

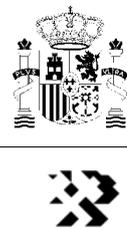


FONDOS FEDER

**CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE LA
CONSEJERÍA DE INNOVACIÓN, CIENCIA Y EMPRESA
DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA Y EL INSTITUTO
GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA PARA LA
REALIZACIÓN DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS
EN PLANTA PILOTO HIDROMETALÚRGICA DE
THARSIS APLICABLE A LOS MINERALES DE LA FAJA
PIRÍTICA.
2006-2008**

INFORME FINAL

DICIEMBRE 2008



ÍNDICE

- 1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**
- 2. OBJETIVOS**
- 3. OBJETIVOS ESPECIFICOS**
 - 3.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS 2006**
 - 3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS 2007**
 - 3.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS 2007**
- 4. UBICACIÓN Y PERSONAL**
- 5. METODOLOGÍA**
 - 5.1. METODOLOGÍA EN LABORATORIO**
 - 5.2. METODOLOGÍA EN PLANTA PILOTO**
- 6. PLANTA HIDROMETALÚRGICA**
 - 6.1. MINERAL PIRITICO DE ALTO CONTENIDO EN COBRE**
 - 6.2. MINERAL PIRITICO DE BAJO CONTENIDO EN COBRE**
- 7. MINERAL AURÍFERO “STOCKWORK” DE THARSIS**
- 8. ESTUDIO ECONÓMICO**



1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL CONVENIO

El Instituto Geológico y Minero de España, en colaboración con la Junta de Andalucía, ha diseñado, construido y operado una planta piloto de lixiviación con sulfato férrico para el Aprovechamiento de los Recursos Minerales de la Faja Pirítica, en las instalaciones de Nueva Tharsis S.A.L. (Huelva).

Durante el segundo semestre del año 2002, y los años 2003, 2004 y 2005 la planta ha funcionado ininterrumpidamente, 24 horas/día, 5 días/semana, tratando minerales “ricos” de Cu-Pb-Zn procedentes de la Faja Pirítica, con resultados muy satisfactorios, pues se han logrado lixiviaciones superiores al 79% del cobre y 98% del zinc, obteniéndose ambos metales mediante extracción con solventes y electrolisis, de calidad comercial y además se ha tratado mineral “rico” todo-uno de Aguas Teñidas, molido a un D_{80} de 30 μm , habiéndose obtenido lixiviaciones del 70% de cobre y 95% del zinc, en discontinuo a escala de laboratorio.

Condiciones operativas

Minerales “ricos” de Cu-Pb-Zn procedentes de la Faja Pirítica

Las condiciones operativas han sido las siguientes:

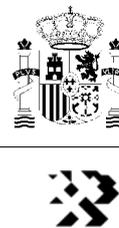
- ⇒ Lixiviación en una sola etapa, a una densidad de pulpa del 10% (p/v) y 40-50g/l de Fe^{3+} , con un tiempo de residencia de cuatro horas, la primera hora a temperatura ambiente (tanque acondicionador) y tres horas en los reactores de lixiviación a una temperatura $>90^\circ\text{C}$.

Las pruebas en continuo se han realizado en la Planta Piloto de 3-5 kg/h.

El porcentaje de lixiviación obtenido durante el desarrollo de la etapa de lixiviación en continuo se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Porcentaje de lixiviación

| Elemento | Porcentaje (%) |
|----------|----------------|
| Cobre | 79 |
| Zinc | 98 |



Mineral “rico” todo-uno de Aguas Teñidas

Además se ha tratado mineral “rico” todo-uno, de Aguas Teñidas, molido a un D_{80} de 30 micras, confirmando los resultados obtenidos, con anterioridad, en discontinuo, a escala de laboratorio.

Las condiciones operativas han sido las siguientes:

- ⇒ Lixiviación en una sola etapa, a una densidad de pulpa del 5% (p/v) y 30g/l de Fe^{3+} , con un tiempo de residencia de cuatro horas, la primera hora a temperatura ambiente (tanque acondicionador) y tres horas en los reactores de lixiviación a una temperatura $>90^{\circ}C$.

Las pruebas en continuo se han realizado en la Planta Piloto de 3-5 kg/h.

El porcentaje de lixiviación obtenido durante el desarrollo de la etapa de lixiviación en continuo se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Porcentaje de lixiviación

| Elemento | Porcentaje (%) |
|----------|----------------|
| Cobre | 73 |
| Zinc | 97 |

Ha estado en operación, además de la planta piloto de lixiviación, las instalaciones de extracción con solventes y electrolisis de cobre y zinc, junto con el aprovechamiento energético mediante placas solares. Los resultados obtenidos en la extracción de solventes y electrolisis de cobre han sido muy satisfactorios, obteniéndose licores, tras el tratamiento, con concentraciones de cobre menores de 1 mg/l, y cobre electrolítico de calidad comercial, mientras que con la extracción de solventes de zinc se presentaron problemas que ha sido necesario ir resolviendo con las pertinentes modificaciones de la instalación inicial.

Ha sido necesario introducir diversas modificaciones en el circuito para eliminar el hierro, para lo cual se requiere previamente a extraer el zinc, oxidar el hierro ferroso a férrico, para poder precipitar éste a un $pH >3$.

Para alcanzar en el licor un $pH >3$ es necesario utilizar una base, que puede ser NH_4 , sustituida, total o parcialmente, por los denominados “Óxidos Recomet”¹.

¹ Los “Óxidos Recomet” se producen dentro del siguiente proceso:

En el proceso de fusión de chatarras en las acerías de horno de arco eléctrico se generan unos humos que son recogidos en los sistemas de captación. Esos humos son vehiculados a través de una serie de unidades de descontaminación recogiendo los polvos que arrastran en unos filtros.



Una vez eliminado el hierro hay que eliminar el resto de impurezas, tales como Cu, Cd, Co, Ni, Sn, Pb....., con polvo de zinc, para proceder posteriormente a la extracción-reextracción y electrolisis de este metal.

El licor agotado en Cu y Zn procedente de la extracción de zinc se recircula a la lixiviación, redisolviendo previamente el hierro férrico precipitado con anterioridad.

Al tener que oxidar el hierro ferroso a férrico antes de la extracción con solventes de zinc, no es necesario que el licor final de la lixiviación esté exento de hierro férrico, por lo que no obliga a tener que realizar dicha lixiviación en dos etapas en contracorriente, pudiéndose efectuar ésta en una sola etapa, lo que ha simplificado el proceso.

Finalmente, otra modificación introducida en la electrolisis de zinc ha sido aumentar el caudal de la electrolisis respecto al caudal de la extracción para evitar el calentamiento del electrolito que perjudica la electrolisis.

Como consecuencia de las modificaciones introducidas en el circuito, los caudales a tratar en algunas fases del proceso han variado sensiblemente respecto a los inicialmente previstos, por lo que los equipos diseñados en estas fases han quedado descompensados con respecto a las de las otras, por lo que solo se pudo comprobar, en estos años, la buena marcha de cada fase de una en una, pero no todas al mismo tiempo.

A la vista de los resultados obtenidos hasta la fecha, y disponer de una planta piloto de lixiviación-extracción de solventes y electrolisis de cobre y zinc, con toda su infraestructura y personal adiestrado en su marcha, en la que solo era necesario realizar algunas modificaciones para adecuar la capacidad de todas las fases, se consideró lo mas adecuado un nuevo convenio para finalizar los ensayos, cerrando totalmente el circuito y operando todo él al mismo tiempo, de forma que permitiera

La base de este proceso es la fabricación de briquetas autoreductoras, con los polvos recogidos en los filtros y su posterior introducción en un horno de arco eléctrico. Las briquetas se fabrican a partir de una mezcla de polvo de filtro de mangas, un reductor y un aglomerante. Una vez introducidas en el horno los óxidos de hierro se reducen pasando a la colada y los óxidos de zinc y plomo del polvo pasan a los humos, para ser recogidos posteriormente en los filtros

Mediante la introducción de briquetas autoreductoras en el horno se consigue una importante minimización del volumen total de polvo, asimismo este material obtenido mediante la aplicación de este procedimiento pirometalúrgico, tiene unas características totalmente diferentes al polvo original y se denominan "Óxidos Recumet" (óxidos procedentes de la recuperación de metales). Este material, por sus características, es susceptible de ser utilizado como materia prima por la industria metalúrgica de zinc y plomo previa aplicación de un proceso hidrominerometalúrgico.

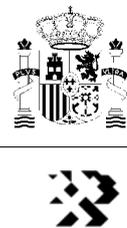
Los cloruros y demás sales solubles no metálicas contenidas en los "Óxidos Recumet" son totalmente retiradas del material mediante lavado.

Los "Óxidos Recumet" presentan una composición variable dependiendo de la siderurgia de la que procede. Después de su lavado la composición química de zinc varía entre el 40-60% y la del plomo del orden del 6%.



realizar una comparación económica entre el sistema de flotación diferencial aplicado hasta la fecha y el proceso hidrometalúrgico mediante sulfato férrico, y estudiar la posibilidad de aplicar el proceso a los minerales de los yacimientos que se están investigando actualmente y otros que pueden investigarse en el futuro

Se considera aprovechar este nuevo periodo para incorporar becarios de la Universidad de Huelva, en los distintos relevos, con la doble misión de complementar su formación para la incorporación al mundo industrial y de crear un grupo de jóvenes profesionales que conozcan el proceso, y sus posibles aplicaciones en la minería de la Faja Pirítica.

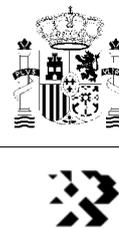


2. OBJETO DEL CONVENIO

El objeto de este Convenio ha sido la realización de una serie de actuaciones de investigación tecnológica sobre un proceso hidrometalúrgico aplicable a los sulfuros polimetálicos de la Faja Pirítica, así como la adaptación de la planta y ampliación de los ensayos a minerales con contenido alto en metales preciosos.

El IGME se ha comprometido a la realización de las siguientes actuaciones concretas:

1. Realización de las modificaciones necesarias para adecuar la planta piloto que el IGME posee en Tharsis (Huelva) y operar todas las fases de la planta piloto hidrometalúrgica al mismo tiempo, tanto con concentrados de baja ley procedentes de la Faja Pirítica como con minerales “ricos”, molidos, de los yacimientos que se están investigando en dicha Faja Pirítica
2. Además se pretende incorporar becarios de la Universidad de Huelva para que completen su formación y conozcan el proceso y sus posibles aplicaciones en la minería de la Faja Pirítica



3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2006

A la vista del interés demostrado por diversas empresas y de los resultados obtenidos con los minerales “ricos” de Cu-Pb-Zn procedente de la Faja Pirítica y disponer de la planta piloto de lixiviación-extracción de solventes y electrolisis, con toda su infraestructura y personal adiestrado en su marcha, en las que solo es necesario realizar algunas modificaciones para adecuarla a nuevos procesos para recuperar los metales preciosos, se considera lo mas adecuado un nuevo convenio para realizar investigaciones, tanto de laboratorio como en planta piloto, aplicables a distintos minerales de la Faja Pirítica, con la finalidad de conseguir tratamientos que sean viables técnica y económicamente para permitir su aprovechamiento.

Además se debe aprovechar este nuevo periodo para incorporar becarios de la Universidad de Huelva, en los distintos relevos, con la doble misión de complementar su formación para la incorporación al mundo industrial y de crear un grupo de jóvenes profesionales que conozcan los procesos, y sus posibles aplicaciones en la minería de la Faja Pirítica.

Por todo ello se pretende realizar ensayos en planta piloto de mineral todo-uno, “rico”, directamente, es decir, sin flotar, para confirmar los resultados obtenidos en discontinuo en laboratorio y determinar los parámetros necesarios para la evaluación y diseño de una planta industrial.

Además se pretende realizar las modificaciones necesarias en la planta piloto para adecuarla al tratamiento de minerales auríferos, mediante lixiviación férrica y recuperación posterior de metales preciosos por cianuración o proceso alternativo, p.e. tiourea, tiosulfato, etc... y operar todo ello al mismo tiempo, obteniendo la información necesaria para la evaluación y diseño de una planta industrial

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2007

El objeto de este convenio es la realización por parte del IGME de una serie de actuaciones de Investigación Tecnológica sobre un proceso hidrometalúrgico aplicable a los sulfuros polimetálicos de la Faja Pirítica, así como la adaptación de la planta piloto y ampliación de los ensayos a minerales con contenido alto en metales preciosos.

El IGME se compromete a la realización de las actuaciones concretas que se señalan a continuación:

- Realizar las modificaciones necesarias para adecuar la planta piloto que el IGME posee en Tharsis (Huelva) y operar todas las fases de la planta piloto hidrometalúrgica al mismo tiempo, tanto con concentrados de baja ley



procedentes de la Faja Pirítica como con minerales “ricos”, molidos, de los yacimientos que se están investigando en dicha Faja Pirítica.

Los objetivos previstos para el año 2007 eran:

- Adecuación de la Planta Piloto, de acuerdo con los resultados obtenidos en la Investigación de laboratorio con el mineral aurífero de Nueva Tharsis S.A.L, para poder aplicar el posterior proceso de cianuración o alternativo.
- Ensayos de laboratorio con mineral aurífero suministrado por Ormonde, de Mina La Zarza y con estériles auríferos de flotación suministrados por Minas de Aguas Teñidas, mediante lixiviación férrica y posterior cianuración o proceso alternativo.

No ha sido posible disponer de mineral aurífero suministrado por Ormonde, de Mina La Zarza, debido a la escasez de muestras de los testigos de sondeos, ni de estériles auríferos de flotación de Aguas Teñidas por no haber puesto en marcha la planta piloto de flotación hasta finales del año 2007.

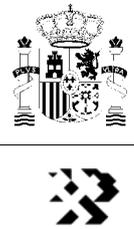
Sin embargo, en base a los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas durante el año 2006, se determinó la continuación del estudio a escala laboratorio y su aplicación en Planta Piloto del proceso de precipitación/redisolución del agente lixivante, sulfato férrico, con el fin de optimizar al máximo el tratamiento hidrometalúrgico, e iniciar el tratamiento de mineral “rico”, todo-uno, de Mina San Telmo de Metales Hispania S.L.

3.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2008

El objeto de este convenio es la realización por parte del IGME de una serie de actuaciones de Investigación Tecnológica sobre un proceso hidrometalúrgico aplicable a los sulfuros polimetálicos de la Faja Pirítica, así como la adaptación de la planta piloto y ampliación de los ensayos a minerales con contenido alto en metales preciosos.

El IGME se compromete a la realización de las actuaciones concretas que se señalan a continuación:

- Realizar las modificaciones necesarias para adecuar la planta piloto que el IGME posee en Tharsis (Huelva) y operar todas las fases de la planta piloto hidrometalúrgica al mismo tiempo, tanto con minerales de baja ley procedentes de la Faja Pirítica como con minerales “ricos”, molidos, de los yacimientos que se están investigando en dicha Faja Pirítica.



Los objetivos previstos para el año 2008 eran:

- Ensayos en Planta Piloto con mineral aurífero de Mina la Zarza, suministrado por Ormonde
- Ensayos en planta piloto con estériles auríferos de flotación, suministrados por minas de Aguas Teñidas
- Determinación de la viabilidad técnico-económica del proceso aplicable a cada uno de ellos
- Valoración de la inversión necesaria para la construcción de una planta industrial para cada caso

No ha sido posible disponer de mineral aurífero suministrado por Ormonde, de Mina La Zarza, debido a la escasez de muestras de los testigos de sondeos, ni de estériles auríferos de flotación de Aguas Teñidas por no haber puesto en marcha la planta piloto de flotación hasta muy entrado el año 2008.

Sustituyéndose por las siguientes investigaciones:

- Se continua la realización de ensayos a escala laboratorio con mineral Au- Co del Stockwork de Tharsis, por vía flotación.
- Además, se inicia una investigación de lixiviación férrica para minerales “pobres” procedentes de la Mina San Telmo de Metales Hispania S.L y Nueva Tharsis S.A.L.

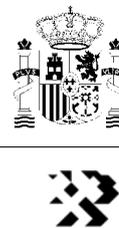
4. UBICACIÓN Y PERSONAL

Los trabajos en discontinuo en Laboratorio, además de análisis especiales, se han realizado en los laboratorios del Instituto Geológico y Minero de España, ubicados en Tres Cantos (Madrid).

Los trabajos a escala Planta Piloto, incluyendo análisis de control, se han realizado en Tharsis (Huelva), en la planta que el IGME posee en edificios de Nueva Tharsis, S.A.L., trabajando 24 horas al día, de lunes a viernes.

El suministro de agua a la planta se ha realizado desde el Dique “Los Pinos” de Tharsis.





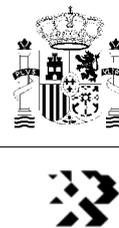
La Investigación en los laboratorios del IGME ubicados en Tres Cantos (Madrid) y Tharsis (Huelva), ha sido realizada con el siguiente personal técnico:

- Ángel Ilarri Junquera. Ingeniero de Minas.
- Antonio Guijarro Franco. Ingeniero de Minas.
- Santiago del Barrio Martín. Doctor Ingeniero de Minas.
- Amelia Rubio Sánchez-Aguililla. Doctora en Ciencias Biológicas
- Marta García Alonso. Licenciada en Ciencias Químicas. Ayudante de Investigación y Laboratorio
- Marta Mené de Pedro. Licenciada en Farmacia. Ayudante de Investigación y Laboratorio
- Fernando Llorente Delgado. Auxiliar de Laboratorio
- M^a Carmen Rodríguez García. Auxiliar de Laboratorio

Durante el año 2006 se han incorporado tres becarios de la Facultad de Ciencias Experimentales de la Universidad de Huelva.

Los datos personales son:

- José Antonio González Delgado DNI: 44233892 Q
- Rocío Robles Rengel DNI: 49061466 M
- Lourdes Maestre Cera DNI: 44238094 D



5. METODOLOGÍA

5.1. METODOLOGÍA EN LABORATORIO

Ensayos de lixiviación

- Los ensayos de lixiviación se han llevado a cabo en reactores cilíndricos de 5000 ml (presentan una camisa termostataada que mantiene la temperatura de trabajo constante en todos los ensayos y agitación mecánica (280 rpm)) y de 1000 ml de capacidad con agitación magnética y calefacción.
- La alimentación del mineral se realiza de forma manual añadiendo, según la densidad de pulpa de trabajo, el peso de mineral correspondiente.
- El sulfato férrico se añade como FERRICLAR (200 g de sulfato férrico por litro) o sulfato férrico redissuelto obtenido de la precipitación con aire y amoníaco de licor procedente de la etapa de lixiviación. La redisolución se realiza en medio ácido (sulfúrico 10%) calentando a $T^a > 70^{\circ}$ y densidad de pulpa del 12.5%.

El mineral se pone en contacto con la solución de sulfato férrico en el reactor después de alcanzar la temperatura de trabajo. Posteriormente se ajusta el pH de la pulpa a 1.00 con ácido sulfúrico, en caso de ser necesario.

Se toman medidas del pH y potencial redox (Eh) inicialmente y cada hora, hasta la finalización de cada una de las Fases ó Etapas.

El licor de lixiviación, se analiza en cobre, plomo, cinc y hierro por Absorción Atómica. La muestra final se analiza de forma multielemental por Espectroscopía Plasma.

El hierro ferroso en solución se determina mediante Dicromatometría.

El sólido se lava en el embudo con agua acidificada, se recoge y se deja secar en estufa a $< 60^{\circ}\text{C}$. Una vez seco se analizan los elementos metálicos por FRX. El azufre total se determina en el Analizador de Azufre ELTRA CS 800.

La descarga del reactor se realiza de forma manual, abriendo la válvula de salida situada en la parte final del reactor. Una vez recogida la pulpa se filtra del modo descrito, midiéndose el volumen del licor de lixiviación y el peso del residuo seco obtenido.

La granulometría se realiza por tamizado y por medio del analizador de tamaño de partícula Coulter Láser LS 100.

La densidad real se determina con el picnómetro de helio AccuPyc 1330.



Analizador de tamaño de partícula Coulter LS-100



Picnómetro de Helio AccuPyc 1330

Ensayos de flotación

Los ensayos de flotación se han realizado en celda de flotación Denver de laboratorio de 2.5 l de capacidad.



Celda Denver de flotación

Ensayos en mesa de sacudidas.

Se realiza en mesa Wilfley. El ensayo en mesa Wilfley es un método de concentración gravimétrica que permite separar minerales de diferente densidad por su movimiento relativo en un medio fluido en movimiento.



Mesa Wilfley

5.2. METODOLOGÍA EN PLANTA PILOTO

Los ensayos en planta piloto se han realizado en la planta de Tharsis de 3-5 kg/h de capacidad.

Los trabajos a escala Planta Piloto, incluyendo análisis de control, se han realizado en Tharsis (Huelva), en la planta que el IGME posee en edificios de Nueva Tharsis, S.A.L., trabajando 24 horas al día, en tres turnos de ocho horas, de lunes a viernes.

La siguiente serie de fotos muestra las instalaciones de la Planta Piloto de Tharsis



Vista general de la etapa de lixiviación



Vista general de un filtro prensa



Etapas de extracción con solventes de cobre y zinc



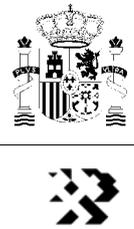
Etapas de electrolisis. Celda de cobre y celdas de zinc



Cátodos de cobre



Cátodos de zinc



6. PLANTA HIDROMETALURGICA

De los ensayos de laboratorio y las pruebas, realizadas en planta piloto, con distintos minerales, se ha llegado a los siguientes diagramas de flujo:

6.1. MINERAL PIRITICO DE ALTO CONTENIDO EN COBRE

El proceso hidrometalúrgico incluye las siguientes fases:

- **Lixiviación en una sola Etapa, en tres reactores en serie, con las siguientes condiciones optimas**
 - pH<1
 - Temperatura>90°C
 - Presión atmosférica
 - Agente lixiviante: sulfato férrico 35-40g/l
 - Densidad de pulpa: variable en función de la ley de zinc
 - Tiempo: 3 horas

- **Extracción-reextracción. Utilizando como extractante Acorga.**
- **Electrolisis de cobre**
- **Oxidación de hierro ferroso a férrico**
- **Precipitación de hierro férrico-redisolución**
- **Cementación con polvos de zinc**
- **Extracción-reextracción. Utilizando como extractante D2HEPA.**
- **Electrolisis de zinc**

El diagrama de flujo se muestra en la Figura 1.



Los resultados obtenidos se resumen a continuación:

| D ₈₀ | Agente lixiviante | LEY INICIAL | | Tiempo de residencia | Densidad de pulpa (%) | Leyes finales residuo (%) | | Rendimiento (%) | |
|-----------------|-------------------|-------------|------|----------------------|-----------------------|---------------------------|------|-----------------|----|
| | | Cu | Zn | | | Cu | Zn | Cu | Zn |
| 23µm | 35g/l (n) | 0.93 | 6.7 | 3horas | 10 | 0.18 | 0.65 | 84 | 92 |
| | 35g/l (r) | 0.93 | 6.7 | 3horas | 10 | 0,11 | 1,15 | 90 | 85 |
| 16µm | 35g/l (n) | 0.93 | 6.7 | 3horas | 10 | 0,32 | 0,73 | 70 | 91 |
| | 35g/l (r) | 0.93 | 6.7 | 3horas | 10 | 0,40 | 0,75 | 63 | 90 |
| 11µm | 35g/l (n) | 0.93 | 6.7 | 3horas | 10 | 0,23 | 1,11 | 79 | 86 |
| | 35g/l (r) | 0.93 | 6.7 | 3horas | 10 | 0,15 | 1,08 | 86 | 86 |
| 15µm | 35g/l (n) | 0.65 | 4.02 | 3horas | 10 | 0,19 | 0,47 | 75 | 90 |
| | 35g/l (r) | 0.65 | 4.02 | 3horas | 10 | 0,14 | 0,64 | 81 | 86 |
| 12µm | 35g/l (n) | 0.65 | 4.02 | 3horas | 10 | 0,10 | 0,53 | 87 | 88 |
| | 35g/l (r) | 0.65 | 4.02 | 3horas | 10 | 0,14 | 0,51 | 81 | 89 |

(r): licor de lixiviación (sulfato férrico-reciclado)

(n): licor de lixiviación (sulfato férrico nuevo)

Observando que se obtienen resultados similares en la lixiviación utilizando licor de lixiviación (sulfato férrico) nuevo y reciclado.



6.2. MINERAL PIRITICO DE BAJO CONTENIDO EN COBRE

El proceso hidrometalúrgico incluye las siguientes fases:

- **Lixiviación en una sola Etapa, en tres reactores en serie, con las siguientes condiciones optimas**
 - pH<1
 - Temperatura>90°C
 - Presión atmosférica
 - Agente lixiviante: sulfato férrico 35-40g/l
 - Densidad de pulpa: variable en función de la ley de zinc
 - Tiempo: 3 horas
- **Oxidación de hierro ferroso a férrico**
- **Precipitación de hierro férrico-redisolución**
- **Cementación con polvos de zinc**
- **Extracción-reextracción. Utilizando como extractante D2HEPA.**
- **Electrolisis de zinc.**

El diagrama de flujo se muestra en la Figura 2.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

| D ₈₀ | Agente lixiviante | LEY INICIAL | | Tiempo de residencia | Densidad de pulpa (%) | Leyes finales residuo (%) | | Rendimiento (%) | |
|-----------------|-------------------|-------------|-------|----------------------|-----------------------|---------------------------|------|-----------------|-------|
| | | Cu | Zn | | | Cu | Zn | Cu | Zn |
| 32µm | 35g/l (r) | 0.26 | 17.70 | 3horas | 5.88 | 0.095 | 1.20 | 74.27 | 95.23 |
| 25µm | 35g/l | 0.28 | 13.27 | 5horas | 6.7 | 0.07 | 0.64 | 78.98 | 95.95 |
| 25µm | 35g/l | 0.28 | 13.27 | 2horas | 6.7 | 0.07 | 1.36 | 78.85 | 91.33 |

(r): licor de lixiviación (sulfato férrico-reciclado)

(n): licor de lixiviación (sulfato férrico nuevo)

Observando que se obtienen resultados similares en la lixiviación utilizando licor de lixiviación (sulfato férrico) nuevo y reciclado.

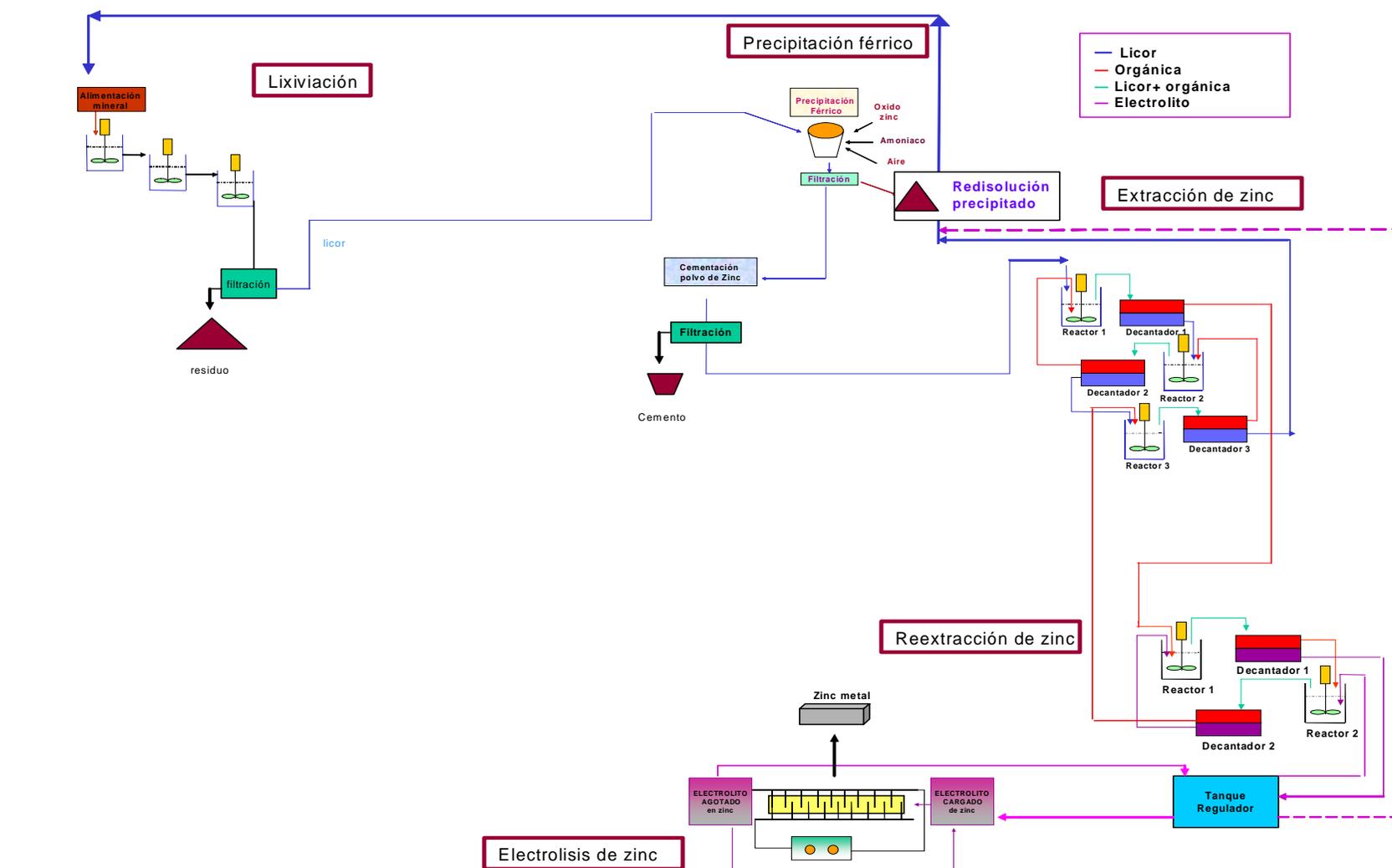


Figura 2. Diagrama de flujo



7. MINERAL AURÍFERO “STOCKWORK” DE THARSIS

El mineral aurífero tiene una ley de 1.7 ppm de Au, 1363 ppm de Co y 5 ppm de Ag.

Se realiza un estudio para recuperar el Au, Co y Ag utilizando técnicas mineralúrgicas convencionales como gravimetría (mesas Wilfley y líquidos densos) y flotación.

Con la preconcentración por mesa de sacudidas Wilfley y líquidos densos no se consiguen resultados aceptables.

Los ensayos de flotación, con dos relavos se realizan con las siguientes condiciones:

- Densidad de pulpa: 12%
- pH = 4.5-5 (pH ajustado con H_2SO_4)
- Colector: Aero Xantato 303: 250 g/T
- Espumante: Aceite de pino (3 gotas)
- Tiempo de acondicionamiento: 10 min.
- Tiempo de flotación desbaste: 14 min.

De los ensayos de laboratorio realizados con el mineral del “Stockwork” de Tharsis, se deduce que es posible obtener por flotación, un concentrado de Au, Co y Ag, con recuperaciones de 90% de Au, 90% de Co y 95% de Ag, obteniéndose un concentrado con leyes superiores a 8 ppm de oro, 5000 ppm en cobalto y 25 ppm de plata, y con posibilidad de poder proceder a su comercialización en los mercados internacionales; por lo que se aconseja acometer una investigación a mayor escala, planta piloto, para la confirmación de estos resultados.



8. ESTUDIO ECONÓMICO COMPARATIVO DE FLOTACIÓN DIFERENCIAL Y PLANTA HIDROMETALÚRGICA

- Los siguientes cuadros muestran comparativamente el beneficio bruto obtenido por flotación diferencial y por planta hidrometalúrgica con mineral “rico” (7.56 % de zinc) y mineral “pobre” (4.00% de zinc), con diferentes paridades €/€ y cotizaciones de los metales.

Mineral “rico”

| Ley (%) = Cu: 1%, Pb: 1%, Zn 7.56% | | | | |
|---|--|--------------------------------|--|--------------------------------|
| Alimentación 696.185 Tm/Año | Paridad €/€ = 1.35 Cotización Cu = 7.300 \$/Tm Cotización Pb = 3.000 \$/Tm Cotización Zn = 3.000 \$/Tm Cotización Ag = 13 \$/onza troy | | Paridad €/€ = 1.28 Cotización Cu = 4.284 \$/Tm Cotización Pb = 1.235 \$/Tm Cotización Zn = 1.124 \$/Tm Cotización Ag = 10 \$/onza troy | |
| | Flotación diferencial | Planta hidrometalúrgica | Flotación diferencial | Planta hidrometalúrgica |
| BENEFICIO BRUTO (MILLONES €/AÑO) | 63.01 | 110.70 | 7.99 | 23.08 |

Mineral “pobre”

| Ley (%) = Cu: 0.65%, Pb: 1.50%, Zn 4.00% | | | | |
|--|--|--------------------------------|--|--------------------------------|
| Alimentación 1.388.889 Tm/Año | Paridad €/€ = 1.35 Cotización Cu = 7.300 \$/Tm Cotización Pb = 3.000 \$/Tm Cotización Zn = 3.000 \$/Tm Cotización Ag = 13 \$/onza troy | | Paridad €/€ = 1.28 Cotización Cu = 4.284 \$/Tm Cotización Pb = 1.235 \$/Tm Cotización Zn = 1.124 \$/Tm Cotización Ag = 10 \$/onza troy | |
| | Flotación diferencial | Planta hidrometalúrgica | Flotación diferencial | Planta hidrometalúrgica |
| BENEFICIO BRUTO (MILLONES €/AÑO) | 49.67 | 109.16 | -6.33 | 18.87 |

Planta hidrometalúrgica de 50.000Tm Zn/año

- INVERSIÓN PLANTA HIDROMETALÚRGICA: 122 MILLONES €
- PLANTILLA: 172
- SUPERFICIE REQUERIDA: 120 HECTÁREAS



- Como puede observarse en los cuadros anteriores, con diferentes leyes de mineral todo-uno, distintas paridades €/\$, diferentes cotizaciones de los metales Cu, Pb, Zn y Ag; el benéfico bruto de la Planta Hidrometalúrgica siempre es superior al tratamiento mediante flotación diferencial.
- Con el mineral “rico” las ventas de los concentrados obtenidos en la flotación diferencial varían del 48% al 58% del valor de los metales contenido en el mineral “todo-uno” dependiendo de las cotizaciones de los metales.
- Con el mineral “pobre” las ventas de los concentrados obtenidos en la flotación diferencial varían del 33% al 40% del valor de los metales contenido en el mineral “todo-uno” dependiendo de las cotizaciones de los metales.
- Con el mineral “rico” las ventas de los metales obtenidos en la planta hidrometalúrgica varían del 90% al 108% del valor de los metales contenido en el mineral “todo-uno” dependiendo de las cotizaciones de los metales. El que las ventas puedan llegar a superar el 100% del valor de los metales contenidos se debe a la prima de venta del Cu y Zn electrolíticos sobre las cotizaciones de la bolsa de Londres.
- Con el mineral “pobre” las ventas de los metales obtenidos en la planta hidrometalúrgica es del 75% del valor de los metales contenido en el mineral “todo-uno” dependiendo de las cotizaciones de los metales.
- A lo largo del año 2009 se pretende realizar una publicación con los resultados obtenidos en la planta hidrometalúrgica y se intentará patentar el proceso desarrollado en la planta hidrometalúrgica y/o la oxidación del ión ferroso a férrico y su precipitación, mediante aire y a presión atmosférica.