



**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 HIDROMETALURGICA DE  
THARSIS APLICABLE A LOS MINERALES DE LA FAJA  
PIRÍTICA.**

**INFORME AÑO 2008**

**DICIEMBRE 2008**



## ÍNDICE

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL CONVENIO
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS
3. UBICACIÓN Y PERSONAL
4. METODOLOGIA EN LABORATORIO
5. [METODOLOGIA EN PLANTA PILOTO](#)
6. ENSAYOS A *ESCALA LABORATORIO* REALIZADOS CON EL MINERAL AURÍFERO “STOCKWORK” DE THARSIS
  - 6.1. ENSAYOS REALIZADOS CON EL SW 1
    - 6.1.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA
    - 6.1.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA
    - 6.1.3. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA
    - 6.1.4. ENSAYOS DE FLOTACIÓN DEL MINERAL AURÍFERO “STOCKWORK” DE THARSIS (SW1)
      - 6.1.4.1 FLOTACION SIN RELAVO (1)
      - 6.1.4.2. FLOTACION SIN RELAVO (2)
      - 6.1.4.3. FLOTACION CON RELAVO
      - 6.1.4.4. FLOTACION CON DOS RELAVOS
  - 6.2. ENSAYOS REALIZADOS CON EL SW 2
    - 6.2.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA
    - 6.2.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA
    - 6.2.3. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA
    - 6.2.4. ENSAYOS DE FLOTACIÓN DEL MINERAL AURÍFERO “STOCKWORK” DE THARSIS (SW2)
      - 6.2.4.1. FLOTACION CON DOS RELAVOS
  - 6.3. ENSAYOS REALIZADOS CON EL SW 3
    - 6.3.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA



### **6.3.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA**

### **6.3.3. ENSAYOS DE FLOTACIÓN DEL MINERAL AURÍFERO “STOCKWORK” DE THARSIS (SW3)**

#### **6.3.3.1. FLOTACION CON DOS RELAVOS**

## **7. ENSAYOS DE LIXIVIACION SOBRE MINERALES DE BAJA LEY PROCEDENTES DE LA FAJA PIRITICA**

### **7.1. ENSAYOS DE LIXIVIACION SOBRE EL MINERAL FN + ST 1**

#### **7.1.1. ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO y PLANTA PILOTO**

##### **7.1.1.1. INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA. $D_{80}= 23 \mu\text{m}$**

###### **7.1.1.1.2. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE NUEVO (sulfato férrico).**

###### **7.1.1.1.3. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE RECICLADO (sulfato férrico reciclado)**

##### **7.1.1.2. INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA. $D_{80}= 16 \mu\text{m}$**

###### **7.1.1.2.1. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE NUEVO (sulfato férrico).**

###### **7.1.1.2.2. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE RECICLADO (sulfato férrico reciclado).**

##### **7.1.1.3. INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA. $D_{80}= 11 \mu\text{m}$**

###### **7.1.1.3.1. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE NUEVO (sulfato férrico).**

###### **7.1.1.3.2. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE RECICLADO (sulfato férrico reciclado).**

### **7.2. ENSAYOS DE LIXIVIACION SOBRE EL MINERAL FN+ST 2**

#### **7.2.1. ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO Y PLANTA PILOTO**

##### **7.2.1.1. INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA. $D_{80}= 15 \mu\text{m}$**

###### **7.2.1.1.1. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE NUEVO (sulfato férrico)**

###### **7.2.1.1.2. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE RECICLADO (sulfato férrico reciclado)**



#### **7.2.1.2. INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA. $D_{80}= 12 \mu\text{m}$**

##### **7.2.1.2.1. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE NUEVO (sulfato férrico)**

##### **7.2.1.2.2. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE RECICLADO (sulfato férrico reciclado)**

#### **8. ESTUDIO ECONÓMICO DE UNA PLANTA HIDROMETALÚRGICA DE UNA CAPACIDAD DE 50.000 TM DE ZN METAL/AÑO, PARA TRATAR MINERALES TODO-UNO Y COMPARACIÓN CON EL TRATAMIENTO MEDIANTE FLOTACIÓN DIFERENCIAL ESTUDIO ECONÓMICO**

**8.1. Bases estudio económico (1)**

**8.2. Bases estudio económico (2)**

**8.3. Bases estudio económico (3)**

**8.4. Bases estudio económico (4)**

#### **9. CONCLUSIONES**



## 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 hasta la actualidad, la planta ha funcionado ininterrumpidamente, 24 horas/día, 5 días/semana, tratando minerales de Cu-Pb-Zn procedentes de la Faja Pirítica, con resultados muy satisfactorios, pues se han logrado lixivitaciones 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  $\mu\text{m}$ , habiéndose obtenido lixivitaciones del 70% de cobre y 95% del zinc, en discontinuo a escala de laboratorio.

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 consideró 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.



## 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

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



### 3. 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<sup>a</sup> Carmen Rodríguez García. Auxiliar de Laboratorio



## 4. METODOLOGÍA EN LABORATORIO

### Ensayos de flotación

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

### 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 redisoluelto 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**



**Celda Denver de flotación**

## **5. METODOLOGIA EN PLANTA PILOTO**

Los ensayos en planta piloto se han realizado en la planta de Tharsis de 3-5 kg de capacidad con el esquema de flujo que se muestra en la Figura 1.

← Con formato: Numeración y viñetas





## 6. ENSAYOS A ESCALA LABORATORIO REALIZADOS CON EL MINERAL AURÍFERO “STOCKWORK” DE THARSIS

Se han recibido tres muestras de minerales auríferos de “Stockwork” de Tharsis, denominados SW1, SW2 y SW3

### 6.1. ENSAYOS REALIZADOS CON EL SW 1

#### 6.1.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

La composición química del mineral aurífero Stockwork de Tharsis (SW1) se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición Química

ELEMENTO	LEYES INICIALES
Ag (ppm)	6
Al (%)	8.54
As (ppm)	797
Ba (ppm)	77
Be (ppm)	<1
Bi (ppm)	240
Ca (%)	0.09
Cd (ppm)	5
Ce (ppm)	8
Co (ppm)	1363
Cr (ppm)	63
Cu (ppm)	2147
Fe (%)	32.51
K (%)	0.54
La (ppm)	<5
Li (ppm)	45



<b>ELEMENTO</b>	<b>LEYES INICIALES</b>
<b>Mg (%)</b>	2.64
<b>Mn (ppm)</b>	1509
<b>Mo (ppm)</b>	<2
<b>Na (%)</b>	0.01
<b>Nb (ppm)</b>	<10
<b>Ni (ppm)</b>	108
<b>P (ppm)</b>	468
<b>Pb (ppm)</b>	2298
<b>Rb (ppm)</b>	28
<b>Sb (ppm)</b>	93
<b>Sc (ppm)</b>	10
<b>Se (ppm)</b>	<40
<b>Sr (ppm)</b>	<10
<b>Ti (%)</b>	0.07
<b>Tl (ppm)</b>	<20
<b>V (ppm)</b>	93
<b>W (ppm)</b>	<10
<b>Y (ppm)</b>	6
<b>Zn (ppm)</b>	5213
<b>Au (ppm)</b>	1.70
<b>Azufre Total (%)</b>	13.26



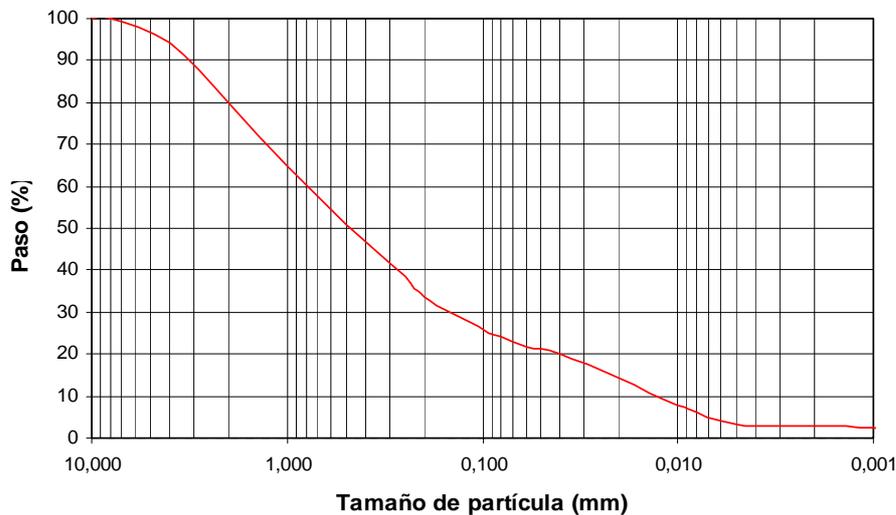
### 6.1.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA

La densidad promedio del mineral aurífero Stockwork de Tharsis, medido con el picnómetro de helio AccuPyc 1330 se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2. Densidad del mineral aurífero Stockwork de Tharsis**

	Densidad g/cm <sup>3</sup>
<b>Stockwork</b>	3.29

El análisis granulométrico del mineral aurífero Stockwork de Tharsis se muestra en la Figura 2. El D<sub>80</sub> es de 2 mm



**Figura 2. Análisis granulométrico**

### 6.1.3. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

El análisis por difracción de rayos X (DRX) muestra la presencia de clorita como mineral principal. La Tabla 3 muestra la caracterización mineralógica del mineral aurífero Stockwork de Tharsis (SW1).



**Tabla 3. Composición mineralógica del mineral aurífero Stockwork de Tharsis**

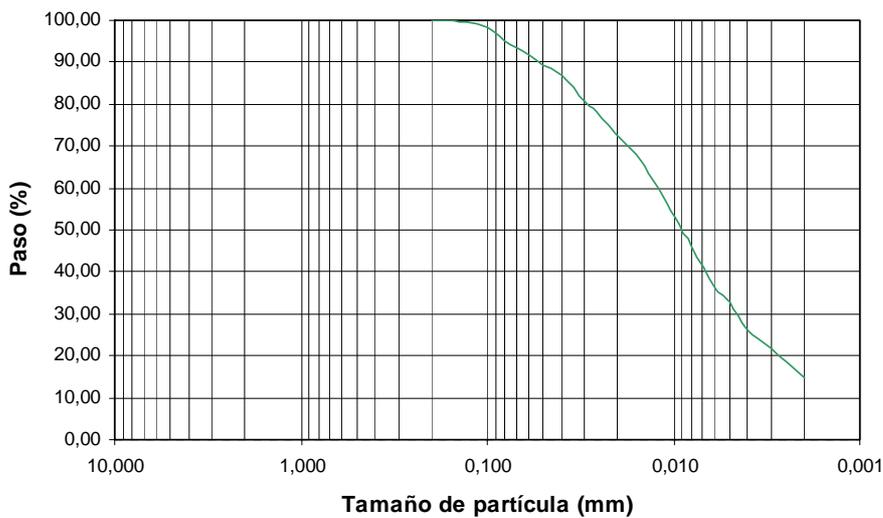
<b>MINERAL PRINCIPAL</b>	<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	<b>ACCESORIOS Y TRAZAS</b>
CLORITA	CUARZO, PIRITA	MOSCOVITA

### **6.1.4. ENSAYOS DE FLOTACIÓN DEL MINERAL AURÍFERO “STOCKWORK” DE THARSIS (SW1)**

El objetivo es investigar la viabilidad técnica de la concentración por flotación del oro y cobalto del mineral aurífero SW1.

#### **6.1.4.1 FLOTACION SIN RELAVO (1)**

Para la realización de este ensayo, el mineral aurífero se muele hasta obtener un  $D_{80}$  de 30  $\mu\text{m}$ . La distribución granulométrica se muestra en la Figura 3.



**Figura 3. Distribución granulométrica del mineral aurífero Stockwork de Tharsis**



Las condiciones de flotación establecidas inicialmente son las siguientes:

#### Condiciones de la flotación

- Mineral aurífero Stockwork de Tharsis (SW1)
- Densidad de pulpa: 12%
- pH = 4.5-5 ( pH ajustado con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- Colector: Aero Xantato 303: 250 g/T
- Se realiza un desbaste y apure del desbaste
- Espumante: Aceite de pino (3 gotas)
- Tiempo de acondicionamiento: 10 min. entre adición de reactivos
- D<sub>80</sub>: 30µm

La Tabla 4 muestra el porcentaje de la distribución en peso de los productos de flotación obtenidos.

**Tabla 4. Distribución en peso de los productos de flotación**

PRODUCTO	PESO (%)
DESBASTE	26.24
APURE	8.48
ESTERIL	65.28

En la Tabla 5 se muestra el análisis químico y distribución de Au, Co y Azufre Total (S<sub>T</sub>) de los productos de flotación, no haciéndose un seguimiento de la plata (Ag) debido al bajo contenido de ésta en la muestra.

**Tabla 5. Análisis químico y distribución de los productos de flotación del mineral aurífero Stockwork SW1**

MUESTRA	Peso %	LEYES			DISTRIBUCIÓN		
		Au (ppm)	S <sub>T</sub> (%)	Co (ppm)	Au (%)	S <sub>T</sub> (%)	Co (%)
DESBASTE	26,24	3,60	34,58	2140	69,11	71,55	56,24
APURE	8,48	1,90	16,91	1427	11,79	11,31	12,12
ESTERIL	65,28	0,40	3,33	484	19,10	17,14	31,64
Todo-uno (r)	<b>100</b>	1,37	12,68	999	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Todo-uno (a)		1,70	13,26	1363			



### 6.1.4.2. FLOTACION SIN RELAVO (2)

Con el fin de conseguir unos rendimientos mayores en la flotación se muele el mineral aurífero a un tamaño mas fino ( $D_{80} < 20\mu\text{m}$ ). La distribución granulométrica se muestra en la Figura 4.

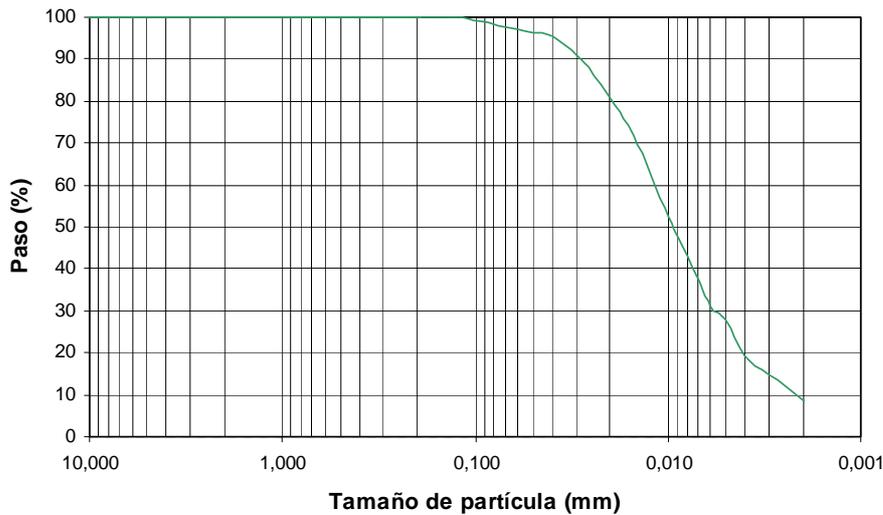


Figura 4. Distribución granulométrica del mineral aurífero Stockwork de Tharsis

#### Condiciones de la flotación

- Mineral aurífero Stockwork de Tharsis SW1
- Densidad de pulpa: 20%
- pH = 4.5- 5 ( pH ajustado con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Colector: Aero Xantato 303: 250g/T
- Un desbaste, y apure de desbaste
- Espumante: Aceite de pino
- Tiempo de acondicionamiento: 10 min. entre adición de reactivos
- $D_{80} < 20\mu\text{m}$



La Tabla 6 muestra la distribución de los productos obtenidos en la flotación.

**Tabla 6. Distribución en peso de los productos de flotación**

PRODUCTO	PESO (%)
DESBASTE	27,83
APURE	7,43
ESTERIL	64,74

En la Tabla 7 se muestra el análisis químico y distribución de Au, Co y Azufre Total (S<sub>T</sub>) de los productos de flotación. Una molienda más fina consigue un porcentaje de concentración mayor, llegándose al 84% de azufre y 78% del oro presente en la muestra.

**Tabla 7. Análisis químico y distribución de los productos de flotación del mineral aurífero Stockwork SW1**

MUESTRA	Peso %	LEYES			DISTRIBUCIÓN		
		Au (ppm)	S <sub>T</sub> (%)	Co (ppm)	Au (%)	S <sub>T</sub> (%)	Co (%)
DESBASTE	27,83	4,50	31,40	2992	77,53	83,44	87,40
APURE	7,43	1,40	7,66	518	6,44	5,43	4,04
ESTERIL	64,74	0,40	1,80	126	16,03	11,13	8,56
Todo-uno (r)	<b>100</b>	1,62	10,47	953	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Todo-uno (a)		1.70	13.26	1363			



### 6.1.4.3. FLOTACION CON RELAVO

Se realiza un ensayo de flotación, con un relavo, para obtener una concentración mayor del Au y Co presentes en la muestra. La granulometría inicial de la muestra ensayada es de un  $D_{80}$  de  $15\mu\text{m}$  y se muestra en la Figura 5.

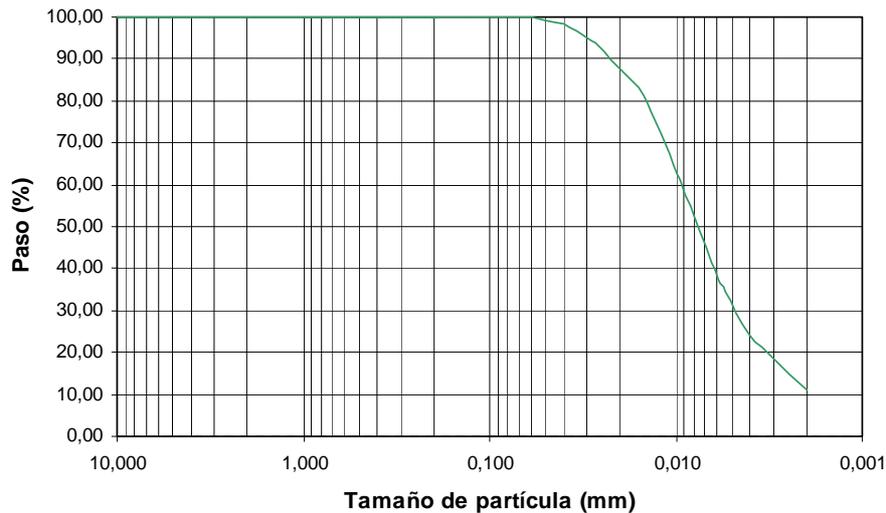
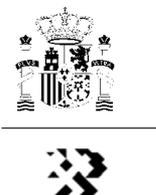


Figura 5. Distribución granulométrica del mineral aurífero Stockwork de Tharsis

Las condiciones de flotación son las siguientes:

#### Condiciones de la flotación

- Mineral aurífero Stockwork de Tharsis SW1
- pH = 4.5-5 (pH ajustado con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Densidad de pulpa: 20%
- Colector: Aero Xantato 303: 250g/T
- Un desbaste y un relavo
- Espumante: Aceite de pino
- Tiempo de acondicionamiento: 10 min. entre adición de reactivos
- $D_{80}$ :  $15\mu\text{m}$



La tabla 8 muestra la distribución en peso de los productos obtenidos en la flotación.

**Tabla 8. Distribución en peso de los productos de flotación**

PRODUCTO	PESO (%)
CONCENTRADO	22,69
RESIDUO 1º RELAVO	14,41
ESTERIL	62,90

En la Tabla 9 se muestra el análisis químico y distribución de Au, Co y Azufre Total (S<sub>T</sub>) de los productos de flotación.

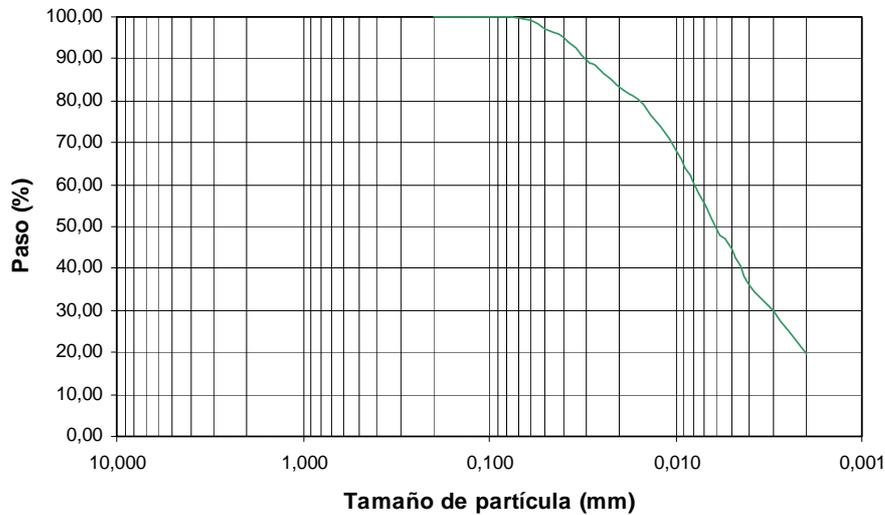
**Tabla 9. Análisis químico y distribución de los productos de flotación del mineral aurífero Stockwork SW1**

MUESTRA	Peso %	LEYES			DISTRIBUCIÓN		
		Au (ppm)	S <sub>T</sub> (%)	Co (ppm)	Au (%)	S <sub>T</sub> (%)	Co (%)
CONCENTRADO	22,69	7,80	44,07	4332	81,38	82,70	84,06
RESIDUO 1º RELAVO	14,41	1,50	8,54	717	9,94	10,18	8,84
ESTERIL	62,90	0,30	1,37	132	8,68	7,13	7,10
Todo-uno (r)	<b>100</b>	2,17	12,09	1169	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Todo-uno (a)		1,70	13,26	1363			

Se consigue concentrar el 82% de Au, y 84 % del Co presente en la muestra.

#### 6.1.4.4. FLOTACION CON DOS RELAVOS

Se realiza el ensayo de flotación sobre la muestra con un D<sub>80</sub> de 17 µm. Se aumenta el número de relavos a dos para optimizar la concentración de Au, Ag y Co. El análisis granulométrico se muestra en la Figura 6.



**Figura 6. Distribución granulométrica del mineral aurífero Stockwork de Tharsis**

Las condiciones de flotación son las siguientes:

**Condiciones de la flotación**

- Mineral aurífero Stockwork de Tharsis SW1
- Densidad de pulpa: 20%
- pH = 5 (pH ajustado con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- Colector: Aero Xantato 303: 250g/T
- Un desbaste y 2 relavos
- Espumante: Aceite de pino
- Tiempo de acondicionamiento: 10 min. entre adición de reactivos
- D<sub>80</sub>: 17µm

La tabla 10 muestra la distribución de los productos obtenidos en la flotación.

**Tabla 10. Distribución en peso de los productos de flotación**

PRODUCTO	PESO (%)
CONCENTRADO	22,36
RESIDUO 2º Relavo	1,04
RESIDUO 1º Relavo	7,79
ESTERIL	68,81



En la Tabla 11 se muestra el análisis químico y distribución de Au, Ag, Co y Azufre Total ( $S_T$ ) de los productos de flotación.

**Tabla 11. Análisis químico y distribución de los productos de flotación del mineral aurífero Stockwork**

MUESTRA	Peso %	LEYES				DISTRIBUCIÓN			
		Au (ppm)	$S_T$ (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Au (%)	$S_T$ (%)	Ag (%)	Co (%)
<b>CONCENTRADO</b>	22,36	8,2	49,91	25	5040	89,69	88,62	95,14	89,88
<b>RESIDUO 2ºR</b>	1,04	1,8	7,52	5	850	0,92	0,62	0,89	0,71
<b>RESIDUO 1ºR</b>	7,79	0,7	3,71	3	341	2,67	2,29	3,98	2,12
<b>ESTERIL</b>	68,81	0,2	1,55	0	133	6,73	8,47	0,00	7,30
<b>Todo-uno (r)</b>	<b>100</b>	2,04	12,59	5,88	1254	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Todo-uno (a)</b>		1,70	13,26	5,00	1363				



## 6.2. ENSAYOS REALIZADOS CON EL SW 2

### 6.2.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

La composición química del mineral aurífero Stockwork de Tharsis (SW2) se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Composición Química

ELEMENTO	LEYES INICIALES
Ag (ppm)	2
Al (%)	4.95
As (ppm)	107
Ba (ppm)	155
Be (ppm)	0
Bi (ppm)	12
Ca (%)	0.06
Cd (ppm)	0
Ce (ppm)	12
Co (ppm)	352
Cr (ppm)	70
Cu (ppm)	2620
Fe (%)	30.20
K (%)	0.80
La (ppm)	7
Li (ppm)	25
Mg (%)	0.93
Mn (ppm)	423
Mo (ppm)	1
Na (%)	0.03
Nb (ppm)	0



ELEMENTO	LEYES INICIALES
Ni (ppm)	22
P (ppm)	328
Pb (ppm)	744
Rb (ppm)	45
Sb (ppm)	192
Sc (ppm)	7
Se (ppm)	28
Sr (ppm)	6
Ti (%)	0.15
Tl (ppm)	0
V (ppm)	65
W (ppm)	11
Y (ppm)	5
Zn (ppm)	2860
Au (ppm)	0.26
Azufre Total (%)	25.47

## 6.2.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA

La densidad promedio del mineral aurífero Stockwork de Tharsis, medido con el picnómetro de helio AccuPyc 1330 se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13. Densidad del mineral aurífero Stockwork de Tharsis**

	Densidad g/cm <sup>3</sup>
Stockwork SW2	3,55



El análisis granulométrico del mineral aurífero Stockwork de Tharsis (SW2) se muestra en la Figura 7.

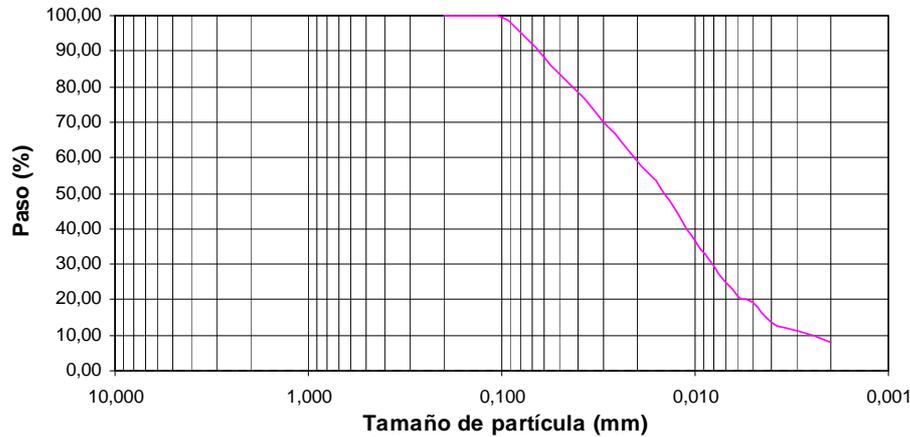


Figura 7. Análisis granulométrico del Stockwork de Tharsis SW2

### 6.2.3. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

El análisis por difracción de rayos X (DRX) muestra la presencia de clorita y cuarzo como minerales principales. En la Tabla 14 se muestra la caracterización mineralógica del mineral aurífero Stockwork de Tharsis SW2.

Tabla 14. Composición mineralógica del mineral aurífero Stockwork de Tharsis

MINERAL PRINCIPAL	MINERALES SECUNDARIOS	ACCESORIOS Y TRAZAS
CUARZO, CLORITA	PIRITA	MOSCOVITA, CALCOPIRITA (TRAZAS)



## 6.2.4. ENSAYOS DE FLOTACIÓN DEL MINERAL AURÍFERO “STOCKWORK” DE THARSIS (SW2)

### 6.2.4.1. FLOTACION CON DOS RELAVOS

El análisis granulométrico del mineral aurífero Stockwork de Tharsis (SW2), molido, se muestra en la Figura 8. Presenta un  $D_{80}$  de  $10\mu\text{m}$ .

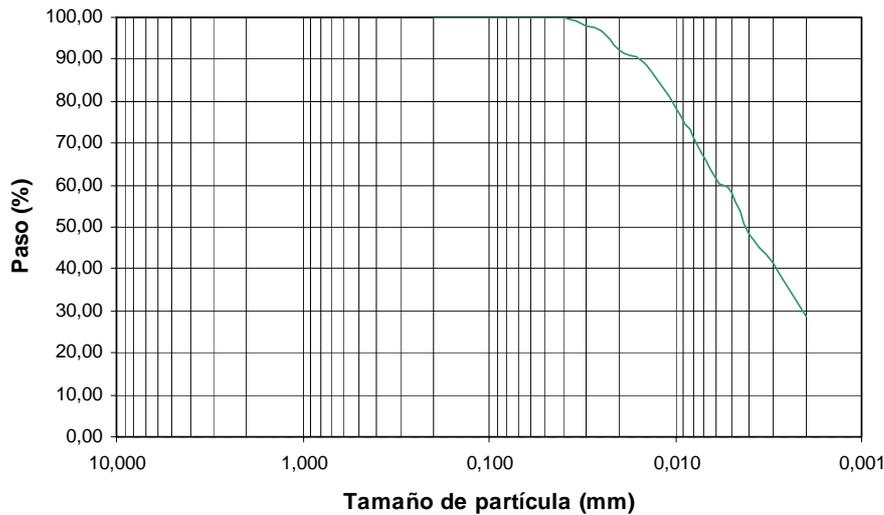


Figura 8. Distribución granulométrica del mineral aurífero Stockwork de Tharsis

Las condiciones de flotación son las siguientes:

#### Condiciones de la flotación

- Mineral aurífero Stockwork de Tharsis
- Densidad de pulpa: 20%
- pH = 4.5-5 (pH ajustado con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Colector: Aero Xantato 303: 250Kg/T
- 1 Desbaste y 2 Relavos
- Espumante: Aceite de pino (3gotas)
- Tiempo de acondicionamiento: 10 min. entre adición de reactivos
- $D_{80}$ :  $10\mu\text{m}$

La Tabla 15 muestra el porcentaje de la distribución en peso de los productos de flotación obtenidos.



**Tabla 15. Distribución en peso de los productos de flotación**

PRODUCTO	PESO (%)
CONCENTRADO	43,58
RESIDUO 2ºR	2,37
RESIDUO 1ºR	8,26
ESTERIL	45,79

En la Tabla 16 se muestra el análisis químico y distribución de Au, Ag, Co y Azufre Total (S<sub>T</sub>) de los productos de flotación.

**Tabla 16. Análisis químico y distribución de los productos de flotación del mineral aurífero Stockwork**

MUESTRA	Peso %	LEYES				DISTRIBUCIÓN			
		Au (ppm)	S <sub>T</sub> (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Au (%)	S <sub>T</sub> (%)	Ag (%)	Co (%)
CONCENTRADO	43,58	0,40	53,38	4	796	75,55	96,26	75,55	96,17
RESIDUO 2ºR	2,37	0,10	5,04	1	76	1,03	0,49	1,03	0,50
RESIDUO 1ºR	8,26	0,10	2,45	1	40	3,58	0,84	3,58	0,92
ESTERIL	45,79	0,10	1,27	1	19	19,84	2,41	19,84	2,41
Todo-uno (r)	<b>100</b>	0,23	24,17	2,31	361	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Todo-uno (a)		0,26	25,47	2,00	352				



### 6.3. ENSAYOS REALIZADOS CON EL SW 3

#### 6.3.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

La composición química del mineral aurífero Stockwork de Tharsis (SW3) se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17. Composición Química

ELEMENTO	LEYES INICIALES
Ag (ppm)	2
Al (%)	4.86
As (ppm)	365
Ba (ppm)	115
Be (ppm)	0
Bi (ppm)	5
Ca (%)	0.04
Cd (ppm)	0
Ce (ppm)	18
Co (ppm)	35
Cr (ppm)	86
Cu (ppm)	243
Fe (%)	22.90
K (%)	0.67
La (ppm)	9
Li (ppm)	34
Mg (%)	1.52
Mn (ppm)	527
Mo (ppm)	1
Na (%)	0.02
Nb (ppm)	1



ELEMENTO	LEYES INICIALES
Ni (ppm)	28
P (ppm)	338
Pb (ppm)	390
Rb (ppm)	21
Sb (ppm)	4
Sc (ppm)	8
Se (ppm)	0
Sr (ppm)	6
Ti (%)	0.18
Tl (ppm)	1
V (ppm)	79
W (ppm)	9
Y (ppm)	4
Zn (ppm)	948
Au (ppm)	0.4
Azufre Total (%)	16.02

### 6.3.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA

La densidad promedio del mineral aurífero Stockwork de Tharsis, medida con el picnómetro de helio AccuPyc 1330 se muestra en la Tabla 18.

**Tabla 18. Densidad del mineral aurífero Stockwork de Tharsis**

	Densidad g/cm <sup>3</sup>
Stockwork SW3	3.34



### 6.3.3. ENSAYOS DE FLOTACIÓN DEL MINERAL AURÍFERO “STOCKWORK” DE THARSIS (SW3)

#### 6.3.3.1. FLOTACION CON DOS RELAVOS

Se realiza un ensayo de flotación con dos relavos, según las condiciones óptimas obtenidas en ensayos anteriores con las muestras SW1 y SW2. La granulometría obtenida ( $D_{80} < 15 \mu\text{m}$ ) se muestra en la Figura 9.

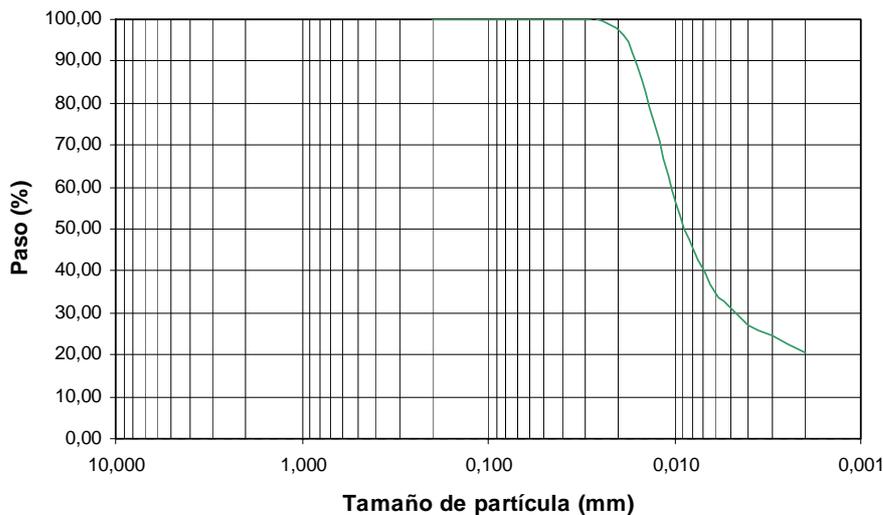


Figura 9. Distribución granulométrica del mineral aurífero Stockwork de Tharsis

#### Condiciones de la flotación

- Mineral aurífero Stockwork de Tharsis
- Densidad de pulpa: 20%
- pH = 4.5-5 (pH ajustado con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Colector: Aero Xantato 303: 250Kg/T
- 1 Desbaste y 2 Relavos
- Espumante: Aceite de pino
- Tiempo de acondicionamiento: 10min entre adición de reactivos
- $D_{80}$ : 15  $\mu\text{m}$



La Tabla 19 muestra el porcentaje de la distribución en peso de los productos de flotación obtenidos.

**Tabla 19. Distribución en peso de los productos de flotación**

PRODUCTO	PESO (%)
CONCENTRADO	26,24
RESIDUO 2ºR	2,60
RESIDUO 1ºR	13,79
ESTERIL	57,57

En la Tabla 20 se muestra el análisis químico y distribución de Au, Ag, Co y Azufre Total (S<sub>T</sub>) de los productos de flotación.

**Tabla 20. Análisis químico y distribución de los productos de flotación del mineral aurífero Stockwork**

MUESTRA	Peso %	LEYES				DISTRIBUCIÓN			
		Au (ppm)	S <sub>T</sub> (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Au (%)	S <sub>T</sub> (%)	Ag (%)	Co (%)
CONCENTRADO	26,24	1,10	56,39	4,00	122	71,03	80,26	54,52	66,43
RESIDUO 2ºR	13,79	0,40	16,08	2,00	50	13,57	12,03	14,33	14,31
RESIDUO 1ºR	2,60	0,20	6,38	1,00	26	1,28	0,90	1,35	1,40
ESTERIL	57,37	0,10	2,19	1,00	15	14,12	6,81	29,80	17,86
Todo-uno (r)	100	0,41	18,44	1,93	48	100	100	100	100
Todo-uno (a)		0,40	16,02	2,00	35				



## 7. ENSAYOS DE LIXIVIACION SOBRE MINERALES DE BAJA LEY PROCEDENTES DE LA FAJA PIRÍTICA

Se realizan ensayos de lixiviación comparativos sobre minerales de baja ley procedentes de la Faja Pirítica Ibérica, con sulfato férrico como agente lixivante. Se añade el sulfato férrico como ferriclar o como licor férrico procedente de la redisolución del precipitado obtenido en la etapa de precipitación férrica, como se observa en el diagrama de flujo de la Figura 1

Se ensayan con dos minerales de la Faja Pirítica Ibérica (Filón Norte de Tharsis y San Telmo), que se mezclan para obtener una ley inicial de zinc del 6,7 % denominado FN+ST 1 y del 4 % denominado FN+ST 2.

Se realiza inicialmente a escala laboratorio, confirmándose los resultados obtenidos a escala planta piloto, en la planta hidrometalúrgica de Tharsis

### 7.1. ENSAYOS DE LIXIVIACION SOBRE EL MINERAL FN+ST 1

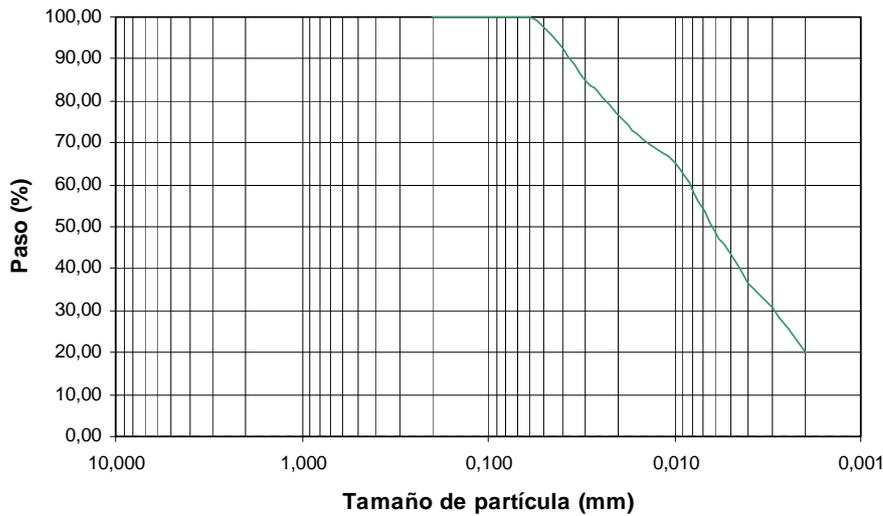
Para conseguir una alimentación de cabeza en el circuito de un 6,7% de zinc se mezclan homogéneamente el 55% del mineral de Filón Norte y el 45% del mineral de San Telmo.

La composición inicial del FN +ST 1 se muestra en la Tabla 21

**Tabla 21. Composición química inicial**

LEYES INICIALES	FN + ST
<b>Cu (%)</b>	0,93
<b>Fe (%)</b>	38,10
<b>Zn (%)</b>	6,7
<b>Pb (%)</b>	1,82

El mineral “pobre” obtenido se muele a tamaño fino. La curva granulométrica se muestra en la Figura 10.



**Figura 10. Distribución granulométrica del mineral FN+ST 1**

### 7.1.1. ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO y PLANTA PILOTO

La ley inicial en cobre (Cu) y zinc (Zn) del mineral FN+ST1 se muestra en la Tabla 22.

**Tabla 22. Ley inicial del concentrado FN+ST1**

ELEMENTO	LEYES INICIALES
Cu (%)	0,93
Zn (%)	6,70

#### 7.1.1.1. INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA. $D_{80} = 23 \mu\text{m}$

##### 7.1.1.1.1 ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE NUEVO (sulfato férrico).

Las condiciones iniciales del ensayo son las siguientes:

- **Temperatura:**  $>90^{\circ}\text{C}$
- **Densidad de pulpa (%):** 10%
- **pH:** 0.96
- **Licor planta piloto:** Fe(III): 35g/l
- **$D_{80}$ :** 23  $\mu\text{m}$



Los ensayos se realizan en laboratorio en reactores de 1 litro de capacidad, y se escalan en Planta Piloto, en una única etapa de lixiviación con un tiempo de residencia de 3 horas.

La evolución de los ensayos se muestra en la Tabla 23.

**Tabla 23. Evolución del ensayo**

<b>TIEMPO</b>	<b>pH</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Eh (mV)</b>	<b>Fe<sup>2+</sup></b>
10 min. TANQUE ACONDICIONAMIENTO	0,78	90,0	446	16010
1h REACTOR 1	0,79	91,0	384	27925
2h REACTOR 2	0,79	94,0	368	32672
3h REACTOR 3	0,85	92,0	330	35558

Las recuperaciones medias obtenidas a escala laboratorio y confirmadas a escala planta piloto se muestran en la Tabla 24 y 25

**Tabla 24. Ley Final**

		<b>Leyes finales (%)</b>	
<b>Producto</b>	<b>Peso (%)</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
<b>Residuo</b>	87	0.18	0.65

**Tabla 25. Rendimiento (%)**

<b>Rendimiento (%)</b>	
<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
84	92



### 7.1.1.1.2. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE RECICLADO (sulfato férrico reciclado)

Una vez precipitado todo el hierro presente en el licor de lixiviación de la planta piloto, después de una etapa de redisolución, se recupera el agente lixivianante con la misma concentración de la cabeza del proceso y se procede a introducirlo de nuevo en el circuito de lixiviación con el mineral FN+ST1.

Las condiciones iniciales del ensayo son las siguientes:

- **Temperatura:** >90°C
- **Densidad de pulpa (%):** 10%
- **pH:** 0.65<sup>1</sup>
- **Licor planta piloto:** Fe(III): 35g/l reciclado
- **D<sub>80</sub>:** 23 μm
- **Tiempo de residencia:** 3 horas

Los ensayos se realizan en laboratorio en reactores de 1 litro de capacidad, y se escalan en Planta Piloto, en una única etapa de lixiviación con un tiempo de residencia de 3 horas, con agente lixivianante reciclado procedente de la etapa de precipitación férrica/redisolución. La evolución del ensayo se muestra en la Tabla 26.

**Tabla 26. Evolución del ensayo**

TIEMPO	pH	T (°C)	Eh (mV)	Fe <sup>2+</sup>
10 min. TANQUE ACONDICIONAMIENTO	0,85	90,0	486	11542
1h PRIMER REACTOR	0,86	91,0	438	21223
2h SEGUNDO REACTOR	0,87	91,0	389	26622
3h TERCER REACTOR	0,87	92,0	338	29210

<sup>1</sup> pH obtenido en la redisolución del precipitado



Las recuperaciones medias obtenidas a escala laboratorio y confirmadas a escala planta piloto se muestran en la Tabla 27y 28.

**Tabla 27. Ley Final (%)**

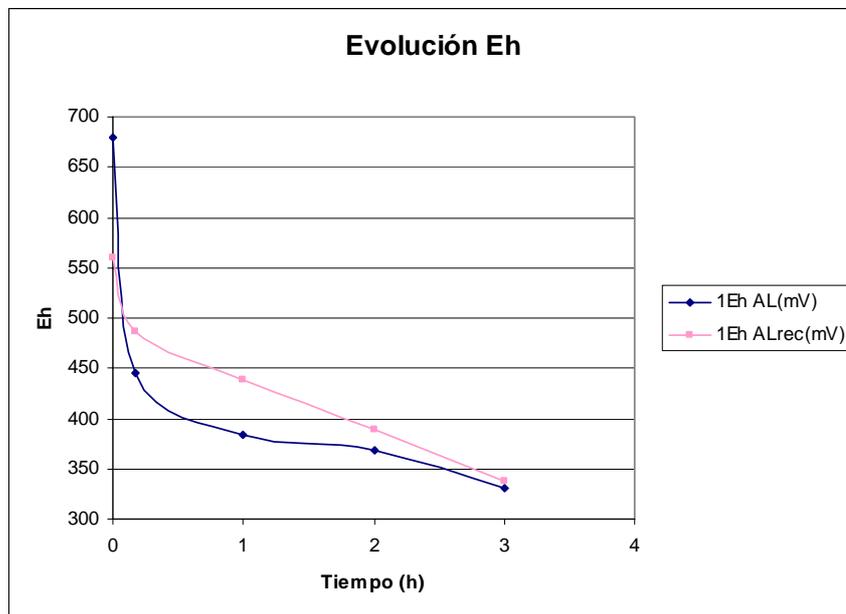
Producto	Peso (%)	Leyes finales (%)	
		Cu	Zn
Residuo	90	0,11	1,15

**Tabla 28. Rendimiento (%)**

Rendimiento (%)	
Cu	Zn
90	85

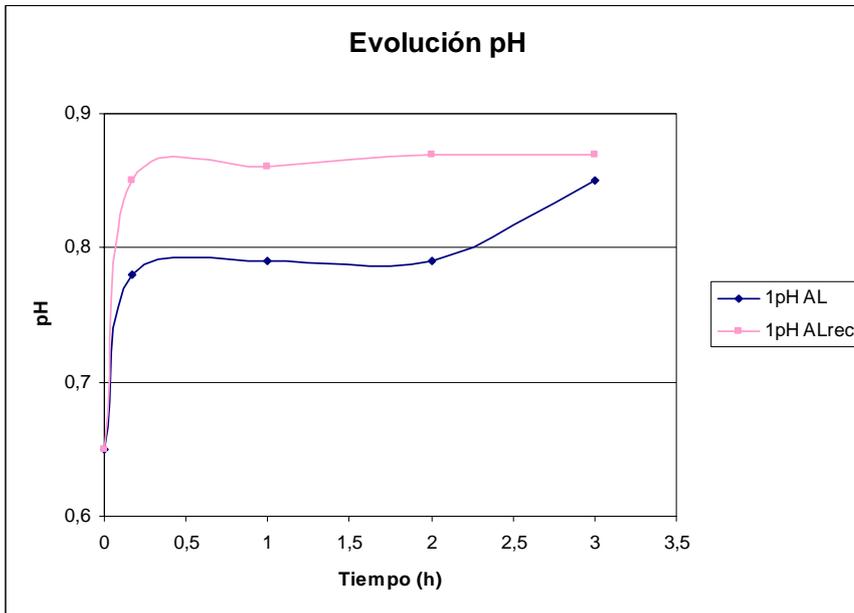
### Comparación de la evolución de los ensayos

#### Evolución del Eh

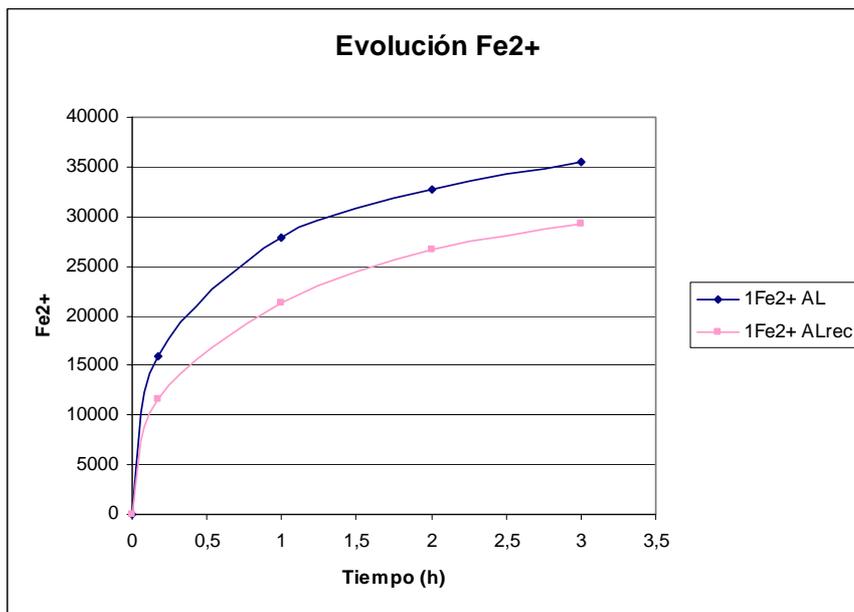




### Evolución del pH

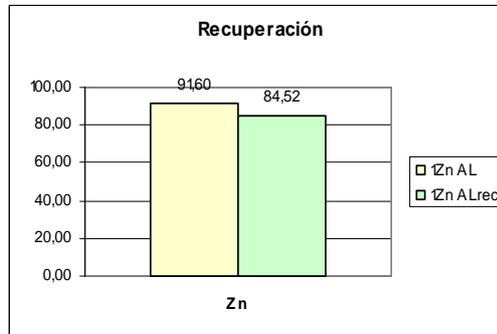
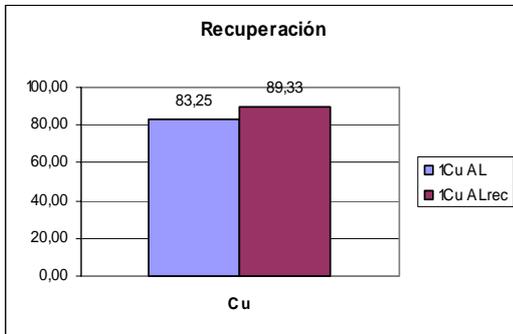


### Evolución del Fe<sup>2+</sup>





## Recuperación de Cu y Zn



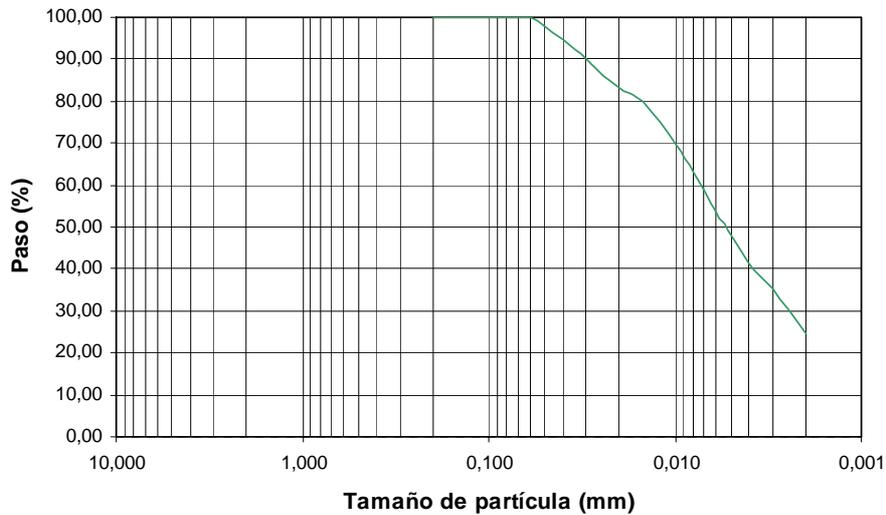
Se consigue una mayor recuperación de zinc, en las mismas condiciones operativas, utilizando agente lixivante nuevo, siendo la recuperación de cobre mayor cuando se utiliza el agente lixivante reciclado.

### 7.1.1.2. INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA. D80= 16 $\mu\text{m}$

#### 7.1.1.2.1. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE NUEVO (sulfato férrico).

Para conseguir un rendimiento mayor en la lixiviación de zinc, se realiza una segunda molienda del mineral "pobre", para obtener una superficie específica mayor y por tanto un mayor contacto de licor de lixiviación – mineral.

La distribución granulométrica se muestra en la Figura 11.



**Figura 11. Distribución granulométrica del mineral “pobre” FN+ST 1**

Las condiciones iniciales son las mismas del ensayo anterior para comparar los resultados obtenidos.

Las condiciones iniciales del ensayo son las siguientes:

- **Temperatura:** >90°C
- **Densidad de pulpa (%):** 10%
- **pH:** 0,94
- **Licor planta piloto:** Fe(III): 35g/l
- **D<sub>80</sub>:** 16 μm

Los ensayos se realizan en laboratorio en reactores de 1 litro de capacidad, y se escalan en Planta Piloto, en una única etapa de lixiviación con un tiempo de residencia de 3 horas.

La evolución de los ensayos se muestra en la Tabla 29.



**Tabla 29. Evolución del ensayo**

TIEMPO	pH	T (°C)	Eh (mV)	Fe <sup>2+</sup>
10 min. TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO	0,93	90,0	427	16755
1h PRIMER REACTOR	0,98	91,0	374	27925
2h SEGUNDO REACTOR	1,06 <sup>2</sup>	91,0	331	32393
3h TERCER REACTOR	1,05	97,0	311	33510

Las recuperaciones medias obtenidas a escala laboratorio y confirmadas a escala planta piloto se muestran en la Tabla 30 y 31.

**Tabla 30. Ley Final (%)**

		Leyes finales (%)	
Producto	Peso (%)	Cu	Zn
Residuo	87	0,32	0,73

**Tabla 31. Rendimiento (%)**

Rendimiento (%)	
Cu	Zn
70	91

Una granulometría inicial más fina no consigue un aumento en la recuperación de cobre y zinc, en el proceso de lixiviación, con las mismas condiciones operativas estudiadas.

<sup>2</sup> Se ajusta el pH a 1.00 con ácido sulfúrico



### 7.1.1.2.2. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE RECICLADO (sulfato férrico reciclado).

Las condiciones iniciales del ensayo son las siguientes:

- **Temperatura:** >90°C
- **Densidad de pulpa (%):** 10%
- **pH:** 0.85<sup>3</sup>
- **Licor planta piloto:** Fe(III): 35g/l reciclado
- **D<sub>80</sub>:** 16 μm

Los ensayos se realizan en laboratorio en reactores de 1 litro de capacidad, y se escalan en Planta Piloto, en una única etapa de lixiviación con un tiempo de residencia 3 horas, con agente lixivianante reciclado procedente de la etapa de precipitación férrica/redisolución.

La evolución de los ensayos se muestra en la Tabla 32.

**Tabla 32. Evolución del ensayo**

TIEMPO	pH	T (°C)	Eh (mV)	Fe <sup>2+</sup>
10 min. TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO	0,95	95,0	404	21223
1h PRIMER REACTOR	1,07 <sup>4</sup>	98,0	358	30159
2h SEGUNDO REACTOR	0,85	98,0	333	32952
3h TERCER REACTOR	0,85	98,0	318	33510

Las recuperaciones medias obtenidas a escala laboratorio y confirmadas a escala planta piloto se muestran en la Tabla 33 y 34.

<sup>3</sup> pH obtenido en la redisolución del precipitado

<sup>4</sup> Se ajusta el pH a 1.00 con ácido sulfúrico



Tabla 33. Ley Final (%)

Producto	Peso (%)	Leyes finales (%)	
		Cu	Zn
Residuo	87	0,40	0,75

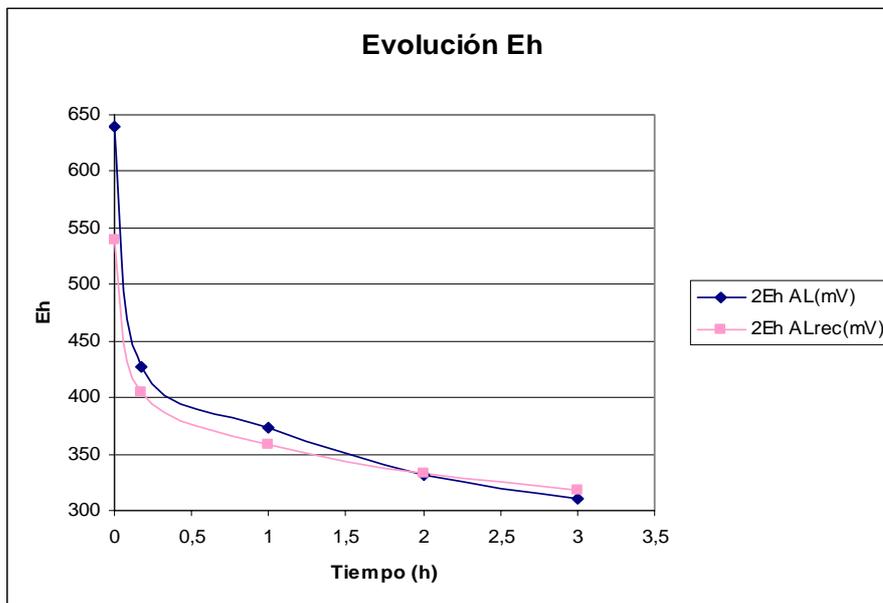
Tabla 34. Rendimiento (%)

Rendimiento (%)	
Cu	Zn
63	90

Aumenta el rendimiento de lixiviación de zinc, bajando la lixiviación del cobre

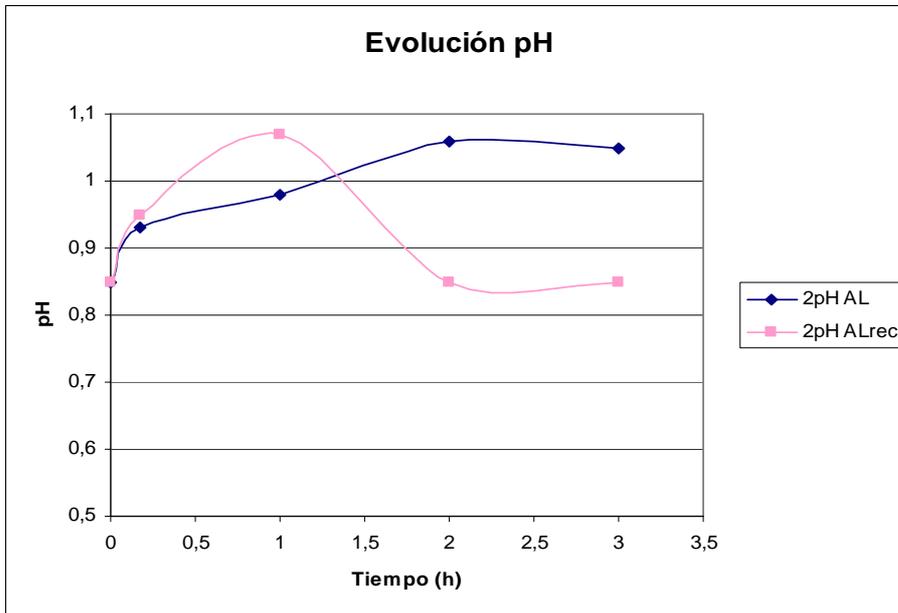
### Comparación de la evolución de los ensayos

#### Evolución Eh

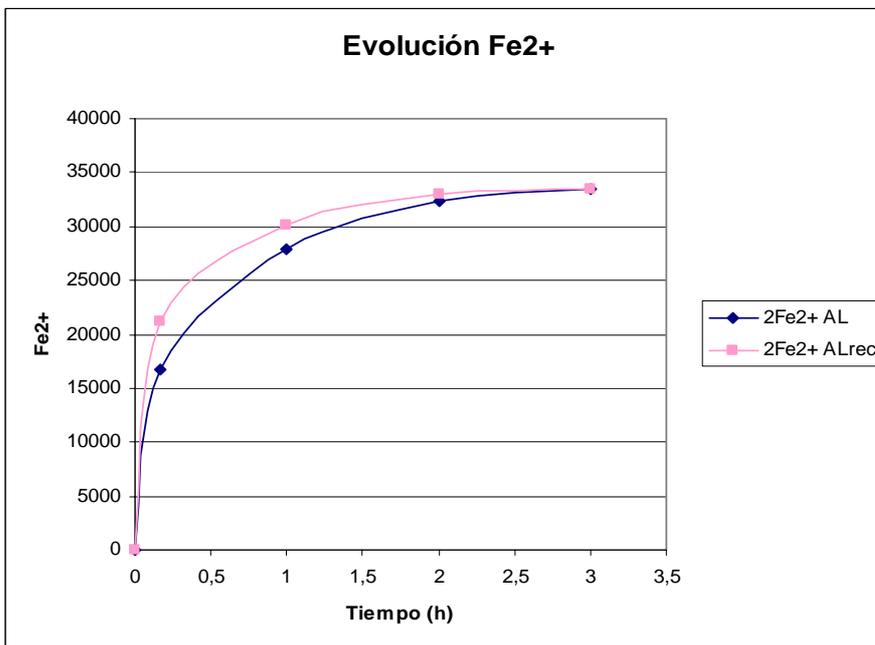




### Evolución del pH

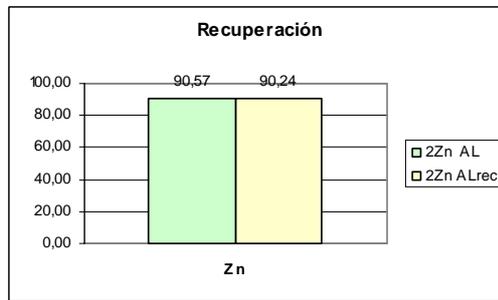
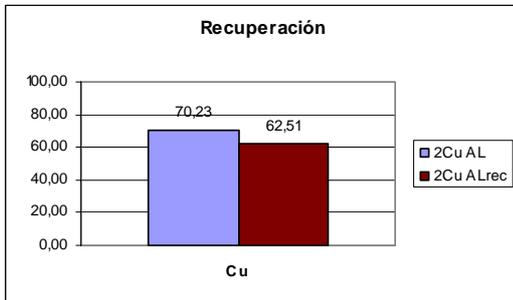


### Evolución Fe2+



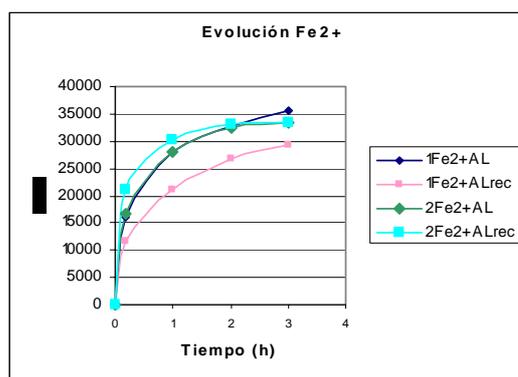
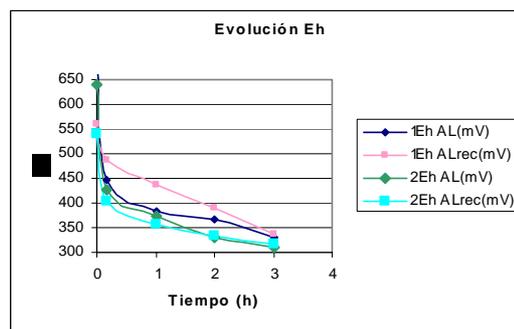
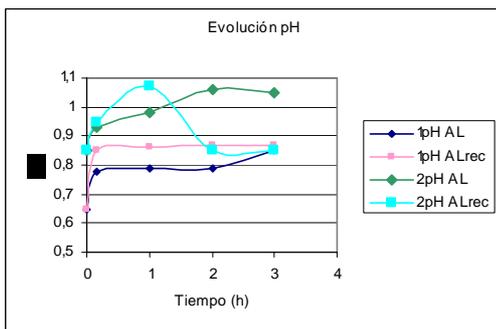


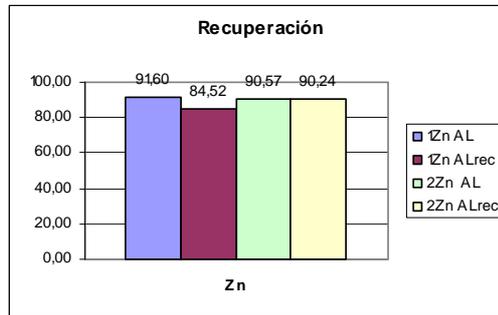
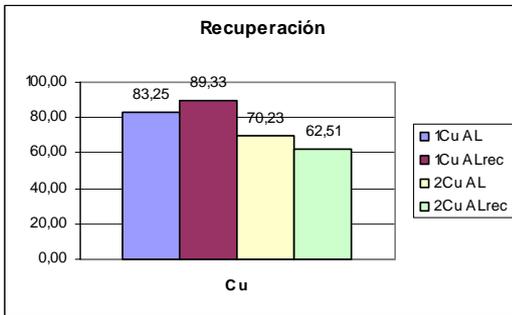
### Recuperación de Cu y Zn



Se puede observar que al aumentar la superficie de contacto entre el mineral “pobre” y el agente lixivante se consigue aumentar el porcentaje de lixiviación de zinc, no observándose diferencias en la lixiviación de cinc utilizando agente lixivante normal y reciclado.

Comparativamente los resultados obtenidos en ambos ensayos son los siguientes:





### 7.1.1.3. INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA. $D_{80}= 11 \mu\text{m}$

#### 7.1.1.3.1. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE NUEVO (sulfato férrico).

Para conseguir un rendimiento mayor en la lixiviación de zinc, se realiza una tercera molienda del concentrado “pobre”, para obtener una superficie específica mayor y por tanto un mayor contacto de licor de lixiviación – mineral.

La distribución granulométrica se muestra en la Figura 12.

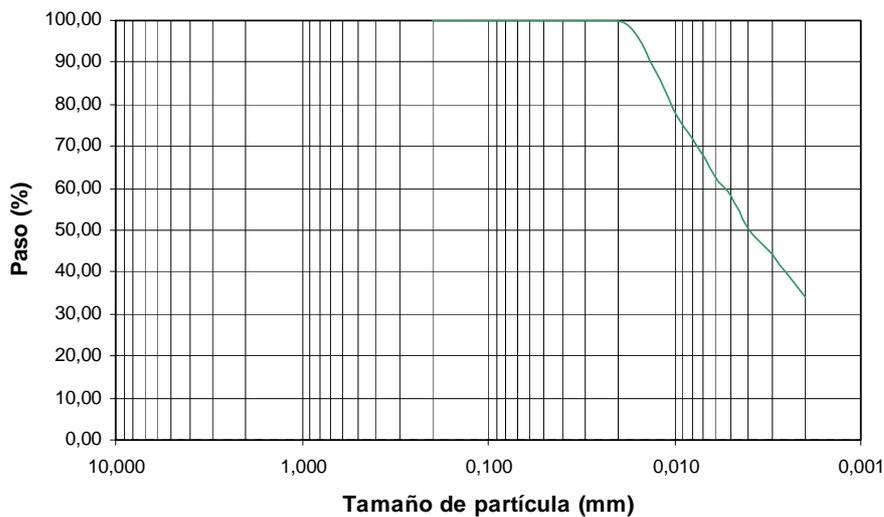


Figura 12. Distribución granulométrica del mineral “pobre” FN+ST 1



Las condiciones iniciales son las mismas del ensayo anterior para comparar los resultados obtenidos.

Las condiciones iniciales del ensayo son las siguientes:

- **Temperatura:** >90°C
- **Densidad de pulpa (%):** 10%
- **pH:** 0.85<sup>5</sup>
- **Licor planta piloto:** Fe(III): 35g/l
- **D<sub>80</sub>:** 11 μm

Los ensayos se realizan en laboratorio en reactores de 1 litro de capacidad, y se escalan en Planta Piloto, en una única etapa de lixiviación con un tiempo de residencia de 3 horas.

La evolución de los ensayos se muestra en la Tabla 35.

**Tabla 35. Evolución del ensayo**

TIEMPO	pH	T (°C)	Eh (mV)	Fe <sup>2+</sup>
10 min. TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO	0,85	87,0	440	15638
1h PRIMER REACTOR	0,89	90,0	407	26640
2h SEGUNDO REACTOR	0,88	92,0	339	32225
3h TERCER REACTOR	0,85	91,0	327	32952

Las recuperaciones medias obtenidas a escala laboratorio y confirmadas a escala planta piloto se muestran en la Tabla 36 y 37.

**Tabla 36. Ley Final (%)**

		Leyes finales (%)	
Producto	Peso (%)	Cu	Zn
Residuo	86	0,23	1,11

<sup>5</sup> pH obtenido en la redisolución del precipitado



**Tabla 37. Rendimiento (%)**

Rendimiento (%)	
Cu	Zn
79	86

La recuperación del Zn ha disminuido con una granulometría inicial más fina, sin embargo la del Cu ha aumentado.

### 7.1.1.3.2. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE RECICLADO (sulfato férrico reciclado).

Las condiciones iniciales del ensayo son las siguientes:

- **Temperatura:** >90°C
- **Densidad de pulpa (%):** 10%
- **pH:** 0.85<sup>6</sup>
- **Licor planta piloto:** Fe(III): 35g/l reciclado
- **D<sub>80</sub>:** 11 μm

Los ensayos se realizan en laboratorio en reactores de 1 litro de capacidad, y se escalan en Planta Piloto, en una única etapa de lixiviación con un tiempo de residencia de 3 horas, con agente lixivianante reciclado procedente de la etapa de precipitación férrica/redisolución.

La evolución de los ensayos se muestra en la Tabla 38.

**Tabla 38. Evolución del ensayo**

TIEMPO	pH	T (°C)	Eh (mV)	Fe <sup>2+</sup>
10 min. TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO	0,62	90,0	440	17872
1h PRIMER REACTOR	0,63	90,0	408	26250
2h SEGUNDO REACTOR	0,62	91,0	366	31276
3h TERCER REACTOR	0,65	91,5	336	32393

<sup>6</sup> pH obtenido en la redisolución del precipitado



Las recuperaciones medias obtenidas a escala laboratorio y confirmadas a escala planta piloto se muestran en la Tabla 39 y 40.

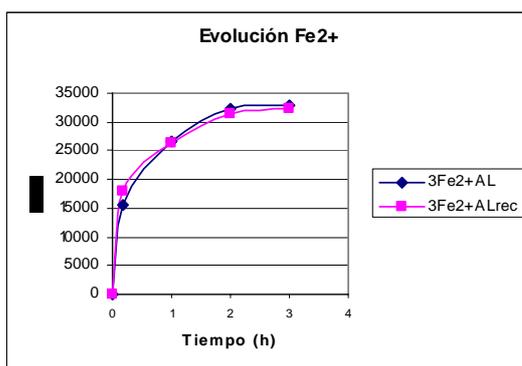
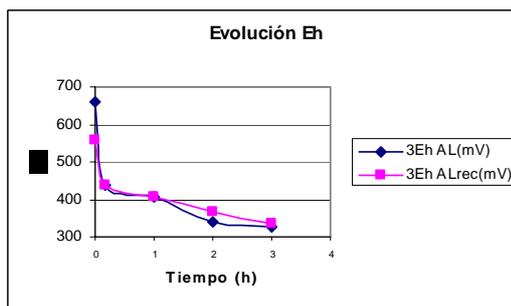
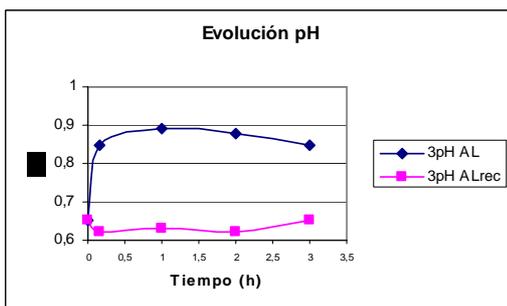
**Tabla 39. Ley Final (%)**

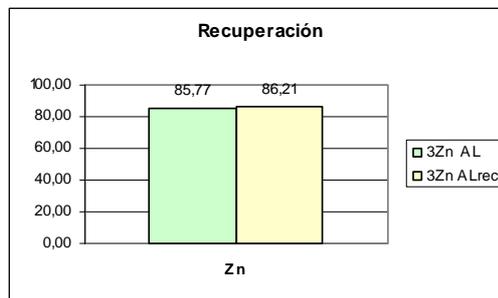
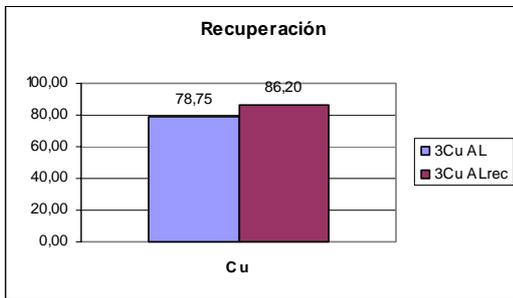
Producto	Peso (%)	Leyes finales (%)	
		Cu	Zn
Residuo	86	0,15	1,08

**Tabla 40. Rendimiento (%)**

Rendimiento (%)	
Cu	Zn
86	86

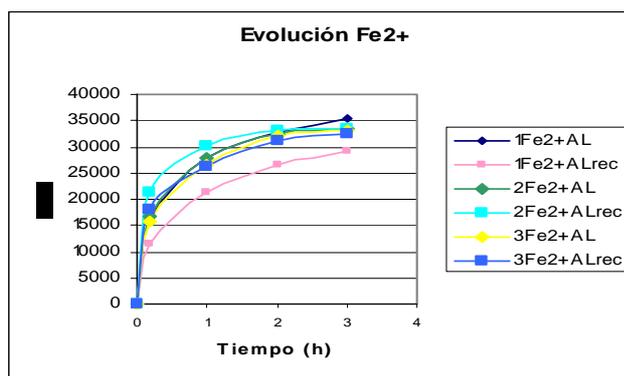
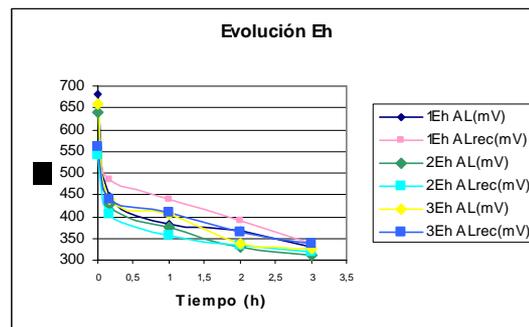
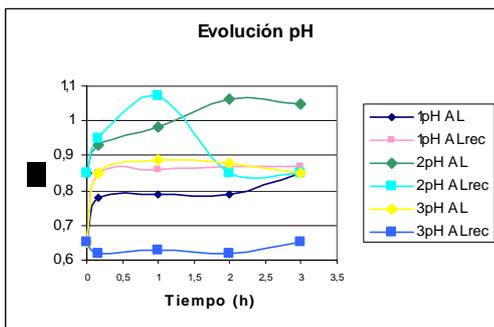
Al igual que en los ensayos de lixiviación con sulfato férrico nuevo, la recuperación del zinc con mineral mas fino, disminuye, sin embargo la del cobre aumenta.

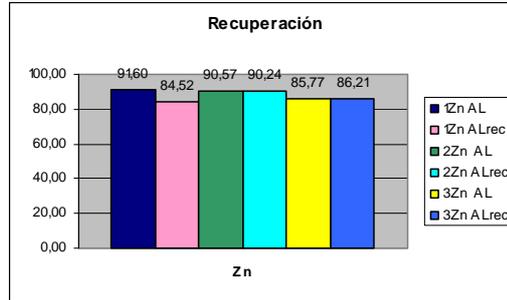
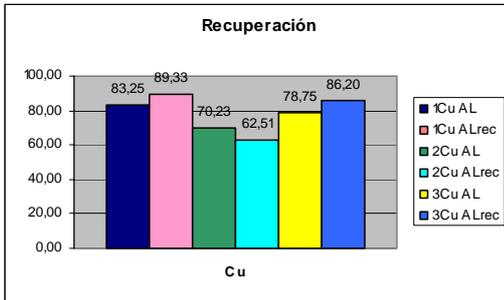




Se puede observar que al aumentar la superficie de contacto entre el concentrado “pobre” y el agente lixiviante se consigue aumentar el porcentaje de lixiviación de cobre, no observándose diferencias en la lixiviación de zinc utilizando agente lixiviante normal y reciclado, que en ambos casos disminuye.

En las figuras siguientes se observa comparativamente los resultados obtenidos en los ensayos.







## 7.2. ENSAYOS DE LIXIVIACION SOBRE EL MINERAL FN+ST 2

Para conseguir el mineral reconstituido al 4,02% de zinc se mezclan homogéneamente el 52% de FN+ST1 y el 48% del concentrado Filón Norte (Tharsis), cuya composición química se muestra en la tabla 41.

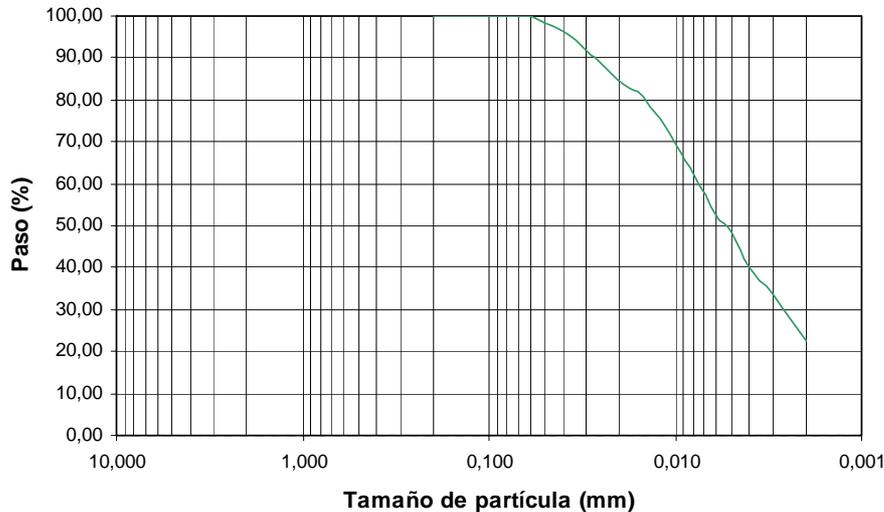
**Tabla 41. Composición química inicial**

LEYES INICIALES	Filón Norte (Tharsis)
<b>Cu (%)</b>	0.65
<b>Fe (%)</b>	41.80
<b>Zn (%)</b>	4.02
<b>Pb (%)</b>	1.07

### 7.2.1. ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO Y PLANTA PILOTO

#### 7.2.1.1. INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA. $D_{80} = 15 \mu\text{m}$

El mineral “pobre” obtenido se muele a tamaño fino. La curva granulométrica inicial se muestra en la Figura 13.



**Figura 13. Distribución granulométrica del mineral “pobre” FN+ST 2**



La ley inicial en cobre (Cu) y zinc (Zn) del mineral FN+ST2 se muestra en la Tabla 42.

**Tabla 42. Ley inicial del concentrado FN+ST2**

LEYES INICIALES	
ELEMENTO	
Cu (%)	0.65
Zn (%)	4.02

#### 7.2.1.1.1. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE NUEVO (sulfato férrico)

Las condiciones iniciales del ensayo son las siguientes:

- **Temperatura:** >90°C
- **Densidad de pulpa (%):** 10%
- **pH:** 0,90
- **Licor planta piloto:** Fe(III): 35g/l
- **D<sub>80</sub>:** 15 µm

Los ensayos se realizan en laboratorio en reactores de 1 litro de capacidad, y se escalan en Planta Piloto, en una única etapa de lixiviación con un tiempo de residencia de 3 horas.

La evolución de los ensayos se muestra en la Tabla 43.

**Tabla 43. Evolución del ensayo**

TIEMPO	pH	T (°C)	Eh (mV)	Fe <sup>2+</sup>
10 min. TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO	0,65	93,0	430	20665
1h PRIMER REACTOR	0,65	95,0	312	32393
2h SEGUNDO REACTOR	0,65	98,0	242	35333
3h TERCER REACTOR	0,68	98,0	239	35576



Las recuperaciones medias obtenidas a escala laboratorio y confirmadas a escala planta piloto se muestran en la Tabla 44 y 45.

**Tabla 44. Ley Final (%)**

Producto	Peso (%)	Leyes finales (%)	
		Cu	Zn
Residuo	87	0,19	0,47

**Tabla 45. Rendimiento (%)**

Rendimiento (%)	
Cu	Zn
75	90

#### **7.2.1.1.2. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE RECICLADO (sulfato férrico reciclado)**

Una vez precipitado todo el hierro presente en el licor de lixiviación de la planta piloto y redisolto, se recupera el agente lixivante en la misma concentración de la cabeza del proceso y se procede a introducirlo de nuevo en el circuito de lixiviación con el mineral FN+ST1

Las condiciones iniciales del ensayo son las siguientes:

- **Temperatura:** >90°C
- **Densidad de pulpa (%):** 10%
- **pH:** 0.65<sup>7</sup>
- **Licor planta piloto:** Fe(III): 35g/l reciclado
- **D<sub>80</sub>:** 15 μm

Los ensayos se realizan en laboratorio en reactores de 1 litro de capacidad, y se escalan en Planta Piloto, en una única etapa de lixiviación con un tiempo de residencia de 3 horas, con agente lixivante reciclado procedente de la etapa de precipitación férrica/redisolución.

La evolución de los ensayos se muestra en la Tabla 46.

<sup>7</sup> pH obtenido en la redisolución del precipitado



**Tabla 46. Evolución del ensayo**

TIEMPO	pH	T (°C)	Eh (mV)	Fe <sup>2+</sup>
10 min. TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO	0,85	90,0	486	11542
1h PRIMER REACTOR	0,86	91,0	438	21223
2h SEGUNDO REACTOR	0,87	91,0	389	26622
3h TERCER REACTOR	0,87	92,0	338	29210

Las recuperaciones medias obtenidas a escala laboratorio y confirmadas a escala planta piloto se muestran en la Tabla 47 y 48.

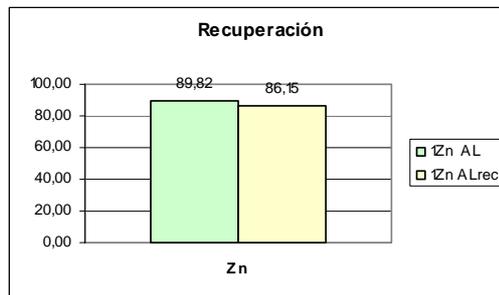
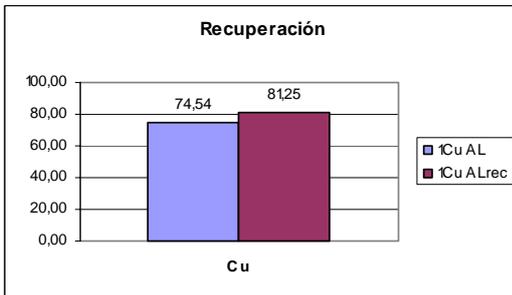
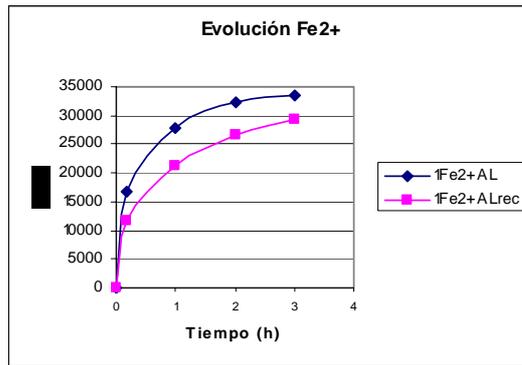
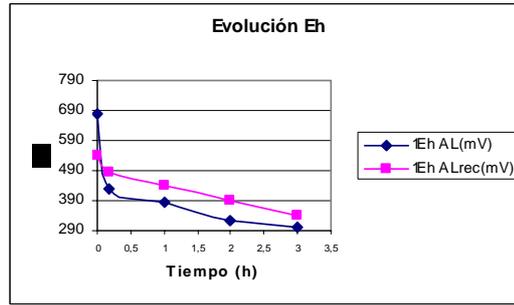
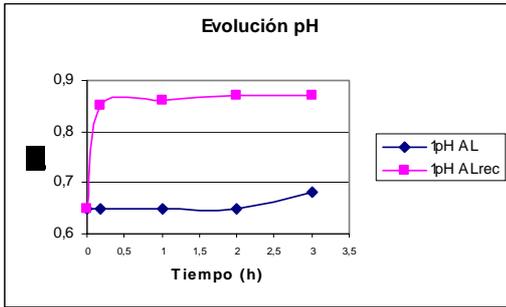
**Tabla 47. Ley Final (%)**

		Leyes finales (%)	
Producto	Peso (%)	Cu	Zn
Residuo	87	0,14	0,64

**Tabla 48. Rendimiento (%)**

Rendimiento (%)	
Cu	Zn
81	86

En las figuras siguientes se observa comparativamente los resultados obtenidos en los ensayos.



Para conseguir un rendimiento mayor en la lixiviación de zinc, se realiza una segunda molienda del concentrado “pobre”, para obtener una superficie específica mayor y por tanto un mayor contacto de licor de lixiviación – mineral. Las condiciones iniciales son las mismas del ensayo anterior para comparar los resultados obtenidos.



## 7.2.1.2. INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA. $D_{80} = 12 \mu\text{m}$

### 7.2.1.2.1. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE NUEVO (sulfato férrico)

Las condiciones iniciales del ensayo son las siguientes:

- **Temperatura:**  $>90^{\circ}\text{C}$
- **Densidad de pulpa (%):** 10%
- **pH:** 0,90
- **Licor planta piloto:** Fe(III): 35g/l
- **$D_{80}$ :** 12  $\mu\text{m}$

Los ensayos se realizan en laboratorio en reactores de 1 litro de capacidad, y se escalan en Planta Piloto, en una única etapa de lixiviación con un tiempo de residencia de 3 horas.

La distribución granulométrica se muestra en la Figura 14.

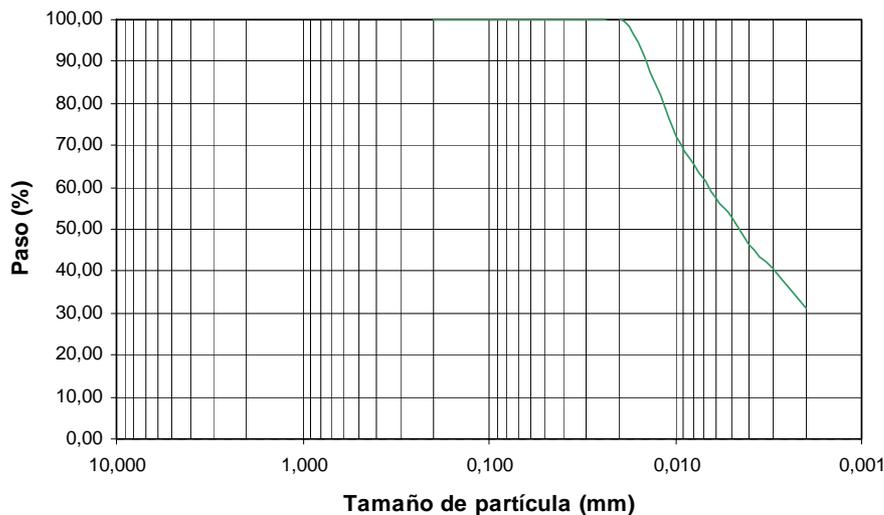


Figura 14. Distribución granulométrica del mineral "pobre" FN+ST 2



La evolución del ensayo se muestra en la Tabla 49.

**Tabla 49. Evolución del ensayo**

TIEMPO	pH	T (°C)	Eh (mV)	Fe <sup>2+</sup>
10 min. TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO	0,85	89,0	457	13404
1h PRIMER REACTOR	0,83	90,0	398	25412
2h SEGUNDO REACTOR	0,83	91,0	360	30159
3h TERCER REACTOR	0,85	91,5	337	31835

Las recuperaciones medias obtenidas a escala laboratorio y confirmadas a escala planta piloto se muestran en la Tabla 50 y 51.

**Tabla 50. Ley Final (%)**

Producto	Peso (%)	Leyes finales (%)	
		Cu	Zn
Residuo	87,71	0,10	0,53

**Tabla 51. Rendimiento (%)**

Rendimiento (%)	
Cu	Zn
86.51	88.44

#### **7.2.1.2.2. ENSAYOS CON AGENTE LIXIVIANTE RECICLADO (sulfato férrico reciclado)**

Una vez precipitado todo el hierro presente en el licor de lixiviación de la planta piloto y rediseñado, se recupera el agente lixivianante en la misma concentración de la cabeza del proceso y se procede a introducirlo de nuevo en el circuito de lixiviación con el mineral FN+ST 2.



Las condiciones iniciales del ensayo son las siguientes:

- **Temperatura:** >90°C
- **Densidad de pulpa (%):** 10%
- **pH:** 0.85<sup>8</sup>
- **Licor planta piloto:** Fe(III): 35g/l reciclado
- **D<sub>80</sub>:** 12 μm

Los ensayos se realizan en laboratorio en reactores de 1 litro de capacidad, y se escalan en Planta Piloto, en una única etapa de lixiviación con un tiempo de residencia de 3 horas, con agente lixiviante reciclado procedente de la etapa de precipitación férrica/redisolución.

La evolución del ensayo se muestra en la Tabla 52.

**Tabla 52. Evolución del ensayo**

TIEMPO	Ph	T (°C)	Eh (mV)	Fe <sup>2+</sup>
10 min. TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO	0,95	95,0	404	21223
1h PRIMER REACTOR	0,98	98,0	358	30159
2h SEGUNDO REACTOR	0,85	98,0	333	32952
3h TERCER REACTOR	0,85	98,0	318	33510

Las recuperaciones medias obtenidas a escala laboratorio y confirmadas a escala planta piloto se muestran en la Tabla 53 y 54.

**Tabla 53. Ley Final (%)**

Producto	Peso (%)	Leyes finales (%)	
		Cu	Zn
Residuo	86	0,14	0,51

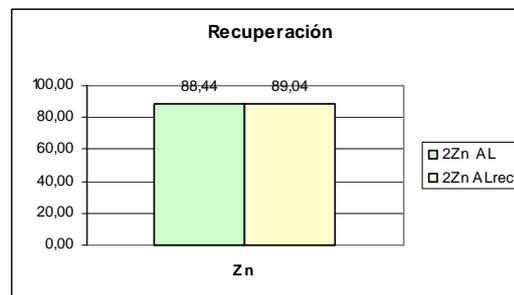
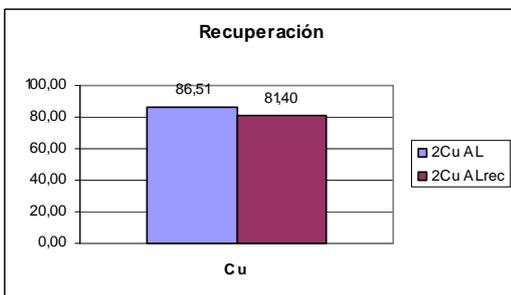
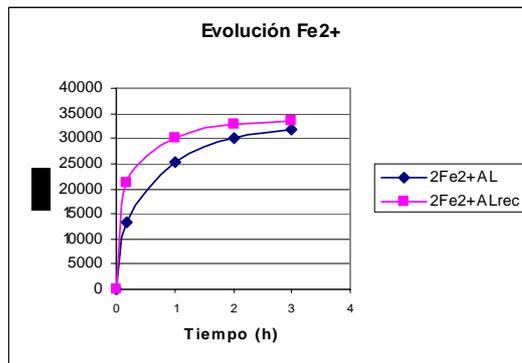
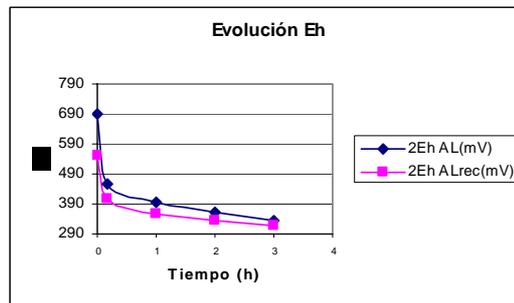
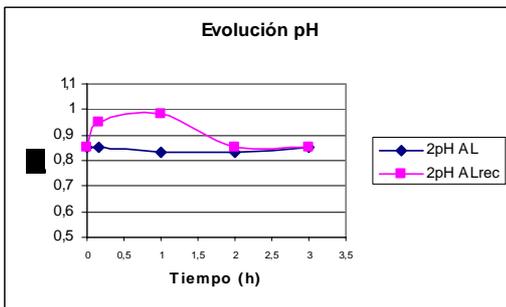
<sup>8</sup> pH obtenido en la redisolución del precipitado



**Tabla 54. Rendimiento (%)**

Rendimiento (%)	
Cu	Zn
81	89

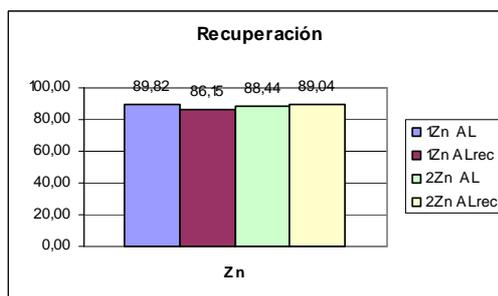
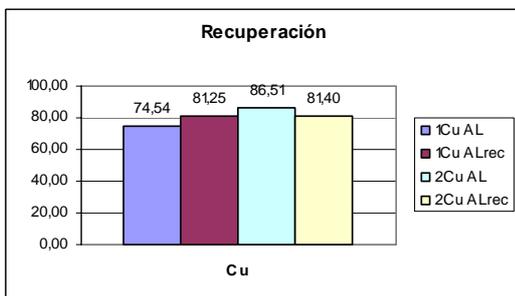
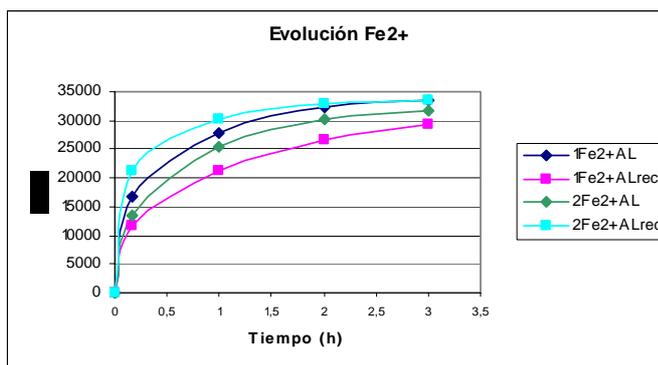
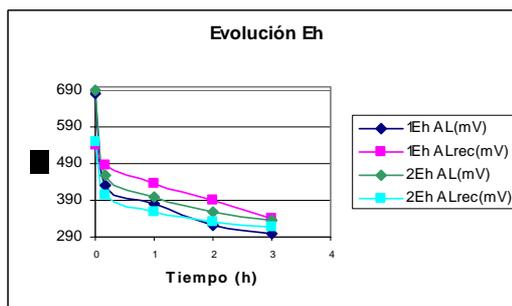
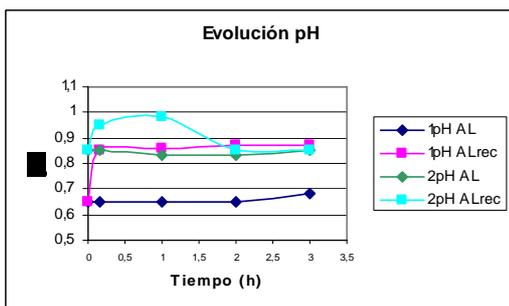
En las figuras siguientes se observa comparativamente los resultados obtenidos en los ensayos.





Se puede observar que al aumentar la superficie de contacto entre el concentrado "pobre" y el agente lixiviante se consigue aumentar el porcentaje de lixiviación de cobre, no observándose diferencias en la lixiviación de cinc utilizando agente lixiviante normal y reciclado.

En las figuras siguientes se observa comparativamente los resultados obtenidos en todos los ensayos realizados.





## 8. ESTUDIO ECONÓMICO DE UNA PLANTA HIDROMETALÚRGICA DE UNA CAPACIDAD DE 50.000 TM DE ZN METAL/AÑO, PARA TRATAR MINERALES TODO-UNO Y COMPARACIÓN CON EL TRATAMIENTO MEDIANTE FLOTACIÓN DIFERENCIAL

### 8.1. Bases del estudio económico

Paridad €/€ = 1.35  
Cotización Cu = 7.300 \$/Tm  
Cotización Pb = 3.000 \$/Tm  
Cotización Zn = 3.000 \$/Tm  
Cotización Ag = 13 \$/onza troy

#### FLOTACION DIFERENCIAL

	Tm/año	Leyes			Recuperaciones		
		%Cu	% Pb	% Zn	%Cu	% Pb	% Zn
<b>Alimentación</b>	696.185	1,00	1,00	7,56	100,00	100,00	100,00
<b>Cdo. Cu</b>	21.188	23,00	1,00	3,00	70,00	3,04	1,21
<b>Cdo. Pb</b>	10.830	1,20	45,00	7,00	1,86	70,00	1,44
<b>Cdo. Zn</b>	84.409	0,61	0,50	53,00	7,40	6,06	85,00
<b>ESTERIL</b>	579.758	0,25	0,25	1,12	20,74	20,90	12,35

GASTOS: 19,59 MILLONES €/AÑO  
VENTAS: 82.60 MILLONES €/AÑO  
BENEFICIO BRUTO: 63,01 MILLONES €/AÑO

#### PLANTA HIDROMETALÚRGICA 50.000 Tm Zn metal/año

- GASTOS: 43,30 MILLONES €/AÑO
- VENTAS: 154,00 MILLONES €/AÑO
- BENEFICIO BRUTO: 110,70 MILLONES €/AÑO



## 8.2 . Bases del estudio económico

Paridad €/\\$ =1.28  
 Cotización Cu = 4.284 \$/Tm  
 Cotización Pb = 1.235 \$/Tm  
 Cotización Zn = 1.124 \$/Tm  
 Cotización Ag = 10 \$/onza troy

### FLOTACION DIFERENCIAL

	Tm/año	Leyes			Recuperaciones		
		%Cu	% Pb	% Zn	%Cu	% Pb	% Zn
<b>Alimentación</b>	696.185	1,00	1,00	7,56	100,00	100,00	100,00
<b>Cdo. Cu</b>	21.188	23,00	1,00	3,00	70,00	3,04	1,21
<b>Cdo. Pb</b>	10.830	1,20	45,00	7,00	1,86	70,00	1,44
<b>Cdo. Zn</b>	84.409	0,61	0,50	53,00	7,40	6,06	85,00
<b>ESTERIL</b>	579.758	0,25	0,25	1,12	20,74	20,90	12,35

GASTOS: 19,59 MILLONES €/AÑO  
 VENTAS: 27.58 MILLONES €/AÑO  
 BENEFICIO BRUTO: 7.99 MILLONES €/AÑO

### PLANTA HIDROMETALÚRGICA 50.000 Tm Zn metal/año

- GASTOS: 43,30 MILLONES €/AÑO
- VENTAS: 66.38 MILLONES €/AÑO
- BENEFICIO BRUTO: 23.08 MILLONES €/AÑO

## 8.3. Bases del estudio económico

Paridad €/\\$ =1.35  
 Cotización Cu = 7.300 \$/Tm  
 Cotización Pb = 3.000 \$/Tm  
 Cotización Zn = 3.000 \$/Tm  
 Cotización Ag = 13 \$/onza troy



## FLOTACION DIFERENCIAL

	Tm/año	Leyes			Recuperaciones		
		%Cu	% Pb	% Zn	%Cu	% Pb	% Zn
<b>Alimentación</b>	1.388.889	0.65	1.50	4.00	100,00	100,00	100,00
<b>Cdo. Cu</b>	148.52	22,50	2,00	2,70	42,00	1,80	0,70
<b>Cdo. Pb</b>	18.727	1,20	44,50	7,00	3,30	40,00	2,50
<b>Cdo. Zn</b>	90.994	0,61	1,40	47,50	7,60	7,00	77,80
<b>ESTERIL</b>	1.262.316	0,35	0,86	0,84	47,00	51,20	19,10

GASTOS: 39,08 MILLONES €/AÑO  
VENTAS: 88,75 MILLONES €/AÑO  
BENEFICIO BRUTO: 49,57 MILLONES €/AÑO

## PLANTA HIDROMETALÚRGICA 50.000 Tm Zn metal/año

- GASTOS: 52,06 MILLONES €/AÑO
- VENTAS: 165,18 MILLONES €/AÑO
- BENEFICIO BRUTO: 109,16 MILLONES €/AÑO

### 8.4. Bases del estudio económico

Paridad €/\\$ = 1.28  
Cotización Cu = 4.284 \$/Tm  
Cotización Pb = 1.235 \$/Tm  
Cotización Zn = 1.124 \$/Tm  
Cotización Ag = 10 \$/onza troy



## FLOTACION DIFERENCIAL

	Tm/año	Leyes			Recuperaciones		
		%Cu	% Pb	% Zn	%Cu	% Pb	% Zn
<b>Alimentación</b>	1.388.889	0,65	1,50	4,00	100,00	100,00	100,00
<b>Cdo. Cu</b>	16.852	22,50	2,00	2,70	42,00	1,80	0,70
<b>Cdo. Pb</b>	18.727	1,20	44,50	7,00	3,30	40,00	2,50
<b>Cdo. Zn</b>	90.994	0,61	1,40	47,50	7,60	7,00	77,80
<b>ESTERIL</b>	1.262.316	0,35	0,86	0,84	47,00	51,20	19,10

GASTOS: 39,08 MILLONES €/AÑO

VENTAS: 32,75 MILLONES €/AÑO

BENEFICIO BRUTO: (-6,33) MILLONES €/AÑO

## PLANTA HIDROMETALÚRGICA 50.000 Tm Zn metal/año

- GASTOS: 56,02 MILLONES €/AÑO
- VENTAS: 74,89 MILLONES €/AÑO
- BENEFICIO BRUTO: 18,87 MILLONES €/AÑO

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



## 9. CONCLUSIONES

- 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, con altísimas recuperaciones en estos metales 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 con muestra representativa de algún yacimiento.
- 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 metálicas.

### 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	
	<b>Flotación diferencial</b>	<b>Planta hidrometalúrgica</b>	<b>Flotación diferencial</b>	<b>Planta hidrometalúrgica</b>
<b>BENEFICIO BRUTO (MILLONES €/AÑO)</b>	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	
	<b>Flotación diferencial</b>	<b>Planta hidrometalúrgica</b>	<b>Flotación diferencial</b>	<b>Planta hidrometalúrgica</b>
<b>BENEFICIO BRUTO (MILLONES €/AÑO)</b>	49.67	109.16	-6.33	18.87



- 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.