Inyección de Microburbujas para Recuperación de Partículas Finas de Molibdeno en Banco Agotativo de Flotación Primaria de Separación Cu-Mo

GrupoMéxico
MINERÍA

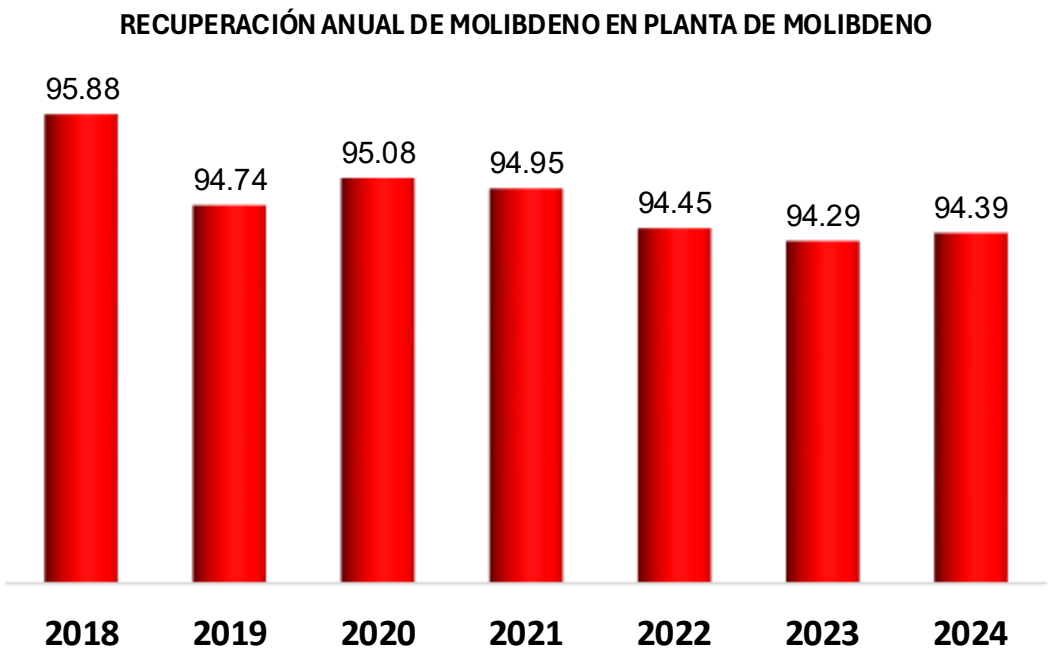
Contenido

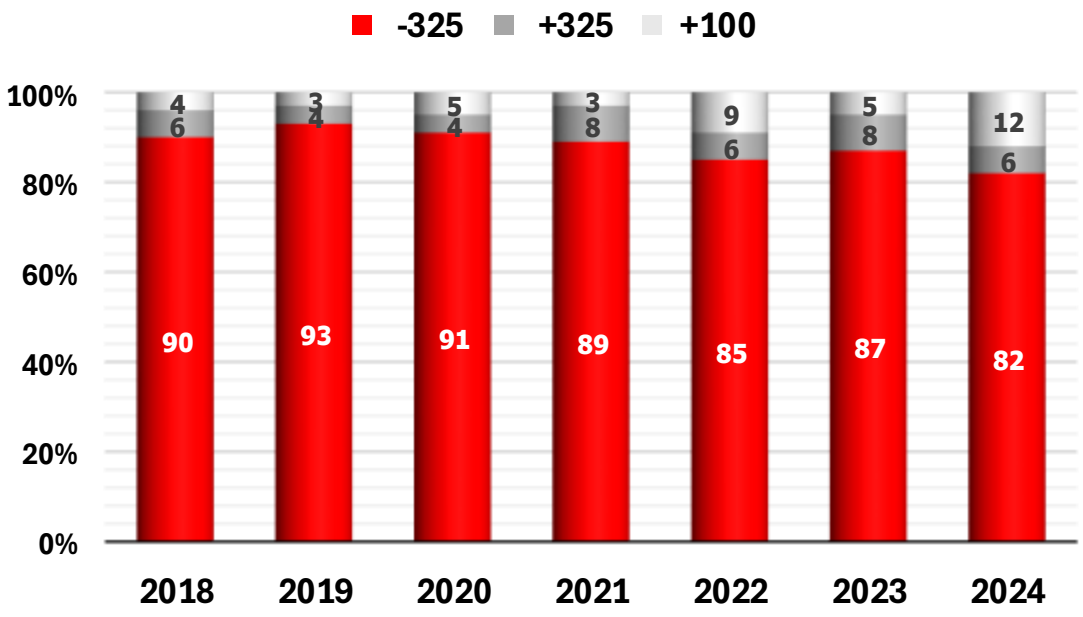
- Antecedentes
- Revisión bibliográfica
- Propuesta de mejora
- Análisis de recuperaciones y colas
- Mediciones hidrodinámicas
- Beneficio económico
- Como vamos…
- Conclusiones

Antecedentes

En los últimos años, la planta de molibdeno ha enfrentado variabilidad en el mineral procesado, lo que ha dificultado la eficiencia de recuperación. Aunque se han ajustado y cambiado reactivos para mejorar la recuperación y selectividad, los resultados han sido limitados.

Los análisis de granulométricos de colas de la separación de cobre y molibdeno indican que gran parte del molibdeno perdido está en partículas finas, que no se recuperan eficazmente con las condiciones actuales de flotación.





Distribución granulométrica en cola primaria de planta de molibdeno.
Fracciones -325 (<37 micras), +325 (de 37 a 105 micras), +100 (>105 micras).

Revisión Bibliográfica

La literatura técnica respalda el uso de microburbujas como una herramienta eficaz para mejorar la recuperación de minerales finos, al aumentar la eficiencia de colisión y adhesión, y al favorecer la formación de agregados burbuja–partícula más estables (Ma, Zhang & Tao, 2022).

Modelo cinético de primer orden

$$R(t) = R\infty\ (1 - e^{-kt})$$

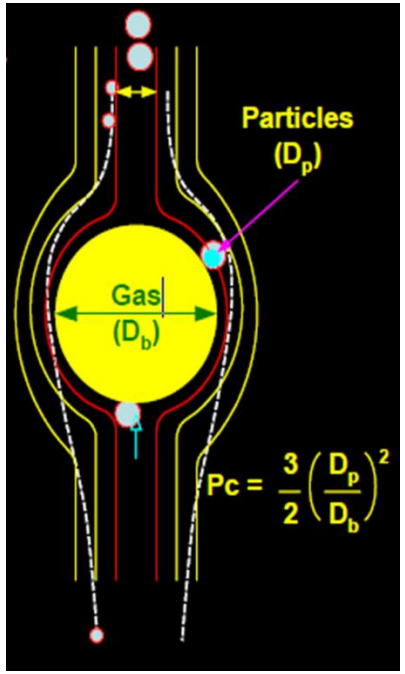
Donde:
$R(t)$: Recuperación acumulada en el tiempo t
$R\infty$: Recuperación máxima teórica
k: Constante cinética de flotación (min^{-1})
t: Tiempo de flotación (min)

La constante cinética se define como:

$$k = P * S_b * R_f$$

Donde:
k : constante de velocidad de primer orden
P : probabilidad de colección
S_b: flujo de área superficial de burbujas
R_f: factor de recuperación de la espuma

De donde se tiene que $S_b = 6J_g/d_B$.



$$P = P_c P_a (1 - P_d)$$

P_c : probabilidad de colisión
P_a: probabilidad de adhesión
P_d: probabilidad desprendimiento

Propuesta de mejora de recuperación de molibdeno

Se propone realizar una prueba en planta con inyectores de aire generadores de microburbujas (*Slamjet Spargers*) en la etapa agotativa del banco primario de 300 ft^3 de separación cobre-molibdeno ya que existe el potencial de mejorar la eficiencia de captura de partículas finas mediante una mayor área de contacto y un incremento en la cinética de flotación.

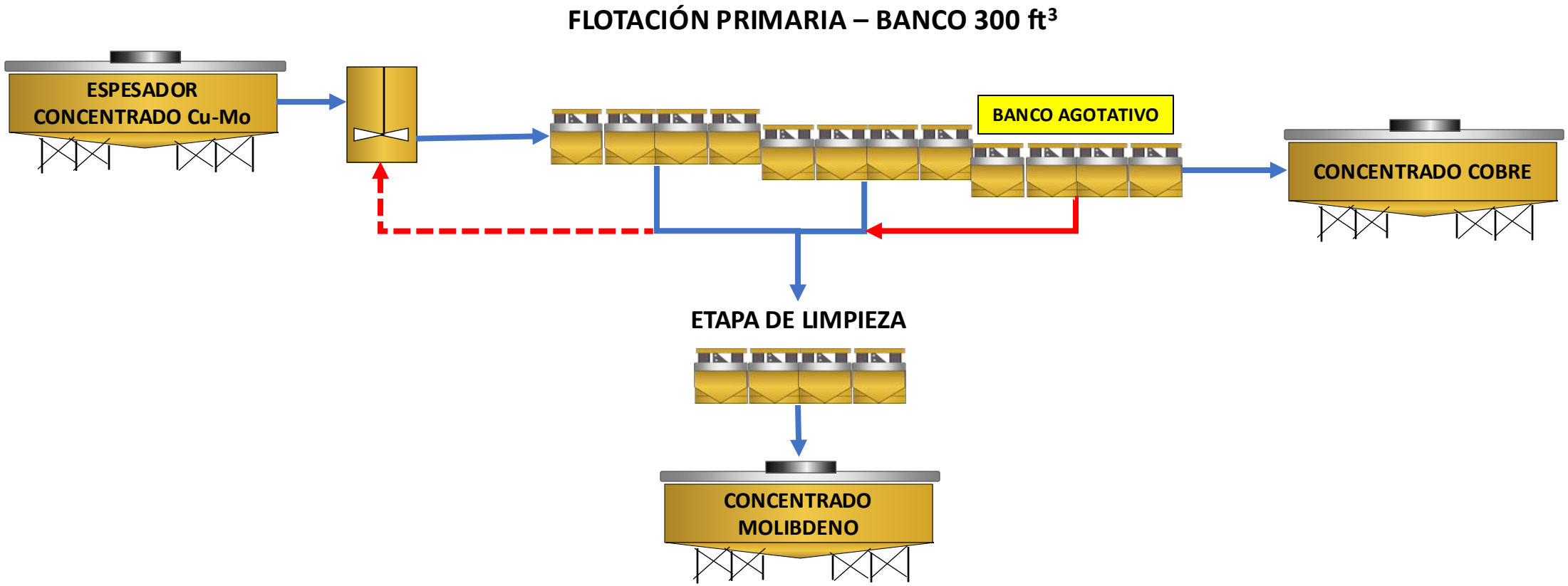
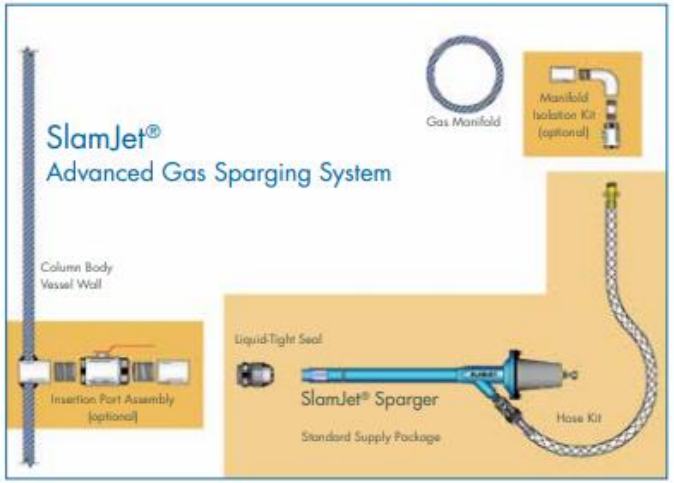
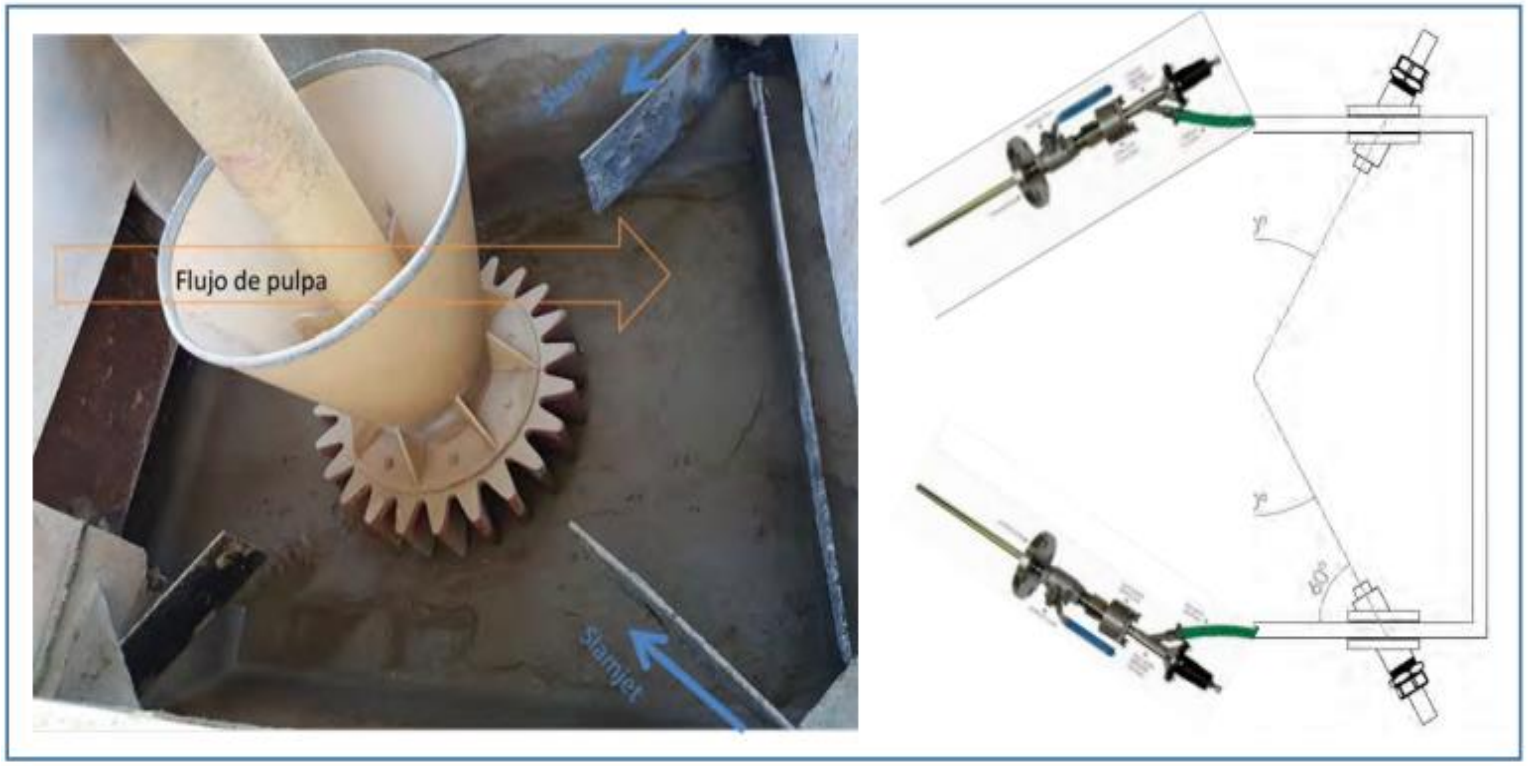


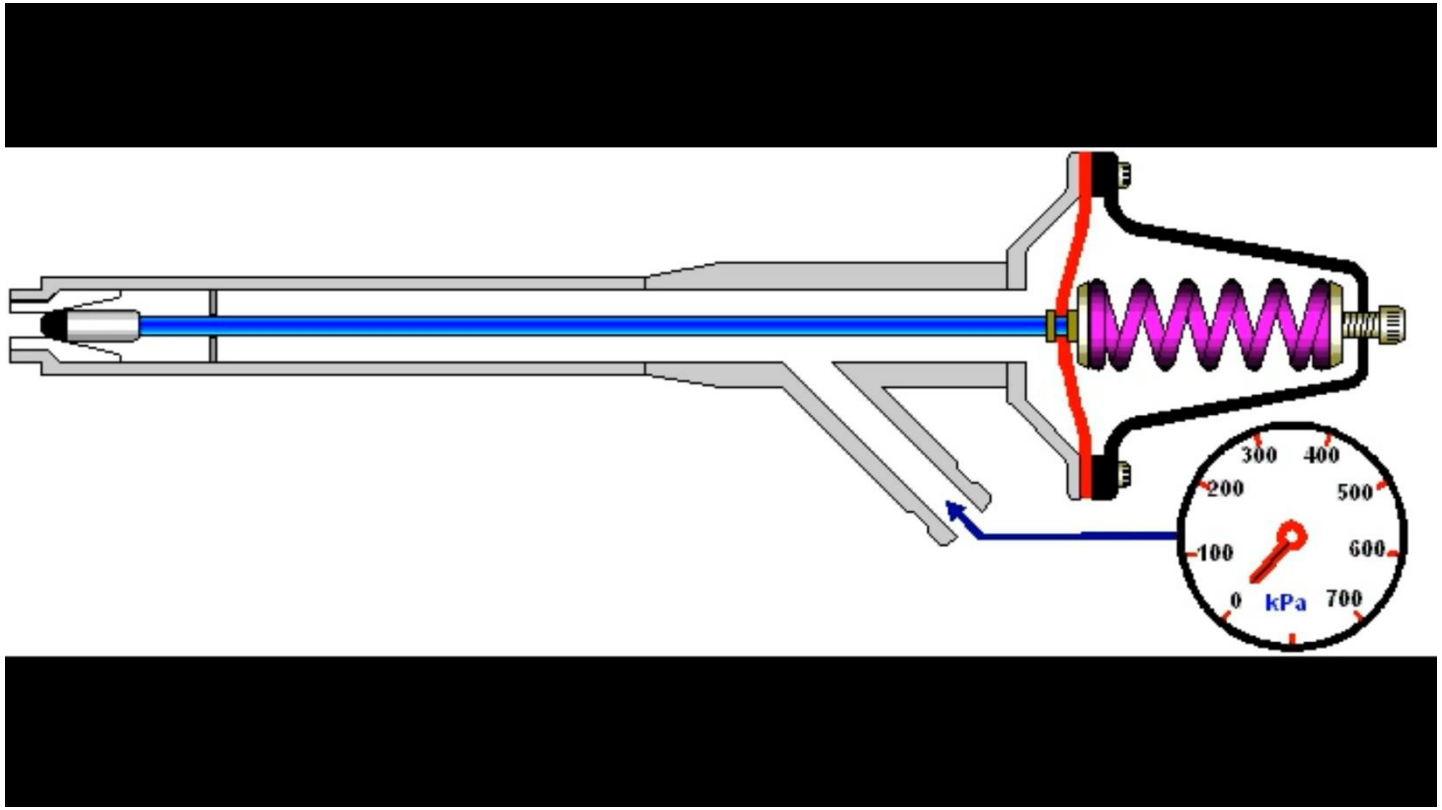
Figura 1. Diagrama de planta de molibdeno.

Propuesta de mejora de recuperación de molibdeno



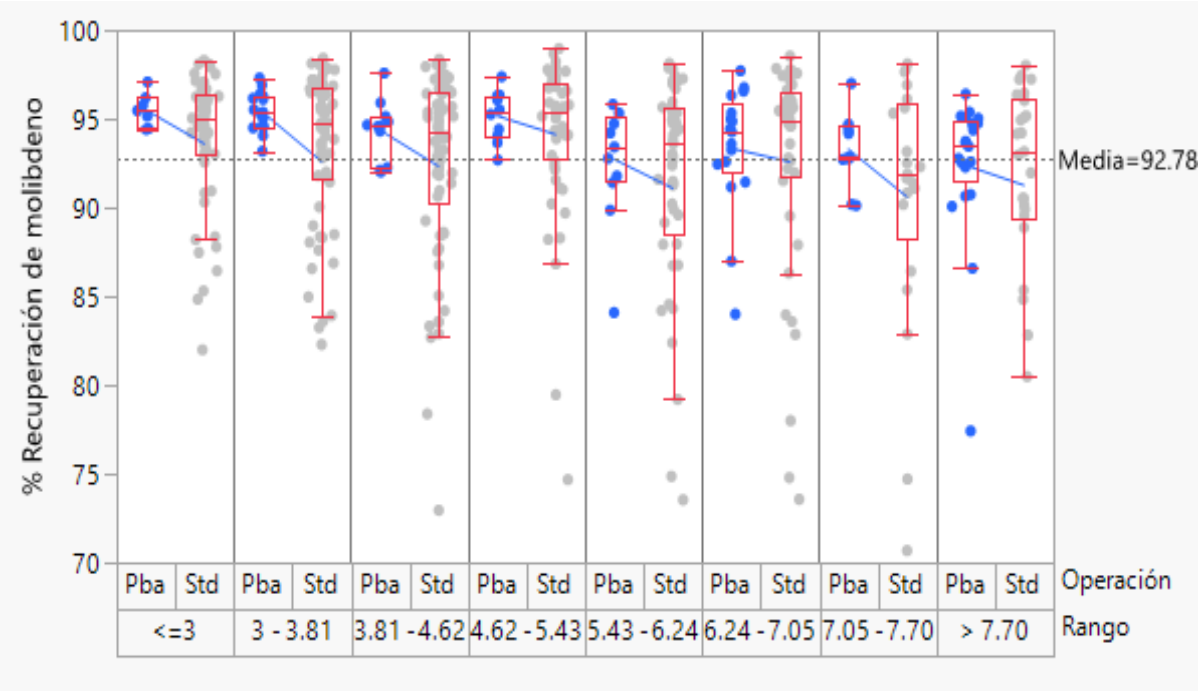


Propuesta de mejora de recuperación de molibdeno



Análisis de recuperación de molibdeno en banco de 300 ft^3

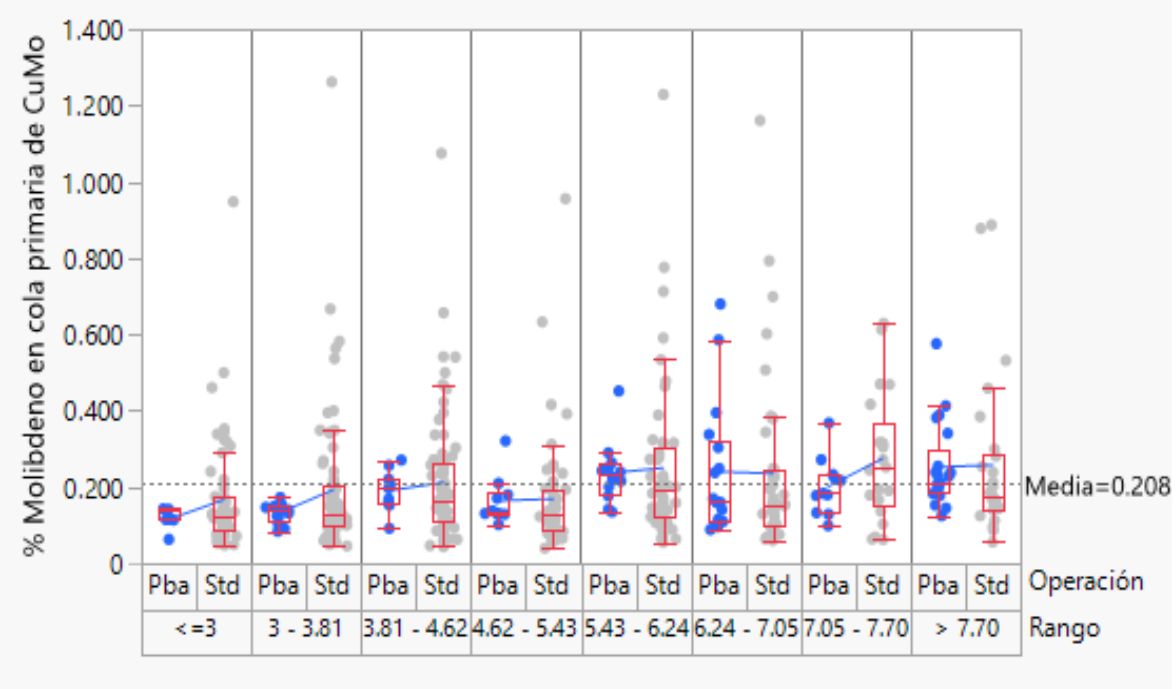
Para el análisis estadístico se utilizaron los datos de recuperación primaria de molibdeno en planta, clasificando los resultados en rangos según el porcentaje de molibdeno en alimentación a banco primario. (Pba: operación con inyector. Std: operación sin inyector.)



Resumen de variabilidad de % recuperación de molibdeno			
	Pba	Std	Diferencia
Rango[<=3]	95.50	93.59	1.91
Rango[3 - 3.81]	95.37	92.60	2.77
Rango[3.81 - 4.62]	94.36	92.33	2.03
Rango[4.62 - 5.43]	95.17	94.12	1.05
Rango[5.43 - 6.24]	92.72	91.09	1.63
Rango[6.24 - 7.05]	93.34	92.58	0.76
Rango[7.05 - 7.70]	**93.29**	**90.60**	**2.69**
Rango[> 7.70]	**92.39**	**91.26**	**1.13**
		Promedio	1.75

El uso de inyectores de microburbujas mejora la recuperación de molibdeno en los distintos rangos de alimentación al banco primario de 300 ft^3, incluso en condiciones de alta recirculación, donde las leyes de cabeza pueden superar hasta tres veces el porcentaje de molibdeno presente en el concentrado bulk.

Comportamiento de cola de banco de 300 ft



Resumen de variabilidad de % recuperación de molibdeno			
	Pba	Std	Diferencia
Rango[<=3]	0.116	0.167	-0.051
Rango[3 - 3.81]	0.132	0.193	-0.061
Rango[3.81 - 4.62]	0.190	0.212	-0.022
Rango[4.62 - 5.43]	0.164	0.169	-0.005
Rango[5.43 - 6.24]	0.236	0.250	-0.014
Rango[6.24 - 7.05]	0.241	0.236	0.005
Rango[7.05 - 7.70]	0.202	0.276	-0.074
Rango[> 7.70]	0.253	0.258	-0.005
		Promedio	-0.028

En la mayoría de los rangos, se observa una menor dispersión de los datos con el uso de microburbujas (Pba). Esto sugiere que proporciona una operación más estable y controlada, con menos fluctuaciones en la pérdida de molibdeno hacia cola, dando una mayor confiabilidad operativa.

Mediciones hidrodinámicas

En la figura 2 se muestra la comparación entre el Jg (cm/s) del muestreo realizado con los SlamJet Spargers en condiciones on/off. No se presentaron diferencias importantes durante la evaluación dado que el caudal de aire se mantuvo constante en ambas condiciones.

En la figura 3 compara el diámetro de burbuja (D32) durante las condiciones evaluadas. Se observa una reducción sistemática al operar con los SlamJet Spargers, siendo más marcada en el banco agotativo, donde el D32 disminuyó de 0.6541 mm a 0.5225 mm

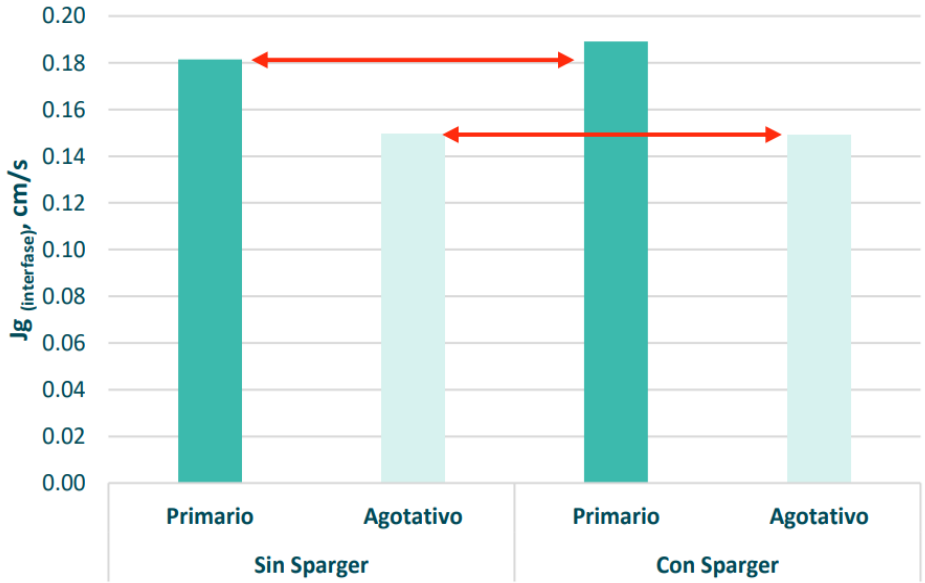


Figura 2: Comparación del Jg en el muestreo on/off de los SlamJet Spargers.

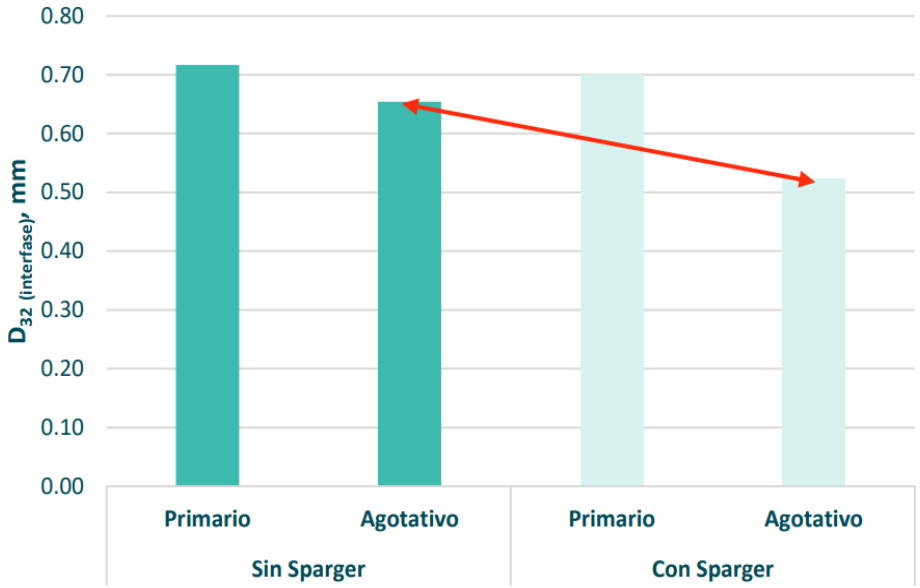


Figura 3: Comparación del D32 en el muestreo on/off de los SlamJet Spargers.

Mediciones hidrodinámicas

La Figura 4 muestra la distribución de frecuencia de burbujas en el banco agotativo. Para las dos familias de 0.2097 mm y 0.2972 mm, el uso de los SlamJet Spargers incrementó la frecuencia en 13.26% y 5.0%, respectivamente. A tamaños mayores de 0.4204 mm, la proporción de las burbujas es mayor en la condición sin Spargers.

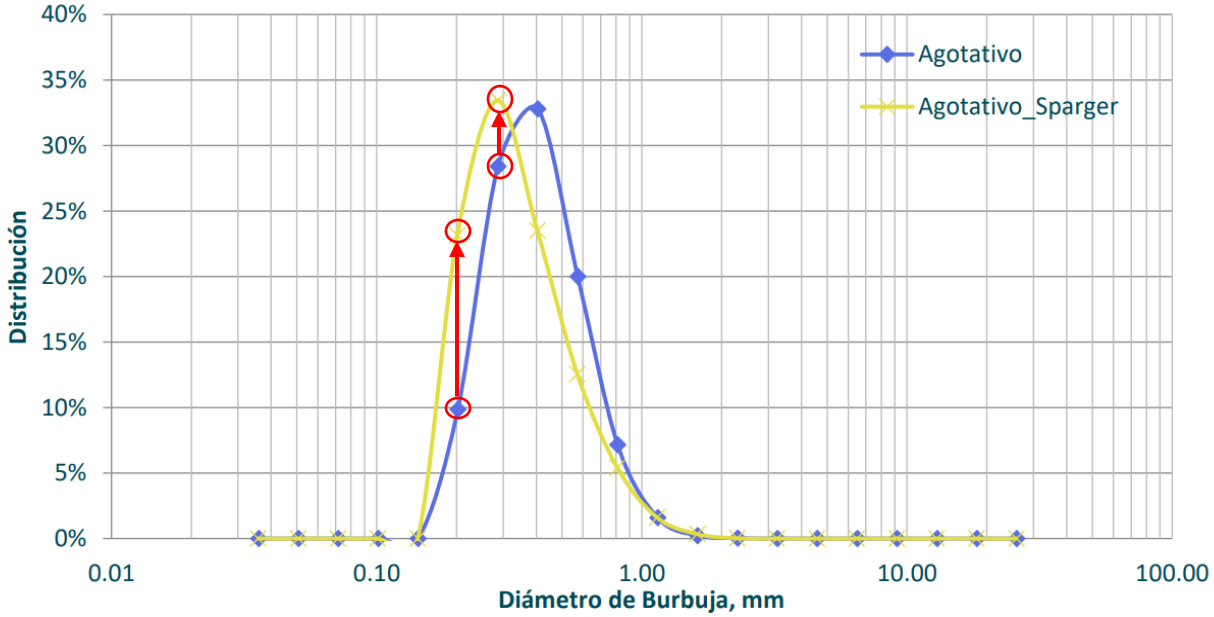


Figura 4: Distribución de frecuencias de burbujas en el banco agotativo en el muestreo on/off de los SlamJet Spargers.

Como se observa en la Figura 5, tanto en el banco primario como en el agotativo, el uso de los Spargers incrementó el Sb: • Banco primario: de 15.18 s-1 a 16.23 s-1 • Banco agotativo: de 13.74 s-1 a 17.14s-1 Este incremento es resultado directo de la reducción del diámetro de burbuja con el mismo flujo de aire.

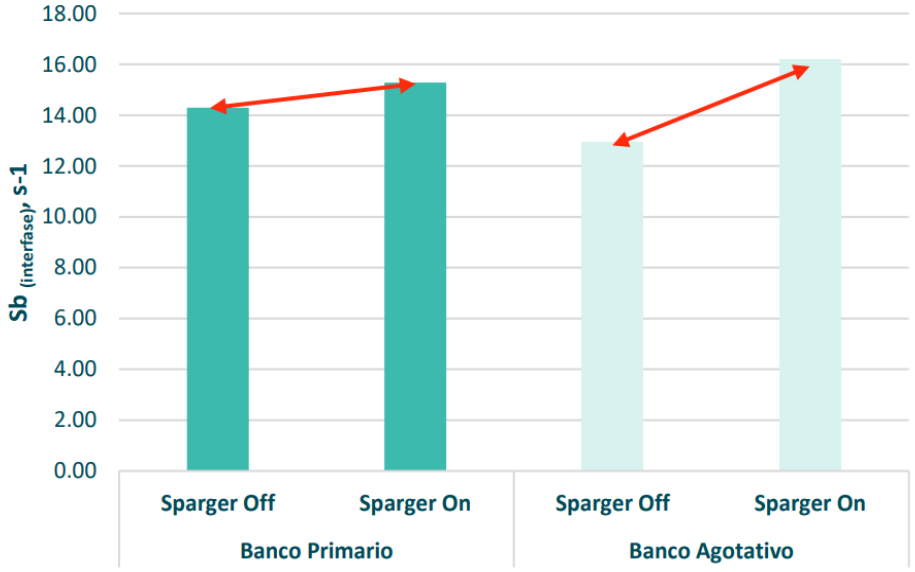


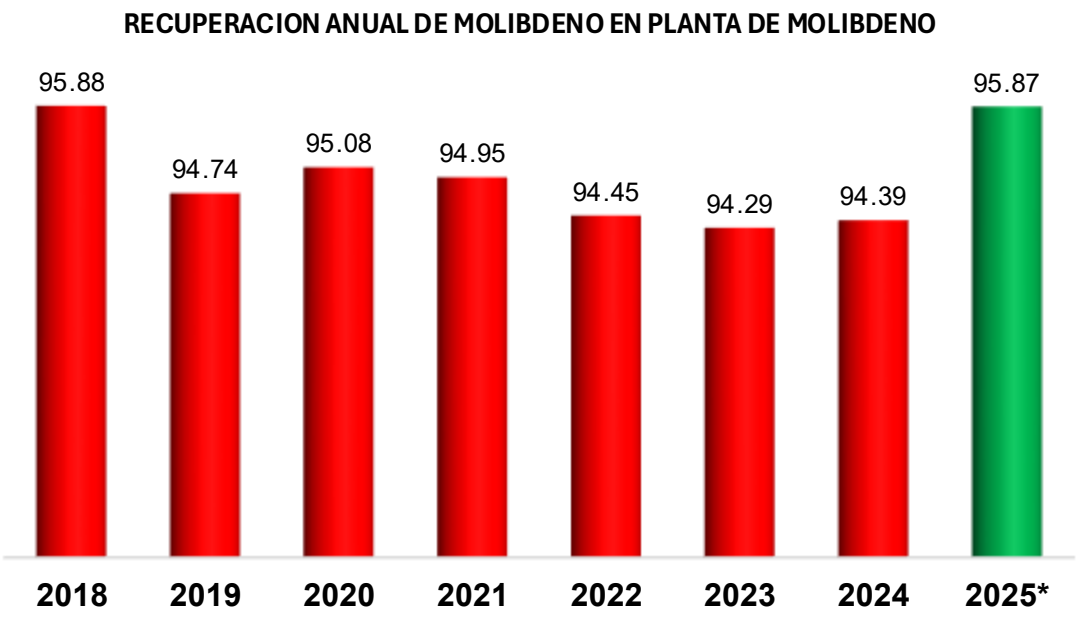
Figura 5: Comparación del Sb en el muestreo on/off de los SlamJet Spargers.

Beneficio económico

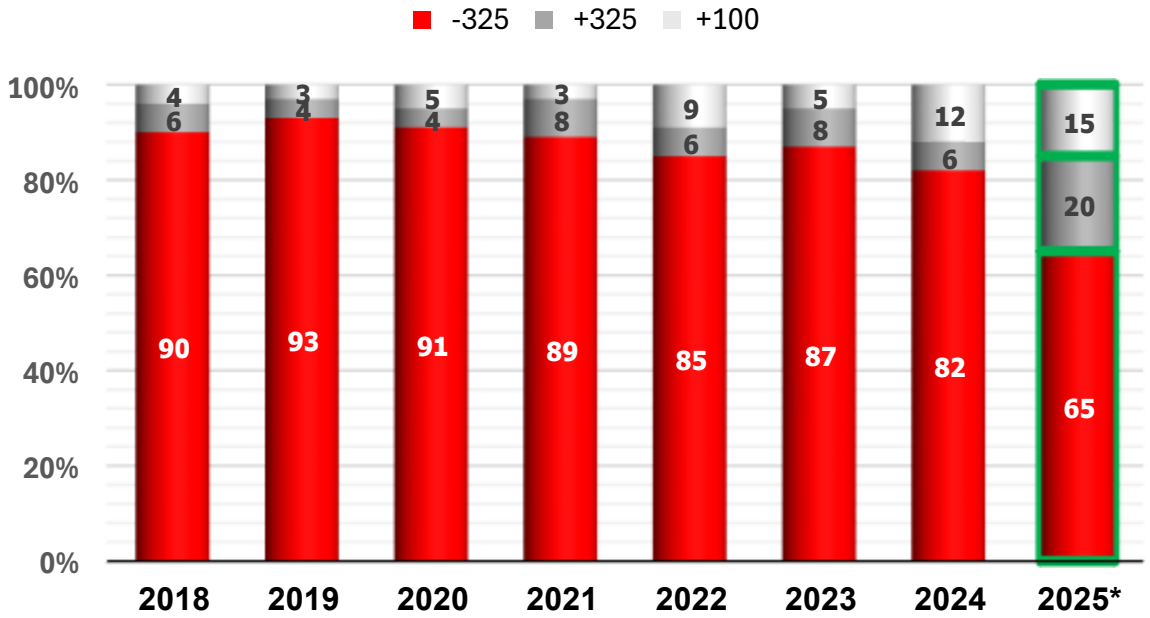
Rango de Alimentación de %Mo en Bco 300ft^3	TMS Concentrado Bulk	% Mo en Concentrado Bulk	Contenido Metálico Bulk (Ton)	% Rec Cu Con Inyector	% Rec Cu Sin Inyector	Contenido Metálico Con Inyector (Ton)	Contenido Metálico Sin Inyector (Ton)	Diferencia de Contenido (Ton)	Días Operados	Contenido Metálico Recuperado (Ton)	Beneficio por rango $USD
Rango[<=3]	1189	2.186	25.99	95.50	93.59	24.82	24.33	0.496	8	3.97	$ 175,064
Rango[3 - 3.81]	1217	2.435	29.63	95.37	92.60	28.26	27.44	0.821	16	13.13	$ 578,936
Rango[3.81 - 4.62]	1180	2.549	30.08	94.36	92.33	28.38	27.77	0.611	11	6.72	$ 296,062
Rango[4.62 - 5.43]	1233	2.611	32.19	95.17	94.12	30.64	30.30	0.338	10	3.38	$ 149,005
Rango[5.43 - 6.24]	1207	2.578	31.12	92.72	91.09	28.85	28.34	0.507	12	6.09	$ 268,288
Rango[6.24 - 7.05]	1198	2.808	33.64	93.34	92.58	31.40	31.14	0.256	17	4.35	$ 191,583
Rango[7.05 - 7.70]	1254	2.716	34.06	93.29	90.60	31.77	30.86	0.916	11	10.08	$ 444,236
Rango[> 7.70]	1181	2.871	33.91	92.39	91.26	31.33	30.94	0.383	21	8.05	$ 354,668
								TOTAL	106	55.76	$ 2,457,843

Durante el período de 106 días de prueba el análisis indica que el uso de inyectores de microburbujas mejora consistentemente la recuperación de molibdeno en todos los rangos de ley alimentados a banco primario de 300 ft^3. Esto representa una ventaja significativa en términos de control operativo y desempeño metalúrgico, obteniendo una ganancia de **$2,457,843 USD**.

Como vamos en el 2025



Recuperación anual de molibdeno en planta de molibdeno.
2025* Resultados obtenidos con inyectores de microburbujas.



Distribución granulométrica en cola primaria de planta de molibdeno.
Fracciones -325 (<37 micras), +325 (de 37 a 105 micras), +100 (>105 micras).

Conclusiones

- Fácil integración operativa, ya que su implementación no requiere modificaciones estructurales significativas en las celdas existentes.

- Mejora la cinética de flotación al optimizar el diámetro medio de burbuja (D32) en el banco agotativo de 0.6541 mm a 0.5225 mm, aumentando el flujo de área superficial de burbujas (Sb) de 13.74 s^{-1} a 17.14 s^{-1}.

- Incremento en la recuperación de molibdeno en todos los rangos de ley de alimentación, con una mejora promedio de 1.75% respecto a la operación estándar.

- Se observó una disminución sistemática en el contenido de molibdeno en colas, con una reducción promedio de 0.028%, por una mayor eficiencia en la captura de partículas finas.

- Mejora la estabilidad operativa al mostrar menor dispersión en los datos de recuperación aún en escenarios con alta recirculación de molibdeno, lo que sugiere un proceso más estable y controlado.

- Impacto económico positivo, durante 106 días de prueba, se logró una ganancia neta de $2,457,843 USD, evidenciando el beneficio económico de la tecnología aplicada.

Gracias por su atención.