

Desarrollo de un circuito de flotación: impacto de mineralogías complicadas, un caso de estudio

D. M. Urias Garcia

Centro de Investigaciones Metalúrgicas de Grupo México SA de CV

dania.urias@mm.gmexico.com

RESUMEN

Conforme las vetas principales de los cuerpos minerales se agotan, se han explorado nuevos cuerpos con valores interesantes, pero con mineralogías complicadas. Es decir, asociaciones con tamaños menores a las 50 micras, compuestos solubles que afectan la recuperación y/o metales raros con efectos poco conocidos. La inclusión de estos nuevos cuerpos minerales tiene efectos importantes en la recuperación y grado para las plantas de beneficio ya en operación, es por ello que, se realiza la investigación metalúrgica para obtener los mejores resultados posibles con base a la mineralogía

La presente investigación, se enfoca a la determinación de un circuito base de flotación y un cuadro de reactivos estándar, obteniendo como mejores resultados en flotación primaria, para Cu 57.4% en recuperación y 4.5% de grado. Para el caso del concentrado de Zn, recuperación primaria de 73% y grado de 15.1%.

PALABRAS CLAVE: *Mineralogía complicada, inclusiones, asociaciones*

INTRODUCCIÓN

El presente informe de resultados ampara únicamente las mediciones o determinaciones realizadas al momento y bajo las condiciones mencionadas. El informe pierde validez y respaldo del Centro de Investigaciones Metalúrgicas si presenta tachaduras, enmendaduras o alteraciones en los resultados emitidos. Este informe se refiere exclusivamente a las muestras referenciadas y no puede ser reproducido en forma parcial sin la previa autorización del Centro de Investigaciones Metalúrgicas con la finalidad de proporcionar seguridad de que partes de un informe no se sacan de contexto.

En la presente investigación, la muestra que se trabajó fue un barrenado de exploración de un cuerpo mineral adyacente a una veta principal, por ello, se realizaron pruebas con el diseño de planta previamente establecido. Conforme se avanzó, se pudo observar que, los reactivos y el diagrama utilizados, no estaban dando buenos resultados, por lo que se concluyó que la investigación se tenía que reenfocar a la mineralogía de la muestra, ya que, ni los grados ni las recuperaciones eran económicamente atractivos.

Se realizó una determinación de cabeza para identificar su composición, los resultados se muestran en la Tabla 1. Basados en esta determinación, se decidió hacer pruebas de flotación selectiva, enfocadas en la recuperación de Cu y Zn.

Tabla 1. Comparación de leyes de cabeza

I.D. de la muestra	Au g/ton	Ag %	Pb %	Cu %	Zn %	Fe %
Muestra A	0.27	0.2	0.01	0.33	1.9	8.4

ANTECEDENTES

Se realizaron estudios mineragráficos a la muestra A para poder identificar su composición. Esta muestra contenía 0.33% de ley de cobre total, en donde el 0.17%, ~50% de la ley de cabeza, se encuentra como calcopirita liberada con tamaños promedio de 26 micras (Anexo 1).

El otro ~50% se encuentra asociado en textura simple de esfalerita y calcopirita y representa un 0.10% de la ley de cobre, además esta misma asociación se encuentra en una textura de inclusiones de calcopirita en esfalerita, en donde la calcopirita se encuentra en tamaños que van de 1 a 17 micras, lo anterior se pudo observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción de la identificación de minerales de Cu en la muestra

Muestra	%	Ley (%)	Min-max	Prom	Min-max	Prom	Min-max	Prom
Calcopirita	50.00	0.17	9 ~ 75	26.23				
Esfalerita asociada a Calcopirita	29.55	0.10	13 ~ 346	52.77	9 ~ 79	20.54		
Esfalerita con inclusiones de Calcopirita	15.91	0.05	75 ~ 306	128.43	1 ~ 17	10.14		
Hematita asociada a esfalerita Con inclusiones de calcopirita	4.55	0.02	103~195	149.00	188 ~ 248	218.00	20 ~ 25	22.50

La misma muestra contiene 1.93% de zinc total, siendo el mineral de esfalerita el que representa el 1.5% de la ley total con tamaños de promedio de 20.54 micras, sin embargo, la principal asociación que se encuentra es con calcopirita, tanto en textura simple, en donde se encuentra la esfalerita en tamaños de 128 micras en promedio, como en textura de inclusiones de calcopirita y con tamaños que van de 13 a 346 micras. Lo anterior se puede observar en la Tabla 3.

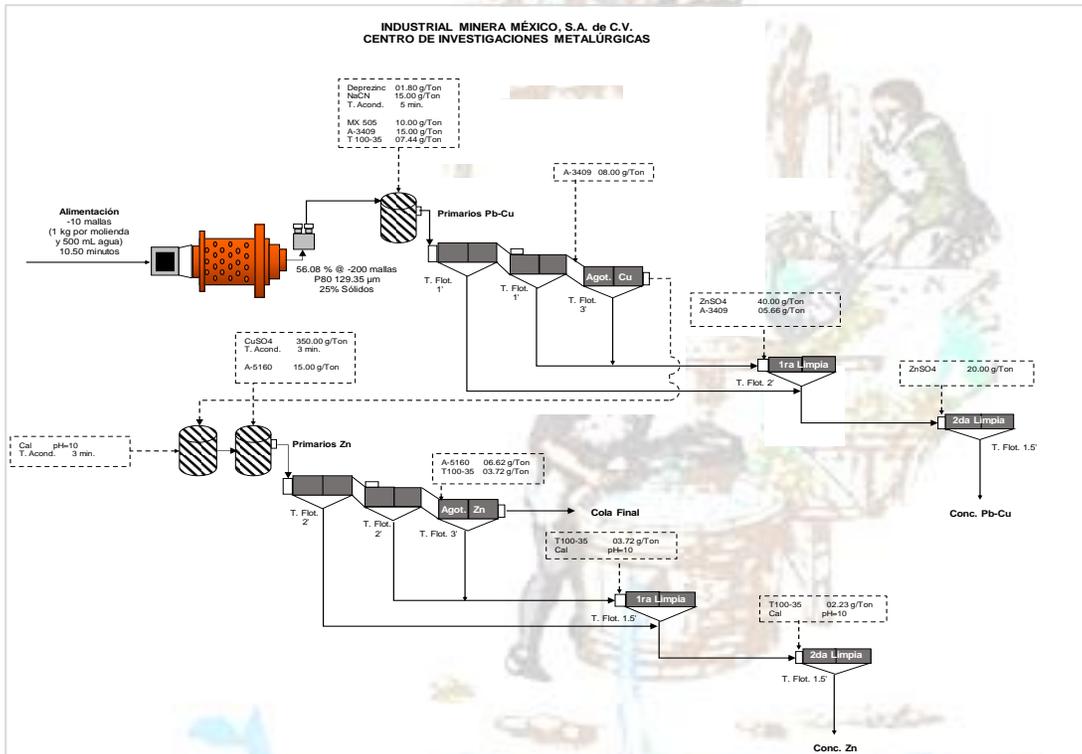
METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Se recibió mineral proveniente de la barrenación. Para la preparación de la muestra se redujo el mineral a -10 mallas y se homogeneizó con ayuda del cortador Jones para posteriormente realizar muestras de 1 Kg. Las pruebas de flotación se realizaron en una máquina Metso®, usando celdas de 4 L para las flotaciones primarias con impulsor y difusor de tamaño grande, a una velocidad de 1250 rpm; para las limpias, se utilizaron celdas de ¼ L, a una velocidad de 950 rpm. Los reactivos usados en solución fueron únicamente el NaCN, preparado al 1% con agua destilada, el resto fueron usados al 100%.

Para dar inicio a la investigación se tomó como referencia el circuito de flotación abierta que se muestra en la Figura 1, del diseño de planta de la veta principal.

Tabla 3. Descripción de la identificación de minerales de Zn en la muestra.

Muestra	%	Ley (%)	Min-max	Prom	Min- Max	Prom	Min-Max	Prom
Esfalerita	77.78	1.50	11 ~ 109	32.53				
Esfalerita asociada a Calcopirita	11.11	0.21	13 ~ 346	52.77	9 ~ 79	20.54		
Esfalerita con inclusiones de Calcopirita	5.98	0.12	75 ~ 306	128.43	1 ~ 17	10.14		
Esfalerita asociada a ganga	3.42	0.07	28 ~ 91	60.50	50 ~ 174	125.50		
Hematita asociada a esfalerita con inclusiones de calcopirita	1.71	0.03	103~ 195	149.00	188 ~ 248	218.00	20 ~ 25	22.50



INDUSTRIAL MINERA MÉXICO, S.A. de C.V.

Figura 1. Circuito de flotación encontrado en archivos del CIM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas iniciales fueron análisis granulométricos, para ello se realizaron moliendas de 11, 18 y 21 minutos arrojando los P_{80} de 128, 78 y 66 micras, respectivamente.

Los resultados de estas pruebas se muestran en las Figura 2 y 3, en ellas se puede observar que los tiempos de molienda altos, los cuales arrojan tamaños de partículas muy finas, son en los que se obtienen mejores resultados tanto para Cu como para Zn, ya que en estos tiempos las recuperaciones para Cu son del 29% aproximadamente y para Zn del 91%.

Las recuperaciones que se obtuvieron en la planta para el Cu fueron de aproximadamente 85%, con grado global del 4%.

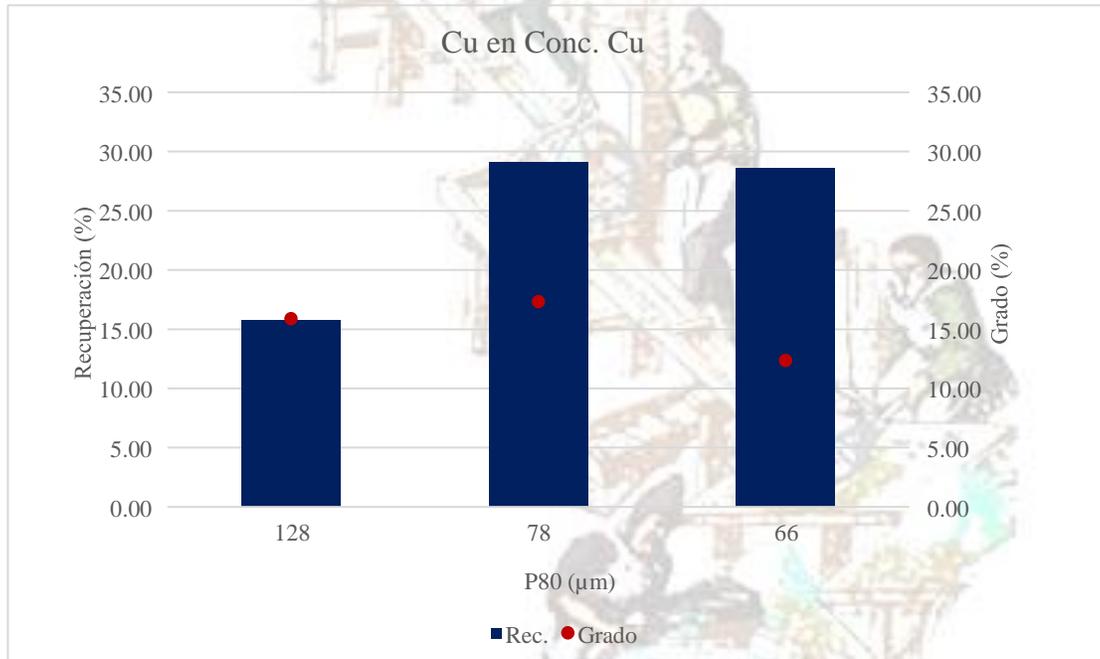


Figura 2. Resultados en circuito de Cu en pruebas con modificación en tiempos de molienda

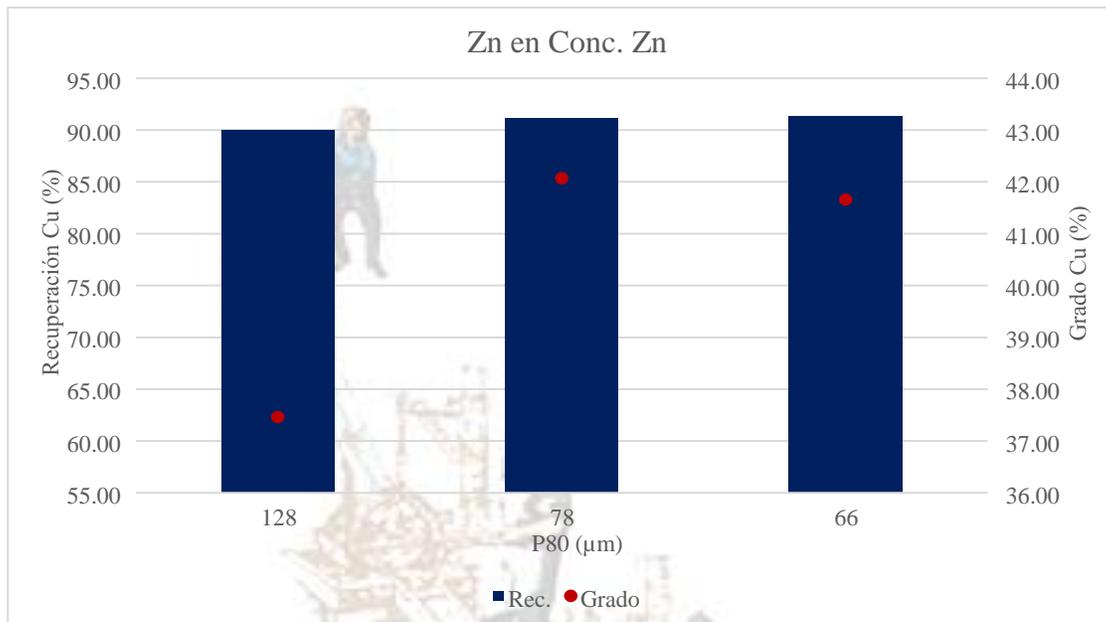


Figura 3.- Resultados en circuito de Zn en pruebas con modificación en tiempos de molienda.

Se decidió tomar el tiempo de 21 minutos de molienda como base, ya que alcanza un P_{80} 66 μm . para tratar de tener una mejor liberación para posteriormente hacer un ajuste de reactivos.

Se realizó una prueba con base en el circuito de planta, los resultados de Cu se muestran en las gráficas de la Figura 4. Para entender mejor el comportamiento se realizó una prueba sin depresores, obteniendo una recuperación de Cu de 56%, sin embargo, como era de esperarse, se tuvo una promoción de Zn durante la flotación de cobre, teniendo una distribución del 33%.

En el caso del Zn (Figura 5), se observa que la recuperación es mucho menor en la prueba sin depresores, quedando en un 65.7%, tanto la baja distribución de Cu en el Zn como la baja recuperación de Zn en Zn, se atribuye de manera directa al incremento del Zn en el concentrado de Cu.

Debido a la baja recuperación de Cu, incluso con modificaciones a las dosificaciones y P_{80} , se realizó una revisión integral con el departamento de exploraciones para reenfocar el proyecto hacia la obtención de recuperaciones y grados máximos en función de las características del cuerpo mineral.

El tiempo de molienda se modificó de 21 min. (66 μm) a 18 min. (78 μm) debido a que con P_{80} de 78 μm incrementaba la recuperación de 28.6% a 29.1% y el grado de 12.37% a 17.34% en Cu. Las flotaciones que en un principio eran de dos primarios y un agotativo con tiempos de flotación de 1 y 3 minutos respectivamente, pasaron a ser un primario y un agotativo con 2.5 minutos de flotación para cada uno, debido a la distribución de productos y recuperación observada en las pruebas anteriores (Figura 6).

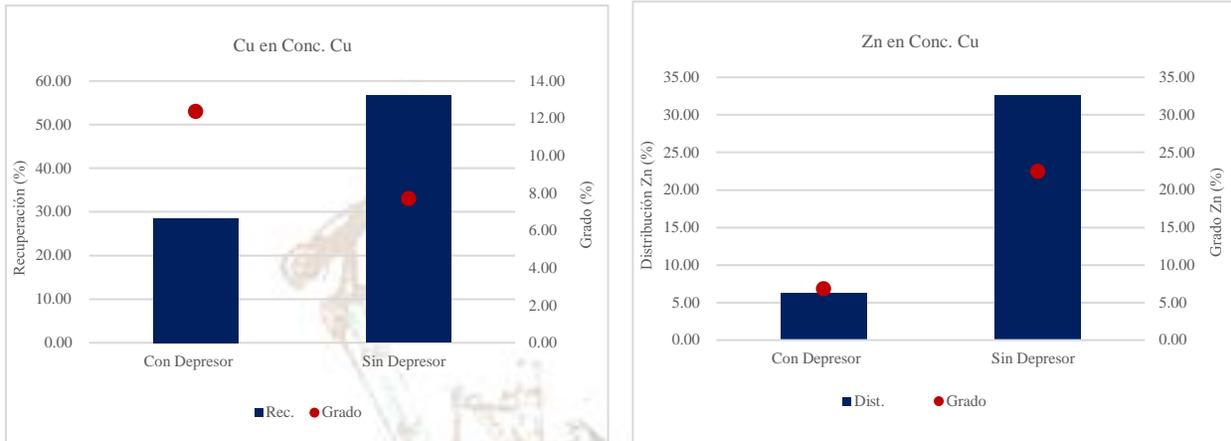


Figura 4.- Resultados en circuito de Cu en pruebas con modificación de depresora

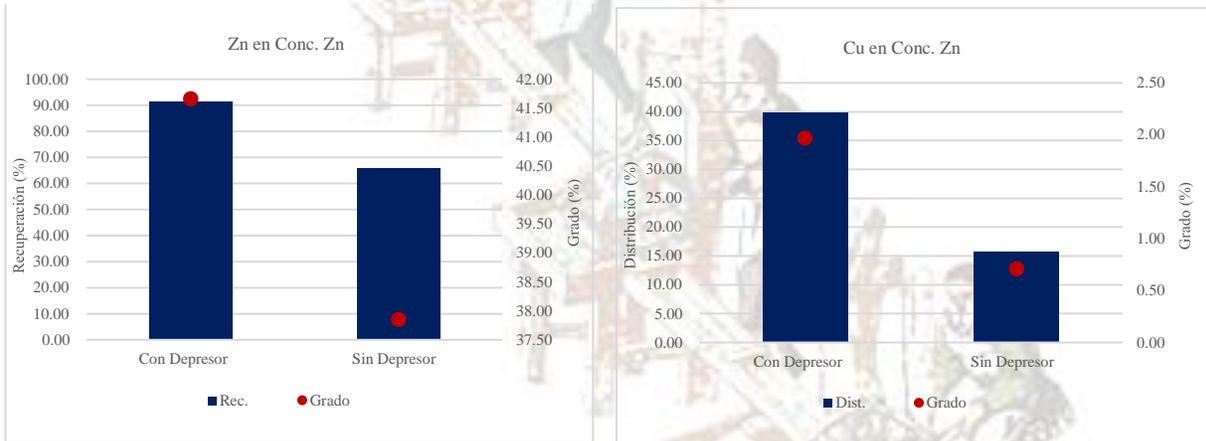


Figura 5.-Resultados en circuito de Zn en pruebas con modificación de depresores.

Las modificaciones de reactivos se realizaron solamente en el circuito de Cu, sin embargo, el depresor de Zn y el espumante se mantuvieron constantes, ya que se tenía que deprimir el Zn presente en Cu. En el circuito de Zn no tuvo cambios, puesto que este se recupera sin complicaciones.

En la Figura 7 se muestran los resultados por prueba en el circuito de Cu y, en la Figura 8 los resultados del circuito de Zn; la mejor prueba es con el dispersante D-160 en molienda y en flotación primaria depresor A-7261, obteniendo recuperación y grado para Cu de 57.5% y 4.5% respectivamente. Para Zn recuperación del 73% y grado de 15.1% en flotación primaria.

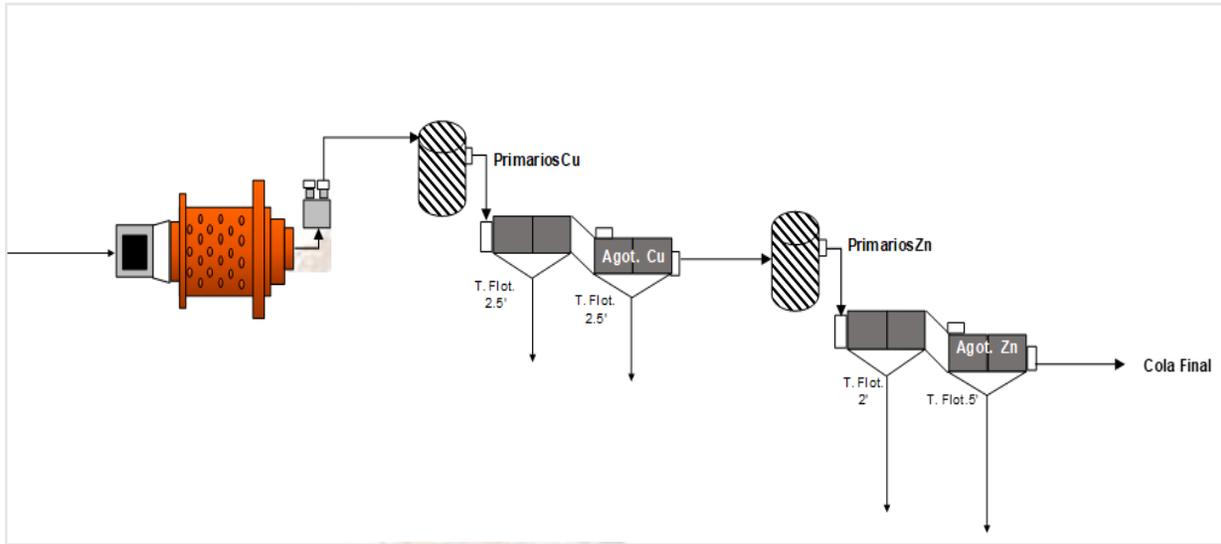


Figura 6.- Circuito modificado.

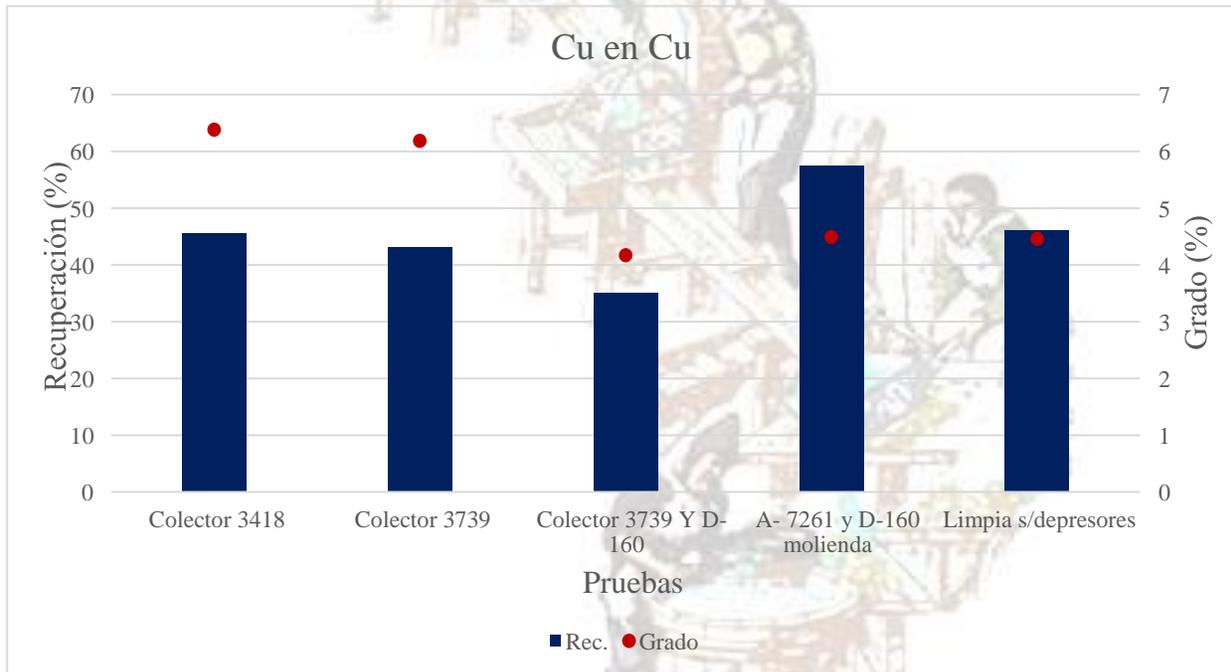


Figura 7.- Resultados de modificación de reactivos en circuito de Cu.

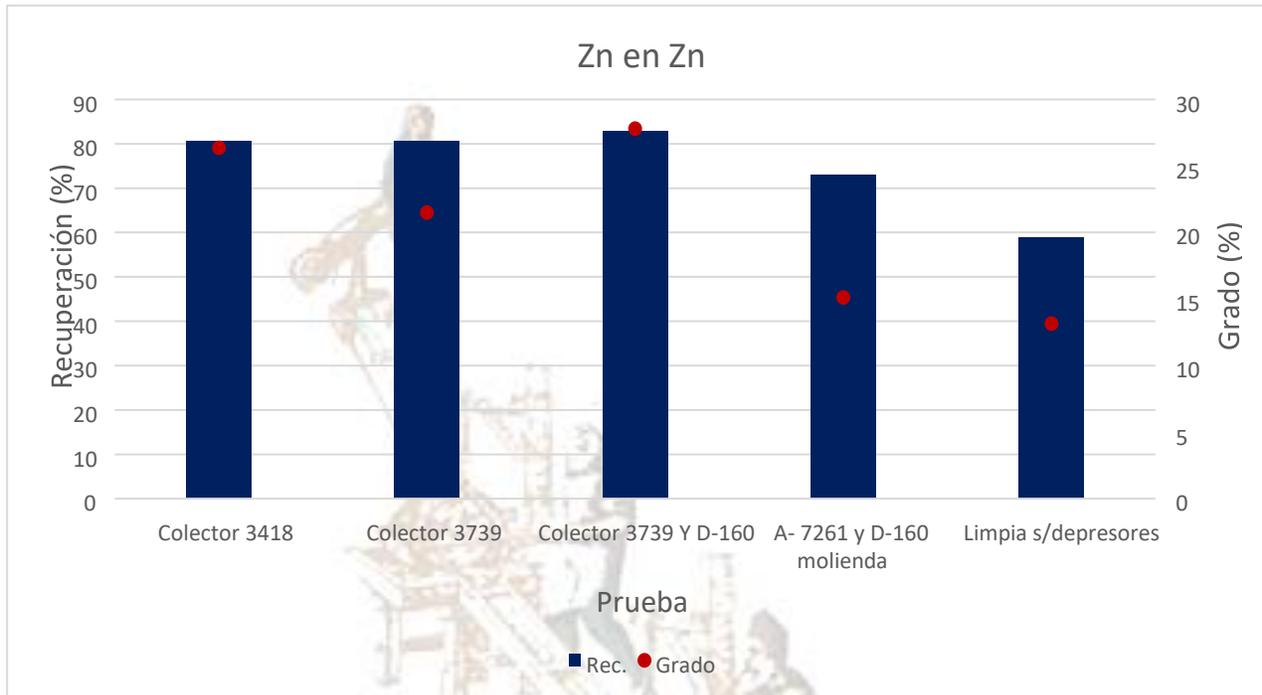


Figura 8.-. Resultado de modificación de reactivos en circuito de Zn.

En las gráficas 9, 10 y 11 se muestra la comparación de las mejores pruebas; sin Deprezinc y sin NaCN y con A-7261 y D-160. El cobre en la prueba base con 18 minutos de molienda, obtiene una recuperación de 29%, mientras que la prueba con A7261 con D-160 y sin depresores, obtiene una recuperación de alrededor del 50% de Cu.

En el caso del Zn en Cu, la distribución paso de 6% en la prueba de 18 minutos de molienda a un 33% en prueba sin depresores y un 17% en prueba con A-7261 y D-160, con un grado que se mantuvo entre 9% y 10%.

En el caso del Zn, de un 91% en prueba con 18 minutos de molienda, paso a tener valores de entre 60% y 70% en recuperación, mientras que los grados pasaron de 42% a un 12% -15%, estas disminuciones tan drásticas se atribuyen a que las distribuciones de Zn en Cu aumentaron.

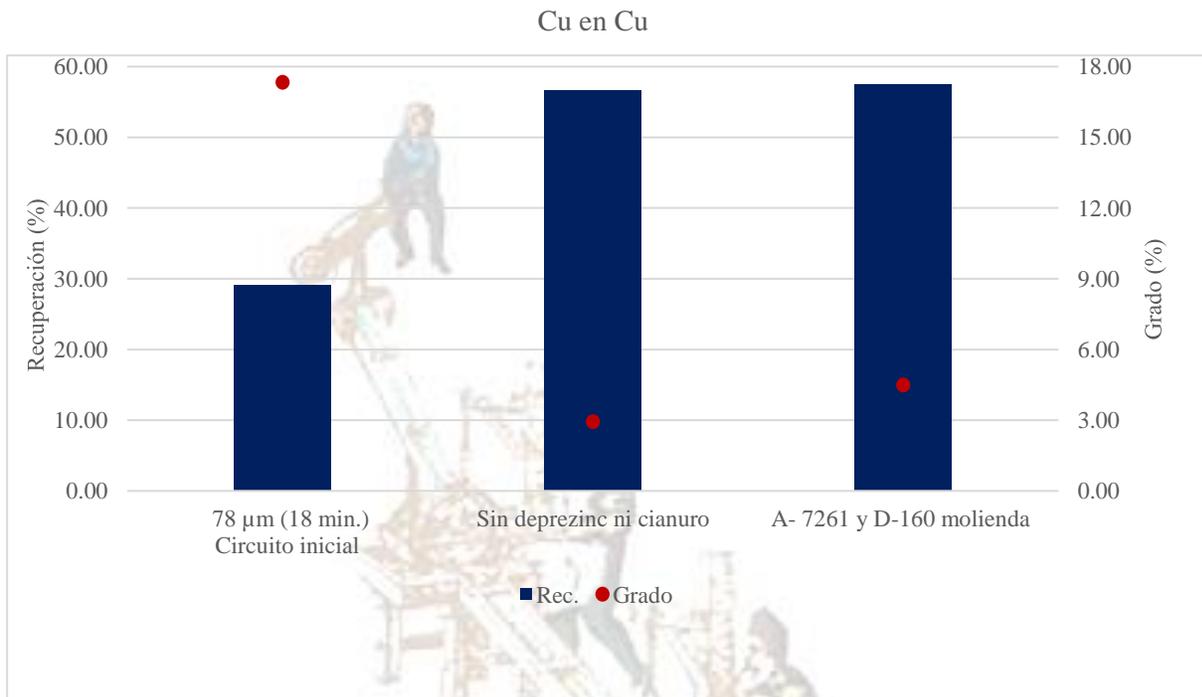


Figura 9.- Comparación del circuito de Cu.

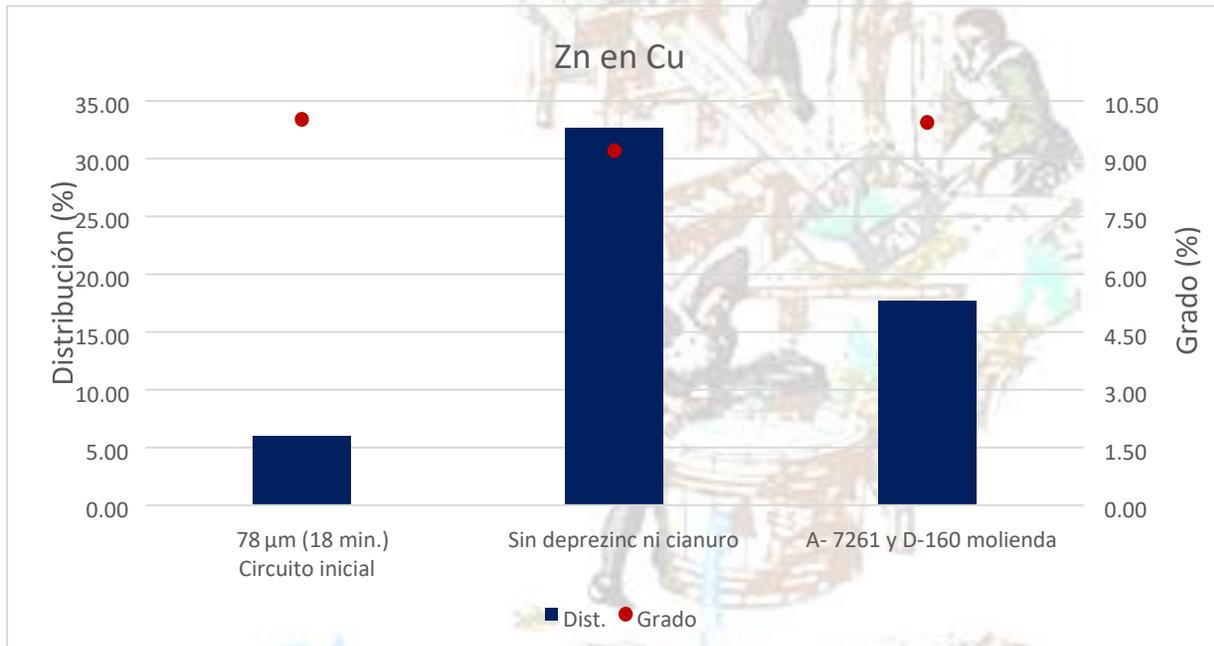


Figura 10.- Comparación de resultados de Zn en Cu.

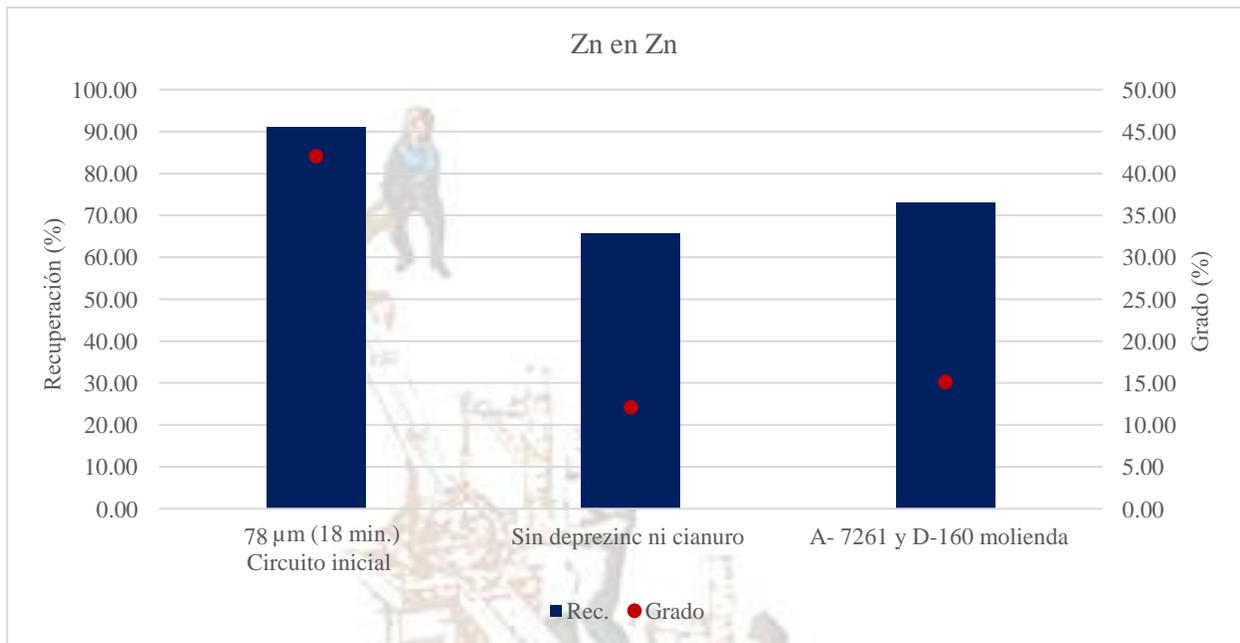
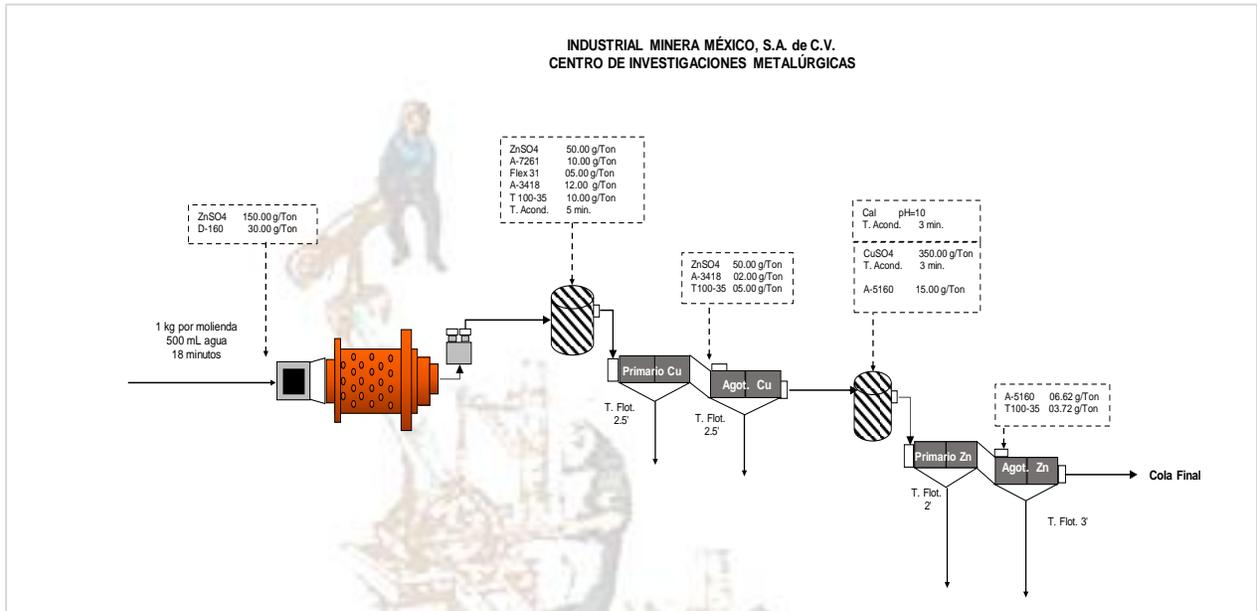


Figura 11.- Comparación del circuito de Zn.

Con lo anterior, se determinó que la mejor prueba era la que tenía los reactivos A-7261 y el D-160, el diagrama de prueba se muestra en la Figura 12, en él se detallan los reactivos utilizados y tiempos de flotación y de molienda. Se seleccionó esta prueba, por la recuperación y grado de Cu, pensando en que con una etapa de remolienda, se podría mejorar la liberación del Cu, antes de una etapa de limpias, de manera que se pueda separar adecuadamente los valores.

Con estas comparaciones de resultados, se hace evidente que, el haber realizado una identificación de las especies minerales de la muestra fue beneficioso para el Cu, ya que aumentó su recuperación de un 29% a más del 55%, aproximadamente, sin embargo, la recuperación del Zn se vio afectada quedando entre 60% y 70% ya que, debido a las condiciones minerográficas de la muestra, este se recuperó en el circuito de Cu, teniendo distribuciones que oscilaban entre el 20% y 30%.



CONCLUSIONES

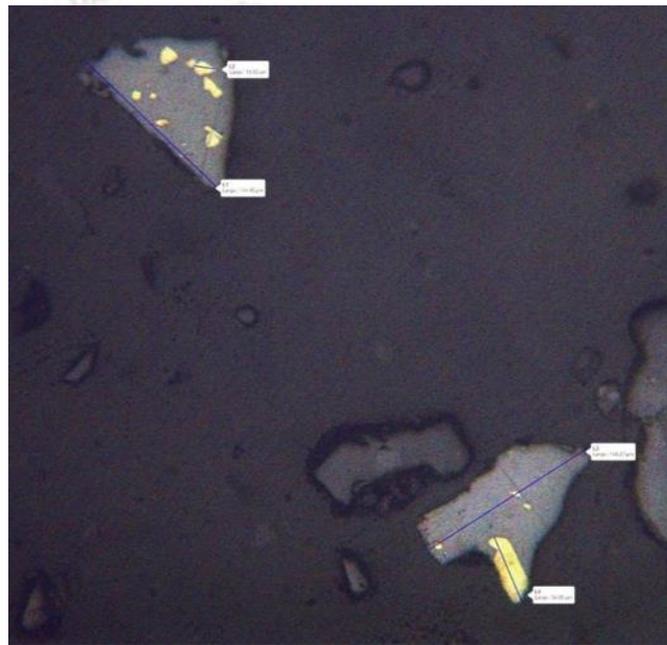
- Las determinaciones minerográficas demuestran que las inclusiones entre Cu y Zn oscilan entre 1 a 17 μm . La molienda que se tiene actualmente de 18 minutos nos da un P_{80} de 78 micras, de tal manera que, las inclusiones son demasiado complicadas de liberar y una molienda más fina podría tener más complicaciones durante la flotación con la generación excesiva de finos.
- Es difícil llegar al tamaño de liberación que requiere la muestra mineral en estudio. Con la poca liberación se obtienen bajas recuperaciones de Cu con tan solo un 57% y un grado de 4.5%, siendo el principal contaminante el Zn con 17% de distribución y 10% de grado. Al tener tan alta distribución de Zn en Cu, la recuperación de Zn se ve afectada logrando solo el 73% con un grado de 15.1%.
- La variación de reactivos y sus dosificaciones, P_{80} , circuito de flotación y pH, viéndose pocos efectos en el comportamiento del mineral, mostrando solo cambios en la distribución de los productos, demostrando el efecto de la poca liberación, haciendo los circuitos ineficientes.
- Estos resultados fueron en pruebas primarias, únicamente faltaría hacer evaluaciones en las que se introdujera al circuito una etapa de remolienda y limpias, con el fin de aumentar la liberación de las inclusiones más pequeñas.

REFERENCIAS

- Grano, S. (2008, December 20). The critical importance of the grinding environment on fine particle recovery.
- Zhang, X. (n.d.). Effects of grinding media on grinding products and flotation performance of chalcopyrite.

ANEXO

Estudio minero gráfico de cabeza muestra A.



Anexo 1.- Cabeza, Charcas. Textura de inclusión en donde se encuentra la calcopirita (amarillo) dentro de esfalerita (gris) en forma de puntos irregulares sin una orientación específica

