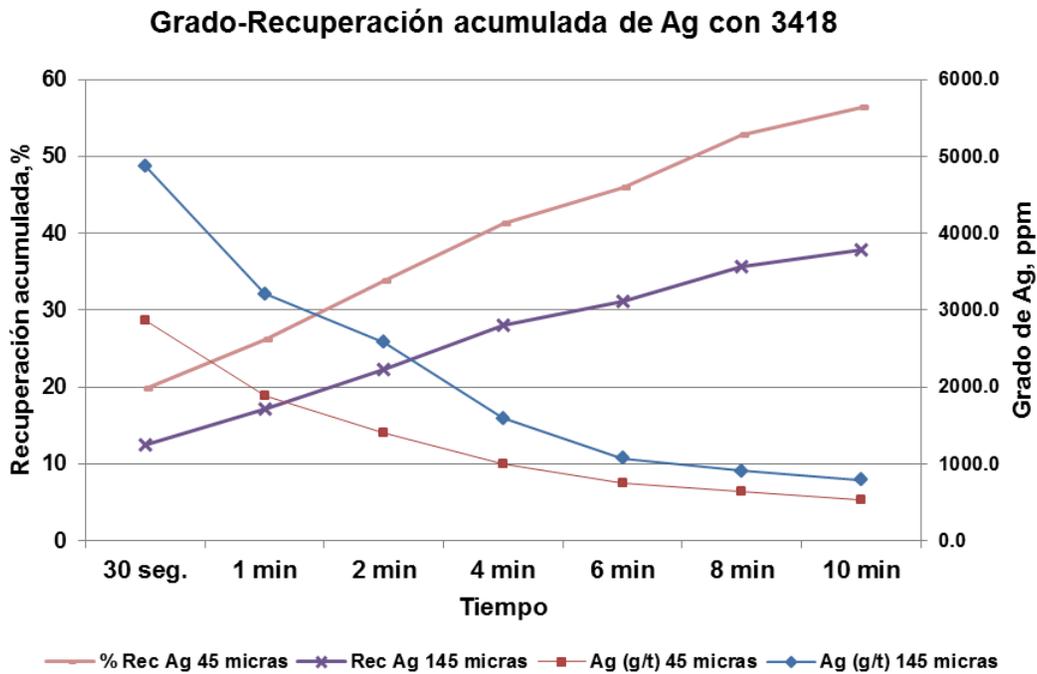
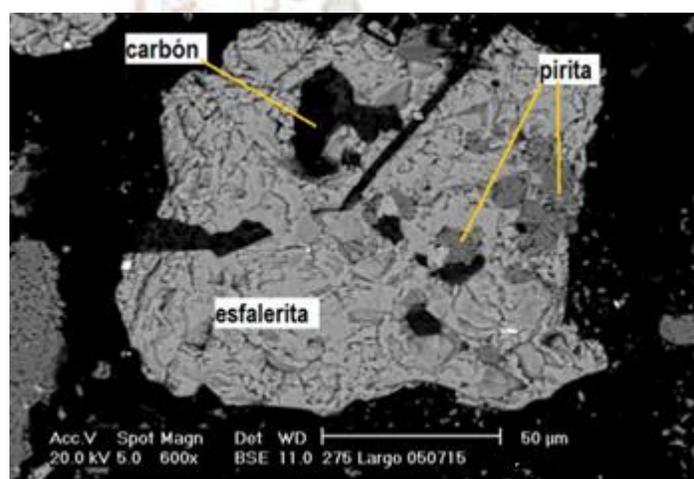


Figura 5.- Grado- Recuperación acumulada de Ag a diferente granulometría

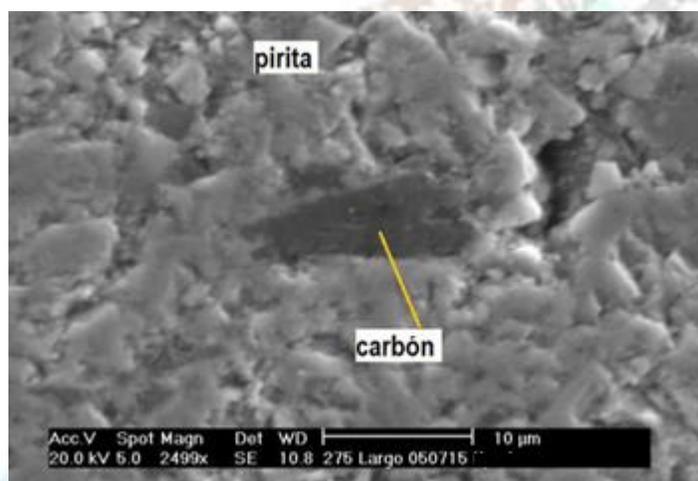
### **Análisis mineralógico**

A medida que aumenta el Fe en la cabeza de alimentación es más difícil la concentración y recuperación del Plomo. Por lo que se explicaría que existe una relación directamente proporcional entre el Fe y la asociación del Pb.

En las muestras 2, 3 y 4 con mayor contenido de Fe, no fue posible concentrar "Pb grueso" además el carbón es visible a partir de granulometrías de 35 micras aparentemente se libera, por lo que también puede existir una relación directa entre el Fe y la asociación de Carbón: cómo se puede observar en la mineralogía previa hecha al mineral el Largo (Figura 6 y 7).



**Figura 6.--** Carbón y esfalerita asociado en Pirita



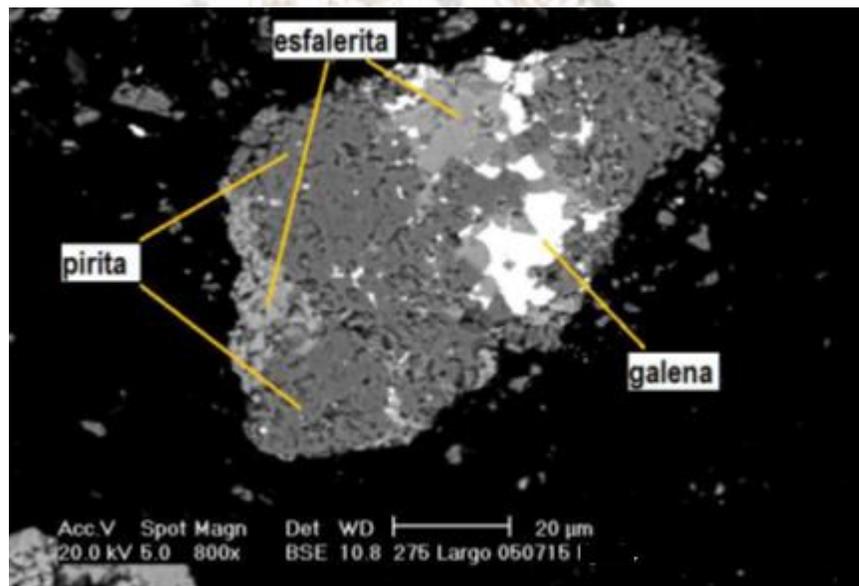
**Figura 7.-** Carbón asociado en pirita a 10 micras

Los minerales de interés están asociados al Fe y éste a su vez al carbón: si aumenta el Fe aumentará su asociación, por lo tanto, es necesario moler más fino y bajar el throughput de molienda

Posteriormente se realizaron pruebas a 25 micras donde se puede observar que no es necesario agregar depresor MBS en el molino debido a que la liberación de Carbón es mayor, por lo que disminuye la flotabilidad natural de los otros minerales, con base en el peso obtenido en pre-flotación.

A 25 micras aumentó a 63 % la recuperación de Pb respecto al promedio de la prueba estándar con granulometría de 35 micras en la cual se obtuvo 53% de recuperación, se concluye que el tamaño de liberación es directamente sensible a la recuperación; sin embargo, Los estudios de mineralogía indican tamaños de liberación menores a 15 micras para el mineral "LARGO" (Figura 8).

*"El mineral plomo es galena, se le encuentra libre en tamaños de 8 a 30 micras en solo un 10%; el resto se observa muy asociado y finamente ocluido en los sulfuros metálicos. Los tamaños son menores de 15 micras".*



**Figura 8.-** -Asociación de Galena en Pirita menor a 20 micras

Se realiza granulometría valorada a los concentrados de Pb, los resultados de muestran en la Figura 9, en esta figura se puede ver que no hay un efecto de concentración considerable para el plomo lo que quiere decir que aun a tamaños menores de 20 micras sigue asociado al Fe.

Se realizó granulometría valorada para el concentrado de Zn, en este caso si es posible determinar que la asociación para Zn es menor comparada con la del plomo, los resultados se pueden ver en la Figura 10.

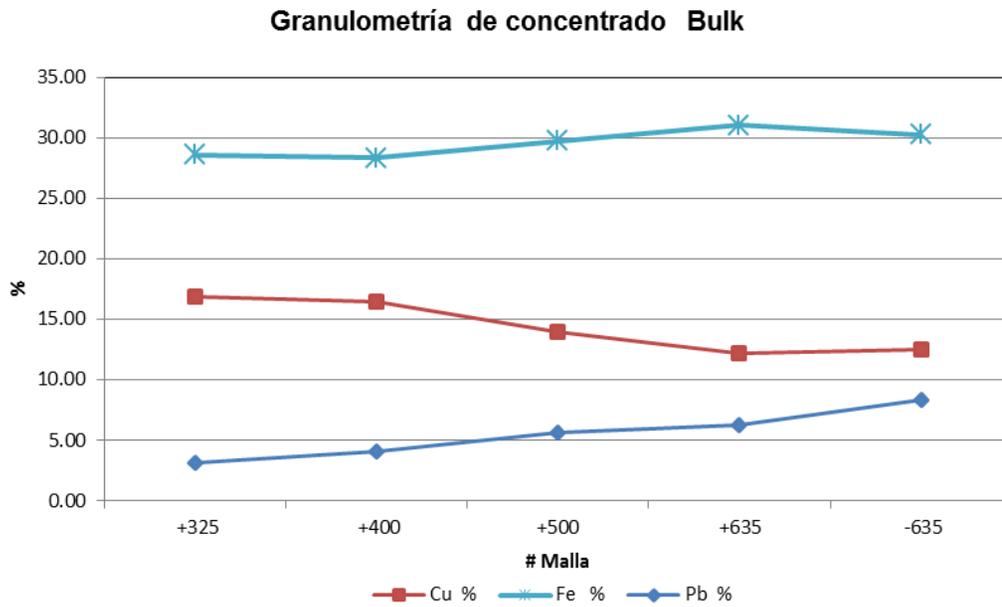


Figura 9.- Granulometría valorada para concentrado Pb

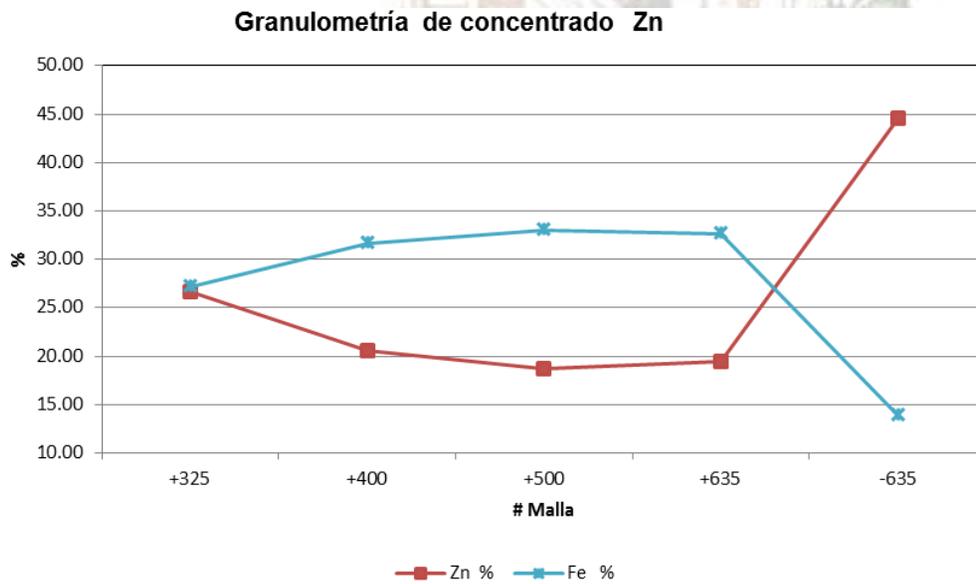


Figura 10.- Granulometría valorada de concentrado de Zn.

Para el concentrado de Zn a tamaños menores a 20 micras (malla #635) si hay un efecto de concentración muy evidente. La ley de Zn mejora notablemente y la del Fe disminuye, no siendo así para el Plomo.

## **CONCLUSIONES**

Fue posible obtener un concentrado de Pb con leyes comerciales y una mejora considerable en el grado y recuperación de minerales de Zn. En el caso del Pb se detectó por medio de las caracterizaciones una condición especial para las especies oxidadas lo cual no está incluido en este reporte.

Para minerales de alto Fe es necesario moler a 35 micras para liberar carbón y sacarlo del circuito de lo contrario estará ligado al Fe y tendrá flotabilidad natural lo que no permitirá obtener grados adecuados en la flotación primaria; si se remuele el concentrado a partir de una granulometría mayor a las 35 micras se tendrá carga circulante de carbón liberado en la etapa de remolienda y puede ocasionar cinéticas lentas de flotación y afectaciones en el circuito de Zn.

## **REFERENCIAS**

Froth Flotation: A Century of Innovation, Maurice C Fuerstenau

Handbook of Flotation Reagents Chemistry, Theory and Practice Flotation of Sulfide Ores, Srdjan M. Bulatovic

Mining Chemicals, HANDBOOK 2010 Cytec Industries

Surface Chemistry of Froth Flotation, S. Ramachandra Rao

Advances in Flotation Technology, B. K. Parekh, J. D. Miller

