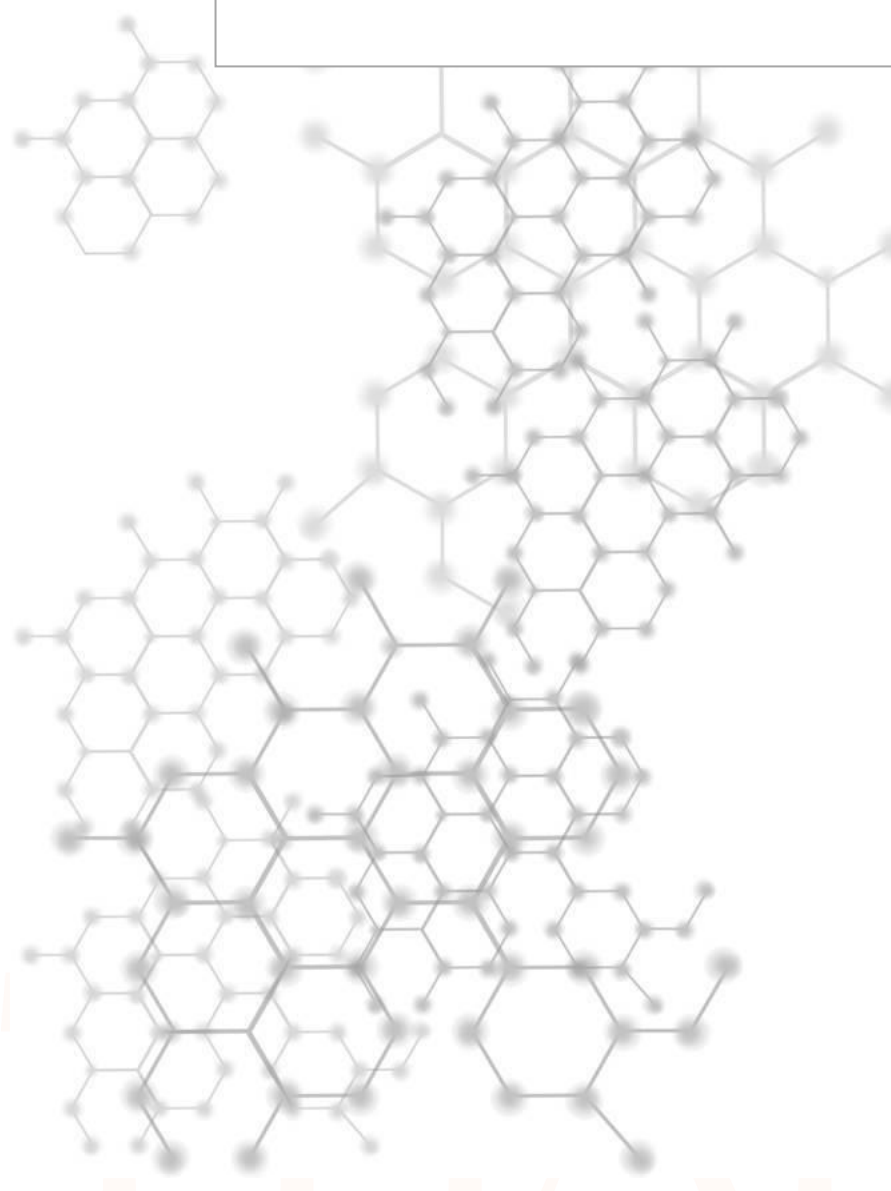


REFERENCIA: Informe QSP-MI240200001

CLIENTE: REDCORP, LDA.

Pruebas de detoxificación de residuo de Lagoa Salgada



Preparado por:
Alfonso Muñoz Vicente
Especialista Metalúrgico AGQ M&B

Fecha: 25-04-2024

For a
**better and
safer world**

agqmining.com



ÍNDICE

1. RECEPCION DE MUESTRA INICIAL Y TRABAJOS PREVIOS.	3
1.1)INTRODUCCIÓN	3
1.2)QUÍMICA DEL CIANURO	3
1.3)TRATAMIENTO DEL CIANURO.....	4
1.4)MATERIAL DE GOSSAN.....	5
2. ESTUDIO ANALÍTICO	6
2.1)ANÁLISIS DE METALES MEDIANTE DIGESTIÓN AGUA REGIA Y DETERMINACIÓN EN ICP-OES. 6	
2.2)DETERMINACIÓN DE ORO MEDIANTE ENSAYO AL FUEGO.....	7
2.3)CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA MUESTRA DE CABEZA.....	7
3. TRABAJOS METALURGICOS	8
3.1)CURVAS DE MOLIENDA.	8
3.2)ENSAYO DE CIANURACIÓN.....	10
3.3)PRUEBAS DE DETOXIFICACIÓN DE CIANUROS	11
3.3.1. MEDIDA Y SEGUIMIENTO DEL CN EN LAS MUESTRAS.....	11
3.3.2. TANDA DE ENSAYOS DE DETOXIFICACIÓN DE CIANUROS.	12
4. RECOMENDACIONES	12
5. CERTIFICACION.....	13

1. RECEPCION DE MUESTRA INICIAL Y TRABAJOS PREVIOS.

1.1) Introducción

El objetivo del informe es la realización de un estudio de detoxificación sobre residuo de proceso procedente del proyecto minero Lagoa Salgada.

En una primera parte del estudio, se realizará una simulación del proceso de cianuración, el cual incluye una etapa de lavado del residuo con agua. Una vez concluido el lavado, se medirá el cianuro residual en el sólido y con esta información se plantearán las pruebas de tratamiento del mineral.

En una segunda parte, se llevará a cabo una caracterización tanto de esa corriente (lodo) como del licor que va a la etapa de Merrill Crowe (overflow espesadores) para evaluación de sus potenciales características de Peligrosidad y asignación del correspondiente código LER.

1.2) Química del cianuro

javascript:parent.loadFigure('../figures/fg10204.xml'); La siguiente figura muestra una organización básica de la química del cianuro. En principio existen tres formas de cianuro. La primera es cianuro libre y se encuentra como HCN molecular libre o el anión CN^- . Esta forma de cianuro se muestra en azul.



Después está el cianuro disociable ácido débil (WAD, por su sigla en inglés Weak Acid Dissociable), que incluye el cianuro libre y el cianuro ligado a la mayoría de los metales

incluyendo cobre, níquel, zinc y mercurio; pero no el cianuro ligado al hierro, cobalto u oro. Cianuro WAD es un término utilizado universalmente y es el equivalente a los términos utilizados en otras partes del mundo como fácilmente destructible y cianuro dócil a la cloración. Estas formas del cianuro incluidas en análisis de cianuro WAD tienen la mayor importancia toxicológica o son ecológicamente destacadas.

La última forma es cianuro total, que incluye cianuro libre, WAD y ligado al hierro. En general, el cianuro de hierro no se considera tóxico. Aunque puede descomponerse fotolíticamente, ocurre mínimamente en la naturaleza

1.3) Tratamiento del cianuro

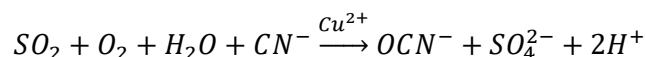
En la siguiente figura se muestran los procedimientos habitualmente empleados en el tratamiento de corrientes con cianuro. Esto incluye metales y otros compuestos también relacionados al cianuro, tales como tiocianato, amonio y nitrato.

PROCESOS DE TRATAMIENTO	Eliminación del cianuro	Eliminación del cianuro WAD	Aplicación de lodo	Aplicación de solución
Inco SO ₂ /Aire	✓	✓	✓	✓
Peróxido de hidrógeno	✓	✓		✓
Ácido de Caro		✓	✓	
Cloración alcalina		✓		✓
Precipitación de hierro	✓		✓	✓
Recuperación de cianuro		✓	✓	✓
Carbón activado	✓	✓		✓
Procesos biológicos	✓	✓		✓
Atenuación natural	✓	✓		✓

Las tecnologías marcadas en azul son procesos de tratamiento químico, incluyendo el proceso INCO SO₂/aire, peróxido de hidrógeno, ácido de Caro, cloración alcalina y

precipitación de sales de hierro. Todos ellos, excepto el proceso de precipitación de sales de hierro, incluyen oxidación química de cianuro en forma libre y WAD a cianato que, con el paso del tiempo, puede descomponerse en amonio y carbonato a través de atenuación natural. Todos estos procesos son capaces de alcanzar niveles ecológicamente bajos aceptables de cianuro WAD, adecuados para su descarga en el agua superficial y ambientes acuáticos.

Para este estudio se eligió el proceso INCO para el tratamiento del residuo de proceso de lixiviación anteriormente descrito. Este proceso emplea SO_2 y aire en medio ligeramente alcalino, con cobre disuelto como catalizador, para oxidar el cianuro a cianato (OCN^-):



La cantidad teórica de SO_2 a emplear es de 2,46 gramos de SO_2 por cada gramo de CN^- oxidado, aunque en la práctica se suelen emplear cantidades que van desde los 3,5 hasta los 5 g SO_2 /g CN^- . El SO_2 requerido en la reacción se puede administrar en forma de una sal de sulfuro, en este caso en forma de metabisulfito sódico. La adición de oxígeno se realiza insuflando aire atmosférico al sistema.

Este procedimiento es adecuado para el tratamiento de cianuros tanto en las corrientes de residuos como la eliminación de los cianuros libres y WAD de las aguas residuales.

1.4) Material de gossan.

Se recepcionó, en las instalaciones de AGQ, una muestra de mineral compuesta por tres bultos: BULK MASTER 7591 (5,4 kg), BULK MASTER 6762 (7,5 kg) y BULK MASTER 7332 (5,5 kg), los cuales se mezclaron por indicación del cliente dando lugar a la muestra con la que se realizó el estudio.

Tras el proceso de homogeneización y secado de la muestra, se procedió a su caracterización. Esta caracterización incluye el análisis de metales mediante ICP-OES tras digestión Agua regia, determinación del contenido de Au mediante ensayo al fuego, así como la granulometría original de la muestra.

2. ESTUDIO ANALÍTICO

2.1) Análisis de metales mediante digestión agua regia y determinación en ICP-OES.

De la muestra homogeneizada se realizaron análisis de cabeza para conocer la ley de plata y otros elementos presentes en ella. El método analítico escogido, se basó en la disgregación de la muestra mediante el empleo de ácidos concentrados y temperatura para posterior medición en la disolución resultante de los contenidos de metales mediante espectrometría ICP-OES. Los resultados de estos análisis son los siguientes:

Cod. Muestra	Cod. SIL	Aluminio (mg/kg)	Antimonio (mg/kg)	Arsénico (mg/kg)	Azufre (mg/kg)	Bario (mg/kg)	Berilio (mg/kg)
Material de Cabeza	MN-24/005034	4173	698	6407	1714	157	< 5
Muestra tras cianuración -	MN-24/005035	4149	707	6512	1643	157	< 5

Cod. Muestra	Cod. SIL	Bismuto (mg/kg)	Boro (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Calcio (mg/kg)	Cobalto (mg/kg)	Cobre (mg/kg)
Material de Cabeza	MN-24/005034	47,4	37,8	12,8	594	7,74	852
Muestra tras cianuración -	MN-24/005035	49,5	34,3	12,9	1170	7,1	839

Cod. Muestra	Cod. SIL	Cromo (mg/kg)	Escandio (mg/kg)	Estaño (mg/kg)	Estroncio (mg/kg)	Fósforo (mg/kg)	Galio (mg/kg)
Material de Cabeza	MN-24/005034	41	< 5	53,8	220	< 200	39,9
Muestra tras cianuración -	MN-24/005035	40,5	< 5	56,3	220	< 200	40,4

Cod. Muestra	Cod. SIL	Hierro (mg/kg)	Indio (mg/kg)	Litio (mg/kg)	Magnesio (mg/kg)	Manganeso (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)
Material de Cabeza	MN-24/005034	389690	156	< 5	< 500	173	177
Muestra tras cianuración -	MN-24/005035	380768	156	< 5	< 500	177	157

Cod. Muestra	Cod. SIL	Molibdeno (mg/kg)	Niquel (mg/kg)	Plata (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Potasio (mg/kg)	Selenio (mg/kg)
Material de Cabeza	MN-24/005034	53,6	17,6	85,7	10343	545	127
Muestra tras cianuración -	MN-24/005035	53,7	17,7	29,3	10370	560	128

Cod. Muestra	Cod. SIL	Sodio (mg/kg)	Talio (mg/kg)	Titanio (mg/kg)	Vanadio (mg/kg)	Wolframio (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
Material de Cabeza	MN-24/005034	757	< 5	< 100	1453	22,3	4451
Muestra tras cianuración -	MN-24/005035	991	< 5	< 100	1479	22,6	4382

Junto con los datos de cabeza, se añaden los datos obtenidos del material una vez tratado. Se puede observar cómo además de la plata, otros metales ven reducida su concentración tras dicho tratamiento como el cobre o el hierro.

2.2) Determinación de oro mediante ensayo al fuego.

Para el análisis de oro de la muestra se empleó el método de ensayo al fuego. Las muestras se mezclan con agentes fundentes que incluyen el óxido de plomo (litargirio) y se funden a alta temperatura. El óxido de plomo se reduce a plomo, el cual colecta el metal precioso. Los metales preciosos se separan del plomo mediante un procedimiento llamado copelación. El contenido de metal precioso colectado se digestionó sometiendo al regulo a un ataque ácido y se determina mediante espectrometría ICP-OES. Los resultados del ensayo se muestran a continuación:

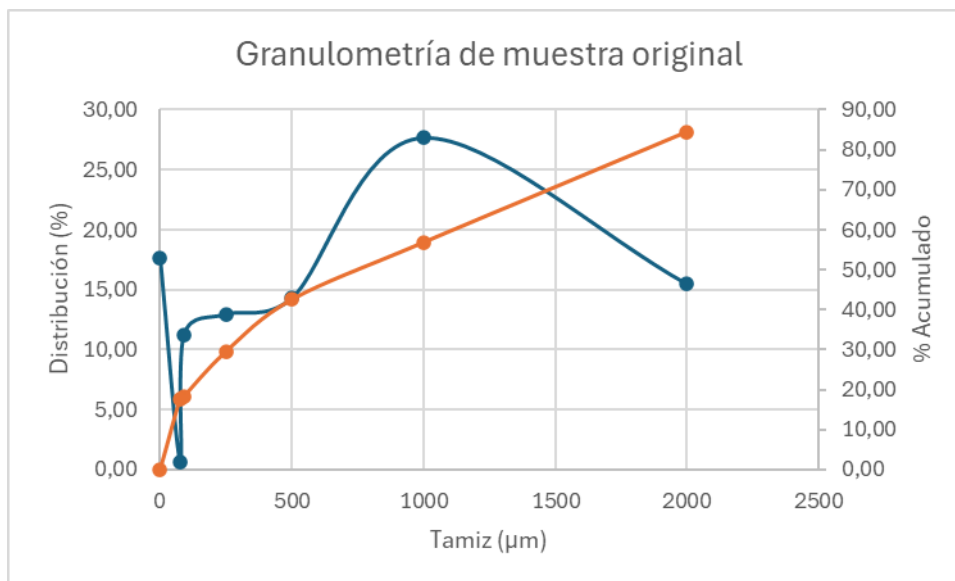
Cod. Muestra	Cod. SIL	Oro (g/T)
Material de Cabeza	MN-24/005034	2,04
Muestra tras cianuración	MN-24/005035	0,68

A la vista de los resultados se confirma que el proceso de recuperación de oro fue efectivo con las condiciones del ensayo.

2.3) Caracterización granulométrica de la muestra de cabeza.

La granulometría inicial se realizó mediante el tamizado en húmedo en torre de tamices de la muestra recibida y posterior pesado de las fracciones. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tamiz (µm)	masa (g)	Distribución (%)	Acumulado (%)
2000	46,15	15,48	84,52
1000	82,55	27,69	56,83
500	42,70	14,32	42,51
250	38,70	12,98	29,53
90	33,55	11,25	18,28
75	2,00	0,67	17,61
< 75	52,50	17,61	0,00



3. TRABAJOS METALURGICOS

3.1) Curvas de Molienda.

En la realización de los ensayos metalúrgicos y particularmente en los ensayos de cianuración el tamaño de partícula tiene una especial relevancia para poder garantizar la liberación parcial o total de las partículas portadoras de oro. Por dicho motivo, uno de los parámetros fijados durante la realización de los ensayos es el tamaño de partícula que viene definido por el p80. En los ensayos previstos se propone la realización de las cianuraciones en un p80 de 75 micras. Por tanto y dado la curva de distribución de tamaño de la muestra original, es necesario la molienda del material y para poder obtener los tiempos de molienda necesarios para la consecución de un p80 de 75 μm se realizaron una serie de moliendas a 15, 30 y 60 minutos. De esta forma, representando el p80 de cada una de las pruebas con respecto del tiempo podremos estimarlo, en las mismas condiciones de carga de bolas, tamaño de molino, carga de material y densidad de pulpa de trabajo de la molienda.

A continuación, se resumen dichas condiciones:

Molino empleado: Orto Alresa

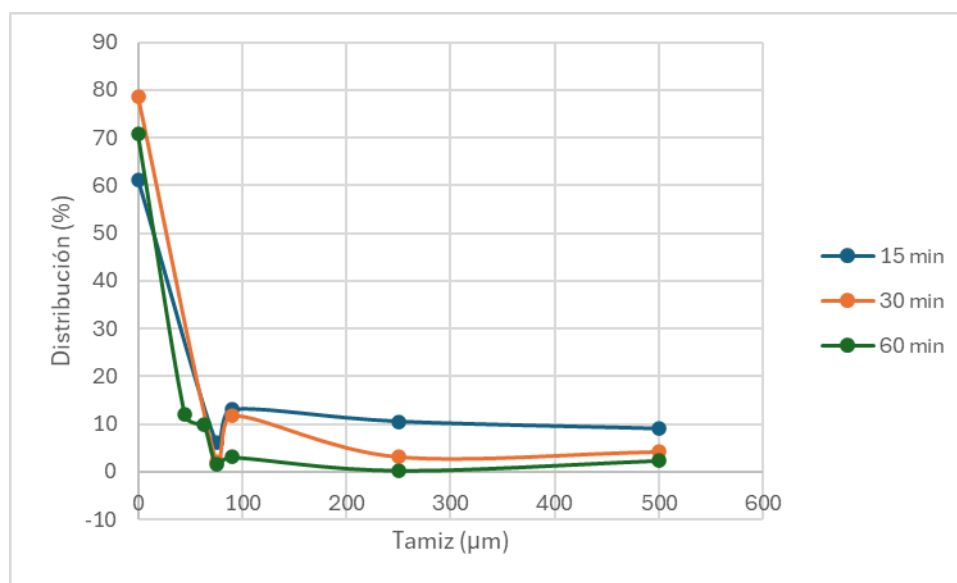
Tarro molienda: Acero inoxidable, 5L

Carga de bolas: 3200 g

Densidad de pulpa: 60%

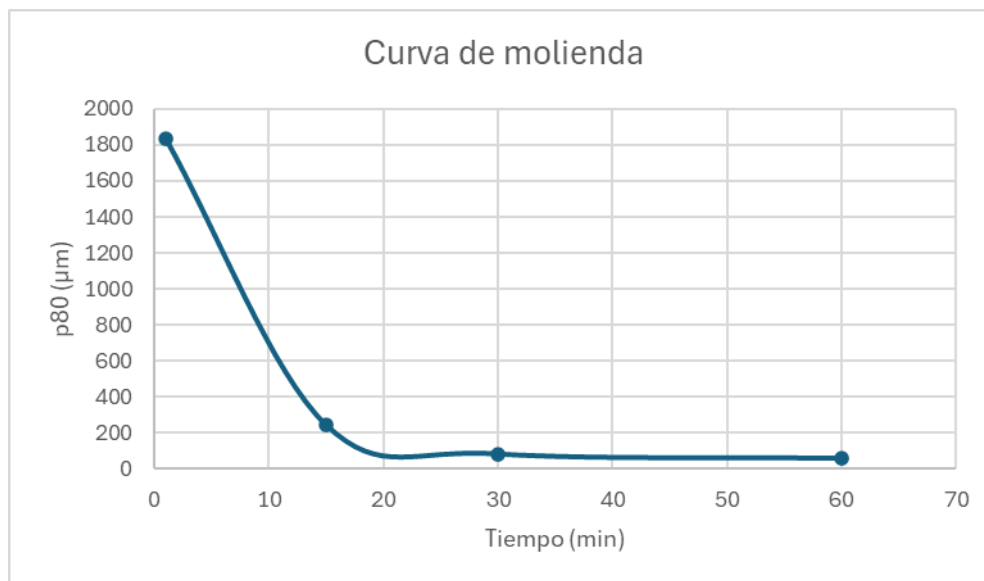
Cantidad de mineral: 1000 g

Para la medida de las granulometrías obtenidas en cada uno de los tiempos de molienda empleados, se utilizó nuevamente el tamizador empleado en el punto 2.4. Podemos observar los resultados obtenidos en la siguiente figura:



Se pueden emplear estos datos para construir una curva de molienda empleando el p80 de cada una de las curvas obtenidas:

tiempo (min)	p80 (μm)
Original	1836,71
15	244,34
30	83,67
60	58,83

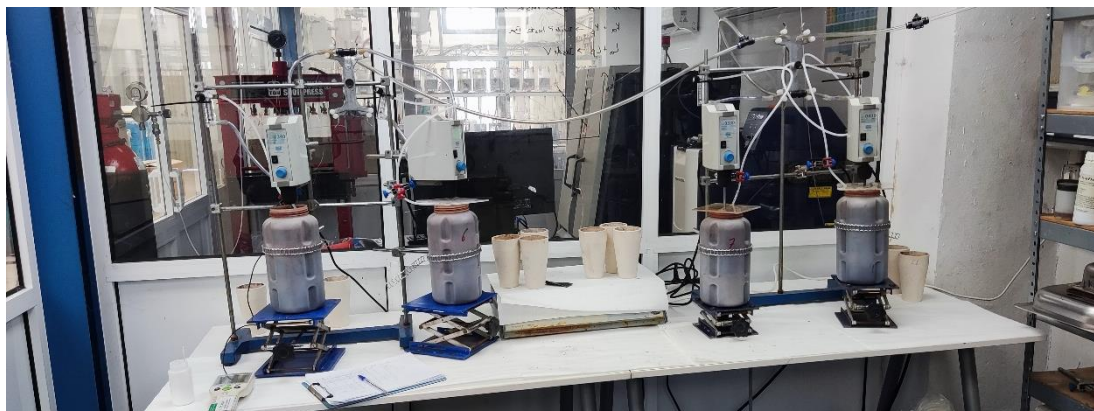


3.2) Ensayo de cianuración.

Una vez confirmado el tiempo de molienda necesario, se realizaron los ensayos de cianuración en reactor tanque de agitado. El ensayo, que se realizó en cuatro reactores de forma paralela para poder tener muestra suficiente para posteriores etapas, se llevó a cabo según las siguientes condiciones:

- Densidad de pulpa del 45 %.
- pH ajustado a 10,5 empleando cal (Hidróxido cálcico).
- Concentración de cianuro de 500 ppm.
- Tamaño de partícula de 75 μm .

Podemos ver una imagen del montaje en la siguiente imagen:



A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la siguiente tabla resumen:

Nº de ensayo		PC/CP01	
Cód Muestra:	Muestra REDCORP	Tacondicionamiento	- horas
T (°C)	Ambiente	T cianuración	24 horas
Sólido:	1000 g	D80	75 micras
Liq. Lixiv.:	1200 mL	Agitación	450 r.p.m
Dens. Pulpa	45,5 % (w/w)	Conc. CN	500 (ppm)

Evaluación de oro				Evaluación de plata			
Alicuotas	Sólido	Recuperación	Consumo CN	Consumo CN	Alicuotas	Sólido	Recuperación
Tiempo	Au (g/t)	s sol. (%)	(%) *	(Kg/t)	Tiempo	Ag (g/t)	sol. (%)
24 h	0,68	66,67	69,10	414,60	24 h	29,30	65,81

CAB. ANALIZADA	Au (ppm)	Ag (ppm)
	2,04	85,70

* El consumo de CN hace referencia a la diferencia de concentraciones de CN libre.

Una vez concluido el ensayo de cianuración y con objeto de emular las condiciones de planta del cliente, se trató el residuo con agua fresca para reducir la concentración de cianuro en el mismo. La relación agua sólido se obtuvo de los parámetros de tratamiento facilitados por el cliente.

3.3) Pruebas de detoxificación de cianuros

Tal como se indicó en el apartado 1.3, el método seleccionado para tratar la corriente de residuo del proceso de cianuración (corriente 104 del diagrama facilitado por el cliente), es el INCO.

3.3.1. Medida y seguimiento del CN en las muestras

Como se indicó anteriormente, es el cianuro WAD el considerado como referente para su seguimiento dado su carácter de toxicidad. Por lo tanto, es el que se tomará como referente a lo largo de las distintas pruebas para confirmar la eficiencia del proceso.

Dado que en este caso se quiere valorar la presencia de cianuro residual en el sólido, el método elegido ha sido el de extracción por solvente para posterior medida del eluato generado. Esto implica que las unidades del cianuro se den en mg/kg, ya que estarán referenciados a la cantidad de sólido tratado en el proceso de extracción.

Como información adicional, se midió el cianuro libre en el proceso de cianuración para tener una referencia del consumo de cianuro en dicho proceso. Esta información quedó detallada en el esquema de la prueba de cianuración descrita en el apartado 3.2.

3.3.2. Tanda de ensayos de detoxificación de cianuros.

Los ensayos se llevaron a cabo en reactores agitados con aireación según las siguientes condiciones:

- Densidad de pulpa del 20 % (500 g de mineral y 2000 ml de H₂O)
- pH ajustado a 9,5 empleando cal (Hidróxido cálcico).
- Concentración de SO₂ ajustada a 2,5, 5 y 10 veces la concentración de cianuro en el sólido.
- Concentración de cobre de 50 mg/l administrado como CuSO₄·5H₂O.

Las condiciones del sólido residual que se tomarán como referencia para los siguientes ensayos son las siguientes:

- Humedad del material: 18.17%.
- Cianuro WAD: 38 mg/kg.

Los resultados obtenidos en los ensayos se pueden agrupar en la siguiente tabla:

Test	Masa min húmedo (g)	Masa H ₂ O (g)	pH ₀	Cal (g)	pH _f	CuSO ₄ ·5H ₂ O (g)	[CN] _{WAD} inicial (mg)	SO ₂ a añadir (mg)	Na ₂ O ₅ S ₂ (g)	[CN] _{WAD} final (mg/kg)
1	613,6	1889,2	8,497	0,2990	9,571	0,3933	19,08	47,70	0,1415	0,245
2	614,7	1888,6	8,536	0,2996	9,566	0,3933	19,11	95,57	0,2836	0,105
3	612,6	1888,3	8,555	0,2992	9,523	0,3931	19,05	190,47	0,5652	0,095

Podemos comprobar que los resultados del primer ensayo (emplear SO₂ 2,5 veces la concentración de CN en el sólido) ya cumple con las especificaciones requeridas con el cliente.

4. RECOMENDACIONES

Desde AGQ Mining & Bioenergy se recomienda los siguientes pasos ante una continuación del proyecto:

- Una vez conocida la concentración adecuada de SO₂ a emplear, se recomiendan estudios de optimización de las condiciones relacionadas con el cobre y el pH.
- Realizar ensayos para el tratamiento de las aguas residuales procedentes del lavado del residuo de cianuración.
- El agua de lavado del residuo presenta valores medibles de cianuro. Podría plantearse una alcalinización de la corriente para aprovechamiento del mismo.

5. CERTIFICACIÓN

AGQ MINING & BIOENERGY S.L.,

CERTIFICA

Que los resultados reflejados en el presente informe se corresponden con el día y horas indicados, empleando los procedimientos y equipos descritos y siendo desarrollados sobre la instalación referenciada por personal de AGQ MINING & BIOENERGY S.L.

Elaborado por:



Alfonso Muñoz Vicente
Ingeniero Químico

El informe tiene validez siempre y cuando no varíen las condiciones de funcionamiento de la instalación y los requisitos de referencia sigan siendo aplicables.

El informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito de LABS AND TS AGQ, SL y del CLIENTE.