

62689

INVESTIGACION PARA LA RECUPERACIÓN DEL  
AZUFRE DEL RESIDUO DE LA PLANTA  
HIDROMETALURGICA PARA EL APROVECHAMIENTO  
DE LOS RECURSOS DE LA FAJA PIRITICA

MEMORIA DEL PROYECTO



MINISTERIO  
DE CIENCIA  
Y TECNOLOGÍA



Instituto Geológico  
y Minero de España



MINISTERIO  
DE CIENCIA  
Y TECNOLOGÍA



Instituto Geológico  
y Minero de España

**INVESTIGACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DEL AZUFRE DEL RESIDUO DE  
LA PLANTA HIDROMETALURGICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS  
RECURSOS DE LA FAJA PIRITICA**

**MEMORIA DEL PROYECTO**



## INDICE

- 1. MEMORIA DESCRIPTIVA Y TECNICA**
  - 1.1. Objetivo de proyecto**
  - 1.2. Descripción del proyecto**
  - 1.3. Novedad Tecnológica y/o funcional del proceso**
  - 1.4. Introducción Técnica**
    - 1.4.1. Flotación
    - 1.4.2. Azufre
- 2. APARATOS y EQUIPOS**
- 3. PERSONAL**
- 4. MATERIALES Y METODOLOGIA**
  - 4.1. Materiales**
  - 4.2. Metodología**
- 5. RESULTADOS**
  - 5.1. Ensayos de Flotación**
    - 5.1.1 Ensayo A de flotación
    - 5.1.2 Ensayo B de flotación
    - 5.1.3 Ensayo C de flotación
    - 5.1.4 Ensayo D de flotación
    - 5.1.5 Ensayo E de flotación
    - 5.1.6 Ensayo F de flotación
    - 5.1.7 Ensayo G de flotación



## **5.2. Ensayos de recuperación de azufre**

### 5.2.1. Ensayos de licuación

### 5.2.2 Pruebas preliminares de recuperación de azufre elemental con queroseno

#### 5.2.2.1 *Primera Prueba*

#### 5.2.2.2 *Segunda Prueba*

#### 5.2.2.3 *Tercera Prueba*

#### 5.2.2.4 *Cuarta Prueba*

#### 5.2.2.5 *Quinta Prueba*

#### 5.2.2.6 *Sexta Prueba*

#### 5.2.2.7 *Séptima Prueba*

#### 5.2.2.8 *Octava Prueba*

### 5.2.3 Ensayo de recuperación de azufre elemental con queroseno sobre el residuo procedente de la lixiviación en la Planta Piloto

#### 5.2.3.1 *Primer lavado*

#### 5.2.3.2 *Segundo lavado*

### 5.2.4 Ensayo de recuperación de azufre elemental con queroseno sobre el flotado obtenido de un ensayo de Flotación sobre el residuo procedente de la lixiviación de la Planta Piloto

#### 5.2.4.1 *Primer lavado*

#### 5.2.4.2 *Segundo lavado*

## **6. CONCLUSIONES**

## **7. BIBLIOGRAFIA**



## **1. MEMORIA DESCRIPTIVA Y TECNICA**

### **1.1. Objetivo del proyecto**

El Instituto Geológico y Minero de España está desarrollando la investigación industrial de un nuevo proceso hidrometalúrgico para el aprovechamiento de los recursos minerales de la Faja Pirítica, para lo que ha construido una planta piloto, en Tharsis (Huelva), que está operando desde finales del año 2000.

La planta piloto genera un residuo compuesto básicamente por azufre elemental, pirita y plumbojarosita.

El objetivo del proyecto es separar el azufre elemental, la pirita y la plumbojarosita en productos diferenciados, de manera que el azufre elemental pueda ser utilizado por la industria química como materia prima y los otros dos productos puedan ser igualmente comercializables, lo que supondría una mejora importante para la viabilidad económica del conjunto del proceso, así como una gran ventaja técnica, desde el punto de vista ambiental, al ser un proceso que no generaría ningún residuo final.

La viabilidad del nuevo proceso supondría mejorar sensiblemente el aprovechamiento de los minerales de la Faja Pirítica, incrementando por tanto su valor y supondría una "revolución tecnológica" para el sector que permitiría la continuidad de éste y evitar la clausura y cierre de todas las instalaciones existentes que se están produciendo en la actualidad y permitir la viabilidad de nuevas explotaciones de cara al futuro.

Finalmente, hay que resaltar que este proyecto sería objeto de patente, que podría ser aplicado en otros muchos lugares del mundo donde existen minerales similares a los de la Faja Pirítica (América del Norte y del Sur, Australia, Africa, etc,...).

### **1.2. Descripción del proyecto**

El residuo objeto del proyecto tiene un contenido del orden del 50% de azufre, del cual la mitad está en forma de azufre elemental, y la otra mitad del azufre se encuentra en forma de pirita (aproximadamente el 30%) y en forma de plumbojarosita (aproximadamente 20%).

Este residuo supone, en peso, del orden del 65% del peso de la alimentación a la planta hidrometalúrgica.

El proyecto pretende separar el azufre elemental, la pirita y la plumbojarosita en productos diferentes, con el plan de trabajo siguiente:



1. Mediante la técnica mineralúrgica de flotación se producirá la separación de dos productos, uno denominado "flotado" compuesto por el azufre elemental y la pirita, y el otro denominado "hundido" constituido por la plumbojarosita.

Se determinarán parámetros operativos, para la separación óptima de los dos productos, con el fin de que se pueda definir con exactitud la ingeniería básica para el diseño de una planta de flotación:

- pH
- Temperatura de la pulpa
- Colector a utilizar (amilxantato, etilxantato, etc..)
- Consumo del colector en g/Tm de residuo
- Espumante a utilizar (aceite de pino, flotanol, etc..)
- Tiempo de flotación en el desbaste
- Número de relavos, etc...

2. Sobre el producto anteriormente denominado "flotado" compuesto por el azufre elemental y la pirita, se realizará la separación de estos dos productos, aprovechando la propiedad del azufre elemental de licuarse a 125°C, para lo cual se someterá al "flotado" a un lavado, con vapor a 165°C que permita el transporte del azufre elemental licuado, en forma de  $\lambda$ -azufre, evitando la formación de  $\mu$ -azufre, mucho más viscoso, que se produce a temperaturas de 140-150°C, y por tanto mucho más difícil de transportar. De esta manera se separarán el azufre elemental y la pirita.

En el caso de no dar resultado este método de recuperación de azufre, sobre el producto denominado "flotado" (azufre elemental y pirita) se realizará la separación de estos dos productos aprovechando la propiedad del azufre elemental de disolverse en queroseno y su posterior cristalización o precipitación por enfriamiento.

### 1.3 . Novedad Tecnológica y/o funcional del proceso

La novedad tecnológica del proceso consiste en combinar técnicas mineralúrgicas y procesos químicos, tales como la flotación, licuación con vapor de agua y extracción con solventes, que permitan separar, del residuo de una planta hidrometalúrgica, el azufre elemental, la pirita y la plumbojarosita en productos diferenciados, para que puedan ser comercializados.

Ya de por sí, la propia planta hidrometalúrgica se basa en un proceso novedoso, que se completa con el tratamiento del residuo.

El proyecto incluye el diseño y la construcción de un prototipo de reactor que permita la licuación del azufre elemental con vapor de agua o la disolución del azufre elemental con un disolvente orgánico como el queroseno, para su posterior cristalización mediante enfriamiento.



En caso de éxito del tratamiento del residuo, el proceso sería patentado, junto con el resto del proceso hidrometalúrgico que está desarrollando el Instituto Geológico y Minero de España para su futura aplicación, tanto en la Faja Pirítica Española como Portuguesa, así como en otros países del mundo donde existen yacimientos similares a los de la Faja Pirítica.

#### 1.4. Introducción Técnica

##### 1.4.1 Flotación

Es un método de separación que utiliza las diferentes propiedades superficiales de los minerales, basándose en el grado de afinidad de los minerales por las burbujas de aire ascendentes producidas dentro de la pulpa agitada. Acondicionando reactivos químicos en la pulpa es posible conseguir que determinadas especies mineralógicas desarrollen avidez por el aire (aerofílicos) y otras rechacen el aire (aerofóbicos). Esto da por resultado una separación por la transferencia de determinadas especies minerales a las burbujas de aire que forman la espuma flotante sobre la superficie de la pulpa

Para favorecer la flotación se añaden al proceso determinados productos, para conseguir una mejor separación, como son:

- Colectores: sustancias químicas orgánicas heteropolares con un parte polar (hidrófila) que se adhiere a la superficie del mineral y una parte no polar (hidrófoba) que se adhiere a las burbujas de aire.
- Activadores: impiden la fijación de componentes como carbonatos y sulfatos asociados a los sulfuros oxidados y permite la fijación del colector sobre la superficie del mineral
- Depresores: actúan sobre la superficie del mineral o bien por captación del colector.
- Reguladores: regulan el pH. La superficie del sólido sufre una hidratación creando una carga superficial, su signo y su valor es primordial en la flotación ya que en la superficie hay cargas no compensadas que dependen del pH.

##### 1.4.2. Azufre

Es un sólido amarillo pálido, inodoro, frágil, insoluble en agua y soluble en disulfuro de carbono. En todos los estados, el azufre elemental se presenta en varias formas alotrópicas o modificaciones; éstas presentan una multitud de formas confusas cuyas relaciones no están todavía completamente aclaradas. La estructura básica es un anillo de 8 átomos.

El  $\alpha$ -azufre (rómbrica) es las forma estable termodinámicamente; su estructura básica está formada por dieciséis anillos de ocho átomos. Es amarillo, insoluble en agua y



ligeramente en alcohol etílico, éter dietílico y benceno y muy soluble en sulfuro de carbono. La densidad es 2.07 g/cm<sup>3</sup>.

El  $\beta$ -azufre (monoclínica) aparece a partir del anterior por encima de 95.6°C (entre la temperatura de transición y la de fusión); su estructura básica está formada por seis anillos de ocho átomos. Es amarillo, insoluble en agua y ligeramente en sulfuro de carbono.

El  $\lambda$ -azufre (ciclooctaazufre) se forma a partir del anterior por encima de 118.9°C. Es un líquido transparente, fluido, amarillo y está formado por anillos de ocho átomos. Soluble en sulfuro de carbono.

Al aumentar la temperatura empieza a aparecer  $\mu$ -azufre o azufre polimérico, que predomina por encima de 159°C; es de color marrón oscuro, muy viscoso y tiene una estructura de largas cadenas helicoidales. La viscosidad alcanza el máximo a 180°C. Es insoluble en sulfuro de carbono. A 444.6°C el  $\mu$ -azufre entra en ebullición. El vapor de azufre es amarillo o naranja según la temperatura y contiene unidades de S<sub>8</sub>, S<sub>6</sub>, S<sub>4</sub> y S<sub>2</sub>.

El azufre amorfo o "plástico" es el fundido sobreenfriado de color marrón claro que se forma al enfriar súbitamente el azufre líquido; esta formado por  $\lambda$ -azufre y  $\mu$ -azufre. Es insoluble en piridina. Al endurecerse se transforma en  $\mu$ -azufre. La forma amorfa tiene una estructura helicoidal con ocho átomos por espiral.

La flor de azufre es un polvo fino amarillo que se forma en las superficies frías en contacto con vapor de azufre.





## 2. APARATOS y EQUIPOS

El IGME en sus instalaciones del Centro de laboratorio, ubicado en Tres Cantos (Madrid) está dotado con los más modernos equipos de análisis de Absorción Atómica, Fluorescencia de Rayos X (FRX), Difracción de Rayos X (DRX), ICP plasma, ICO MS, Analizador de azufre-carbón, Analizador de tamaño de partícula Láser- Coulter, Sedigraph, Cyclosizer, celdas de Flotación, Separación magnética, separación gravimétrica, Reactores de Lixiviación, etc,... y una planta piloto de lixiviación ubicada en Tharsis (Huelva).

La Tabla 1 muestra los aparatos y equipos utilizados para la realización de este proyecto.

**Tabla 1. Aparatos y equipos utilizados para la realización del Proyecto**

<b>APARATOS Y EQUIPOS</b>
Celda de flotación marca Denver, con vasijas de 3, 2 y 1 litro, para realizar el desbaste y sucesivos relavos
pH-metro Metrohm 704 para ajustar y controlar la el pH de la flotación
Filtros de laboratorio para filtración de productos
Generador de vapor y accesorios
Reactor prototipo para lavado con vapor del producto denominado "flotado"
Milli-Q para obtención de agua de grado reactivo
Bomba de membrana
Turbidímetro
Estufa de desecación



---

## APARATOS Y EQUIPOS

---

Equipo de Absorción Atómica Thermo Jarrel Ash con accesorios de vapor frío y cámara de grafito

---

Analizador de azufre carbón sulphur determinator Eltra CS 800

---

Equipo de Difracción de Rayos X Phillips PW-1700 con software APD para determinar especies mineralógicas

---

Equipo de Espectroscopía ICP plasma ICAP-61 Thermo Jarrell Ash con capacidad para analizar 35 elementos simultáneamente

---

Analizador de tamaño de partículas Laser-Coulter LS 100

---

Material diverso de laboratorio

---



### 3. PERSONAL

El IGME ha contratado para la realización de esta investigación al siguiente personal titulado:

Bárbara Fernández-Revuelta	Ingeniera de Minas
Eva Bellido Martín	Licenciada en C. Químicas
Fernando Alvarado Moras	Ingeniero Técnico de Minas



## 4. MATERIALES Y METODOLOGIA

### 4.1 Materiales

Los ensayos de recuperación de azufre se han realizado sobre el residuo procedente de la lixiviación en Planta Piloto.

El ensayo de lixiviación se realizó sobre el cuarto concentrado de Aznalcollar. El proceso de lixiviación utiliza como agente lixivante el sulfato férrico y se realiza en dos fases en contracorriente, ambas en caliente, a presión atmosférica. La primera fase con defecto de ion férrico, y la segunda fase, con exceso de ion férrico para agotar el zinc.

- Primera fase

En esta fase se lixivia el concentrado de zinc al 8% (p/v) por medio de ion férrico en una concentración de 40 g/l.

El circuito consta de tres reactores situados en cascada. En el depósito de cabeza y mediante una fuerte agitación se produce una pulpa que es bombeada al primer reactor que se encuentra a una temperatura superior a los 90°C. El pH se ajusta previamente a un valor muy próximo a 1. Por rebose, la carga es trasvasada al segundo reactor y de este al tercero.

El tiempo de residencia en este circuito es de tres horas.

El rebose de la última unidad se recoge en el depósito de salida y se filtra en un filtro prensa. La fracción líquida pasa posteriormente a extracción con solventes y electrólisis de cobre y zinc.

- Segunda fase

La instalación de esta segunda fase es similar a la primera. El residuo sólido es atacado con nuevo ion férrico en concentración próxima a los 40 g/l, con una pulpa aproximada del 5,5% (p/v), ajustando el pH hasta valores cercanos a 1.

El tiempo de residencia en este circuito es de tres horas.

El licor se regenera (oxidación del sulfato ferroso) y se recircula a la cabeza del proceso.

El residuo final se filtra, obteniendo una torta húmeda almacenada para realizar los ensayos de recuperación del azufre elemental y de los metales preciosos contenidos.

El análisis químico del cuarto concentrado de Aznalcollar se muestra en la Tabla 2.



**Tabla 2. Análisis químico del cuarzo concentrado de Aznalcollar**

ELEMENTO	CONCENTRACIÓN
Cobre	0.65 %
Zinc	32,27 %
Hierro	18,20 %
Plomo	5,30 %

La densidad relativa del cuarzo concentrado de Aznalcollar es de 4.38 g/cm<sup>3</sup>, y el análisis granulométrico muestra un d<sub>80</sub> de 32 µm, como se muestra en la Tabla 3 y Figura 1.

**Tabla 3. Distribución granulométrica del concentrado de Aznalcollar**

Diámetro de la partícula (µm)	% paso
100	98.20
85	97.99
60	96.84
50	94.64
40	90.15
30	77.86
20	63.71
10	36.93
5	17.68
2	5.65
1	3.05

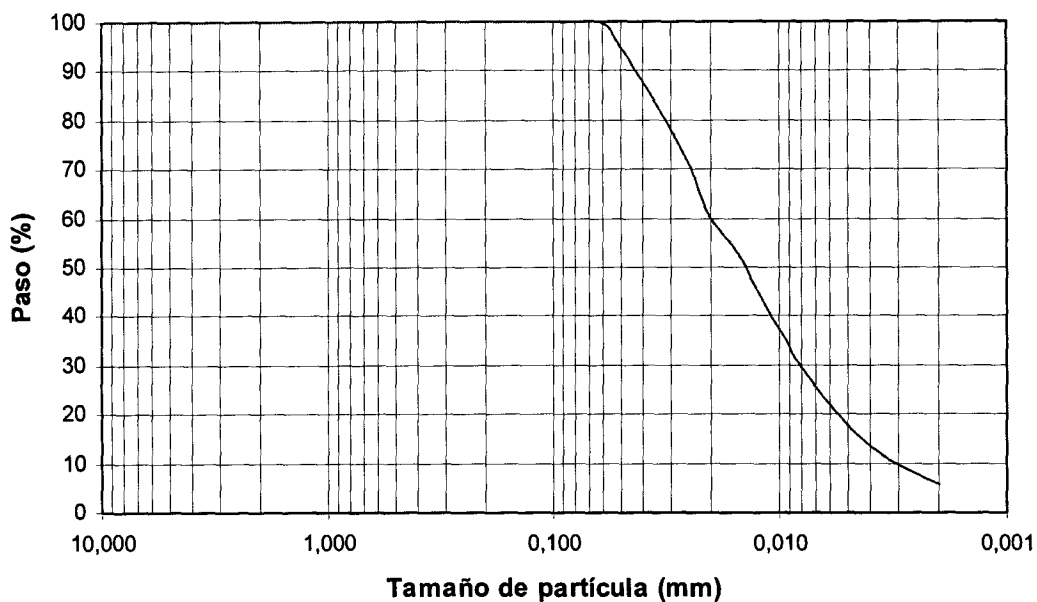


Figura 1. Distribución granulométrica del cuarto concentrado de Aznalcollar

Una vez lixiviado en la Planta Piloto, queda un residuo de lixiviación con la composición química que se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Balance total del circuito de lixiviación. Concentrado Aznalcollar

Elemento	Concentrado (%) y mg/L	Residuo (%) y mg/L
Cu	0.65	0.3
Pb	5.30	8.4
Zn	32.27	1.0
Fe	18.20	29.5
S	38.56	53.6
Ag	100 mg/L	157 mg/L
As	2390 mg/L	1900 mg/L
Cd	740 mg/L	24 mg/L
Ni	40 mg/L	32 mg/L



Elemento	Concentrado (%) y mg/L	Residuo (%) y mg/L
Sb	1000 mg/L	1450 mg/L
Hg	282 mg/L	-
Peso	100	63

#### 4.2. Metodología

La metodología ha sido la siguiente:

1. Realización de la investigación de la flotación. Obtención de los parámetros para la optimización del proceso
2. Obtención de los productos denominados “ hundido” y flotado” en cantidades suficientes para continuar la investigación del proceso
3. Extracción del azufre elemental sobre el residuo y sobre el producto denominado “flotado”

Los tiempos requeridos para la realización de los tres puntos de la metodología se reflejan en el siguiente cronograma:

Puntos metodología	DURACION
1	4 meses
2	3 meses
3	5 meses



## 5. RESULTADOS

Los ensayos se han realizado sobre el residuo de lixiviación de Aznalcollar que presenta una composición química que se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5. Composición química del residuo de lixiviación de Aznalcollar**

Elemento	Ley del Residuo (%)
Cu	0.36
Pb	5.19
Zn	1.47
Fe	27
St	49.89

### 5.1. Ensayos de flotación

Los ensayos de flotación se han realizado en una celda de Flotación Denver, con sistema de turbina que airea la pulpa asegurando la dispersión homogénea del sólido en el líquido.

La agitación es de 1200 rpm. La velocidad de flotación es de primer grado con relación a la concentración de las partículas.

Se varía la velocidad de aireación y el tiempo de flotado dependiendo del mineral.

Los ensayos se realizan al 25-30% de densidad de pulpa y un tamaño de partícula de entrada < 300 µm.

Se utilizan diversos reactivos para favorecer la flotación.

Se realizan varios ensayos de flotación con el objeto de separar la plumbojarosita que quedaría en el "hundido" del azufre elemental y pirita que se concentrarían en el "flotado".





### 5.1.1. Ensayo A de flotación

#### **Parámetros del ensayo**

- 500 g de sólido
- 3 litros de agua
- 1200 rpm
- pH: 1
- Temperatura ambiente

#### Consumos

- $\text{SO}_4\text{H}_2$ : 18 kg/Tm
- Etilxantato: 250 g/Tm
- Aerofroth 65: 30 g/Tm

#### Tiempos

- Acondicionamiento: 10 minutos
- Flotación: 10 minutos

#### **Resultados**

La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos en la flotación, con relación al porcentaje en peso y azufre total de los productos obtenidos.

**Tabla 6. Productos obtenidos en el ensayo A de flotación**

<b>PRODUCTOS</b>	<b>PESO (%)</b>	<b>S TOTAL (%)</b>
FLOTADO (DESBASTE)	46.00	59.69
HUNDIDO	54.00	42.08
TOTAL	100.00	50.18

Una vez separado el azufre elemental y la pirita en el "flotado", se procede a una segunda flotación del producto "flotado" obtenido, variando las condiciones de flotación con el fin de obtener la separación del azufre elemental y la pirita en dos productos.



### Parámetros del ensayo

- 230 g de sólido
- 3 litros de agua
- 1200 rpm
- pH:10.80
- Temperatura ambiente

### Consumos

- Hidróxido cálcico: 30 kg/Tm
- Etilxantato: 250 g/Tm
- Aerofroth 65: 30 g/Tm

### Tiempos

- Acondicionamiento: 10 minutos
- Flotación: 10 minutos

### Resultados

Los productos obtenidos en este ensayo de flotación se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7. Productos obtenidos en el ensayo A de flotación**

PRODUCTOS	PESO (g)	PESO (%)	S TOTAL (%)
1ª ESPUMA RELAVO	60.27	26.20	59.06
2ª ESPUMA 1º RELAVO	51.03	22.19	59.65
RESIDUO 1º RELAVO	118.70	51.61	60.02
TOTAL	230.00	100.00	59.69



### 5.1.2. Ensayo B de flotación

#### **Parámetros del ensayo**

- 500 g de sólido
- 3 litros de agua
- 1200 rpm
- pH:1
- Temperatura ambiente

#### Consumos

- $\text{SO}_4\text{H}_2$ : 18 kg/Tm
- Etilxantato: 250 g/Tm
- Aceite de pino: 30 g/Tm

#### Tiempos

- Acondicionamiento: 10 minutos
- Flotación: 10 minutos

#### **Resultados**

La Tabla 8 muestra los resultados obtenidos en la flotación, con relación al porcentaje en peso y azufre total de los productos obtenidos.

**Tabla 8. Productos obtenidos en el ensayo B de flotación**

<b>PRODUCTOS</b>	<b>PESO (%)</b>	<b>S TOTAL (%)</b>
FLOTADO	71.60	62.07
HUNDIDO	28.30	20.23
RETENIDO FILTRO	0.10	-
TOTAL	100	50.18



El análisis de los elementos metálicos presentes en los productos obtenidos en la flotación se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9. Composición química de los productos obtenidos en la flotación**

<b>MUESTRA</b>	<b>% PESO</b>	<b>Fe (%)</b>	<b>Cu (%)</b>	<b>Pb (%)</b>	<b>Zn (%)</b>
FLOTADO	26.94	0.45	3.31	1.22	71.60
HUNDIDO	30.39	0.10	13.11	1.05	28.30



### 5.1.3. Ensayo C de flotación

#### **Parámetros del ensayo**

- 500 g de sólido
- 3 litros de agua
- 1200 rpm
- pH:1
- Temperatura 95°C

#### Consumos

- $\text{SO}_4\text{H}_2$ : 18 kg/Tm
- Etilxantato: 250 g/Tm
- Aceite de pino: 30 g/Tm

#### Tiempos

- Acondicionamiento: 5 minutos
- Flotación: 10 minutos

#### **Resultados**

La Tabla 10 muestra los resultados obtenidos en la flotación, con relación al porcentaje en peso y azufre total de los productos obtenidos.

**Tabla 10. Productos obtenidos en el ensayo C de flotación**

<b>PRODUCTOS</b>	<b>PESO (%)</b>	<b>S TOTAL (%)</b>
FLOTADO	78.55	66.20
HUNDIDO	21.45	18.56
TOTAL	100	53.50



El flotado se somete a un primer relavo, sin adicionar reactivos de flotación, a temperatura ambiente, obteniéndose los productos de flotación que se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11. Productos obtenidos en el primer relavo del ensayo C de flotación**

PRODUCTOS	PESO (%)	S TOTAL (%)
ESPUMA 1º RELAVO	71.30	67.35
RESIDUO 1º RELAVO	7.25	20.73
TOTAL	78.55	66.20

Por lo que podríamos considerar los resultados que se muestran en la Tabla 12.

**Tabla 12. Productos globales obtenidos en el Ensayo C de flotación**

PRODUCTOS	PESO (%)	S TOTAL (%)
FLOTADO	71.30	67.35
RESIDUO FINAL	28.70	19.10

El residuo final debe variar entre 18.56-19.10%.

El análisis de los elementos metálicos presentes en los productos obtenidos se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13. Composición química de los productos obtenidos en la flotación**

MUESTRA	% PESO	Fe (%)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)
1º RELAVO	71.30	24.03	0.53	2.23	1.34
HUNDIDO	21.45	27.89	0.08	12.06	0.94
RESIDUO 1º RELAVO	7.25	28.75	0.09	12.12	0.92
TOTAL	100	25.20	0.40	5.06	1.22



#### 5.1.4. Ensayo D de Flotación

##### **Parámetros del ensayo**

- 500 g de sólido
- 3 litros de agua
- 1200 rpm
- pH:1
- Temperatura ambiente

##### Consumos

- $\text{SO}_4\text{H}_2$ : 18 kg/Tm
- Etilxantato: 250 g/Tm
- Aceite de pino: 30 g/Tm

##### Tiempos

- Acondicionamiento: 5 minutos
- Flotación: 5 minutos

##### **Resultados**

La Tabla 14 muestra los resultados obtenidos en la flotación, con relación al porcentaje en peso y azufre total de los productos obtenidos.

**Tabla 14. Productos obtenidos en el ensayo D de flotación**

<b>PRODUCTOS</b>	<b>PESO (%)</b>	<b>S TOTAL (%)</b>
FLOTADO	53.23	68.18
HUNDIDO	46.27	21.92
RETENIDO FILTRO	0.50	-
TOTAL	100	46.67



### 5.1.5. Ensayo E de Flotación

#### **Parámetros del ensayo**

- Pulpa de la planta hidrometalúrgica compuesta de 500 g de sólido y 3 litros de licor de lixiviación
- 1200 rpm
- pH:1
- Temperatura ambiente

#### Consumos

- Etilxantato: 250 g/Tm
- Aceite de pino: 30 g/Tm

#### Tiempos

- Acondicionamiento: 5 minutos
- Flotación: 10 minutos

#### **Resultados**

La Tabla 15 muestra los resultados obtenidos en la flotación, con relación al porcentaje en peso y azufre total de los productos obtenidos.

**Tabla 15. Productos obtenidos en el ensayo E de flotación**

<b>PRODUCTOS</b>	<b>PESO (%)</b>	<b>S TOTAL (%)</b>
FLOTADO	60.30	65.85
HUNDIDO	39.66	22.50
RETENIDO FILTRO	0.04	13.58
TOTAL	100	48.65





### 5.1.6. Ensayo F de Flotación

#### **Parámetros del ensayo**

- 500 g de sólido
- 6 litros de agua
- 1200 rpm
- pH:1
- Temperatura ambiente

#### Consumos

- $SO_4H_2$ : 18 kg/Tm
- Etilxantato- 1ª espuma desbaste: 250 g/Tm
- Etilxantato-2ª espuma desbaste: 100 g/Tm
- Aceite de pino: 30 g/Tm

#### Tiempos

- Acondicionamiento desbaste: 8 minutos
- Flotación 1ª espuma desbaste: 10 minutos
- Flotación 2ª espuma desbaste: 5 minutos

#### **Resultados**

La Tabla 16 muestra los resultados obtenidos en la flotación, con relación al porcentaje en peso y azufre total de los productos obtenidos.

**Tabla 16. Productos obtenidos en el ensayo F de flotación**

<b>PRODUCTOS</b>	<b>PESO (%)</b>	<b>S TOTAL (%)</b>
1ª ESPUMA DESBASTE	71.64	60.53
2ª ESPUMA DESBASTE	4.54	32.90
HUNDIDO	23.82	18.83
TOTAL	100	49.34



La primera espuma de desbaste se somete a un primer relavo, sin adición de ningún reactivo de flotación obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 17.

**Tabla 17. Productos obtenidos en el primer relavo del ensayo F de flotación**

<b>PRODUCTOS</b>	<b>PESO (%)</b>	<b>S TOTAL (%)</b>
1º RELAVO	57.27	68.52
RESIDUO PRIMER RELAVO	14.37	28.67
TOTAL	71.64	60.53

La espuma del primer relavo, se somete a un segundo relavo, sin adición de colector, inyectando SO<sub>2</sub> para bajar el pH de la pulpa de 3.15 a 2.0; y 30 g/Tm de aceite de pino, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 18.

**Tabla 18. Productos obtenidos en el segundo relavo del ensayo F de flotación**

<b>PRODUCTOS</b>	<b>PESO (%)</b>	<b>S TOTAL (%)</b>
2º RELAVO	28.18	72.31
APURE 2º RELAVO	18.25	71.43
RESIDUO 2º RELAVO	10.84	55.13
TOTAL	57.27	68.52



### 5.1.7 Ensayo G de Flotación

#### **Parámetros del ensayo**

- 500 g de sólido, previamente lavado y filtrado
- 3 litros de agua
- 1200 rpm
- pH: 5.02 regulado con sosa
- Temperatura ambiente

#### Consumos

- sosa: 4 kg/Tm
- Queroseno: 300 g/Tm

#### Tiempos

- Acondicionamiento: 15 minutos
- Flotación: 15 minutos

#### **Resultados**

La Tabla 19 muestra los resultados obtenidos en la flotación, con relación al porcentaje en peso y azufre total de los productos obtenidos.

**Tabla 19. Productos obtenidos en el ensayo G de flotación**

<b>PRODUCTOS</b>	<b>PESO (%)</b>	<b>S TOTAL (%)</b>
FLOTADO	44.78	68.73
HUNDIDO	55.20	34.30



## **5.2. Ensayos de recuperación de azufre**

### **5.2.1. Ensayos de licuación**

Ha consistido en mezclar en un reactor agua supercaliente y vapor de agua (160°C), con el residuo procedente de la lixiviación de la planta piloto, para licuar el azufre elemental

El residuo procedente de la lixiviación de la planta piloto tiene un 50.7% de azufre total del que el 21.6% es azufre elemental y el 29.1% en forma de pirita y plumbojarosita

El ensayo se ha realizado al 10% de densidad de pulpa (p/v).

El azufre elemental recuperado, como resultado de esta temperatura apareció en forma de  $\mu$ -azufre o azufre polimérico, de un color marrón oscuro muy viscoso.

Se realiza un segundo ensayo con el flotado procedente del ensayo de flotación D. Este flotado presenta una ley en azufre total del 68.18%.

El ensayo se ha realizado al 10% de densidad de pulpa (p/v).

Al igual que en el ensayo anterior, el azufre elemental recuperado, como resultado de esta temperatura apareció en forma de  $\mu$ -azufre o azufre polimérico, de un color marrón oscuro muy viscoso.

En vista de lo complicado del proceso en relación a los resultados obtenidos, se opta por realizar pruebas de recuperación de azufre elemental mediante otro método, como es extracción con queroseno.

### **5.2.2. Pruebas preliminares de recuperación de azufre elemental con queroseno**

Se realizan pruebas preliminares para determinar la capacidad del queroseno para recuperar el azufre elemental presente en el residuo procedente de la lixiviación de la planta piloto.

#### ***5.2.2.1. Primera Prueba***

Se realiza un ensayo al 10% de densidad de pulpa (p/v), a temperatura ambiente. Se agita la pulpa durante 10 minutos e inmediatamente se filtra con un papel de filtro de poro abierto (banda negra).



- Peso inicial del residuo: 5 g
- Peso final del residuo: 5.26 g

El mineral absorbe queroseno, por lo que aumenta el peso y el contenido de carbono.

La Tabla 20 muestra el porcentaje de azufre total y de carbono en el residuo procedente de la lixiviación y en el residuo después del lavado con queroseno.

**Tabla 20. Porcentaje de azufre total y carbono**

<b>MUESTRA</b>	<b>AZUFRE TOTAL (%)</b>	<b>CARBONO (%)</b>
<b>RESIDUO PROCEDENTE DE LIXIVIACION PP</b>	55.4	0.24
<b>RESIDUO FINAL LAVADO QUEROSENO</b>	45.70	9.30

#### *5.2.2.2. Segunda Prueba*

Este ensayo se realiza al 10% de densidad de pulpa (p/v), a temperatura ambiente. La pulpa obtenida se agita durante 30 minutos e inmediatamente después se filtra con un papel de filtro de poro cerrado (banda azul).

- Peso inicial del residuo: 5 g
- Peso final del residuo: 5.74 g

El mineral absorbe queroseno, por lo que aumenta el peso y el contenido de carbono.

La Tabla 21 muestra el porcentaje de azufre total y de carbono en las dos muestras.



**Tabla 21. Porcentaje de azufre total y carbono**

<b>MUESTRA</b>	<b>AZUFRE TOTAL (%)</b>	<b>CARBONO (%)</b>
<b>RESIDUO PROCEDENTE DE LIXIVIACION PP</b>	55.4	0.24
<b>RESIDUO FINAL LAVADO QUEROSENO</b>	45.23	10.19

#### 5.2.2.3. Tercera Prueba

Se lava el residuo procedente de la lixiviación en planta piloto, antes de realizar el ensayo, para quitar los sulfatos presentes en el mismo. Se realiza lavándolo con agua en agitación durante 30 minutos y filtrando.

El lavado con queroseno se realiza al 10% de densidad de pulpa (p/v) y a una temperatura de 50°C. Se agita la pulpa durante 10 minutos e inmediatamente se filtra con un papel de filtro de poro cerrado (banda azul). El residuo se lava con agua en el filtro para eliminar el queroseno absorbido.

- Peso Inicial del residuo: 5 g
- Peso final del residuo: 4.62 g

La Tabla 22 muestra el porcentaje de azufre total y de carbono en las dos muestras antes y después del lavado con queroseno.

**Tabla 22. Porcentaje de azufre total y carbono**

<b>MUESTRA</b>	<b>AZUFRE TOTAL (%)</b>	<b>CARBONO (%)</b>
<b>RESIDUO PROCEDENTE DE LIXIVIACION PP</b>	55.87	0.26
<b>RESIDUO FINAL LAVADO QUEROSENO</b>	55.29	0.74



#### 5.2.2.4. Cuarta Prueba

Al igual que en el ensayo anterior se lava el residuo procedente de la lixiviación en planta piloto, antes del lavado con queroseno, para quitar los sulfatos presentes en el mismo. Se realiza lavándolo con agua en agitación durante 30 minutos y filtrando.

Se realiza el ensayo al 10% de densidad de pulpa (p/v) y a una temperatura de 60°C. Se agita la pulpa durante 10 minutos e inmediatamente se filtra con un papel de filtro de poro cerrado (banda azul). Se lava el residuo con agua sobre el filtro para eliminar el queroseno absorbido.

- Peso Inicial del residuo: 5 g
- Peso final del residuo: 4.51 g

La Tabla 23 muestra el porcentaje de azufre total y de carbono en las dos muestras.

**Tabla 23. Porcentaje de azufre total y carbono**

<b>MUESTRA</b>	<b>AZUFRE TOTAL (%)</b>	<b>CARBONO (%)</b>
<b>RESIDUO PROCEDENTE DE LIXIVIACION PP</b>	55.87	0.26
<b>RESIDUO FINAL LAVADO QUEROSENO</b>	50.99	2.63

#### 5.2.2.5. Quinta Prueba

Se lava el residuo antes del ensayo para quitar los sulfatos presentes en el mismo. Se realiza lavándolo con agua en agitación durante 30 minutos y filtrando.

Se realiza el ensayo al 10% de densidad de pulpa (p/v), a 60°C. Se calienta el queroseno y se filtra en caliente sobre el residuo de lixiviación. La filtración se realiza sobre un papel de filtro de poro cerrado (banda azul). El residuo se lava para eliminar el queroseno absorbido.

- Peso Inicial del residuo: 5 g
- Peso final del residuo: 4.55 g

La Tabla 24 muestra el porcentaje de azufre total y de carbono en las dos muestras.



**Tabla 24. Porcentaje de azufre total y carbono**

<b>MUESTRA</b>	<b>AZUFRE TOTAL (%)</b>	<b>CARBONO (%)</b>
<b>RESIDUO PROCEDENTE DE LIXIVIACION PP</b>	55.87	0.26
<b>RESIDUO FINAL LAVADO QUEROSENO</b>	55.08	0.29

**5.2.2.6. Sexta Prueba**

Una vez lavado el residuo procedente de la lixiviación con en planta piloto, con agua en agitación durante 30 minutos para quitar los sulfatos presentes en el mismo, se filtra y se deja secar.

El ensayo se lleva a cabo al 5% de densidad de pulpa (p/v) y a una temperatura de 70°C. Se agita la pulpa durante 10 minutos e inmediatamente se filtra con un papel de filtro de poro cerrado (banda azul). El residuo se lava en el filtro para eliminar el queroseno absorbido.

- Peso Inicial del residuo: 5 g
- Peso final del residuo: 3.70 g
- Azufre elemental recogido 0.82 g

La Tabla 25 muestra el porcentaje de azufre total y de carbono en las dos muestras.

**Tabla 25. Porcentaje de azufre total y carbono**

<b>MUESTRA</b>	<b>AZUFRE TOTAL (%)</b>	<b>CARBONO (%)</b>
<b>RESIDUO PROCEDENTE DE LIXIVIACION PP</b>	55.87	0.26
<b>RESIDUO FINAL LAVADO QUEROSENO</b>	44.68	0.53





#### 5.2.2.7. Séptima Prueba

Ensayo realizado sobre el residuo procedente de la sexta Prueba

Se realiza el ensayo al 3.5% de densidad de pulpa (p/v), a 70°C. Se agita la pulpa durante 10 minutos e inmediatamente se filtra con un papel de filtro de poro cerrado (banda azul). El residuo se lava sobre el filtro para eliminar el queroseno absorbido.

- Peso Inicial del residuo: 3.5 g
- Peso final del residuo: 2.88 g
- Azufre elemental recogido: 0.11 g

La Tabla 26 muestra el porcentaje de azufre total y de carbono en las dos muestras.

**Tabla 26. Porcentaje de azufre total y carbono**

<b>MUESTRA</b>	<b>AZUFRE TOTAL (%)</b>	<b>CARBONO (%)</b>
<b>INICIAL</b>	44.68	0.53
<b>RESIDUO FINAL LAVADO QUEROSENO</b>	40.40	0.16

#### 5.2.2.8. Octava Prueba

Se lava el residuo antes del ensayo para quitar los sulfatos presentes en el mismo. El lavado se realiza con agua en agitación durante 30 minutos y posteriormente filtrando.

Se realiza el ensayo al 2.5% de densidad de pulpa (p/v), a 64°C. Se agita la pulpa durante 10 minutos e inmediatamente se filtra con un papel de filtro de poro cerrado (banda azul). El residuo se lava sobre el filtro con agua para eliminar el queroseno absorbido.

- Peso Inicial del residuo: 5 g
- Peso final del residuo: 3.79 g
- Azufre elemental recogido 0.52 g



La Tabla 27 muestra el porcentaje de azufre total y el contenido de carbono presente en las dos muestras.

**Tabla 27. Porcentaje de azufre total y carbono**

<b>MUESTRA</b>	<b>AZUFRE TOTAL (%)</b>	<b>CARBONO (%)</b>
<b>RESIDUO PROCEDENTE DE LIXIVIACION PP</b>	55.87	0.26
<b>RESIDUO FINAL LAVADO QUEROSENO</b>	48.5	0.12

Las pruebas preliminares a pequeña escala indican que el lavado del residuo procedente de la lixiviación en la planta piloto, con queroseno, presenta una capacidad de recuperación del azufre elemental presente.

Se realizan ensayos a mayor escala en reactores para determinar la recuperación de azufre obtenida en las condiciones determinadas para el proceso.



### 5.2.3. Ensayo de recuperación de azufre elemental con queroseno sobre el residuo procedente de la lixiviación en la planta piloto

Se ha realizado un ensayo en dos etapas denominadas primer y segundo lavado para determinar la recuperación de azufre elemental obtenida con el lavado con queroseno.

#### 5.2.3.1 Primer lavado

##### Condiciones de ensayo

- Densidad de pulpa: 5% (p/v)
- Temperatura: 65°C
- Tiempo de agitación: 10 minutos

Una vez que el ensayo está terminado, se filtra inmediatamente, antes de la cristalización del azufre. Se recoge el queroseno con el azufre solubilizado y se deja enfriar.

Una vez enfriado el queroseno y con el azufre solubilizado se filtra para recuperar el azufre elemental.

El residuo que permanece en el filtro se lava con agua destilada durante 15 minutos, para eliminar los restos de queroseno y se vuelve a filtrar y se recoge.

La Tabla 28 muestra el contenido de azufre total y azufre elemental en el residuo de lixiviación después del primer lavado.

**Tabla 28. Contenido de azufre total y azufre elemental (%)**

<b>MUESTRA</b>	<b>AZUFRE TOTAL (%)</b>	<b>AZUFRE ELEMENTAL (%)</b>
<b>RESIDUO PROCEDENTE DE LIXIVIACION PP</b>	50.7	21.6
<b>RESIDUO FINAL PRIMER LAVADO QUEROSENO</b>	36.1	Nd

Nd.: no determinado

La Tabla 29 muestra el porcentaje de azufre total obtenido en el primer lavado con queroseno, la recuperación de azufre elemental y la pérdida de peso obtenida en este ensayo.

Una parte del azufre elemental obtenido queda solubilizado en el queroseno. Se ha observado que si el queroseno se introduce en nevera a una temperatura de 4°C, se



produce después de varios días cristalización del azufre elemental que permanece en el mismo.

**Tabla 29. Porcentaje de azufre total, recuperación de azufre elemental y pérdida de peso obtenida en el primer lavado con queroseno**

<b>AZUFRE TOTAL OBTENIDO EN EL PRIMER LAVADO CON QUEROSENO (%)</b>	<b>AZUFRE ELEMENTAL RECUPERADO EN EL PRIMER LAVADO CON QUEROSENO (%)</b>	<b>PERDIDA DE PESO (%)</b>
48.88	33.33	25.4

El azufre recuperado está predominantemente en la forma  $\alpha$ -azufre (ortorómbica), su estructura más estable.

Para la recuperación del resto del azufre elemental, que permanece en el residuo procedente de la lixiviación en planta piloto, se realiza un segundo lavado con queroseno sobre el residuo obtenido.

#### 5.2.3.2. Segundo lavado

Las condiciones iniciales son las siguientes:

##### Condiciones de ensayo

- Densidad de pulpa: 3.5% (p/v)
- Temperatura: 70°C
- Tiempo de agitación: 15 minutos

Una vez que el ensayo está terminado, se filtra inmediatamente, antes de la cristalización del azufre. Se recoge el queroseno con el azufre solubilizado y se deja enfriar.

Una vez enfriado y con el azufre solubilizado se filtra para recuperar el azufre elemental.

El residuo que permanece en el filtro se lava con agua destilada durante 15 minutos, para eliminar los restos de queroseno. Una vez lavado se vuelve a filtrar y se recoge una vez seco para su análisis.

La Tabla 30 muestra el contenido de azufre total y azufre elemental en el residuo de lixiviación después de este segundo lavado.



**Tabla 30. Contenido de azufre total y azufre elemental en la muestra (%)**

<b>MUESTRA</b>	<b>AZUFRE TOTAL (%)</b>	<b>AZUFRE ELEMENTAL (%)</b>
<b>RESIDUO FINAL PRIMER LAVADO QUEROSENO</b>	36.1	Nd
<b>RESIDUO FINAL SEGUNDO LAVADO QUEROSENO</b>	33.1	3.26

Nd.: no determinado

La Tabla 31 muestra el porcentaje de azufre total obtenido en el segundo lavado con queroseno y la pérdida de peso obtenida en este ensayo.

**Tabla 31. Porcentaje de azufre total y pérdida de peso obtenida en el segundo lavado con queroseno**

<b>AZUFRE TOTAL OBTENIDO EN EL SEGUNDO LAVADO CON QUEROSENO (%)</b>	<b>PERDIDA DE PESO (%)</b>
16.62	9.06

El porcentaje de azufre elemental obtenido del residuo procedente de la lixiviación en planta piloto se muestra en la Tabla 32.

**Tabla 32. Porcentaje de azufre total, recuperación de azufre elemental y pérdida de peso obtenida en el los lavados con queroseno**

<b>AZUFRE ELEMENTAL OBTENIDO EN LOS DOS LAVADOS CON QUEROSENO (%)</b>	<b>AZUFRE ELEMENTAL RECUPERADO EN LOS DOS LAVADOS CON QUEROSENO (%)</b>	<b>AZUFRE ELEMENTAL QUE PERMANECE EN EL QUEROSENO (%)</b>
90.41	80.55	9.86



#### 5.2.4. Ensayo de recuperación de azufre elemental con queroseno sobre el flotado obtenido de un ensayo de Flotación sobre el residuo procedente de la lixiviación de la Planta Piloto

Se ha realizado un ensayo en dos etapas denominadas primer y segundo lavado, sobre un flotado obtenido en los ensayos de flotación para la concentración de azufre elemental, realizados sobre el residuo procedente de la lixiviación en la Planta Piloto. En este ensayo se determina la recuperación de azufre elemental obtenida con el lavado con queroseno.

La ley media de azufre total y azufre elemental del flotado utilizado en estos ensayos se muestra en la Tabla 33.

**Tabla 33. Contenido de azufre total y azufre elemental (%) del flotado**

<b>MUESTRA</b>	<b>AZUFRE TOTAL (%)</b>	<b>AZUFRE ELEMENTAL (%)</b>
<b>FLOTADO</b>	65.69	41.73

##### *5.2.4.1. Primer lavado*

Las condiciones iniciales son las siguientes

##### Condiciones de ensayo

- Densidad de pulpa: 5% (p/v)
- Temperatura: 65°C
- Tiempo de agitación: 15 minutos

Una vez que el ensayo ha finalizado, se filtra inmediatamente, antes de la cristalización del azufre. Se recoge el queroseno con el azufre solubilizado y se deja enfriar.

Una vez enfriado y con el azufre solubilizado se filtra para recuperar el azufre elemental.

El residuo que permanece en el filtro se lava con agua destilada durante 15 minutos, para eliminar los restos de queroseno. Una vez lavado se vuelve a filtrar, se seca y se recoge para el análisis del azufre.

El porcentaje de azufre total y azufre elemental del residuo de lixiviación flotado se muestra en la Tabla 34.



**Tabla 34. Contenido de azufre total y azufre elemental en la muestra (%)**

<b>MUESTRA</b>	<b>AZUFRE TOTAL (%)</b>	<b>AZUFRE ELEMENTAL (%)</b>
<b>RESIDUO PROCEDENTE DE LA FLOTACION DEL RESIDUO DE LIXIVIACION DE LA PP</b>	65.69	41.73
<b>RESIDUO FINAL PRIMER LAVADO</b>	55.55	Nd

Nd.: no determinado

La Tabla 35 muestra el porcentaje de azufre total obtenido en el primer lavado con queroseno, la recuperación de azufre elemental y la pérdida de peso obtenida en este ensayo.

**Tabla 35. Porcentaje de azufre total, recuperación de azufre elemental y pérdida de peso obtenida en el primer lavado con queroseno**

<b>AZUFRE TOTAL OBTENIDO EN EL PRIMER LAVADO CON QUEROSENO (%)</b>	<b>AZUFRE ELEMENTAL RECUPERADO EN EL PRIMER LAVADO CON QUEROSENO (%)</b>	<b>PERDIDA DE PESO (%)</b>
34.52	37.85	22.56

El azufre recuperado está predominantemente en la forma  $\alpha$ -azufre (ortorómbica), su estructura más estable.

Una parte del azufre elemental obtenido queda solubilizado en el queroseno. Se ha observado que si el queroseno se introduce en nevera a una temperatura de 4°C, se produce después de varios días cristalización del azufre elemental que permanece en el mismo.

Este azufre ha sido recuperado y sumado al azufre elemental obtenido en este primer lavado.



Para la recuperación del resto del azufre elemental, que permanece en el residuo procedente de la lixiviación en planta piloto, se realiza un segundo lavado con queroseno sobre el residuo obtenido.

#### 5.2.4.2. Segundo lavado

Las condiciones iniciales son las siguientes:

##### Condiciones de ensayo

- Densidad de pulpa: 3.5% (p/v)
- Temperatura: 65°C
- Tiempo de agitación: 15 minutos

Una vez que el ensayo está terminado, se filtra inmediatamente, antes de la cristalización del azufre. Se recoge el queroseno con el azufre solubilizado y se deja enfriar.

Una vez enfriado y con el azufre solubilizado se filtra para recuperar el azufre elemental.

El residuo que permanece en el filtro se lava con agua destilada durante 15 minutos, para eliminar los restos de queroseno, se vuelve a filtrar y se recoge.

La Tabla 36 muestra el contenido de azufre total y azufre elemental obtenido.

**Tabla 36. Contenido de azufre total y azufre elemental en la muestra (%)**

<b>MUESTRA</b>	<b>AZUFRE TOTAL (%)</b>	<b>AZUFRE ELEMENTAL (%)</b>
<b>RESIDUO FINAL PRIMER LAVADO</b>	55.55	Nd
<b>RESIDUO FINAL SEGUNDO LAVADO</b>	46.97	7.70

Nd.: no determinado

La Tabla 37 muestra el porcentaje de azufre total obtenido en el segundo lavado con queroseno y la pérdida de peso obtenida en este ensayo.





**Tabla 37. Porcentaje de azufre total perdida de peso obtenida en el segundo lavado con queroseno**

<b>AZUFRE TOTAL OBTENIDO EN EL SEGUNDO LAVADO CON QUEROSENO (%)</b>	<b>PERDIDA DE PESO (%)</b>
66.00	31.90

El queroseno filtrado se introduce en nevera produciéndose la cristalización del azufre elemental que permanece en el queroseno. Este azufre elemental recuperado se ha sumado al azufre elemental obtenido en este segundo lavado.

El azufre recuperado se encuentra predominantemente en la forma  $\alpha$ -azufre (ortorómbica), su estructura más estable.

El porcentaje de azufre elemental obtenido del "flotado", procedente del ensayo de flotación del residuo de lixiviación en planta piloto, se muestra en la Tabla 38.

El porcentaje de azufre elemental recuperado es del 85.78%, de este azufre un 16.93% se ha obtenido enfriando el queroseno después de filtrado.

**Tabla 38. Porcentaje de azufre total, recuperación de azufre elemental y perdida de peso obtenida en los lavados con queroseno**

<b>AZUFRE ELEMENTAL OBTENIDO EN LOS DOS LAVADOS CON QUEROSENO (%)</b>	<b>AZUFRE ELEMENTAL RECUPERADO EN LOS DOS LAVADOS CON QUEROSENO (%)</b>	<b>AZUFRE ELEMENTAL QUE PERMANECE EN EL QUEROSENO (%)</b>
91.21	85.78	5.43



## 6. CONCLUSIONES

- La obtención de un producto conteniendo el azufre elemental y la pirita y otro conteniendo la plumbojarosita es un proceso viable mediante la técnica de concentración por flotación, con un esquema sencillo y simple y utilizando reactivos convencionales.
- La recuperación de azufre elemental con queroseno es viable técnicamente, tanto sobre el residuo procedente de la lixiviación en planta piloto, como del "flotado" procedente de los ensayos de concentración.
- A la vista de los resultados positivos obtenidos en los ensayos de laboratorio se recomienda realizar ensayos de recuperación de azufre elemental con queroseno en planta piloto, de forma continua, con residuo procedente de la lixiviación en planta piloto y con el "flotado" procedente de los ensayos de concentración.



## 7. BIBLIOGRAFIA

1. <http://www.adi.uam.es/docenci/elementos/spv21/sinmarcos/elementos/s.html>
2. [http://www.mcgraw-hill.es/BCV/Tabla\\_periodica/element/tex16.html](http://www.mcgraw-hill.es/BCV/Tabla_periodica/element/tex16.html)
3. <http://www.prodigyweb.net.mx/degcorp/Química/Azufre.html>
4. [http://www.educaplan.org/sp\\_2002/4propiedades/4-16.php](http://www.educaplan.org/sp_2002/4propiedades/4-16.php)
5. <http://www.sigmaaldrich.com/fromcatalogsearch.Post/brand=FLUKA&prodNo=6701>