

***Informe sobre la
Lixiviación de oro de residuos que
contienen pirita***

G.E.O.S.
Empresa de ingeniería Ltd.

09633 Halsbrücke
Pinos negros 2

09581 Freiberg, Apartado de
correos 1162

Teléfono: +49(0)3731 369-0

Fax: +49(0)3731 369-200

Correo electrónico:

info@geosfreiberg.de

www.geosfreiberg.de

Número de proyecto: 30220068

Cliente: Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR)

Stilleweg 2
30655 Hannover

Director General:
Jan Richter

HRB 1035 Juzgado de Primera
Instancia de Chemnitz

Sparkasse Mittelsachsen
IBAN:
DE30 8705 2000 3115 0191 48
SWIFT (BIC): WELADED1FGX

Deutsche Bank AG
IBAN:
DE59 8707 0000 0220 1069 00
SWIFT (BIC): DEUTDE8CXXX

CIF DE811132746

Halsbrücke, 27.06.2022

BERGBAU | ENERGIE | UMWELT | INFRASTRUKTUR



Cliente:	Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) Dr. M. Drobe Stilleweg 2 30655 Hannover
Proyecto nº G.E.O.S.:	30220068
Periodo de tramitación:	Marzo 2022 - Junio 2022
Procesador:	Dr rer. nat. Frank Haubrich Mirko Martin, Anke Patzig
País/distrito/municipio:	
Mapa topográfico:	
Número de páginas Texto:	15
Número de instalaciones:	3

Halsbrücke, 27.06.2022

i.A.

Roland Mayer Jefe de
Departamento
Desarrollo de procesos/biotecnología

i. A.

Frank Haubrich
Jefe de
proyecto

ÍNDICE

	Página
1 Inicio y tarea	5
2 Descripción del servicio.....	5
3 Resultados.....	6
3.1 Cantidades de muestra y parámetros de lixiviación que deben fijarse.....	6
3.2 Preparación de la muestra MLR_M3 (recocido).....	7
3.3 Lixiviación y muestreo.....	8
3.4 Análisis químicos de sólidos (Actlabs).....	9
3.5 Análisis químicos de sustancias disueltas - Contenido en Au-CN (EUROFINS)	10
4 Evaluación y debate	11
4.1 Evolución temporal de la concentración y la producción de Au	11
4.2 Evolución de las concentraciones de ^{CN} a lo largo del tiempo	12
4.3 Comparación de las concentraciones de Au y ^{CN}.....	12
4.4 Comparación de la recuperación de Au (saldos).....	13
5 Resumen y recomendaciones.....	14
6 Referencias	15

LISTA DE ILUSTRACIONES

Página

Figura 1: Recocido de la muestra MLR_M3; a) antes del recocido en el horno de mufla; b) después del recocido en el horno de mufla a 800°C, c/d) comparación de colores de la muestra inicial M3_L (c) y de la muestra recocida M3_R (d) antes de la lixiviación (denominada M3_RL después de la lixiviación).....	7
Figura 2: Lixiviación a rodillo abierto de los residuos en bidones de cuello ancho de 10 litros cada uno sobre dos bastidores de molino de bolas a 40 revoluciones/minuto.....	8
Figura 3: Concentraciones de Au en función del tiempo y lixiviación del Au en la solución de lixiviación (en relación con las concentraciones inicial y final de Au en los sólidos) 11	
Figura 4: Evolución en función del tiempo de las concentraciones de CN en la solución de lixiviación	12
Figura 5: Comparación del consumo de CN ⁻ y la concentración de Au en la solución de lixiviación	13
Figura 6: Comparación de los balances en la recuperación de Au con respecto a los resultados de análisis en Actlabs (sólidos) y los balances de solución por EUROFINS).....	14

LISTA DE CUADROS

Página

Tabla 1: Composición total de los parámetros masa, densidad, volumen y adición de NaCN ...	6
Tabla 2: Masas y contenidos de azufre tras recocido y lixiviación de la muestra MLR_M3	7
3: Cantidades de muestras disponibles, análisis y cantidades residuales de la lixiviación	8
Tabla 4: Contenido en Au de las muestras iniciales, contenido en Au residual de las muestras lixiviadas y Éxitos de la lixiviación	9
Cuadro 5: Concentraciones de Au obtenidas en la solución en función del tiempo (en mg/l)	10
Cuadro 6: Evolución del contenido de CN en la solucióna lo largo del tiempo (en mg/l)	10
Cuadro 7: Evolución del consumo de CN en la solucióna lo largo del tiempo (en %)	10

LISTA DE ANEXOS

Apéndice 1	Protocolo de análisis_EUROFINS_Au-CN-Consumo
Apéndice 2	Protocolo de análisis_EUROFINS_contenidoazufre
Apéndice 3	Protocolo de análisis_Actlabs_Au contents_solids

1 Iniciación y Tarea

El Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) de Hannover está llevando a cabo investigaciones sobre la lixiviación de oro a partir de relaves que contienen pirita en el marco del proyecto MinSus TC. Para ello, 7 muestras de estériles con diferentes grados de molienda de aproximadamente 500 g de masa debían lixivarse mediante lixiviación con cianuro con los parámetros especificados por el cliente. Una muestra debía tostarse previamente para descomponer la pirita presente y optimizar así el proceso de lixiviación.

Las investigaciones sobre la lixiviación con cianuro de los estériles sobre Au se realizan sobre el material preparado del AG.

Los trabajos se realizaron de acuerdo con la oferta nº 3006422 de fecha 28/02/2022 y el pedido nº: 205-4500133420 de fecha 08/03/2022.

Los residuos de lixiviación se lavaron después de la lixiviación y se pueden devolver al cliente o están disponibles para realizar más pruebas si es necesario.

2 Descripción del servicio

Se ofrecieron los siguientes servicios:

Primera parte:

- 2.1 Toma de submuestras representativas de los materiales de partida para el análisis de Au
- 2.2 Determinación del contenido de oro antes y después de la lixiviación (Actlabs) según el método 1A2- ICP Au Fire Assay - ICP-OES 30 en el rango 2 - 30.000 ppb.
- 2.3 Lixiviación a rodillo abierto de las muestras según los parámetros especificados por el cliente hasta 42 horas y muestreo en los intervalos de tiempo correspondientes.
- 2.4 Análisis del contenido de cianuro y Au en la solución de lixiviación - El cianuro se analiza a partir de la solución según el método de referencia: DIN EN ISO 14403-2: 2012-10 (EUROFINS)

Análisis de Au según el método de referencia DIN EN ISO 17294-2: 2005-02 (EUROFINS)

Segunda parte:

- 2.5 Homogeneización/eliminación de una submuestra representativa y determinación del contenido de S antes y después del tostado (método de referencia: DIN 51085: 2015-01).

Naturales - BGR

- 2.7 Lixiviación a rodillo abierto de la muestra según los parámetros especificados por el cliente hasta 42 horas y muestreo en los intervalos de tiempo correspondientes de conformidad con la Parte 1.
- 2.8 Análisis del contenido de cianuro y Au en la solución de lixiviación - el cianuro se analiza a partir de la solución según el método de referencia: DIN EN ISO 14403-2: 2012-10 (EUROFINS)
- Análisis de Au según el método de referencia DIN EN ISO 17294-2: 2005-02 (EUROFINS)
- 2.9 Lavado de sólidos tras la lixiviación, secado y homogeneización para su posterior análisis (Actlabs)
- 2.10 Evaluación e informes

3 Resultados

3.1 Cantidades de muestra y parámetros de lixiviación que deben fijarse

El cliente exigió la adición de 2,2 g de CN⁻ por 500 g de material de muestra (corresponde a 4,15 g de NaCN/ 500 g de sólido). La cantidad de CN se ajustó en función de la masa de muestra disponible para la lixiviación. La densidad total del material de relaves se determinó en 3,15 g/cm³. Tras el recocido de la muestra MLR M3 (RL), la densidad descendió a 2,67 g/cm³. La densidad de la suspensión se especificó en 1,20 g/cm³. Con respecto a la densidad de la suspensión, se añadió la cantidad correspondiente de agua. De acuerdo con la cantidad especificada de CN, se obtuvo una concentración de CN de 1,42 g/l o 1,6 g/l (muestra tostada), que es el valor inicial para el consumo de CN (Tabla 1).

Tabla 1: Composición total de los parámetros masa, densidad, volumen y adición de NaCN

Muestra		Cola			Encore		Conc.	Suspensión			Agua
		Masa	Densidad	Vol.	CN	NaCN	CN	Densidad	Masa	Vol.	Masa
No.	Designación	[g]	[g/cm ³]	[cm ³]	[g]	[g]	[g/l]	[g/cm ³]	[g]	[cm ³]	[g]
1.1	M3_KM5_500	404,3	3,15	128,3	1,78	3,35	1,42	1,20	1655,7	1379,8	1251,4
2.1	M3_KM10_500	307,7	3,15	97,7	1,35	2,55	1,42	1,20	1260,1	1050,1	952,4
3.1	M3_KM20_500	334,1	3,15	106,1	1,47	2,77	1,42	1,20	1368,2	1140,2	1034,1
4.1	MLR_M3 SSM 10s	442,9	3,15	140,6	1,95	3,67	1,42	1,20	1813,8	1511,5	1370,9
5.1	MLR_M3 SSM 20s	473,1	3,15	150,2	2,08	3,92	1,42	1,20	1937,5	1614,5	1464,4
6.1	MLR M3_L	470,4	3,15	149,3	2,07	3,90	1,42	1,20	1926,4	1605,3	1456,0
7.1	MLR M3_RL (800°C)	355,4	2,67	133,1	1,56	2,95	1,60	1,20	1333,7	1111,5	978,3

3.2 Preparación de la muestra MLR_M3 (recocido)

La muestra MLR_M3 estaba disponible por duplicado. Una muestra se recoció a 800°C (MLR M3_R). La temperatura de 520 a 580°C descrita en la oferta no pudo llevarse a cabo, ya que tendría que realizarse en un horno especial de lecho fluidizado con un suministro adicional de oxígeno. En su lugar, se utilizó el método clásico de tostación de minerales sulfurosos (TUBAF 2022).



Figura 1: Recocido de la muestra MLR_M3; a) antes del recocido en el horno de mufla; b) después del recocido en el horno de mufla a 800°C, c/d) comparación de colores de la muestra inicial M3_L (c) y de la muestra recocida M3_R (d) antes de la lixiviación (denominada M3_RL después de la lixiviación).

El recocido hizo que la muestra perdiera un 16,5 % de su masa (Tabla 2). A 2,67 g/cm³, la densidad determinada fue inferior a la de la muestra inicial a 3,15 g/cm³ (densidad determinada determinando el aumento de masa y volumen mediante una probeta (80 ml de agua) + 20 g de muestra). Se supone que la hematites (Fe₂O₃) resultante no es compacta, sino que tiene una densidad menor debido a los microporos, que son perceptibles en los ensayos. Al mismo tiempo Sin embargo, la lixiviación "parecía" más rápida.

Tabla 2: Masas y contenidos de azufre tras recocido y lixiviación de la muestra MLR_M3

Ejemplo de designación	No. No.	Masa [g]	Masa [%]	Contenido de S [%]	Cuota S [%]
MLR_M3_L (EUROFINS)	6.1	491,9	100	20,2	100
MLR_M3_R recocido (HRFA)	7.1	410,6	83,5	3,3	16,3
MLR_M3_RL lixiviado (EUROFINS)	7.1			0,96	4,8

También se analizó el contenido de azufre de los productos iniciales y posteriores mediante XRF portátil, que arrojó resultados casi idénticos a los análisis EUROFINS. Según estos análisis, el 83,7% del azufre se elimina en forma de dióxido de azufre (reducción del 100% de S al 16,3 % S). Parte de este azufre permanece como sulfato fácilmente soluble en la muestra recocida (11,6 % S).

Naturales - BGR

sulfato de azufre y reducción de 16,3 % S a 4,8 % S), que también entra en la solución de lixiviación con cianuro durante la posterior lixiviación con CN. Queda un contenido residual de azufre del 4,8 % en el sólido, que posiblemente esté unido a pirita sin reaccionar (poco probable, véanse las fotos de la reacción térmica, Figura 1) o a fases de sulfato insolubles en agua, como barita, anglesita,

3.3 Procedimiento de lixiviación y Muestreo

El cliente facilitó las siguientes cantidades de muestra. De ellas, se tomaron aproximadamente 50 y 40 g respectivamente para su análisis en Actlabs antes y después de la lixiviación, de modo que se dispuso de las siguientes masas para la lixiviación (Tabla 3). Por razones técnicas, sólo se pudieron tomar submuestras en 5 pasos después de 2, 4, 16, 27 y 42 horas.

Cuadro 3: Cantidades de muestras disponibles, análisis y cantidades residuales de la lixiviación

Muestra		de AG Original	Actlabs Analytics	Lixiviación con NaCN	Lixiviación residuo 105°C	Pérdida por lixiviación	Actlabs Analytics	Muestra residual
No.	Designación	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	[g]	[g]
1.1	M3_KM5_500	454,3	50,0	404,3	399,9	1,1	41,2	358,7
2.1	M3_KM10_500	358,3	50,6	307,7	302,4	1,7	41,6	260,8
3.1	M3_KM20_500	382,8	48,7	334,1	328,2	1,8	40,2	288,0
4.1	MLR_M3 SSM 10s	493,0	50,1	442,9	435,5	1,7	41,3	394,2
5.1	MLR_M3 SSM 20s	523,2	50,1	473,1	465,3	1,6	41,0	424,3
6.1	MLR M3_L	532,3	61,9	470,4	463,7	1,4	40,8	422,9
7.1	MLR M3_RL (800°C)	557,3	Recocido	355,4	343,6	3,3	47,1	296,5



Figura 2: Lixiviación a rodillo abierto de los residuos en bidones de cuello ancho de 10 litros cada uno sobre dos soportes de molino de bolas a 40 revoluciones/minuto.

Los valores iniciales de pH de los residuos (lodo en agua desionizada) se situaban entre 8,2 y 8,5. Tras añadir el NaCN, el valor de pH de la solución subió hasta aproximadamente 10,4.

Se utilizó HCl diluido para ajustar el valor de pH a aproximadamente 9; durante el periodo de lixiviación, el valor de pH descendió continuamente de 9 a 8,4 y a 8,8. Después de cada muestreo, el valor de pH se reajustó a pH 9 con unas gotas de NaOH 1 M.

Tras el recocido, la muestra tostada tenía un valor inicial de pH de 4,6 (como lodo acuoso), lo que, en relación con la oxidación del sulfuro, indica la formación de ácido sulfúrico o sulfuroso. El valor de pH se elevó a 6 con NaOH y luego se ajustó a pH 9 tras la adición de NaCN.

Una vez finalizada la lixiviación, se llevó a cabo una separación sólido-líquido, se separó el sólido lo más cuantitativamente posible, se lavó y se secó a 105°C. Las pérdidas de lixiviación (muestra sólida inicial a muestra lixiviada) ascienden a 1,1 a 1,8 % para las lixivitaciones de pirita y a 3,3 % para la muestra tostada (Tabla 3). En esta última se aprecian los sulfatos solubles aún presentes, que no se eliminaron como dióxido de azufre durante la tostación.

3.4 Análisis químicos de sólidos (Actlabs)

Tanto las muestras iniciales como las muestras lixiviadas se enviaron al laboratorio de materias primas certificado Actlabs para obtener análisis fiables de Au en las muestras sólidas. Tras molerlas hasta alcanzar una finura analítica, las muestras se analizaron utilizando el Código 1A2-ICP Au Fire Assay - ICP-OES 30 en el rango 2 - 30.000 ppb. Se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 4).

Tabla 4: Contenido en Au de las muestras iniciales, contenido en Au residual de las muestras lixiviadas y resultados de la lixiviación

Muestra		Sólido Original - Salario inicial	Sólidos aspirados - Residuos caminando antiguo	Éxito de la lixiviación	Contenido residual de Au
No.	Designación	Au [ppb]		[%]	
1.1	M3_KM5_500	2360	844	64,2	35,8
2.1	M3_KM10_500	2480	672	72,9	27,1
3.1	M3_KM20_500	2250	728	67,6	32,4
4.1	MLR_M3 SSM 10s	3200	791	75,3	24,7
5.1	MLR_M3 SSM 20s	2650	824	68,9	31,1
6.1	MLR M3_L	2980	824	72,3	27,7
7.1	MLR M3_RL (800°C)	2910	788	72,9	27,1

La tabla 4 muestra que las concentraciones iniciales de Au de los estériles estaban todas entre 2,25 y 3,20 ppm Au. Sin embargo, tras el periodo de lixiviación de 42 h, todavía hay presentes en los sólidos entre 0,67 y 0,85 ppm de Au. Esto corresponde a una recuperación del 64 al 75 % o a un contenido residual de Au del 25 al 36 %.

3.5 Análisis químicos de sustancias disueltas - Contenidos de Au-CN (EUROFINS)

Se tomaron muestras después de 2, 4, 16, 27 y 42 h de lixiviación. En cada caso, se extrajeron unos 30 ml de solución tras una breve sedimentación, se filtraron por membrana de 0,45 µm y se enviaron a Eurofins para su análisis en busca de Au y CN⁻. Se obtuvieron los siguientes resultados de lixiviación del oro:

Tabla 5: Concentraciones de Au obtenidas en la solución en función del tiempo (en mg/l)

Tiempo	M3_KM5	M3_KM10	M3_KM20	M3_SSM10s	M3_SSM20s	MLR_M3_L	MLR_M3_RL
[h]	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1
2	0,34	0,49	0,46	0,50	0,45	0,48	0,55
4	0,40	0,51	0,50	0,55	0,53	0,55	0,72
16	0,41	0,54	0,53	0,58	0,58	0,60	0,83
27	0,44	0,56	0,55	0,59	0,58	0,61	0,84
42	0,45	0,57	0,56	0,61	0,60	0,63	0,85

Según la Tabla 5, el Au se lixivia sucesivamente con el aumento del tiempo de lixiviación, con un 48 - 62 % del Au lixiviable disuelto en las 2 primeras horas (basado en el sólido). Durante el periodo de lixiviación, los contenidos de CN⁻ disminuyen sucesivamente (Tabla 6).

Cuadro 6: Evolución del contenido de CN en la solución a lo largo del tiempo (en mg/l)

Tiempo	M3_KM5	M3_KM10	M3_KM20	M3_SSM10s	M3_SSM20s	MLR_M3_L	MLR_M3_RL
[h]	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1
0	1420	1420	1420	1420	1420	1420	1600
2	1170	1150	1110	1150	940	950	1180
4	820	840	750	810	760	960	1050
16	310	440	280	340	430	310	500
27	240	190	190	170	160	160	360
42	130	140	130	150	130	120	240

El mayor porcentaje de CN⁻ se consumió en las dos primeras horas (Tabla 7).

Cuadro 7: Evolución del consumo de CN en la solución a lo largo del tiempo (cifras en %)

Tiempo	M3_KM5	M3_KM10	M3_KM20	M3_SSM10s	M3_SSM20s	MLR_M3_L	MLR_M3_RL
[h]	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1
0	0	0	0	0	0	0	0
2	17,6	19,0	21,8	19,0	33,8	33,1	16,9
4	42,3	40,8	47,2	43,0	46,5	32,4	26,1
16	78,2	69,0	80,3	76,1	69,7	78,2	64,8
27	83,1	86,6	86,6	88,0	88,7	88,7	74,6
42	90,8	90,1	90,8	89,4	90,8	91,5	83,1

Al cabo de 42 horas, casi el 90 % del CN⁻ se ha consumido o descompuesto.

4 Evaluación y debate

4.1 Evolución temporal de la concentración de Au y de la producción

El siguiente gráfico muestra la evolución del contenido de Au y la cantidad de Au liberado a lo largo del tiempo de lixiviación (Figura 3). Lo primero que hay que señalar aquí es que la principal cantidad de Au pasa a la solución en las primeras 2 h del tiempo de lixiviación para todas las muestras.

En cuanto a los éxitos de lixiviación entre KM5, -10, -20, hay que señalar que, aunque se observa una mejora en la lixiviación entre el molino de bolas de 5 minutos y las variantes de 10 y 20 minutos, esto puede no ser representativo, ya que se analizó un mayor rendimiento de Au tras 10 minutos de molienda de bolas en comparación con 20 minutos. La misma tendencia puede observarse con las muestras del molino de discos SSM10s y SSM20s. No es posible afirmar si aquí intervienen procesos físicos secundarios en función del tiempo de molienda.

Se determinaron las siguientes concentraciones y aplicaciones de Au en función del tiempo.

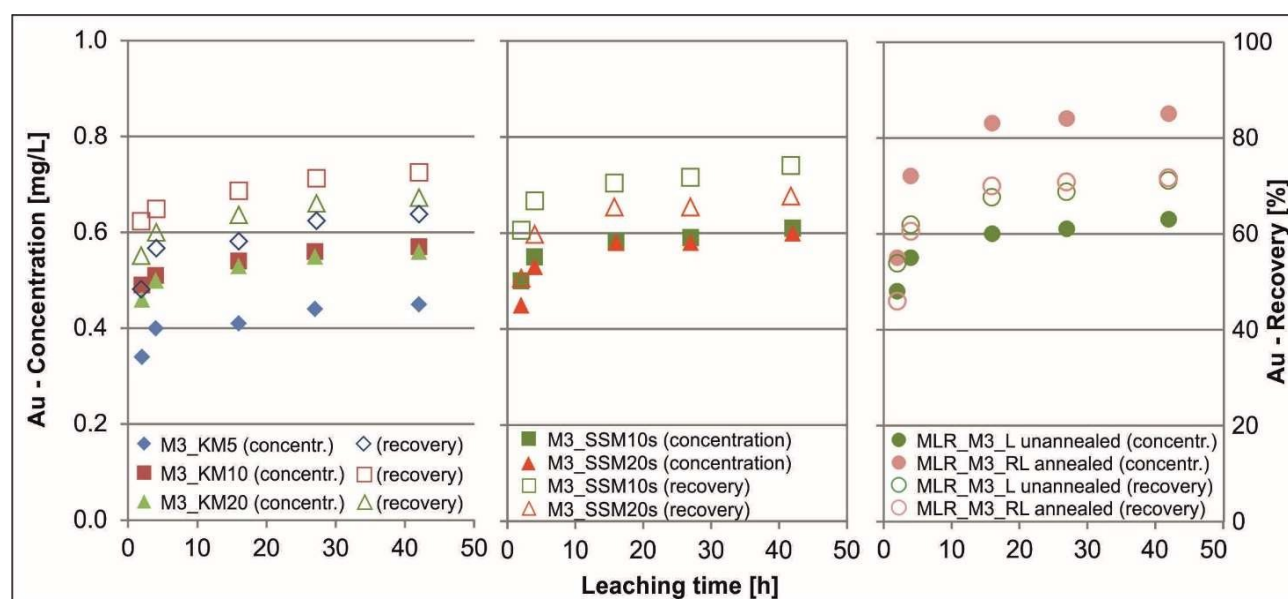


Figura 3: Concentraciones de Au en función del tiempo y lixiviación del Au en la solución de lixiviación (en relación con las concentraciones inicial y final de Au en los sólidos)

Una mayor concentración de Au disuelto de la muestra recocida MLR_M3_RL en comparación con la muestra no recocida M3_L da la impresión de que la transformación de la pirita en hematites provocó la exposición de los granos de Au y una lixiviación más completa. Sin embargo, una comparación de los resultados de la lixiviación muestra que se extrajo casi exactamente el mismo Au de ambas muestras. Esta diferencia se debió a la menor densidad de la muestra recocida y a una menor masa de agua añadida en porcentaje para alcanzar la tasa de lixiviación requerida.

Debe observarse una densidad de suspensión de $1,20 \text{ g/cm}^3$. Por tanto, cabe suponer que el comportamiento de lixiviación de ambas muestras es el mismo.

4.2 Evolución de las concentraciones de CN^- - a lo largo del tiempo

En cuanto a la evolución temporal de las concentraciones de CN^- , se observa el mismo curso en todas las muestras. La cantidad principal de CN^- se consume en las primeras 4 h en relación con el tiempo total. Durante las 42 horas de lixiviación, se consume el 90% del CN^- .

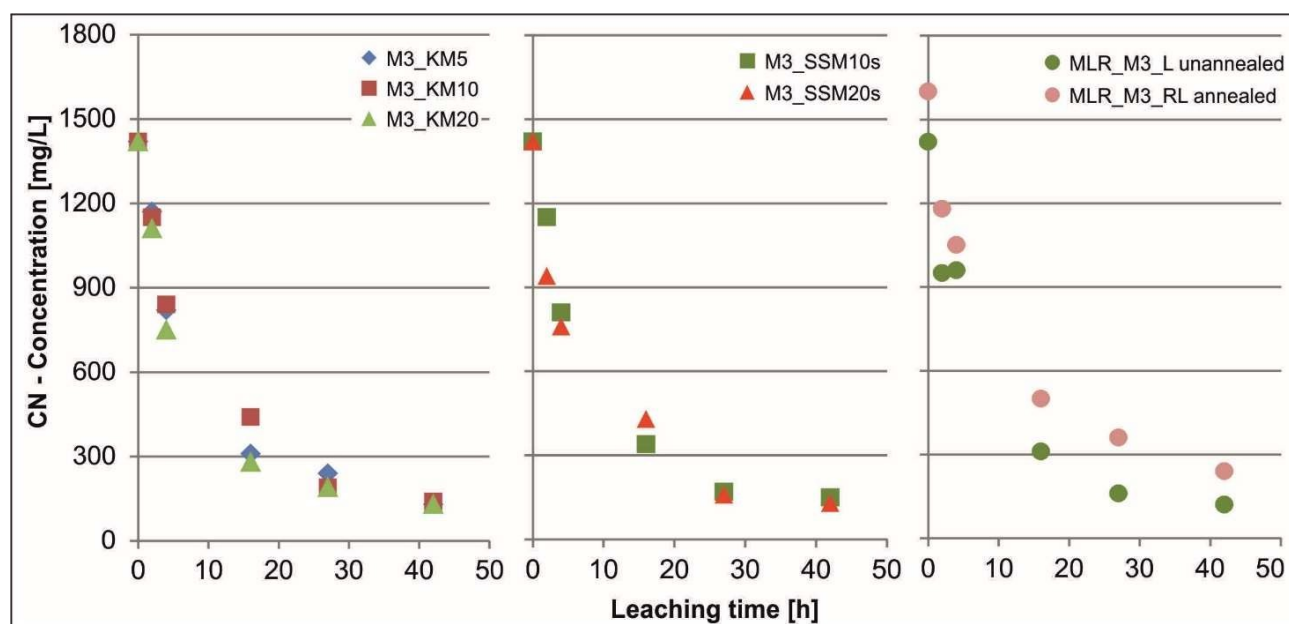


Figura 4: Evolución en función del tiempo de las concentraciones de CN en la solución de lixiviación

4.3 Comparación de las concentraciones de Au y CN^-

La comparación del consumo de CN^- y la concentración de Au en la Figura 5 muestra muy claramente que la mayor parte del Au soluble en las condiciones establecidas CN^- se eliminó al cabo de sólo 2 horas. Esto puede observarse en la misma progresión de consumo de CN y aumento de la concentración de Au para todas las muestras.

Un pequeño aumento del Au después de las 2 horas se asocia a un consumo desproporcionadamente alto de CN^- . Es posible que otros elementos/compuestos reaccionen con el CN^- o que éste sea oxidado por la lixiviación a rodillo abierto. Esto último tiene la ventaja de que el potencial tóxico del cianuro se reduce con un mayor tiempo de lixiviación y se simplifican los pasos posteriores para extraer o concentrar el Au.

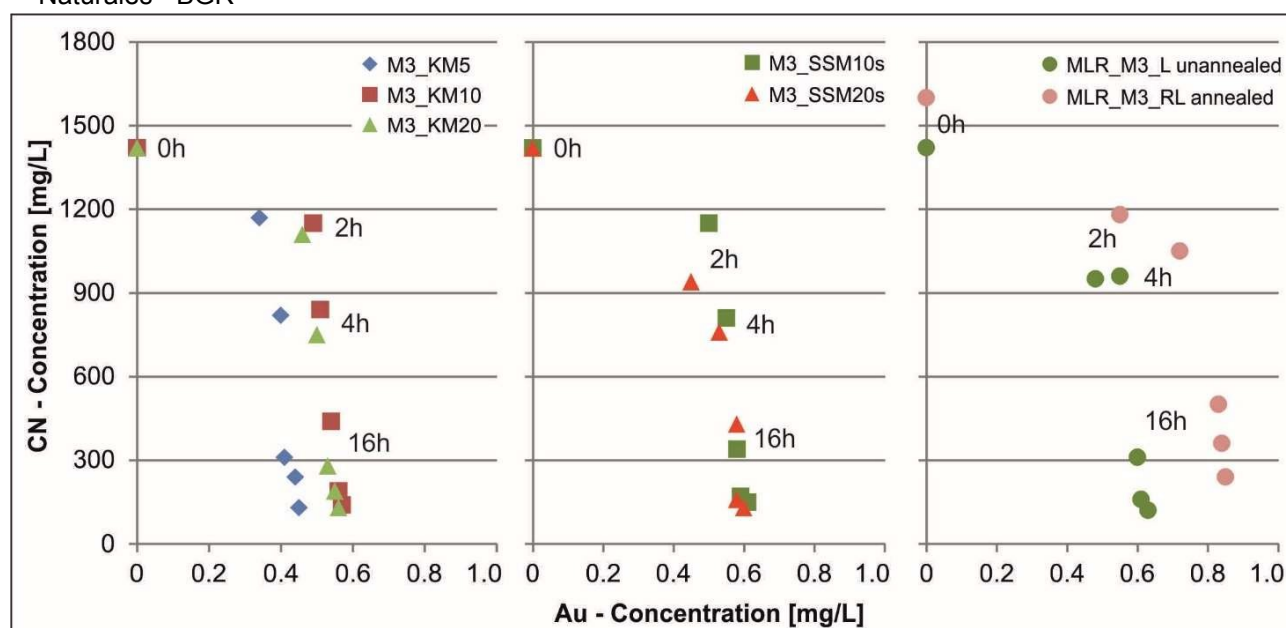


Figura 5: Comparación del consumo de CN⁻ y la concentración de Au en la solución de lixiviación

Todas las muestras muestran la misma progresión de consumo de CN⁻ a lo largo del tiempo, con sólo un 10 % del CN⁻ utilizado todavía presente tras 42 h de lixiviación.

4.4 Comparación de la recuperación de Au (balances)

Para comprobar el éxito de la lixiviación, se compararon los contenidos de Au de las muestras iniciales y los contenidos de Au de la muestra lixiviada (sólidos, ensayo al fuego, Actlabs). Se puede determinar que entre el 64,2 % y el 72,9 % del Au debe haber pasado a solución en el periodo de lixiviación de 42 h (calculado a partir de los análisis de sólidos).

La recuperación de Au en la solución de lixiviación se analizó mediante ICP-MS por EUROFINs y las cantidades de solución correspondientes. Sin embargo, sólo se recuperó entre el 53 y el 68 % del Au (figura 6).

Esta evaluación se llevó a cabo con respecto a la autocomprobación de los resultados de dos métodos de análisis diferentes. Debido al muestreo múltiple de la solución de muestra, las pérdidas por evaporación, los errores analíticos y las correcciones múltiples del valor de pH, no pueden descartarse las fuentes de error correspondientes, que provocan las diferencias correspondientes entre los métodos. Dado que los análisis de sólidos Actlabs con entrada-salida contienen menos fuentes de error cuando las muestras se preparan cuantitativamente (verificación de balances de masa), debe darse preferencia a estos datos en términos de precisión.

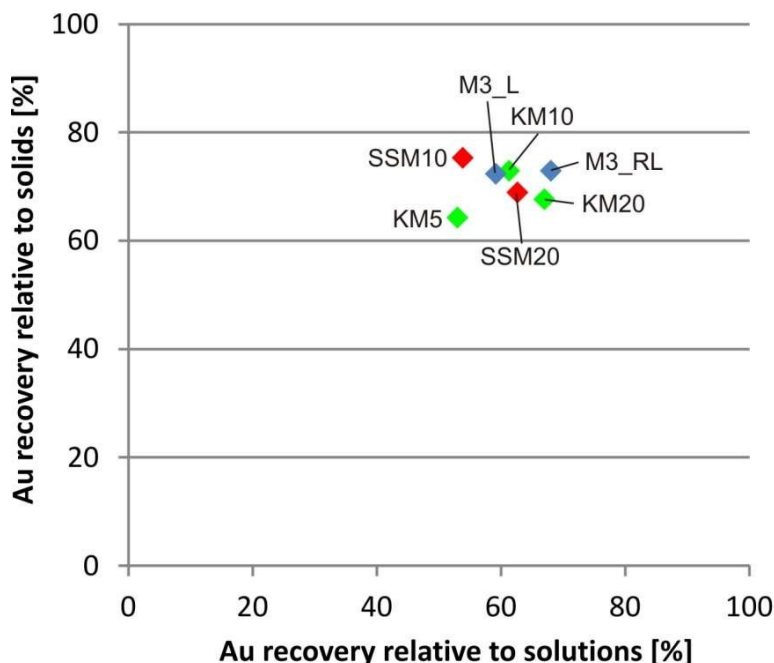


Figura 6: Comparación de los balances en la recuperación de Au con respecto a los resultados de análisis en Actlabs (sólidos) y los balances de solución por EUROFINS)

Con respecto a la molienda con molino de bolas o molino de discos vibratorios, se reconocen tendencias en las solubilidades, pero éstas no son coherentes entre los dos métodos de análisis (EUROFINS frente a Actlabs). Los diferentes tiempos de molienda del molino de bolas con KM5, -10, -20 minutos muestran la tendencia de una mayor solubilidad del Au con el aumento del tiempo de molienda. Esta tendencia también se observa con los SSM10s y SSM20s. Estas tendencias no son evidentes cuando se comparan los análisis de sólidos.

5 Resumen y recomendaciones

En el estado actual de los residuos, aproximadamente el 50 % del oro estaría disuelto o recuperable tras un máximo de 4 h con los parámetros establecidos. El tiempo de lixiviación adicional sólo aumenta marginalmente el rendimiento de Au y también provoca un mayor consumo de CN^- .

Los resultados de la lixiviación de Au permiten extraer las siguientes conclusiones:

En muy poco tiempo (2-4 h) y con el correspondiente consumo de CN^- , se detectan fases de Au lixiviables expuestas. Si se trata de granos individuales en el material de relave o de granos de Au expuestos en la superficie de fractura fresca de la pirita a escala de μm sólo puede considerarse especulativamente aquí.

El Au que no puede ser lixiviado después de 42 h puede estar todavía cubierto o atrapado en los granos de pirita como fases que contienen Au o anclado en el entramado de la pirita. Si este último fuera el caso, habría que disolver toda la pirita para conseguir una lixiviación completa. Una molienda más fina y la posterior lixiviación podrían tener éxito.

La prueba de tostación dio lugar a una transformación de fase de pirita a hematites. Este proceso está generalmente establecido en la industria para hacer lixiviable el Au refractario de la pirita. En nuestro caso, esto no parece haber tenido lugar.

Para determinar si el Au no lixiviable anteriormente aún podría recuperarse, se podrían ofrecer las siguientes pruebas:

1. Molienda de los residuos a $< 10 \mu\text{m}$ (molino micrométrico de la TU Bergakademie Freiberg, Inst. f. Mineralogie) con posterior lixiviación con cianuro (lixiviación agitada a pequeña escala).
2. Tratamiento de estériles residuales con agua regia para movilizar el Au refractario (lixiviación agitada a pequeña escala).
3. Preparación de granos individuales de pirita de la MLR_M3 sin tratar, la MLR_M3_L tratada y la MLR_M3_RL tratada en portamuestras SEM para el examen de las superficies con el microscopio electrónico de barrido (envío a BGR-Hannover).

Las pruebas deben realizarse en la muestra MLR_M3, ya que es en la que se han obtenido la mayoría de los resultados hasta la fecha.

El trabajo se llevaría a cabo a pequeña escala en el material de estéril disponible del contratista. Para la preparación de granos individuales de pirita en comparación en el SEM, el contratista aún necesitaría una pequeña cantidad del material de partida MLR_M3 en la cantidad de aprox. 5 g.

6 Referencias

TUBAF (2022): Comunicaciones orales, Prof. Dr.-Ing. Alexandros Charitos, Cátedra de Procesos de Alta Temperatura en Metalurgia, TU Bergakademie Freiberg.