



FONDOS FEDER (UNION EUROPEA)

CONVENIO DE COLABORACION ENTRE LA CONSEJERIA DE INNOVACION, CIENCIA Y EMPRESA DE LA JUNTA DE ANDALUCIA Y EL INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA PARA LA REALIZACION DE INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS EN LABORATORIO Y EN PLANTA PILOTO EN THARSIS (HUELVA), PARA EL TRATAMIENTO DE MINERALES DE Co Y Au DE LA FAJA PIRITICA IBERICA Y OTRAS LOCALIZACIONES EN ANDALUCIA.

INFORME 2010



INDICE

1. ANTECEDENTES
2. MINERALES DE COBALTO Y ORO
 - 2.1. CARACTERISTICAS DEL COBALTO
 - 2.2. APLICACIONES
 - 2.3. ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN MUNDIAL
 - 2.4. PRECIO DEL COBALTO
 - 2.5. PRESENCIA EN LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA Y EL RESTO DE ANDALUCÍA
 - 2.6. MINERALES DE ORO
3. DESCRIPCIÓN Y CONTENIDO DEL TRABAJO
4. UBICACIÓN Y PERSONAL
5. MATERIALES Y MÉTODOS
 - 5.1. METODOLOGÍA EN LABORATORIO
 - 5.2. METODOLOGÍA EN PLANTA PILOTO
6. RESULTADOS
 - 6.1. *Ensayos realizados con el mineral “stockwork” de Tharsis*
 - 6.1.1. *Ensayos de flotación en función de la granulometría.*
 - 6.1.1.1. *Ensayo de Flotación 1*
 - 6.1.1.1.1. *Caracterización química*
 - 6.1.1.1.2. *Caracterización granulométrica*
 - 6.1.1.1.3. *Balance de flotación*
 - 6.1.1.2. *Ensayo de Flotación 2*
 - 6.1.1.2.1. *Caracterización química*
 - 6.1.1.2.2. *Caracterización granulométrica*
 - 6.1.1.2.3. *Balance de flotación*
 - 6.1.1.3. *Ensayo de Flotación 3*
 - 6.1.1.3.1. *Caracterización química*
 - 6.1.1.3.2. *Caracterización granulométrica*
 - 6.1.1.3.2. *Balance de flotación*
 - 6.1.1.4. *Ensayo de Flotación 4*
 - 6.1.1.4.1. *Caracterización química*
 - 6.1.1.4.2. *Caracterización granulométrica*
 - 6.1.1.4.3. *Balance de flotación*
 - 6.1.1.5. *Ensayo de Flotación 5*
 - 6.1.1.5.1. *Caracterización química*
 - 6.1.1.5.2. *Caracterización granulométrica*



INDICE

- 6.1.1.5.3. *Balance de flotación*
- 6.1.1.6. *Ensayo de Flotación 6*
 - 6.1.1.6.1. *Caracterización química*
 - 6.1.1.6.2. *Caracterización granulométrica*
 - 6.1.1.6.3. *Balance de flotación*
- 6.2. *Ensayos realizados con mineral de la escombrera del Filón Sur de la Mina Tharsis*
 - 6.2.1. *Caracterización química*
 - 6.2.2. *Molienda en Planta Piloto. Caracterización granulométrica*
 - 6.2.3. *Ensayos de cianuración*
 - 6.2.4. *Ensayos de flotación*
 - 6.2.4.1. *Balance de flotación*
 - 6.2.5. *Ensayos con mineral de Filón Sur (6B)*
 - 6.2.5.1. *Caracterización química*
 - 6.2.5.2. *Caracterización mineralógica*
 - 6.2.5.3. *Caracterización granulométrica*
 - 6.2.5.4. *Ensayos de cianuración*
- 6.3 *Ensayos realizados con el mineral de la escombrera de la Mina La Lapilla*
 - 6.3.1. *Caracterización química*
 - 6.3.2. *Caracterización granulométrica*
 - 6.3.3. *Ensayos de cianuración*
 - 6.3.4. *Ensayos de Flotación*
 - 6.3.4.1. *Balance de flotación*
 - 6.3.5. *Estudio de revalorización del mineral de La Lapilla como material cerámico*
- 7.CONCLUSIONES



1. ANTECEDENTES

El 31 de diciembre de 2008 finalizó un Convenio de colaboración entre la CICE y el IGME, con el diseño básico de un nuevo proceso hidrometalúrgico, viable técnica y económicamente, de lixiviación con sulfato férrico.

Entre las investigaciones de laboratorio incluidas en ese convenio, había ensayos de concentración de minerales de la Faja Pirítica con altos contenidos de Co y Au, en los que se obtenían alentadores resultados, plasmados en la consecución de concentrados por flotación enriquecidos entre 4 y 5 veces respecto a la alimentación y recuperaciones superiores al 90%, de calidad comercial.

Los resultados obtenidos hasta el momento en el tratamiento de minerales de la Faja Pirítica con elevadas leyes de Co y Au y la posibilidad actual de extender los ensayos a minerales procedentes de otros yacimientos de Andalucía, animan a continuar respaldando las investigaciones del IGME. En consecuencia la CICE se plantea la necesidad de que se lleven a cabo acciones precisas de investigación tecnológica para mejorar el beneficio de los minerales de altos contenidos de Co y Au.

La CICE y el IGME coinciden en la conveniencia de desarrollar la investigación tecnológica de un proceso aplicable a los minerales con altas leyes de Co y Au de Andalucía, en general, y en la Faja Pirítica en particular. Los trabajos previstos permitirán el tratamiento de estos minerales, para la recuperación de los mencionados metales a escala planta piloto, así como la adaptación de la planta a dicho proceso.



2. MINERALES DE COBALTO Y ORO

2.1. CARACTERISTICAS DEL COBALTO

El cobalto (Co), es un metal blanco, dúctil y maleable. Como el hierro y el níquel, el cobalto es ferromagnético. Es inalterable en la atmosfera a temperaturas ordinarias. Normalmente se encuentra junto con el Ni, y ambos suelen formar parte de los meteoritos de hierro. Es un elemento químico esencial para los mamíferos en pequeñas cantidades.

El cobalto no se encuentra como mineral nativo en la Tierra, a excepción del que se presenta, en cantidades mínimas, en fases metálicas de los meteoritos. Su contenido geoquímico en las rocas y minerales de la litosfera ha sido establecido en 20 ppm (partes por millón o g/Tm). Como elemento químico simple, el cobalto se integra en combinaciones que dan lugar a unas setenta especies minerales. Los minerales más importantes del cobalto son la esmaltina, la cobaltina (mezcladas con níquel), la lineita, la carrolita y la heterogenita.

2.2. APLICACIONES

La mayor demanda mundial de cobalto se genera en el sector industrial dedicado a la fabricación de aleaciones, superaleaciones, carburos cementados y tratamiento de aceros. Pese al elevado precio de costo, es utilizado en algunas aleaciones especiales, donde aumenta la dureza y la resistencia a la corrosión (electroimanes, herramientas de filo, resistencias eléctricas, etc..). El cobalto se emplea para ligar los carburos de tungsteno, titanio y molibdeno de que se componen las plaquetas de metal duro o las cámaras de combustión de las turbinas de gas.

También se utiliza en la preparación de esmalte y pinturas de la cerámica y del vidrio, donde se consumen grandes cantidades de esmalte, de silicato de azul de potasio y cobalto. Las sales son utilizadas como agente secante en ciertas pinturas y el óxido es empleado para aumentar la adherencia de las capas superiores de los esmaltes.

Asimismo, hay que desatacar que el cobalto de alta pureza es uno de los componentes contenidos en algunas baterías ligeras de tipo metal-hidruro o similares, cuyo uso es ya generalizado en telefonía, radiofonía, cámaras de video o fotografía.

Por último, el radioisótopo cobalto tiene, entre otras, aplicaciones médicas y sanitarias, que van desde el diagnóstico y terapéutica de enfermedades oncológicas (cobaltoterapia) a la desinfección de útiles quirúrgicos y residuos o efluentes hospitalarios.



2.3. ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN MUNDIAL

El cobalto se encuentra distribuido con amplitud en la naturaleza y forma, aproximadamente, el 0,001% del total de las rocas ígneas de la corteza terrestre, en comparación con el 0,02% del níquel. Se halla en meteoritos, estrellas, en el mar, en aguas dulces, suelos, plantas, animales y en los nódulos de manganeso encontrados en el fondo del océano. Se observan trazas de cobalto en muchos minerales de hierro, níquel, cobre, plata, manganeso y zinc.

Casi en su totalidad la producción mundial de metal cobalto procede primariamente, del tratamiento de menas minerales, aunque un pequeño porcentaje de la producción deriva del reciclado de componentes industriales o productos previamente manufacturados con cobalto. Hay que tener en cuenta sin embargo, que son excepcionales los depósitos minerales con leyes de interés económico en cobalto, y, por ello, que la recuperación de este escaso metal suele tener carácter subsidiario respecto a procesos de concentración industrial de otros metales a los que se asocia en la naturaleza, como son el cobre, níquel, cromo, plata, oro, uranio, etc. En consecuencia el cobalto es considerado habitualmente un subproducto o co-producto de los diversos procesos minero-metalúrgicos.

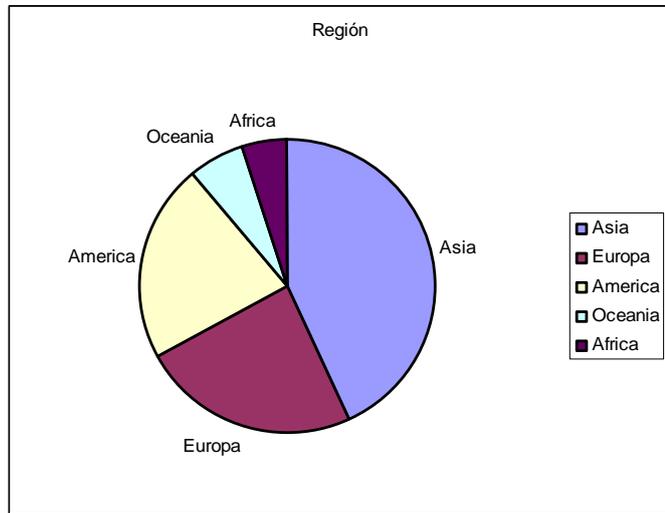
En cuanto a la localización geográfica de los mayores depósitos mundiales de minerales de cobalto, destaca en primer lugar el Cinturón Cuprífero Centroatricano, en el ámbito de la República democrática del Congo, Zambia, Zimbabwe y Uganda, donde existe una gran densidad explotaciones de cobre-cobalto. Australia, Bostwana, Brasil, Canada, China, Cuba, Filipinas, Indonesia, Marruecos, Nueva Caledonia, Rusia y Sudáfrica concentran el resto de yacimientos de cobalto representativos. El panorama del actual mercado internacional del cobalto se completa con la presencia de otros países, como Bélgica, Estados Unidos, Francia, Finlandia, Japón o Noruega, carentes o con baja producción propia de concentrado mineral, que mantienen un lugar destacado en cuanto a producción de manufacturados de cobalto.

A nivel nacional, cabe señalar que hasta la década de los ochenta en España se mantuvo una cierta producción anual de concentrado mineral de cobalto. Con posterioridad, aunque no haya proseguido la actividad extractiva, si ha continuado la prospección en áreas con mayor evidencia de indicios de cobalto. Los trabajos mas recientes han sido acometidos por empresas mineras con experiencia internacional en yacimientos de cobalto.

El cobalto es un metal brillante, gris que fue descubierto en 1739 y tiene una producción mundial de 54.000 toneladas (2007). Es comúnmente un subproducto del níquel y tiene principalmente su origen, como ya se ha indicado anteriormente, en la República Democrática del Congo.

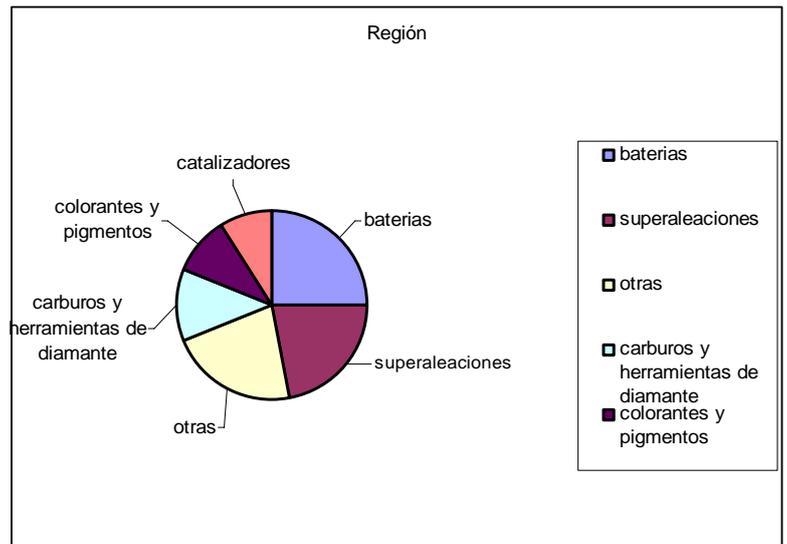


Región	%
Asia	43
Europa	24
America	22
Oceanía	6
África	5



Consumo industrial

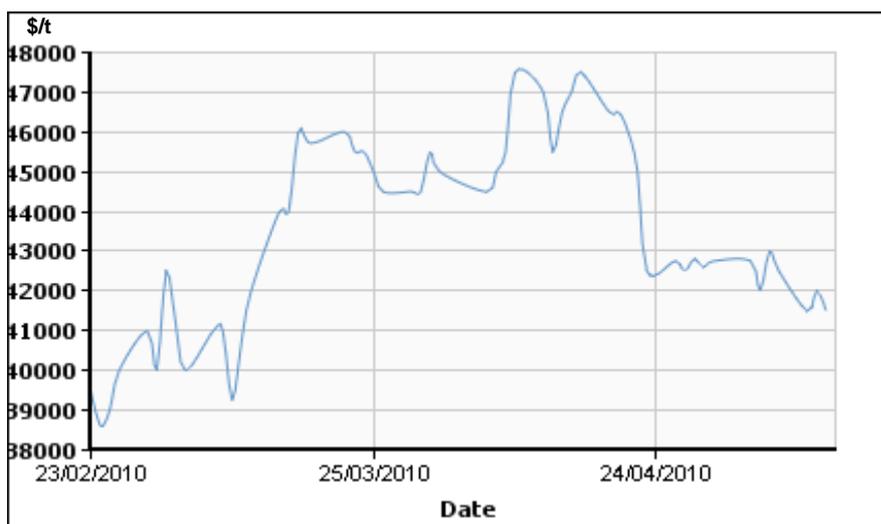
baterías	25
superaleaciones	22
otras	22
carburos y herramientas de diamante	12
colorantes y pigmentos	10
catalizadores	9





2.4. PRECIO DEL COBALTO

En la siguiente figura se muestra el histórico del precio del cobalto en los últimos tres meses



2.5. PRESENCIA EN LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA Y EL RESTO DE ANDALUCÍA

Los elementos minoritarios, tales como el cobalto, no han sido analizados de forma sistemática en la Faja Pirítica, por lo que existen escasos datos y estudios de los contenidos de este metal.

Quizás la excepción haya sido *el stockwork de Tharsis* que ha sido investigado y estudiado por diversas empresas e instituciones, como el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Sociedad de Estudios, Investigaciones y Explotaciones Mineras, S.A. (SEIEMSA), Nueva Tharsis, S.A.L, etc., habiéndose estimado unas reservas de entre 1 y 2 millones de toneladas del orden de 600 g Co/Tm y 1-2g Au/Tm.

De esta forma, tal y como se señala en la “monografía sobre recursos minerales de cobalto en España”, publicada por el IGME en 2003, se considera que una de las áreas con mayor interés prospectivo para el cobalto reside en la Faja Pirítica del SO (Huelva-Sevilla), en la que se presentan indicios de minerales de cobalto asociados a las paragénesis de depósitos de sulfuros masivos. La categoría de estos indicios de cobalto corresponde a valores geoquímicos anómalos y mineralización diseminada, más frecuente en sectores de yacimientos afectados por intensa alteración hidrotermal (*stockwork*).



En otros yacimientos también ha sido detectado el cobalto, aunque no existe cubicación conocida, pudiéndose citar, a título de ejemplo, las siguientes minas hoy paralizadas:

MINA	Contenido en Co (g/Tm)
Riotinto	410-530
San Telmo	100
Perrunal	200
Juan teniente	450
Torerera	300
Cueva de la Mora	100
Ángeles Primera	13.000
La Zarza	400
Peña de Hierro	100
Lancha	300

En la mencionada monografía, además de indicarse los contenidos geoquímicos de cobalto en yacimientos de la Faja Piritica, se recopilan una serie de indicios de minerales de cobalto repartidos por la geografía andaluza siendo los mas destacables los hallados en Oria (Almería).

2.6. MINERALES DE ORO.

Las siguientes figuras muestran el precio del oro en dólares por onza en:

- el último año
- 2 años
- 5 años
- 10 años
- 20 años



1 año



2 años





5 años

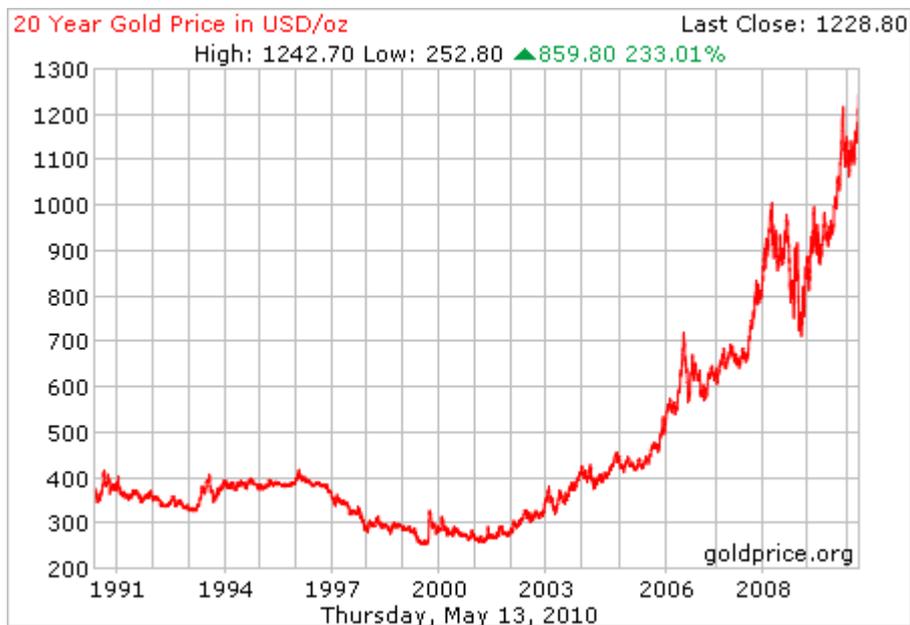


10 años





20 años



Las siguientes figuras muestran el precio del oro en euros por onza en:

- el último año
- 5 años
- 10 años

1 año





5 años



10 años





3. DESCRIPCIÓN Y CONTENIDO DEL TRABAJO

Las investigaciones propuestas en el Convenio de colaboración de esta memoria justificativa, pueden clasificarse en dos tipos:

- Los trabajos a escala planta piloto, incluyendo análisis de control, realizados en una planta piloto en Tharsis (Huelva), trabajando 24 horas al día (en 3 turnos de 8 horas cada uno), de lunes a viernes.
- Los trabajos complementarios a escala laboratorio, tales como test de flotación y análisis especiales, realizados fundamentalmente en los laboratorios del IGME ubicados en Tres Cantos (Madrid)

La planta piloto de flotación consta de 4 áreas:

1. **Trituración:** Consta de una machacadora primaria y un molino de martillos
2. **Molienda:** consta de un molino de bolas
3. **Flotación:** consta de dos acondicionadores y dos baterías de celdas de flotación que pueden distribuirse en desbaste y hasta cuatro relavos.
4. **Filtración:** consta de dos filtros prensa, uno para el concentrado obtenido y otro para el estéril

Además, la instalación dispone de los equipos auxiliares necesarios, tales como dosificadores de reactivos, bombas de pulpa, soplante de aire, control de pH, etc...

En caso de ser necesario, a lo largo de la investigación, se pueden utilizar parte de la planta hidrometalúrgica actual: reactores, tanques, bombas, etc., para realizar algún ensayo complementario a los previstos, al objeto de intentar recuperar los metales preciosos, Au, Ag, etc., por alguna otra vía.

Dependiendo de la granulometría del mineral a tratar, éste puede ser triturado o pasar directamente a molienda, para, tras su acondicionamiento con los reactivos adecuados (regulador de pH, colector y espumante) pasar a las celdas de flotación y obtener un concentrado y un estéril, que serán filtrados en los filtros prensa respectivos.

Se analiza el mineral a la salida del molino (entrada de flotación), el concentrado y el estéril, con lo cual puede cerrarse el balance y determinarse las recuperaciones obtenidas en Co y Au y en cualquier otro metal que se considere de interés y sea analizado.



Para obtener concentrados de Co y Au, estaba previsto tratar los minerales siguientes:

- *Stockwork* de Tharsis, en Tharsis (Huelva)
- Mineral de la escombrera del Filón Sur en la Mina Tharsis, en Tharsis (Huelva)
- Mineral de la escombrera de la Mina La Lapilla, en Alosno (Huelva)
- Mineral de la Mina de San Telmo, en San Telmo (Huelva).
- Cualquier otro mineral de Co y Au procedente de Andalucía que propongan la Junta de Andalucía, a propuesta de la Junta de Andalucía y/o el IGME

Sin embargo, no ha sido posible obtener muestra de la Mina de San Telmo por estar inundada la corta

Los puntos de desmuestre se han localizado, en la provincia de Huelva, en la Faja Pirítica Ibérica.

El mineral del *stockwork* de Tharsis ha sido extraído de la corta, y, tras ser almacenado en montones de 4-5 toneladas, se ha desmuestreado y analizado el contenido en Co y Au, para proceder a su utilización o rechazo por sus bajas leyes. Los que han sido válidos han sido triturados para proceder posteriormente a su molienda y flotación.

Otros minerales tratados, tales como los de las escombreras de Filón Sur y La Lapilla, por su granulometría actual, no ha sido necesario proceder a su trituración, por lo que, tras su desmuestre y análisis, han sido directamente molidos para su posterior tratamiento.

Los parámetros a determinar como óptimos en las pruebas en la planta piloto de flotación han sido los siguientes:

- Granulometría de molienda
- Densidad de pulpa
- Reactivos a utilizar y consumos
- Tiempos de acondicionamiento
- pH de flotación
- n° de relavos



4. UBICACIÓN Y PERSONAL

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

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



Planta Piloto Mineralúrgica



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. Colaborador I+D+i
- Roberto Alonso Riol. Ayudante I+D+i
- Juan Escribano de Diego. Auxiliar de Laboratorio
- Javier Miguel Pinacho. Auxiliar de Laboratorio

Durante las pruebas en planta piloto se ha incorporado un becario:

Luís Cortes Alonso con DNI: 44.234.035K



5. MATERIALES Y MÉTODOS

Para obtener concentrados de Co y Au, se han ensayado con los minerales siguientes:

- *Stockwork* de Tharsis, en Tharsis (Huelva)
- Mineral de la escombrera del Filón Sur en la Mina Tharsis, en Tharsis (Huelva)
- Mineral de la escombrera de la Mina La Lapilla, en Alosno (Huelva)

5.1. METODOLOGÍA EN LABORATORIO

- **Análisis granulométrico**

La granulometría se ha realizado por tamizado, utilizando tamices de laboratorio de la serie ASTM y por medio del analizador de tamaño de partícula Coulter Láser LS 100 y métodos de sedimentación.



Analizador de tamaño de partícula Coulter LS-10



- **Molienda**

Molino de bolas: Utilizado para reducir, en húmedo, la granulometría de la materia prima mediante la rotación de un tambor que contiene bolas de acero.



Molino de bolas

- **Parámetros físicos**

Composición mineralógica

La composición mineralógica se ha determinado mediante Difracción de Rayos X

Determinación de la densidad real

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



Picnómetro de Helio AccuPyc 1330



- **Ensayos de flotación**

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



Celda de flotación Denver

- **Análisis químicos**

Determinación de oro:

Disolución en agua regia. Extracción con metil-isobutil-cetona. Medida por espectrometría de absorción atómica en un equipo Varian SpectrAA 220FS.

Determinación de cobalto:

Ataque ácido ($\text{HF} + \text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$) a sequedad y disolución en HCl 10%. Medida por Espectrometría de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-AES) en un equipo Varian Vista-MPX

Determinación de elementos mayoritarios

ANÁLISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X: Para la determinación de elementos mayoritarios se ha realizado una fusión con tetraborato de Litio (0.3:5.5) en perladora PerIX'3 y medida en equipo MagiX de PANalytical. Tubo de Rh. El Sodio se ha analizado por Absorción Atómica (Equipo VARIAN FS-



220) con fusión con metaborato de Litio. La pérdida por calcinación (PPC) se ha efectuado a 950 °C.

ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X: Método del polvo cristalino. Medida en equipo XPERT PRO de Panalytical. Tubo de Cobre, monocromador de grafito, rendija automática y detector X´Celerator. Se ha utilizado el software High-Score de Panalytical. Y la Base de Datos ICDD. Para el estudio de la fracción arcilla se han preparado agregados orientados que se han sometido a pruebas de hinchamiento con etilenglicol y colapsamiento térmico a 550°C. (Diagramas A, E y T)



5.2. METODOLOGÍA EN PLANTA PILOTO

La planta piloto de flotación consta de 4 áreas:

- 1) **Trituración:** Consta de una machacadora primaria y un molino de martillos
- 2) **Molienda:** consta de un molino de bolas
- 3) **Flotación:** consta de dos acondicionadores y dos baterías de celdas de flotación (desbaste y hasta cuatro relavos)
- 4) **Filtración:** consta de dos filtros prensa, uno para el concentrado obtenido y otro para el estéril



Machacadora de mandíbulas



Molino de martillos



Molino de bolas



Molino de bolas



Acondicionadores



Celdas de flotación



Celdas de flotación



Bombas



Tanques de regulación



Filtros prensa



Planta piloto de flotación



Parámetros de operación de la Planta Piloto

Reactivos utilizados

- **Colector:**

Etil xantato potásico

Formula: $KS_2COC_2H_5$

PESO MOLECULAR: 160.30g/mol

Se utiliza en la minería como colector en la flotación de sulfuros metálicos. Con las siguientes propiedades físicas y químicas:

- *Aspecto sólido*
- *Fuerte olor*
- *Densidad relativa: 0.94 g/cc*
- *Es estable en condiciones normales de temperatura*

- **Espumante:**

Metilisobutilcarbinol

Formula: 4-metilpentan-2-ol

PESO MOLECULAR: 102.18 g/mol

Se utiliza en la minería como espumante en la flotación de sulfuros metálicos. Con las siguientes propiedades físicas y químicas:

- *Líquido incoloro*
- *Olor característico agradable*
- *Densidad relativa: 0.801 g/cc*
- *Es estable en condiciones normales de temperatura*



Capacidad de tratamiento

- 30 Kg/h

Dosificación:

- Colector: 100 g/tm
- Espumante: 50 g/tm

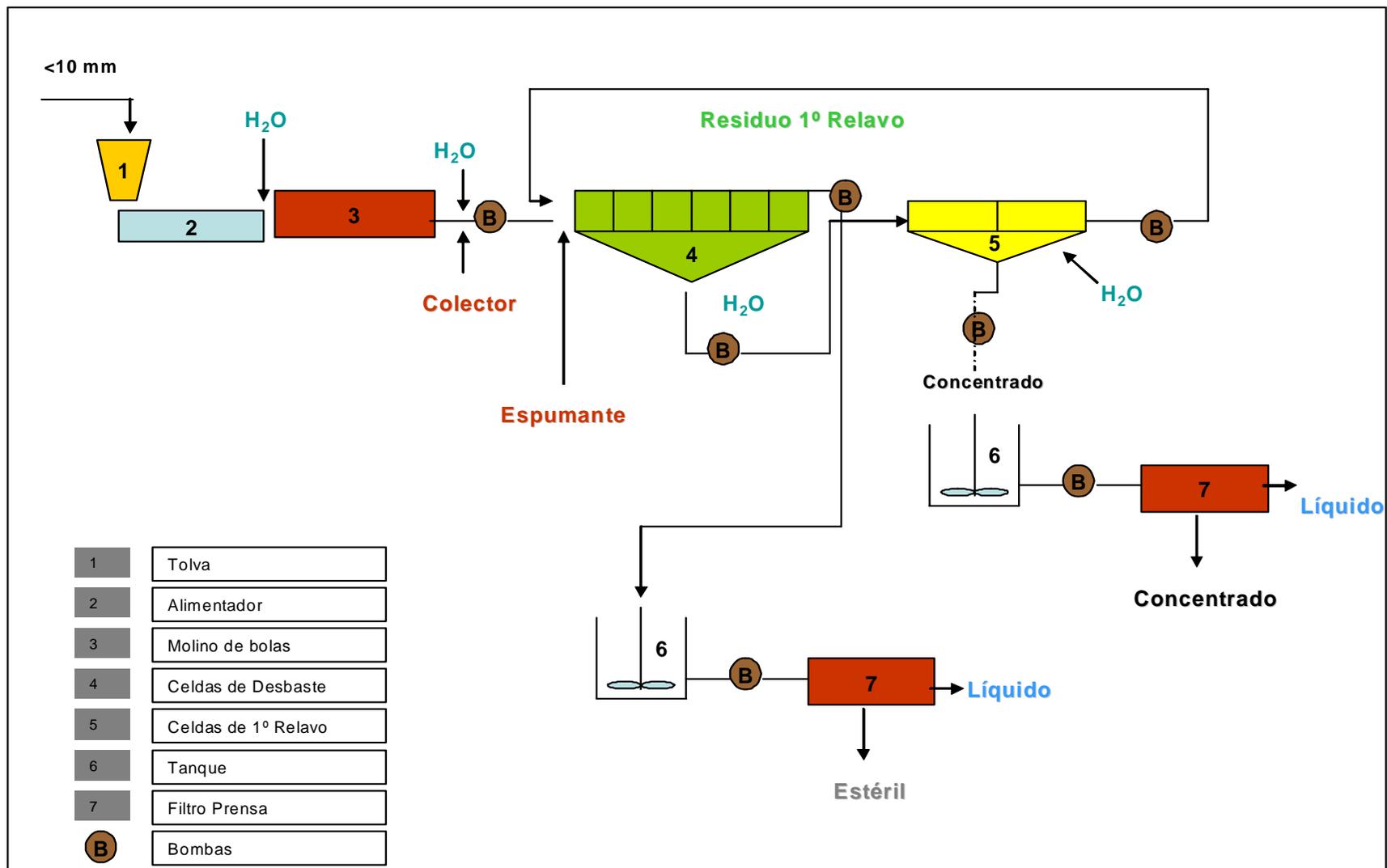
Densidad de pulpa:

- Desbaste: 1350 g/l
- 1º Relavo 1150 g/l

pH

- pH desbaste: 6.5-7
- pH 1º relavo: 6.5-7

En la siguiente figura se muestra un esquema de funcionamiento de la Planta Piloto de flotación.

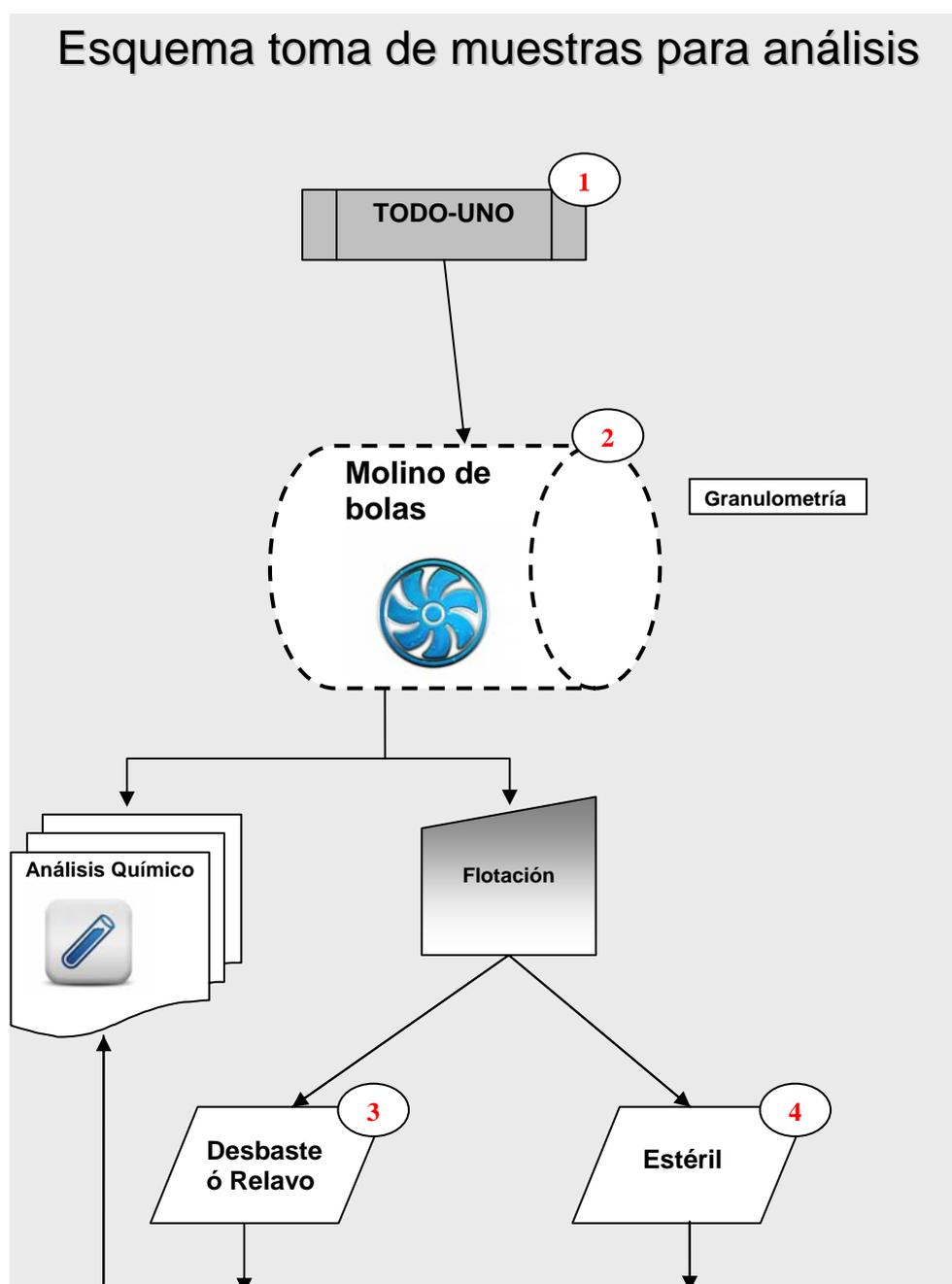


6. RESULTADOS

6.1. Ensayos realizados con el mineral “stockwork” de Tharsis

6.1.1. Ensayos de flotación en función de la granulometría.

La siguiente figura muestra el esquema general seguido en los ensayos de flotación





Los ensayos preliminares se han realizado a escala laboratorio confirmándose los resultados en la Planta Piloto Mineralúrgica de Flotación





6.1.1.1. Ensayo de Flotación 1

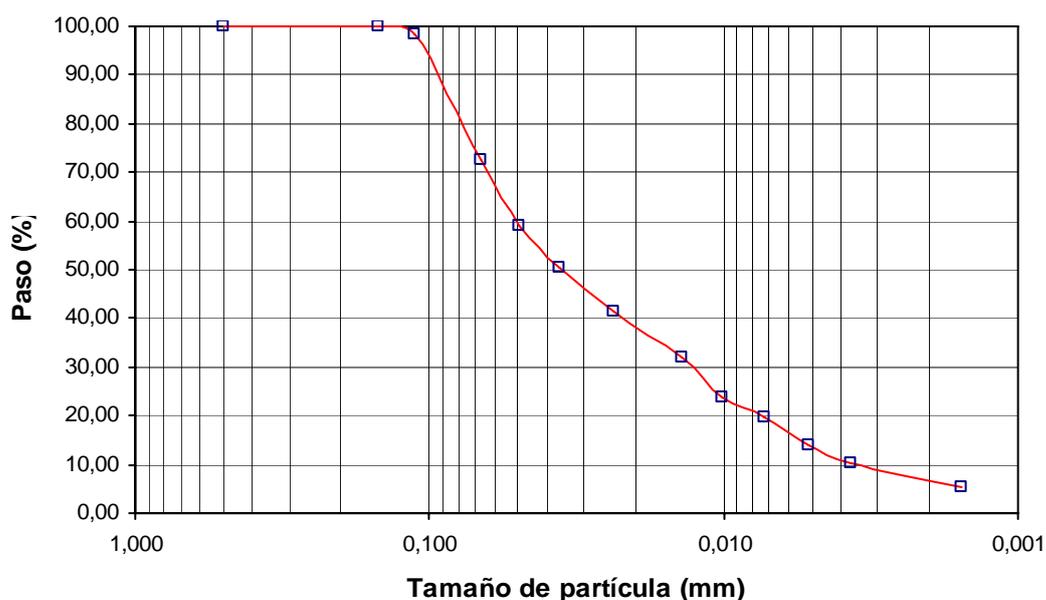
6.1.1.1.1. Caracterización química

La siguiente tabla muestra las leyes iniciales del mineral de Tharsis objeto de estudio:

LEYES										
Au (ppm)	S (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
0,60	14,72	2	161	1083	26,49	592	2	54	455	2379

6.1.1.1.2. Caracterización granulométrica

Granulometría: $D_{80}=79 \mu\text{m}$



6.1.1.1.3. Balance de flotación

Condiciones operativas

Ensayo de desbaste

- Colector: Etilxantato potásico
- Espumante: metilisobutilcarbinol



El balance en peso y leyes finales obtenido en el ensayo se muestra en la siguiente tabla:

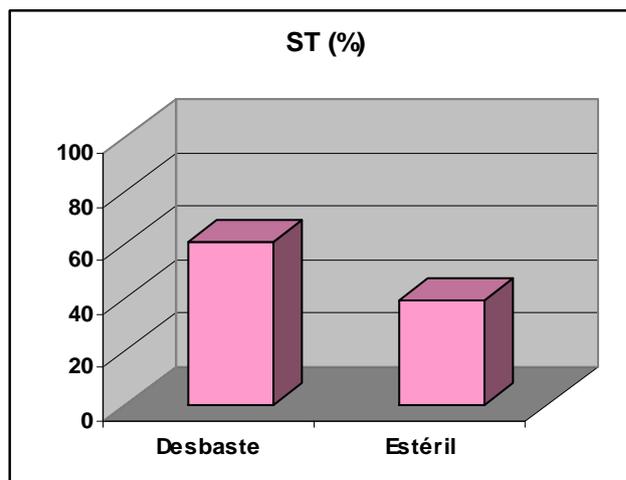
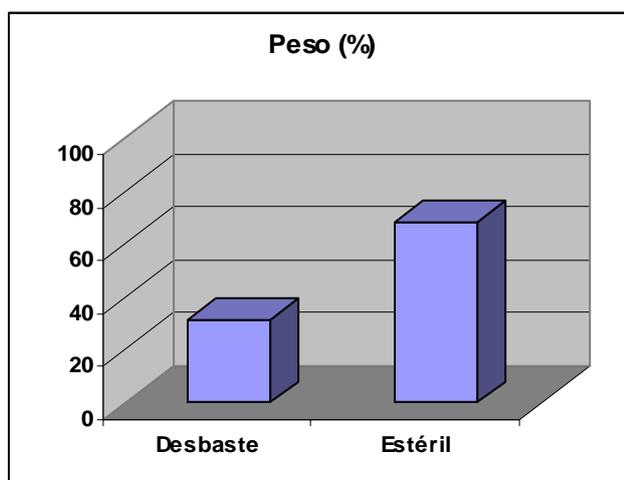
MUESTRA	Peso %	LEYES										
		Au (ppm)	S (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Desbaste	31,24	1,7	28,72	5	240	4886	33,57	320	1	60	1343	8726
Estéril	68,76	0,4	8,36	1	124	140	22,07	675	4	54	224	373
Todo-uno (r)		0,81	14,72	2	160	1623	25,66	564	3	56	574	2982
Todo-uno (a)	100	0,60	14,72	2	161	1083	26,49	592	2	54	455	2379

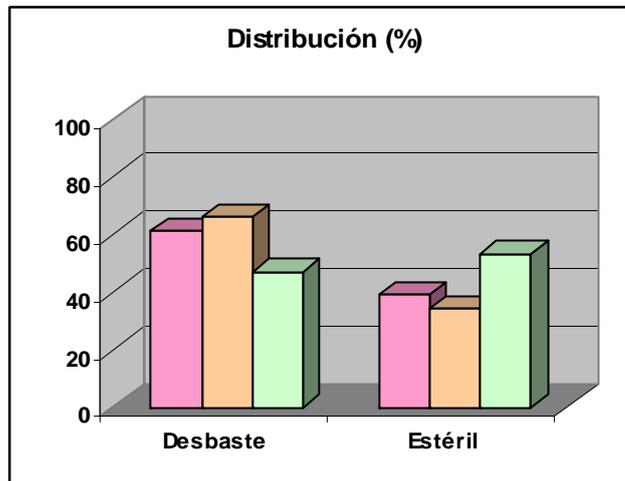
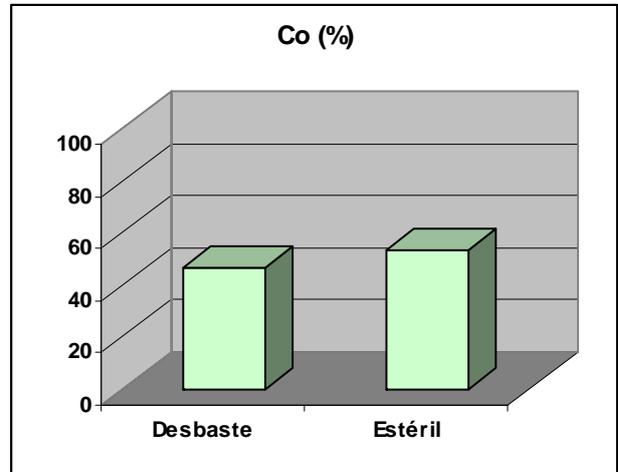
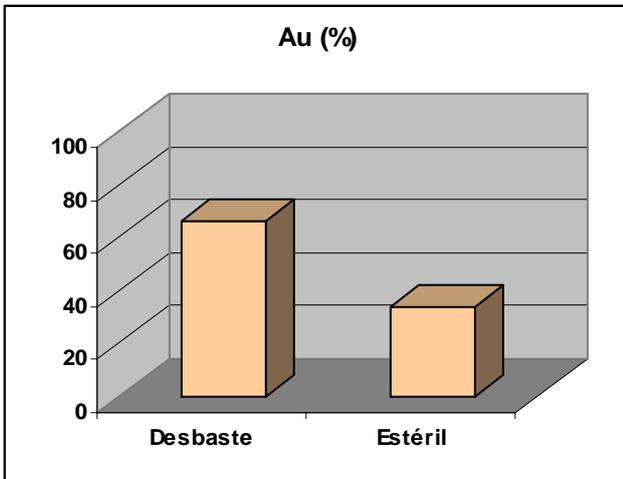
La distribución de los diferentes elementos se muestra en la tabla y gráficos siguientes:

MUESTRA	Peso %	DISTRIBUCIÓN (%)										
		Au (%)	S (%)	Ag (%)	Co (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mn (%)	Mo (%)	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)
Desbaste	31,24	65,88	60,95	69,43	46,79	94,07	40,87	17,72	10,20	33,55	73,15	91,40
Estéril	68,76	34,12	39,05	30,57	53,21	5,93	59,13	82,28	89,80	66,45	26,85	8,60
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Distribución del Au y Co

Las siguientes figuras muestran la distribución de Au, Co, y ST en el desbaste y estéril







6.1.1.2. Ensayo de Flotación 2

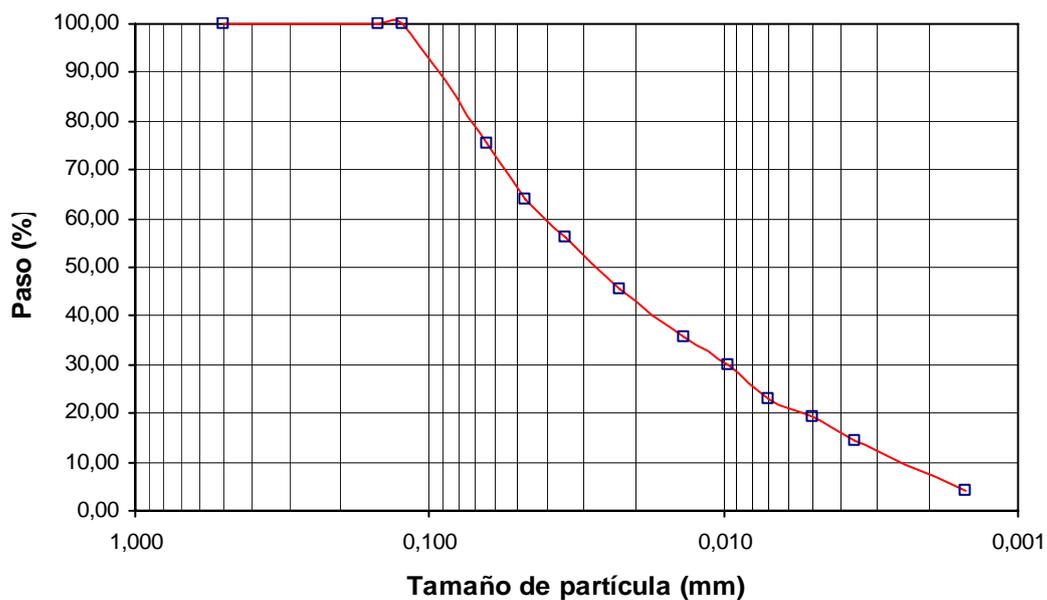
6.1.1.2.1. Caracterización química

La siguiente tabla muestra las leyes iniciales del mineral de Tharsis objeto de estudio

LEYES										
Au (ppm)	S (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
0,5	11,2	1,0	158	956	23,1	618	1	50	154	1892

6.1.1.2.2. Caracterización granulométrica

Granulometría: $D_{80} = 70 \mu\text{m}$



6.1.1.2.3. Balance de flotación

Condiciones operativas

Ensayo de desbaste

- Colector: Etilxantato potásico
- Espumante: metilisobutilcarbinol



El balance en peso y leyes finales obtenido en el ensayo se muestra en la siguiente tabla:

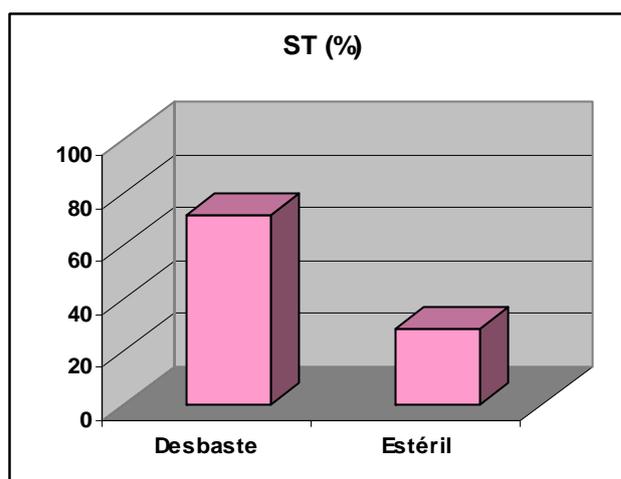
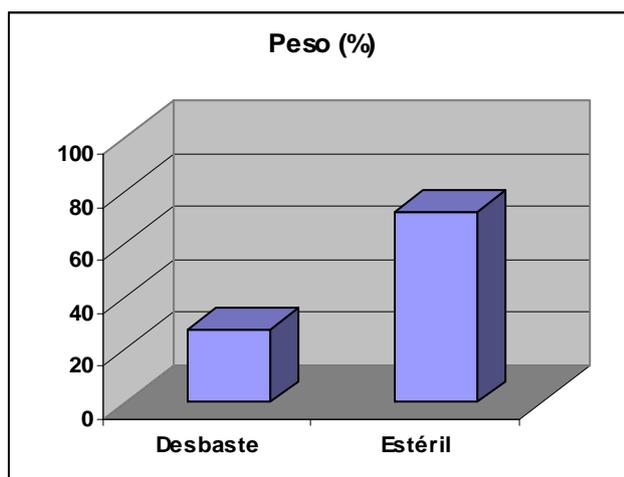
MUESTRA	Peso %	LEYES										
		Au (ppm)	S (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Desbaste	27,8	1,5	28,8	4	266	3985	36,5	376	1	55	746	5941
Estéril	72,3	0,2	4,4	0	72	125	18,8	691	1	45	317	341
Todo-uno (r)		0,6	11,2	1	126	1196	23,7	604	1	48	436	1895
Todo-uno (a)	100	0,5	11,2	1	158	956	23,1	618	1	50	154	1892

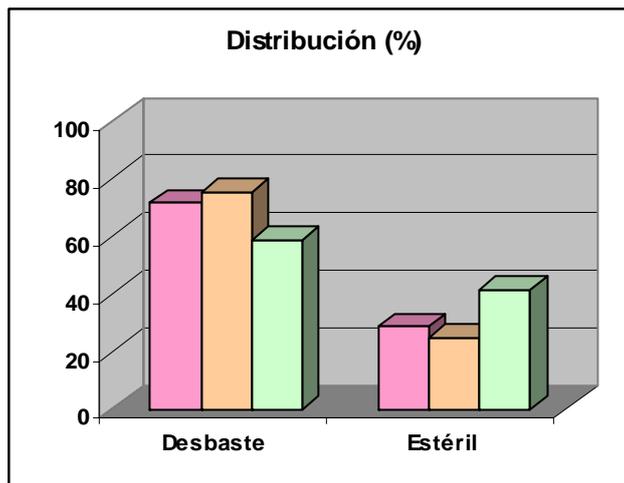
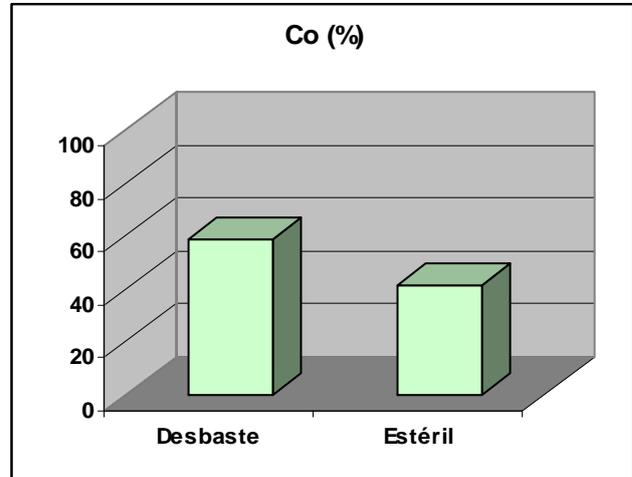
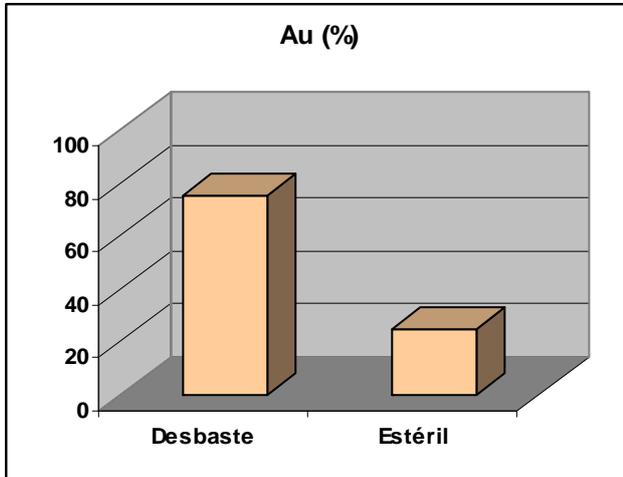
La distribución de los diferentes elementos se muestra en la tabla y gráficos siguientes:

MUESTRA	Peso %	DISTRIBUCIÓN										
		Au (%)	S (%)	Ag (%)	Co (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mn (%)	Mo (%)	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)
Desbaste	27,8	75,32	71,54	100	58,66	92,45	42,77	17,29	27,75	31,95	47,48	87,00
Estéril	72,3	24,68	28,46	0,00	41,34	7,55	57,23	82,71	72,25	68,05	52,52	13,00
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Distribución del Au y Co

Las siguientes figuras muestran la distribución de Au, Co, y ST en el desbaste y estéril







6.1.1.3. Ensayo de Flotación 3

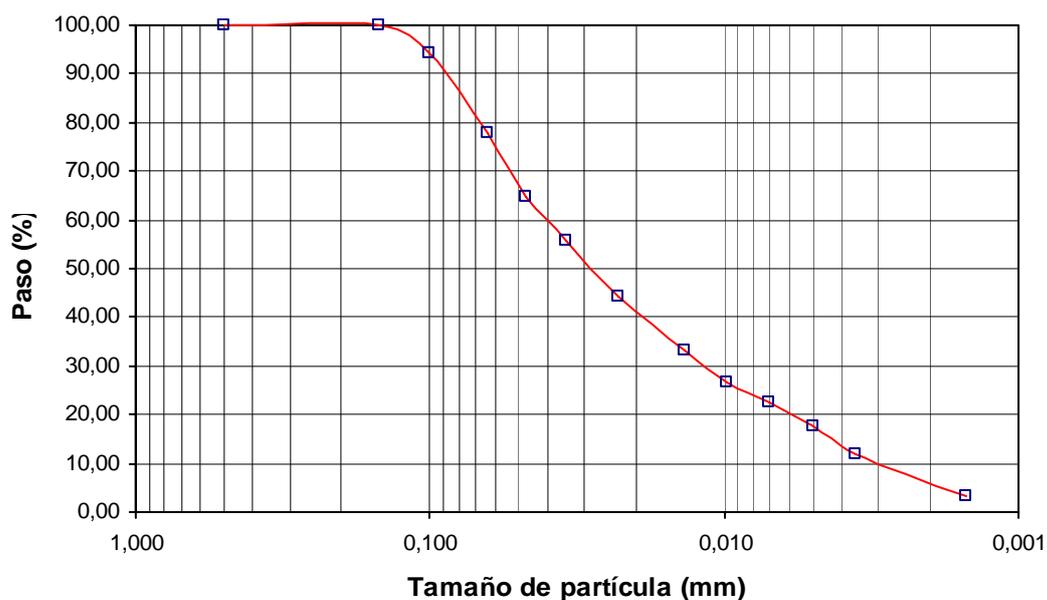
6.1.1.3.1. Caracterización química

La siguiente tabla muestra las leyes iniciales del mineral de Tharsis objeto de estudio

LEYES										
Au (ppm)	S (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
0,42	11,31	1	70	750	22,69	571	2	44	342	3090

6.1.1.3.2. Caracterización granulométrica

Granulometría: $D_{80} = 67 \mu\text{m}$



6.1.1.3.2. Balance de flotación

Condiciones operativas

Ensayo de desbaste

- Colector: Etilxantato potásico
- Espumante: metilisobutilcarbinol



El balance en peso y leyes finales obtenido en el ensayo se muestra en la siguiente tabla:

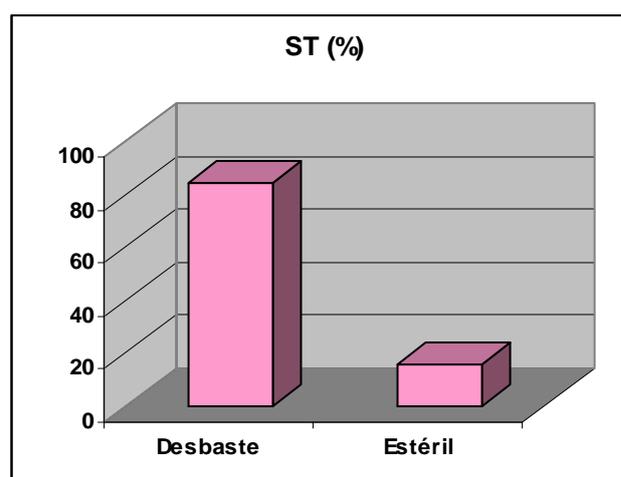
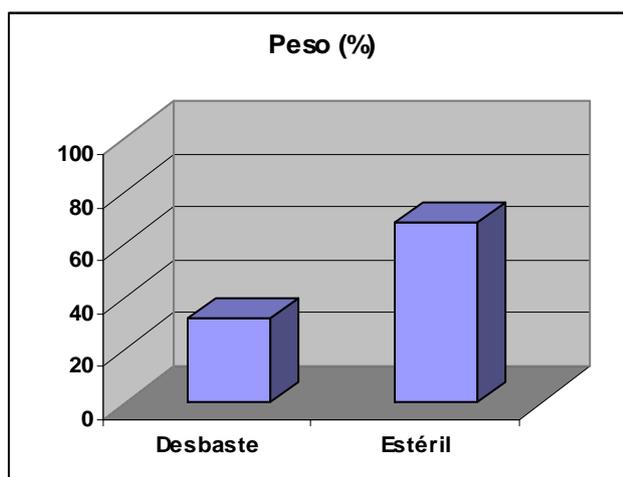
MUESTRA	Peso %	LEYES										
		Au (ppm)	St (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Desbaste	31,77	1,27	29,97	5	130	3075	35,69	369	4	62	1483	17596
Estéril	68,23	0,09	2,62	0	33	62	16,96	671	2	46	154	570
Todo-uno (r)		0,46	11,31	1,59	64	1019	22,91	575	3	51	576	5979
Todo-uno (a)	100	0,42	11,31	1	70	750	22,69	571	2	44	342	3090

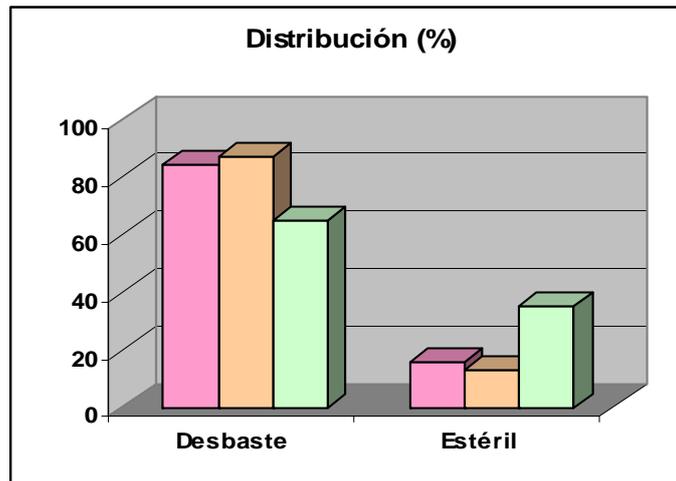
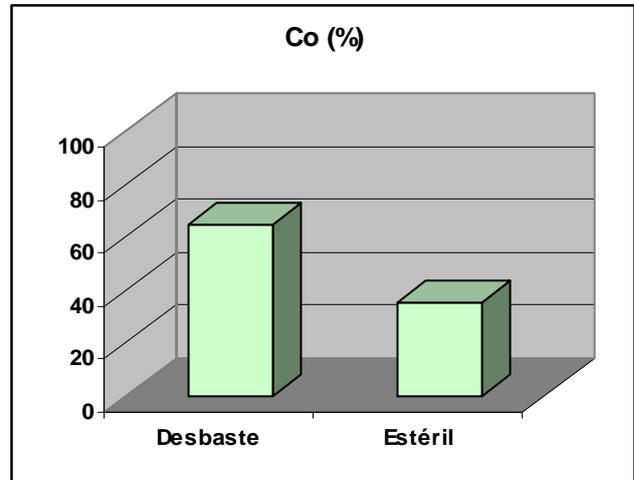
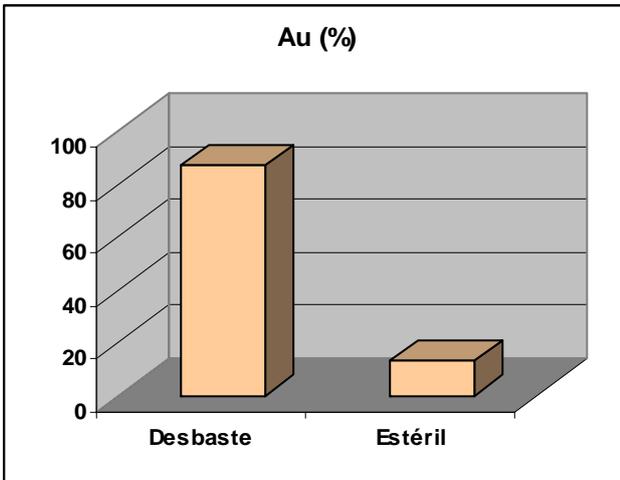
La distribución de los diferentes elementos se muestra en la tabla y gráficos siguientes:

MUESTRA	Peso %	DISTRIBUCIÓN										
		Au (%)	S (%)	Ag (%)	Co (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mn (%)	Mo (%)	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)
Desbaste	31,77	86,79	84,19	100	64,72	95,85	49,49	20,39	48,22	38,56	81,77	93,50
Estéril	68,23	13,21	15,81	0,00	35,28	4,15	50,51	79,61	51,78	61,44	18,23	6,50
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Distribución del Au y Co

Las siguientes figuras muestran la distribución de Au, Co, y ST en el desbaste y estéril







6.1.1.4. Ensayo de Flotación 4

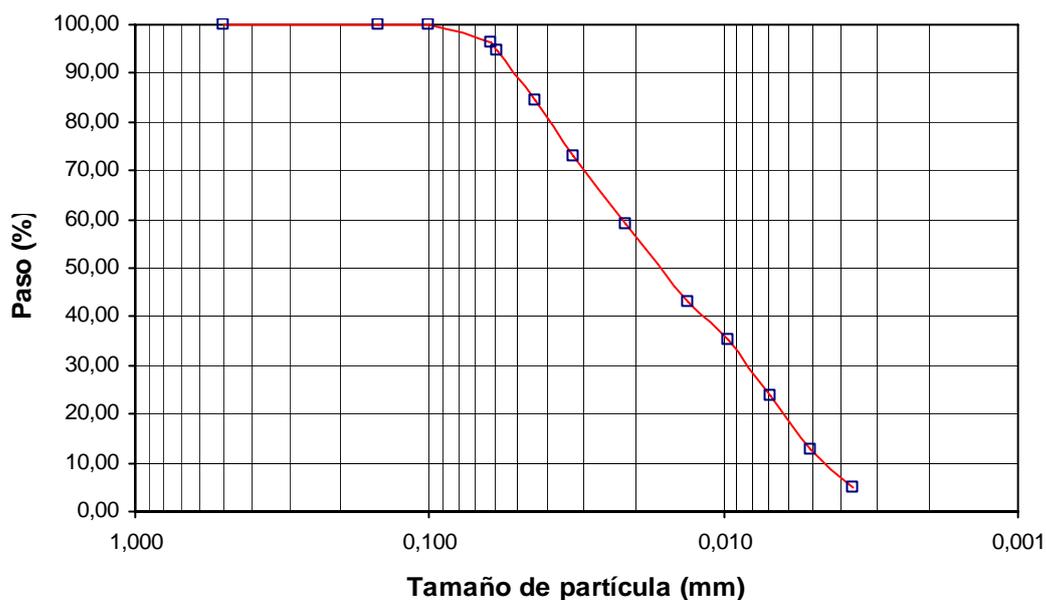
6.1.1.4.1. Caracterización química

La siguiente tabla muestra las leyes iniciales del mineral de Tharsis objeto de estudio

LEYES										
Au (ppm)	S (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
1,7	24,3	2,0	70,0	2691,0	36,1	614	33	36	474	16359

6.1.1.4.2. Caracterización granulométrica

Granulometría: $D_{80}=38 \mu\text{m}$



6.1.1.4.3. Balance de flotación

Condiciones operativas

Ensayo de desbaste

- Colector: Etilxantato potásico
- Espumante: metilisobutilcarbinol



El balance en peso y leyes finales obtenido en el ensayo se muestra en la siguiente tabla:

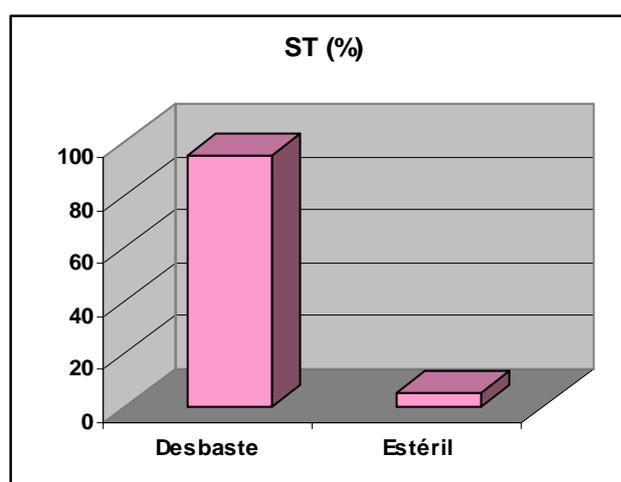
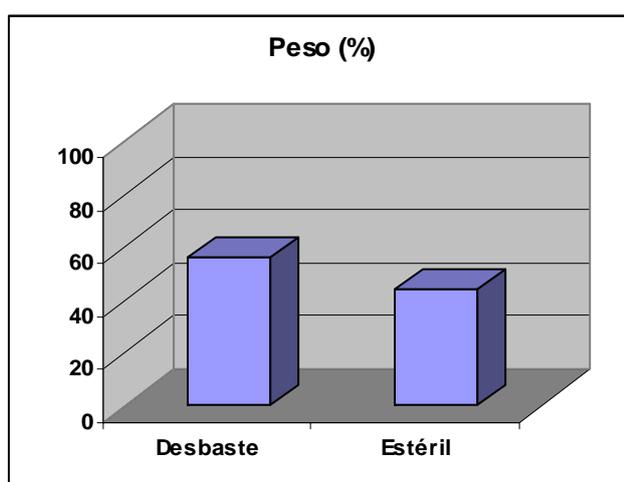
MUESTRA	Peso %	LEYES										
		Au (%)	S (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Desbaste	56	1,7	40,8	3,3	98	4250	46,14	258	23	31	285	29484
Estéril	44	0,21	2,93	0,59	19	324	25,27	1091	37	36	241	1017
Todo-uno (r)	100	1,05	24,1	2,09	63	2522	37	624	29	33	266	16959
Todo-uno (a)		1,7	24,3	2,0	70	2691	36	614	33	36	474	16359

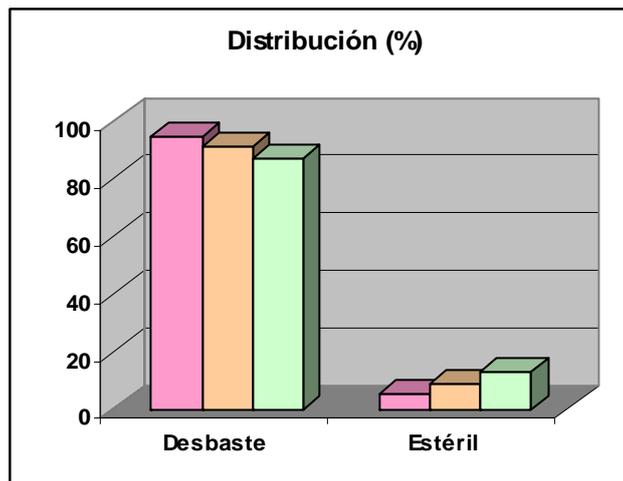
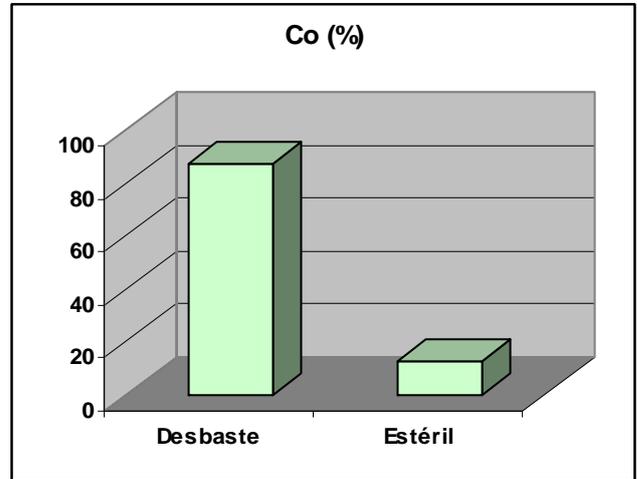
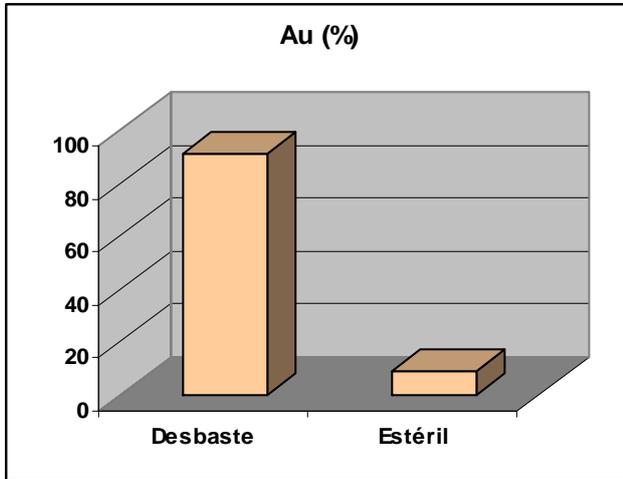
La distribución de los diferentes elementos se muestra en la tabla y gráficos siguientes:

MUESTRA	Peso %	DISTRIBUCIÓN										
		Au (%)	S (%)	Ag (%)	Co (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mn (%)	Mo (%)	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)
Desbaste	56	91,19	94,66	87,61	86,92	94,35	69,91	23,13	44,22	52,23	60,09	97,36
Estéril	44	8,81	5,34	12,39	13,08	5,65	30,09	76,87	55,78	47,77	39,91	2,64
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Distribución del Au y Co

Las siguientes figuras muestran la distribución de Au, Co, y ST en el desbaste y estéril







El balance en peso y leyes finales obtenido en el ensayo se muestra en la siguiente tabla:

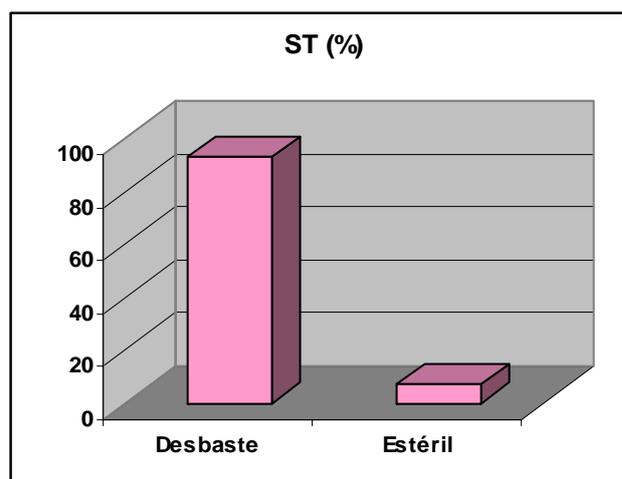
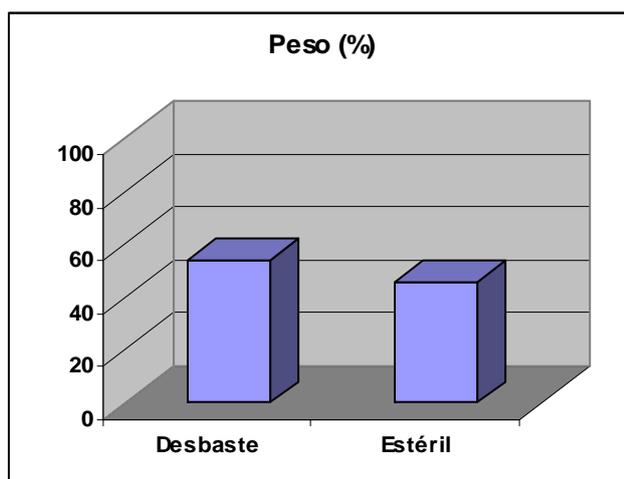
MUESTRA	Peso %	LEYES										
		Au (%)	S (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mn (µg/g)	Mo (µg/g)	Ni (µg/g)	Pb (µg/g)	Zn (µg/g)
Desbaste	54,29	1,7	38,8	3,8	104,4	4344	43,2	233	27	30	224	27333
Estéril	45,71	0,2	3,6	1,0	22	327	24,1	990	40	36	765	1047
Todo-uno (r)	100	1,01	22,7	2,5	66,7	2508	34,5	579	33	33	471	15318
Todo-uno (a)		1,7	24,3	2,0	70,0	2691	36,1	614	33	36	474	16359

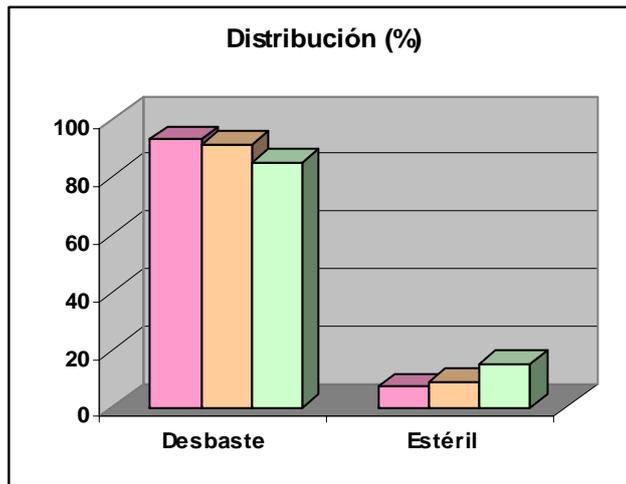
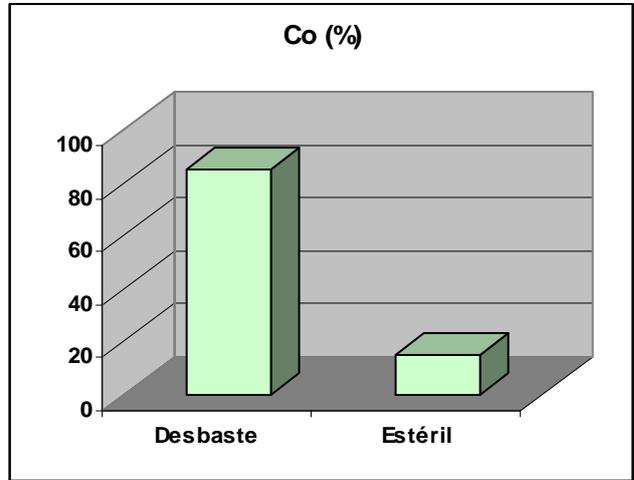
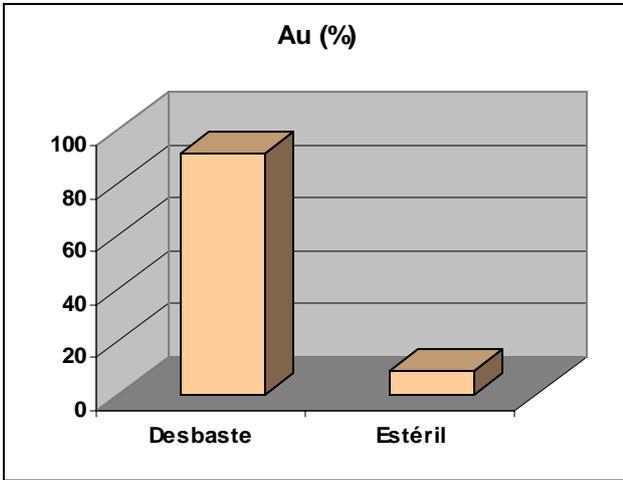
La distribución de los diferentes elementos se muestra en la tabla y gráficos siguientes:

MUESTRA	Peso %	DISTRIBUCIÓN										
		Au (%)	S (%)	Ag (%)	Co (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mn (%)	Mo (%)	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)
Desbaste	54,29	90,99	92,84	82,03	84,93	94,04	68,09	21,84	44,11	49,80	25,79	96,88
Estéril	45,71	9,01	7,16	17,97	15,07	5,96	31,91	78,16	55,89	50,20	74,21	3,12
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Distribución del Au y Co

Las siguientes figuras muestran la distribución de Au, Co, y ST en el desbaste y estéril:







6.1.1.6. Ensayo de Flotación 6. Desbaste y un relavo

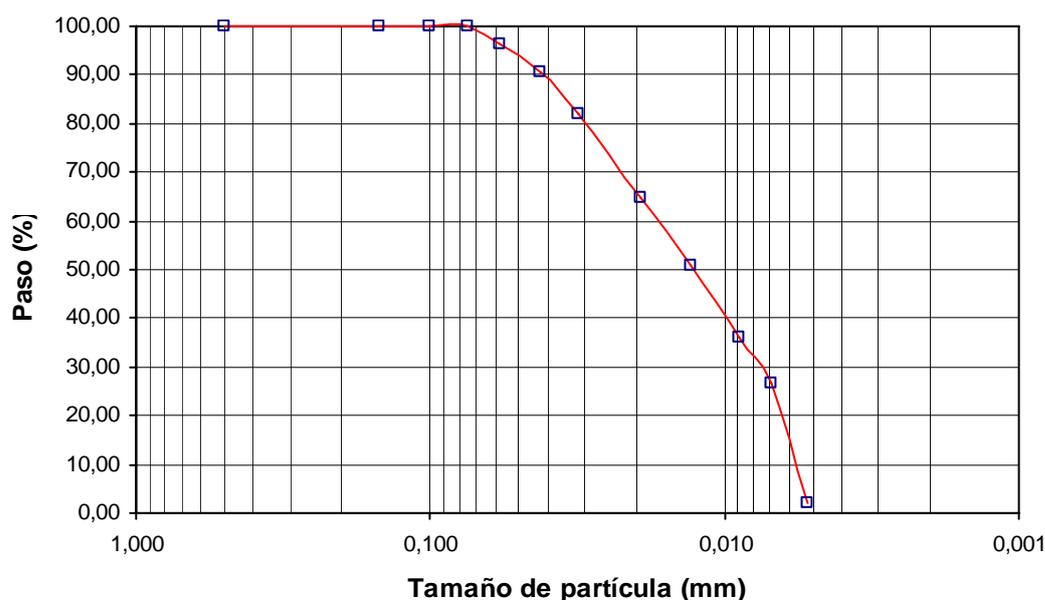
6.1.1.6.1. Caracterización química

La siguiente tabla muestra las leyes iniciales del mineral de Tharsis objeto de estudio:

LEYES										
Au (ppm)	S (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
1,7	24,3	2,0	70,0	2691,0	36,1	614	33	36	474	16359

6.1.1.6.2. Caracterización granulométrica

Granulometría: $D_{80}=31 \mu\text{m}$



6.1.1.6.3. Balance de flotación

Condiciones operativas

Ensayo de desbaste y un relavo

- Colector: Etilxantato potásico
- Espumante: metilisobutilcarbinol

El balance en peso y leyes finales obtenido en el ensayo se muestra en la siguiente tabla:



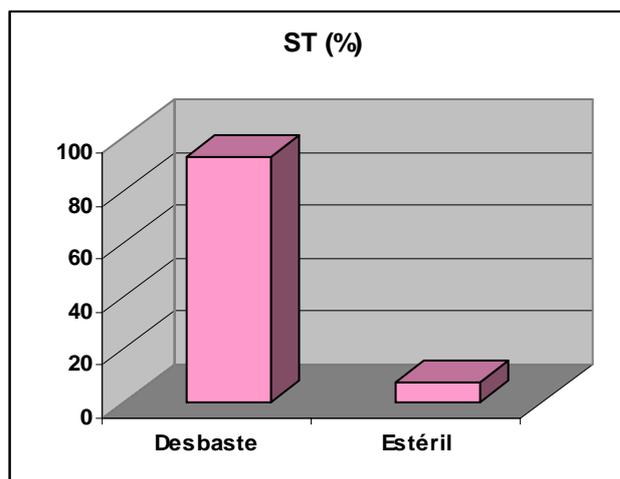
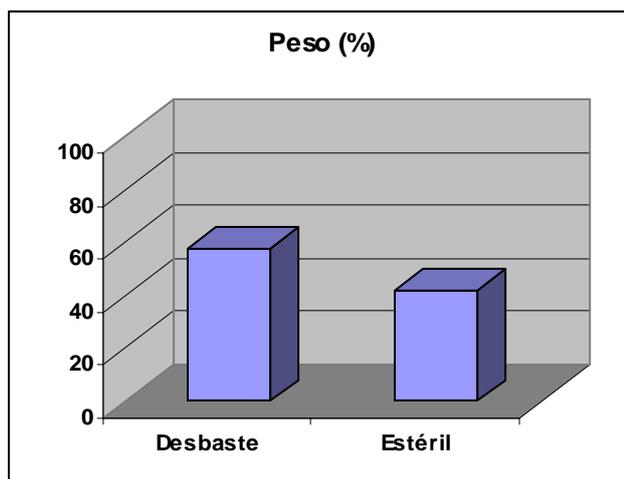
MUESTRA	Peso %	LEYES										
		Au (%)	S (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Concentrado	58	2,7	38,4	3,0	98,0	4104	46,7	284	27	32	290	27608
Estéril	42	0,28	4,15	0	22	410	26,31	1042	43	34	255	1462
Todo-uno (r)	100	1,65	24,0	1,7	66	2553	38,1	602	34	33	275	16627
Todo-uno (a)		1,7	24,3	2,0	70	2691	36,1	614	33	36	474	16359

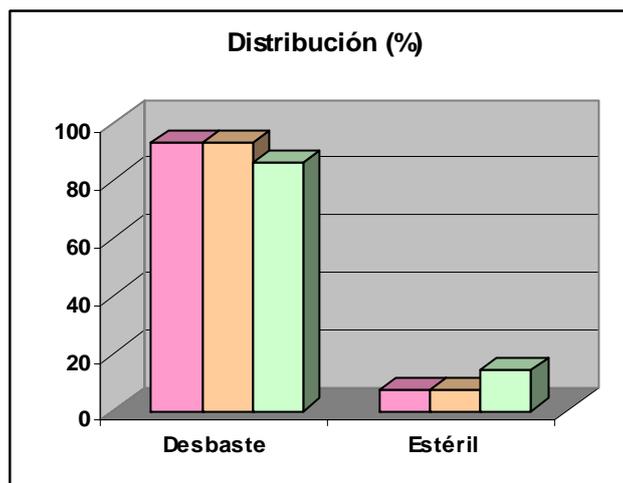
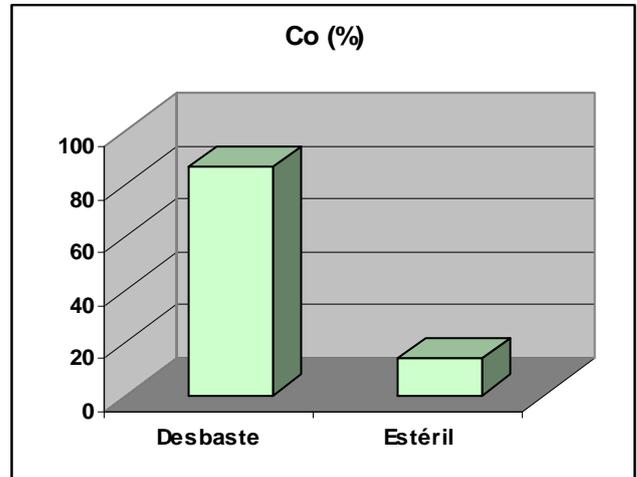
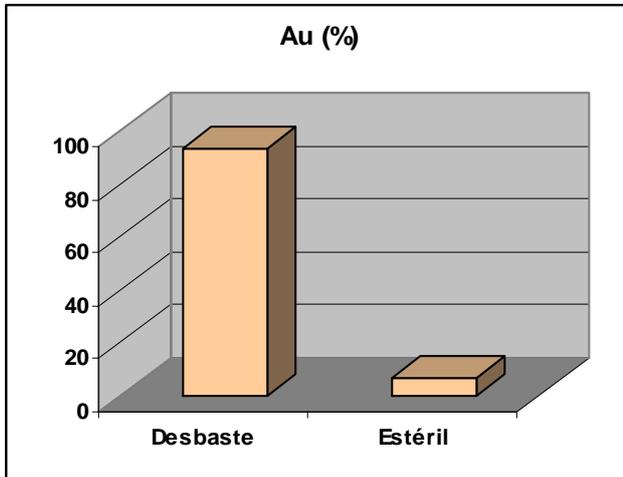
La distribución de los diferentes elementos se muestra en la tabla y gráficos siguientes:

MUESTRA	Peso %	DISTRIBUCIÓN										
		Au (%)	S (%)	Ag (%)	Co (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mn (%)	Mo (%)	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)
concentrado	58	93,0	92,7	100	86	93	71	27	46	57	61	96
Estéril	42	7,0	7,3	0,0	14	7,0	29	73	54	43	39	4,0
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Distribución del Au y Co

Las siguientes figuras muestran la distribución de Au, Co, y ST en el desbaste y estéril



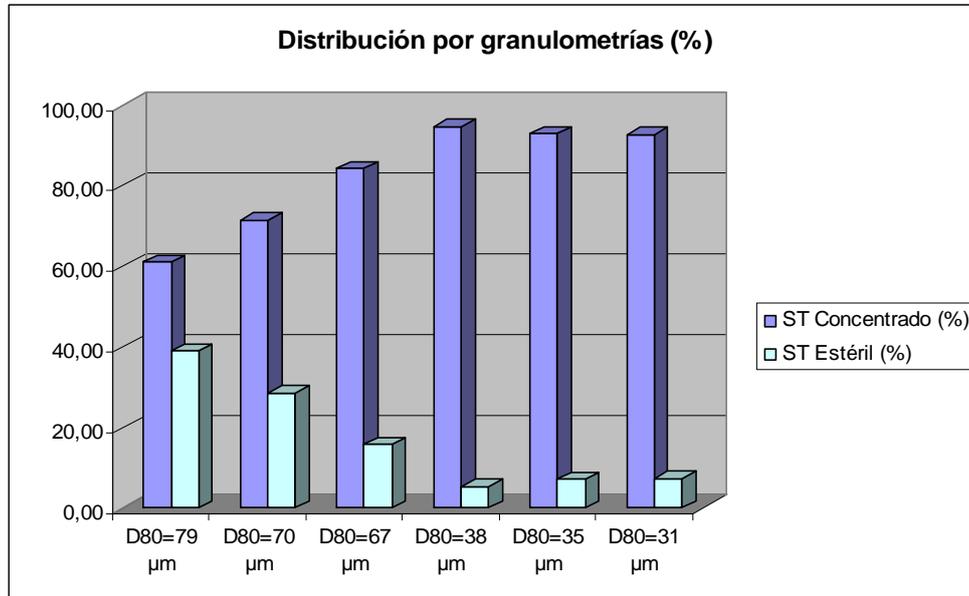


De los resultados obtenidos se puede observar que al disminuir la granulometría se obtienen mejores resultados de concentración de oro y cobalto en la flotación. Con granulometrías de un D_{80} inferior a $38\mu\text{m}$ se obtienen rendimientos en Au superiores a 90% y Co del 80%. En el caso de minerales con leyes en Au y Co mas altas y en ensayos de desbaste y un relavo con un D_{80} de $31\mu\text{m}$ se obtienen rendimientos de 93% del Au y 86% de Co.

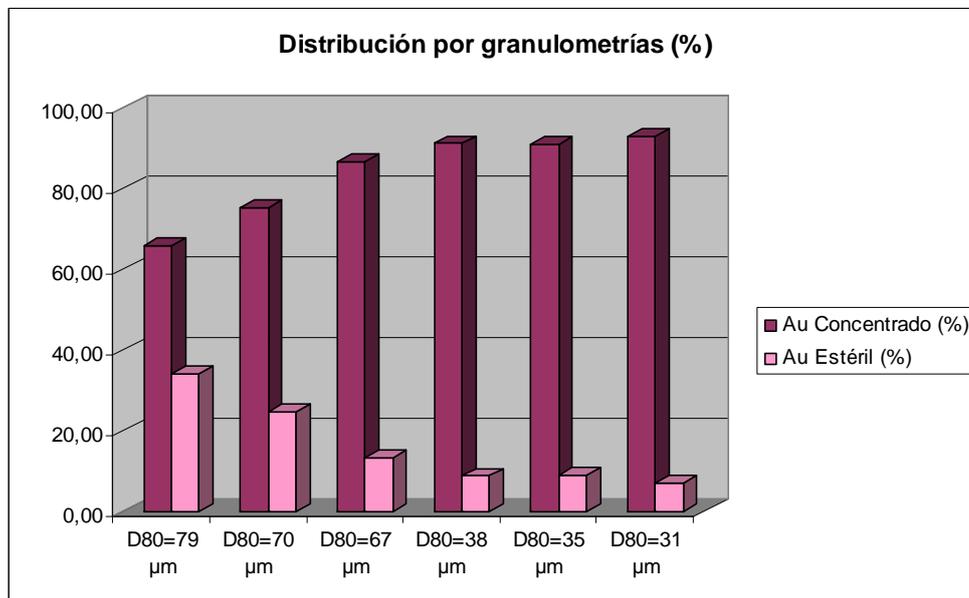
Las siguientes figuras muestran la distribución de oro y cobalto en función de la granulometría inicial del ensayo de flotación



Azufre total

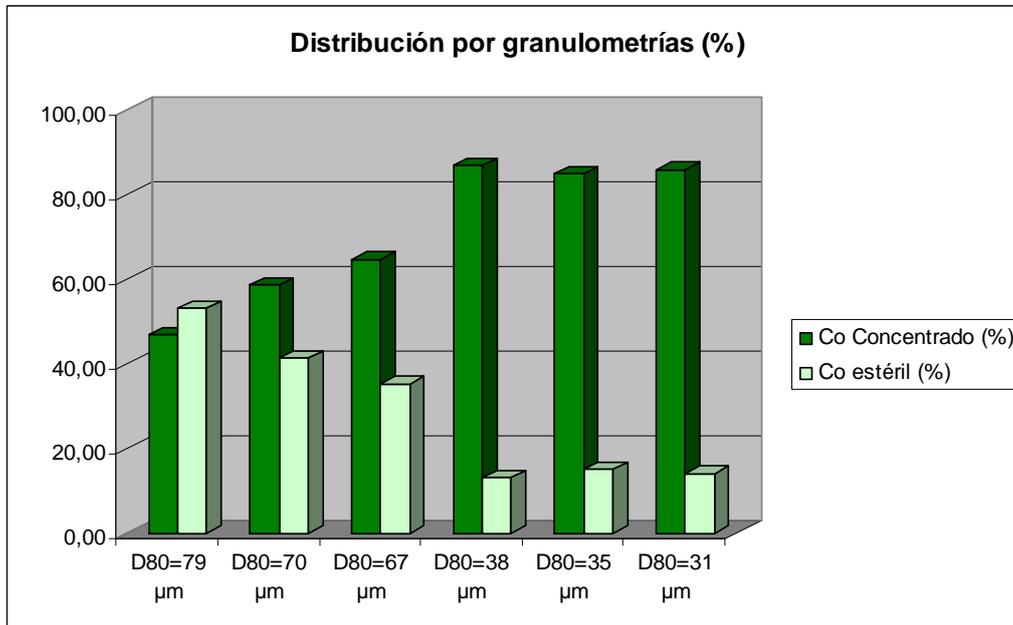


Oro

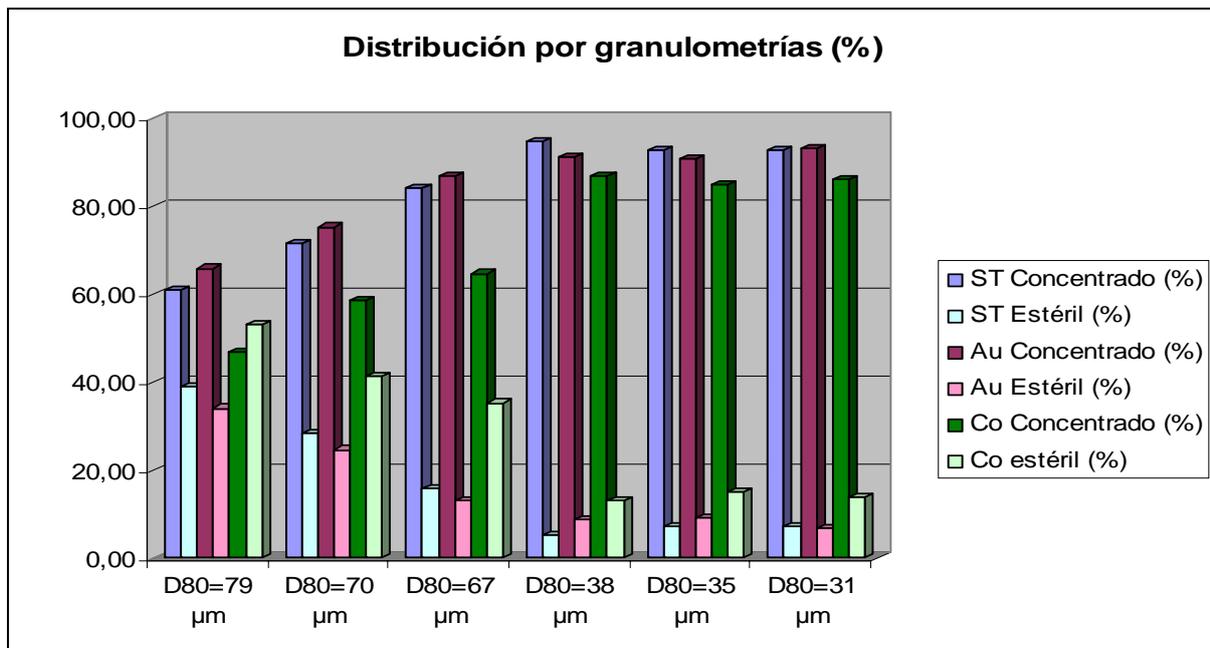


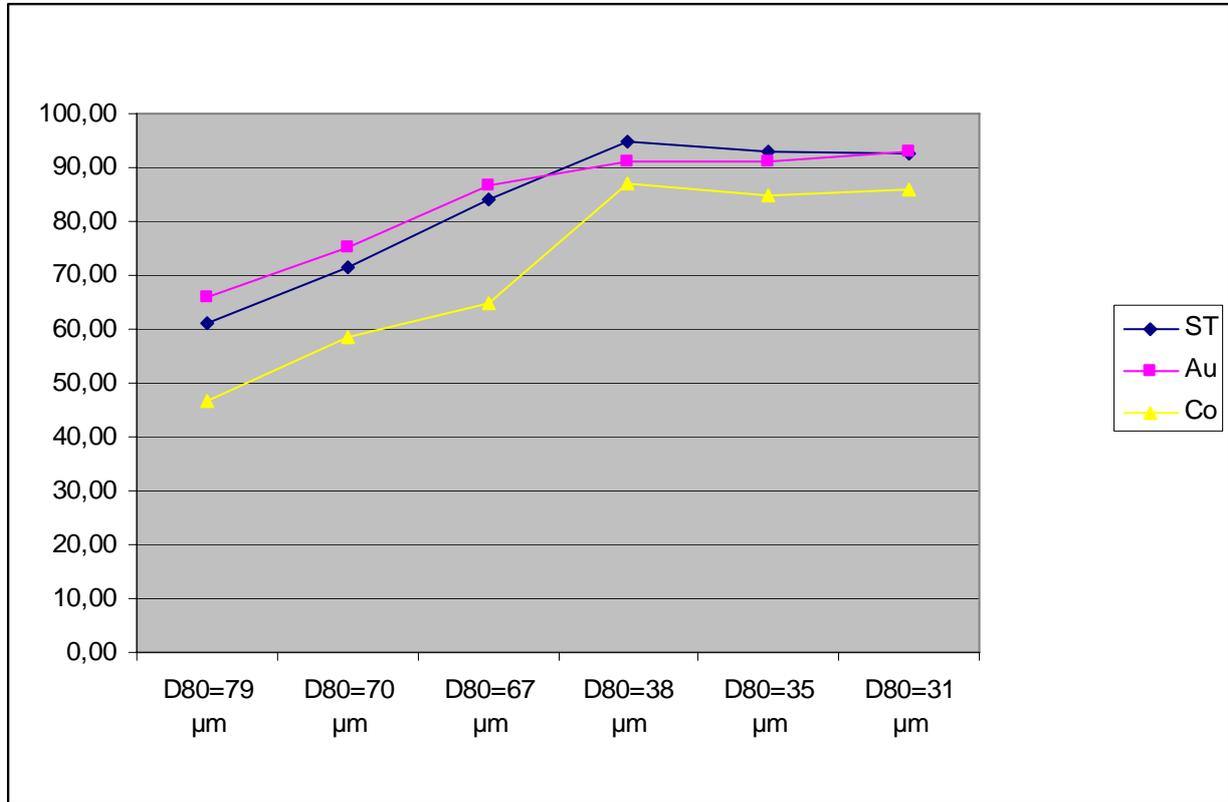


Cobalto



Distribución comparativa de Au, Co y ST







6.2. Ensayos realizados con mineral de la escombrera del Filón Sur

6.2.1. Caracterización química

El análisis químico medio de las muestras iniciales a ensayar, realizado mediante fluorescencia de rayos X (FRX), ICP plasma y Absorción atómica (AA) se muestra en la siguiente tabla.

Caracterización química del mineral de Filón Sur

ELEMENTO	Porcentaje (%)
Ag (ppm)	22
Al (%)	3,06
As (ppm)	3700
Ba (ppm)	263
Be (ppm)	<1
Bi (ppm)	93
Ca (%)	1,21
Cd (ppm)	<2
Ce (ppm)	32
Co (ppm)	12
Cr (ppm)	80
Cu (ppm)	440
Fe (%)	23,4
K (%)	0,67
La (ppm)	15
Li (ppm)	<10
Mg (%)	0,09
Mn (ppm)	87
Mo (ppm)	6
Na (%)	0,06
Nb (ppm)	<10
Ni (ppm)	<10
P (ppm)	699
Pb (ppm)	9042
Rb (ppm)	57
Sb (ppm)	583



ELEMENTO	Porcentaje (%)
Sc (ppm)	6
Se (ppm)	158
Sr (ppm)	48
Ti (%)	0,18
Tl (ppm)	<20
V (ppm)	86
W (ppm)	<10
Y (ppm)	8
Zn (ppm)	237
Au (ppm)	1,7

El contenido en oro y cobalto en las muestras ensayadas se muestra en la siguiente tabla:

Contenido de oro y cobalto en las muestras

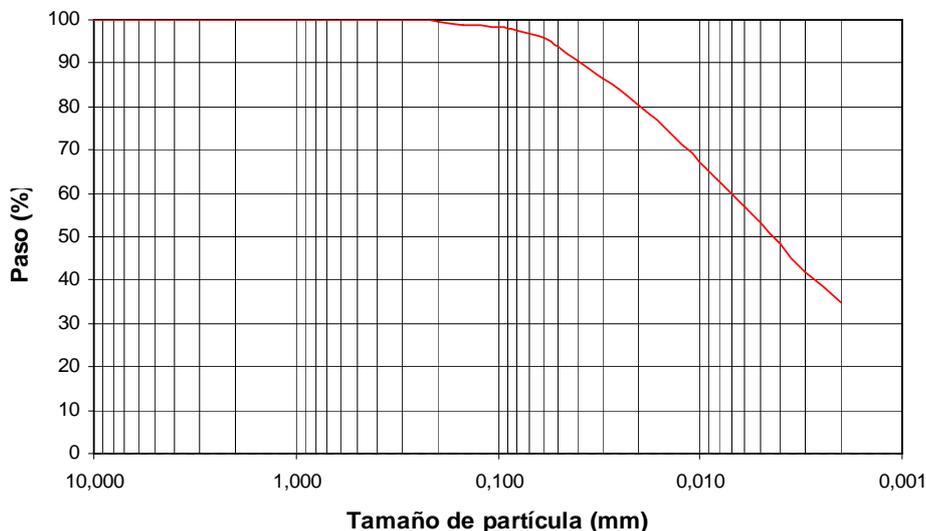
Muestra	Au $\mu\text{g/g}$	Co (ppm)
Filón Sur	1,7	12

6.2.2. Molienda en Planta Piloto. Caracterización granulométrica

El D_{80} obtenido por análisis granulométrico en **Coulter láser LS100**, tras la molienda en Planta Piloto, es $<15\mu\text{m}$. La curva granulométrica muestra la distribución granulométrica obtenida.



ANALISIS GRANULOMETRICO



TAMAÑO DE ABERTURA NOMINAL (mm)	PASO (%)
0,25	100,00
0,2	100,00
0,15	100,00
0,1	99,90
0,08	99,80
0,06	99,30
0,05	98,60
0,04	97,20
0,03	94,30
0,025	91,90
0,02	88,20
0,015	82,30
0,01	73,10
0,008	67,90
0,006	60,60
0,005	55,70
0,004	49,40
0,003	41,30
0,002	32,50

6.2.3. Ensayos de cianuración

Los ensayos de cianuración se han realizado al 20% de densidad de pulpa a un pH entre 10,5-11 por adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, con una concentración de KCN de 10 g/l.

Se lavan los residuos con agua a pH básico (pH=8.5–9).

La siguiente tabla muestra el balance de cianuración obtenido en el proceso.

MUESTRA	LEYES INICIALES	
	Au (%)	Ag (ppm)
FILON SUR	1,7	22

ELEMENTO	LEYES FINALES (%)	RENDIMIENTO (%)
Au (%)	0,51	70,20
Ag (ppm)	9	59,36



Se ha recuperado el 70% del oro en el proceso de cianuración con las condiciones operativas estudiadas.

6.2.4. Ensayos de flotación

Condiciones operativas

Ensayo de desbaste y un relavo

- Colector: Etilxantato potásico
- Espumante: metilisobutilcarbinol

6.2.4.1. Balance de flotación

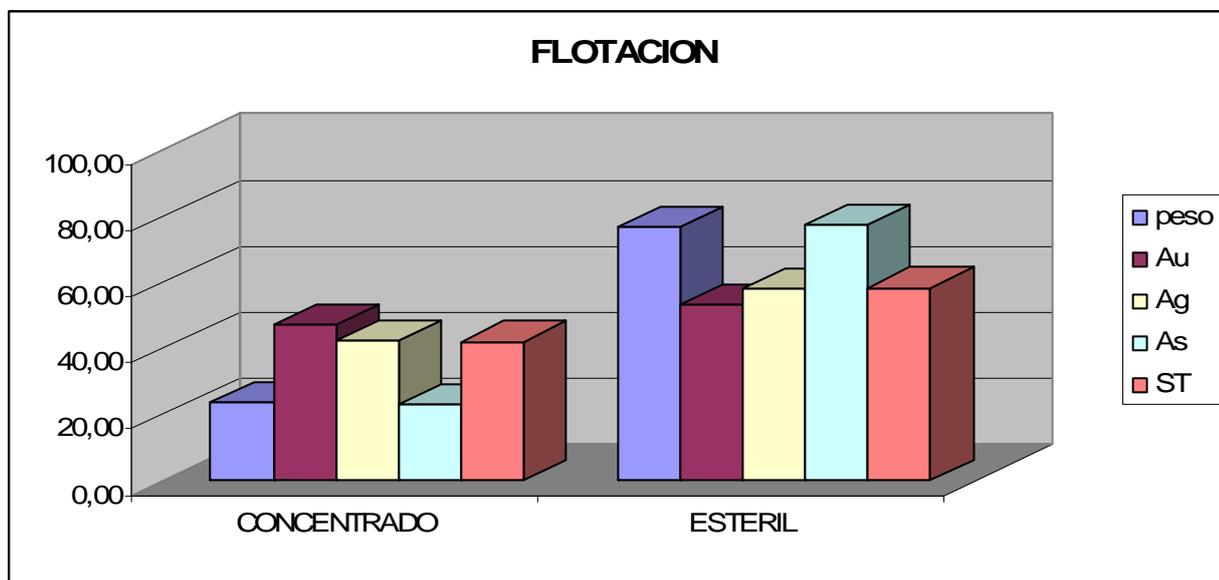
El balance en peso obtenido es el siguiente:

MUESTRA	Peso %
CONCENTRADO	23,40
ESTERIL	76,60
Todo-uno (r)	100,00

El balance en peso y leyes finales obtenido en el ensayo se muestra en la siguiente tabla:

MUESTRA	Peso %	LEYES				DISTRIBUCIÓN			
		Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	S (%)	Au (%)	Ag (%)	As (%)	S (%)
CONCENTRADO	23,40	2,60	42,80	3580	2,40	46,88	42,07	22,58	41,86
ESTERIL	76,60	0,90	18,00	3750	1,02	53,12	57,93	77,42	58,14
Todo-uno (r)	100,00	1,30	23,80	3710	1,34	100,00	100,00	100,00	100,00
Todo-uno (a)		1,70	21,60	3580	0,82				

La siguiente figura muestra la distribución obtenida en el proceso de flotación



No se ha conseguido un balance óptimo de concentración de Au con el mineral de Filón Sur

6.2.5. Ensayos con mineral de Filón Sur (6B)

La referencia de las muestras ensayadas se muestra en la tabla siguiente:

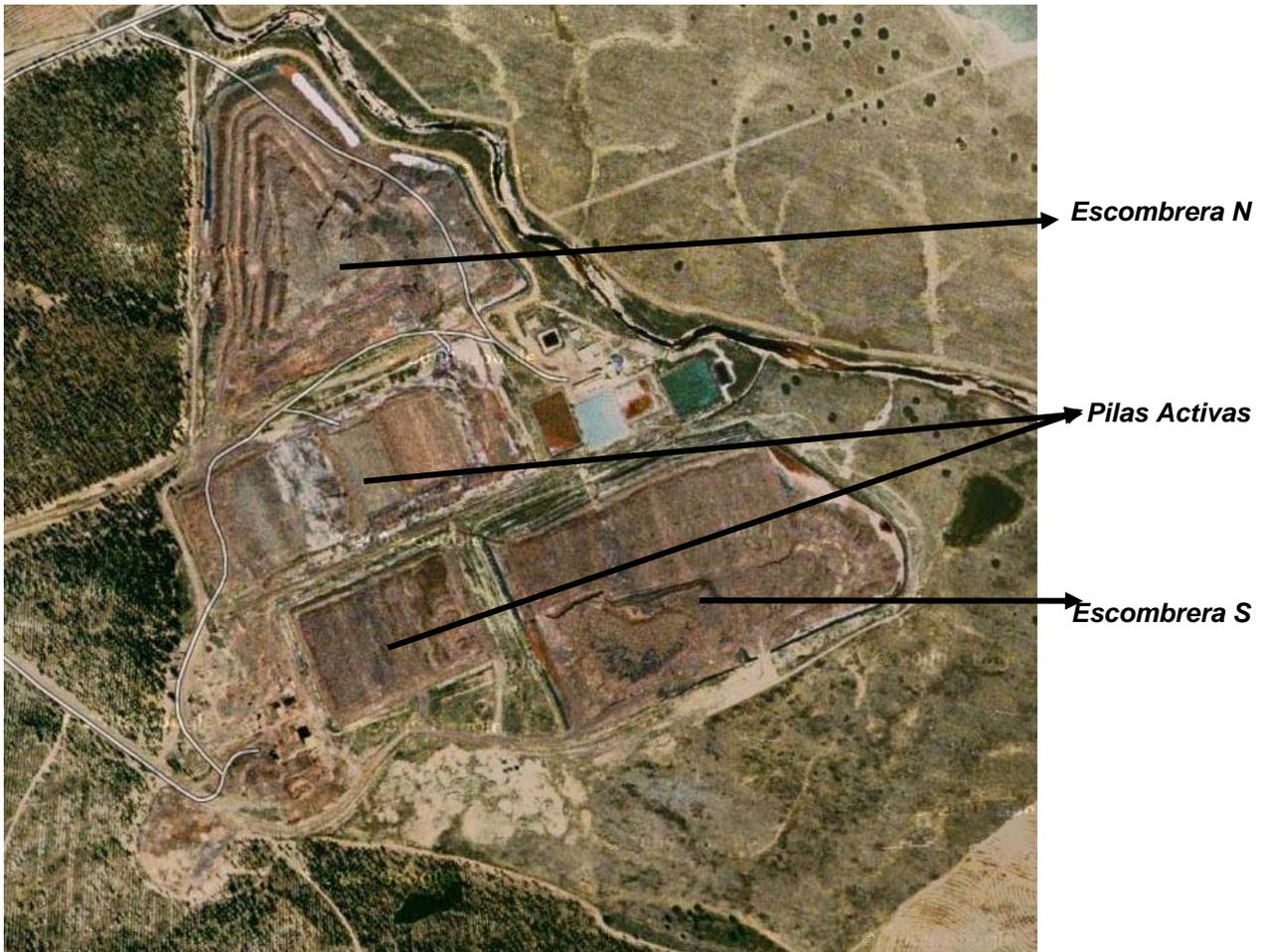
MUESTREO FILON SUR 31-03-2009 17PM				
Muestra	Coordenadas USO 29		Zona	Liga
M-1			Puntual	M-1
M-2			Puntual	M-2
M-3	670494	4162989	Escombrera N	M-3
M-4	670479	4162911	Escombrera N	
M-5	670491	4162888	Escombrera N	
M-6	670502	4162893	Escombrera N	
M-7	670558	4162925	Escombrera N	
M-8	670596	4162954	Escombrera N	
M-9	670637	4162944	Escombrera N	
M-10	670647	4162959	Escombrera N	
M-11	670662	4163005	Escombrera N	
M-12	670460	4162920	Escombrera N	
M-13	670432	4162633	Pilas activas	M-4
M-14	670470	4162599	Pilas activas	
M-15	670637	4162802	Pilas activas	
M-16	0	0	Pilas activas	



MUESTREO FILON SUR 31-03-2009_17PM				
Muestra	Coordenadas USO 29		Zona	Liga
M-17	670589	4162270	Trituración	M-5
M-18	670949	4162458	Escombrera S	M-6
M-19	670928	4162458	Escombrera S	
M-20	670906	4162488	Escombrera S	
M-21	670858	4162523	Escombrera S	
M-22	670898	4162550	Escombrera S	
M-23	670932	4162561	Escombrera S	

En las siguientes figuras se muestra las zonas de muestreo:

Plano Filón Sur





6.2.5.1. Caracterización química

El análisis químico medio de las muestras a ensayar, realizado mediante fluorescencia de rayos X (FRX), ICP plasma y Absorción atómica (AA) se muestra en la Tabla siguiente:

Caracterización química

ELEMENTO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6
Ag (ppm)	14	31	12	19	8	12
Al (%)	1,33	0,29	2,82	2,28	1,39	2,78
As (ppm)	2573	1312	2966	3203	7394	3600
Ba (ppm)	145	40	238	221	124	233
Be (ppm)	0	0	0	0	<1	1
Bi (ppm)	70	114	122	90	41	91
Ca (%)	0,80	2,57	0,72	0,89	0,04	0,77
Cd (ppm)	0	0	0	0	<2	0
Ce (ppm)	9	0	16	12	22	17
Co (ppm)	14	31	21	18	14	10
Cr (ppm)	39	14	56	52	74	68
Cu (ppm)	366	1047	393	454	1910	319
Fe (%)	33,11	35,83	32,98	35,01	56,03	31,06
K (%)	0,26	0,12	0,36	0,35	0,04	0,52
La (ppm)	4	1	11	8	6	10
Li (ppm)	3	0	4	8	<10	5
Mg (%)	0,04	0,06	0,05	0,10	0,01	0,05
Mn (ppm)	111	69	65	130	40	78
Mo (ppm)	3	3	5	5	<2	3
Na (%)	0,06	0,08	0,11	0,05	<0,01	0,05
Nb (ppm)	2	2	1	1	<10	1
Ni (ppm)	4	3	11	7	<10	7
P (ppm)	237	137	416	404	1297	576
Pb (ppm)	9329	22143	6819	11816	2155	7820
Rb (ppm)	12	1	19	17	22	31
S	6637	44120	7986	8222	3252	4236
Sb (ppm)	266	400	253	342	53	214
Sc (ppm)	3	0	5	5	7	6
Se (ppm)	58	12	41	78	<40	52



ELEMENTO	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6
Sr (ppm)	22	14	45	44	22	38
Ti (%)	0,07	0,01	0,09	0,08	0,03	0,08
Tl (ppm)	0	16	2	1	<20	1
V (ppm)	31	6	61	53	38	69
W (ppm)	3	3	4	7	<10	5
Y (ppm)	4	1	4	5	4	5
Zn (ppm)	154	524	156	293	362	168
Au (ppm)	0,46	1,09	0,96	0,89	2,20	0,70
ST(%)	0,78	4,78	0,97	0,98	0,24	0,53

La muestra M-5 está apilada sin triturar, como se muestra en las siguientes figuras:



Se toma como referencia la muestra M-3 por ser la más representativa de la zona de estudio, realizándose además el análisis de su composición mineralógica y la distribución del oro en función de la granulometría.



6.2.5.2. Caracterización mineralógica

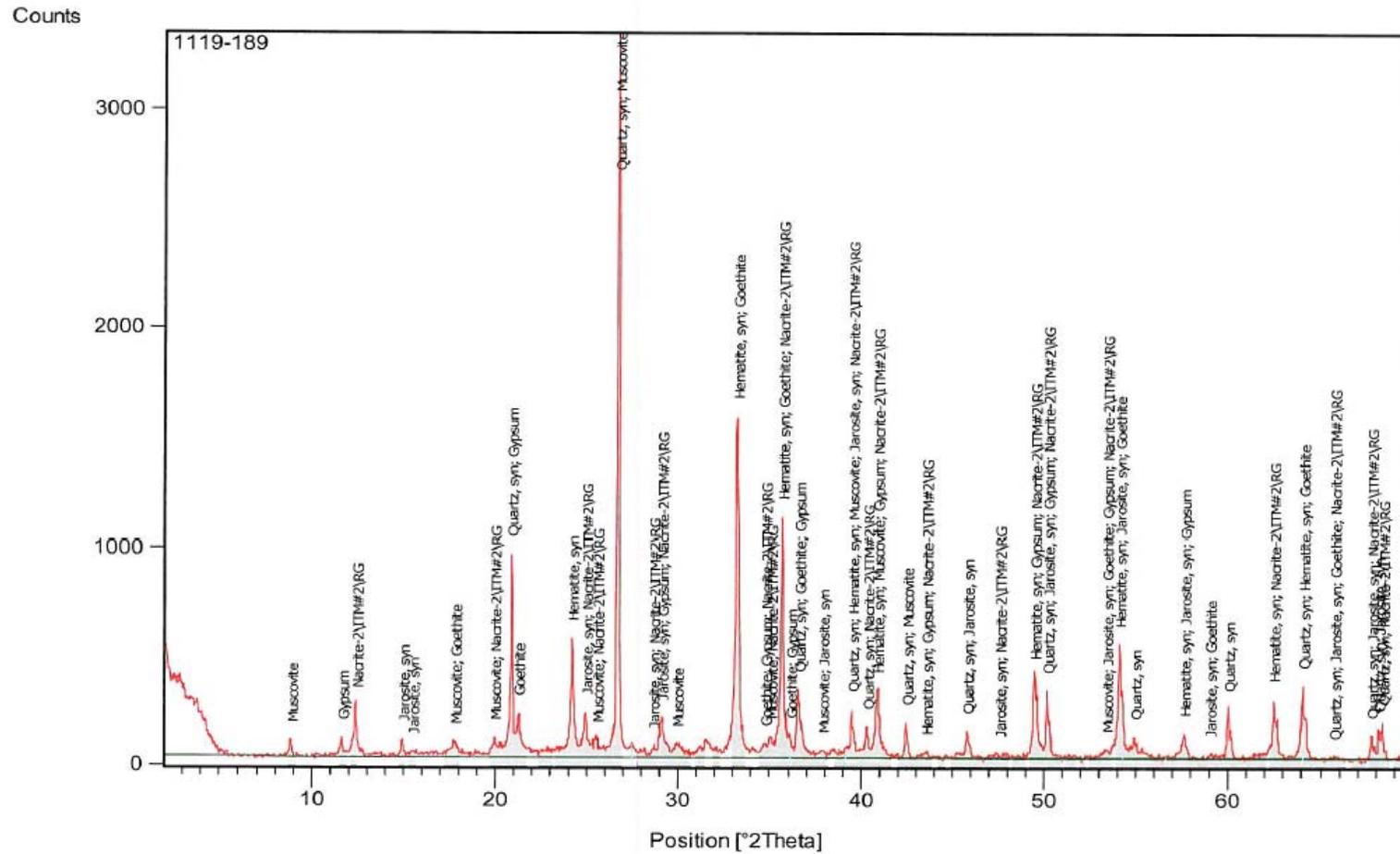
Se ha determinado la densidad de la muestra mediante el equipo AccuPyc 1330. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla siguiente:

Muestra	Densidad (g/cm ³)
M-1	3,51
M-2	3,73
M-3	3,49
M-4	3,46
M-5	3,45
M-6	3,34

La composición mineralógica media representada por el análisis en la *Muestra M-3* se muestra en la tabla siguiente:

MINERAL PRINCIPAL	MINERALES SECUNDARIOS	ACCESORIOS Y TRAZAS
CUARZO, HEMATITES	GOETITA, CAOLIN, YESO, MOSCOVITA	JAROSITA

El difractograma correspondiente se muestra en la siguiente figura



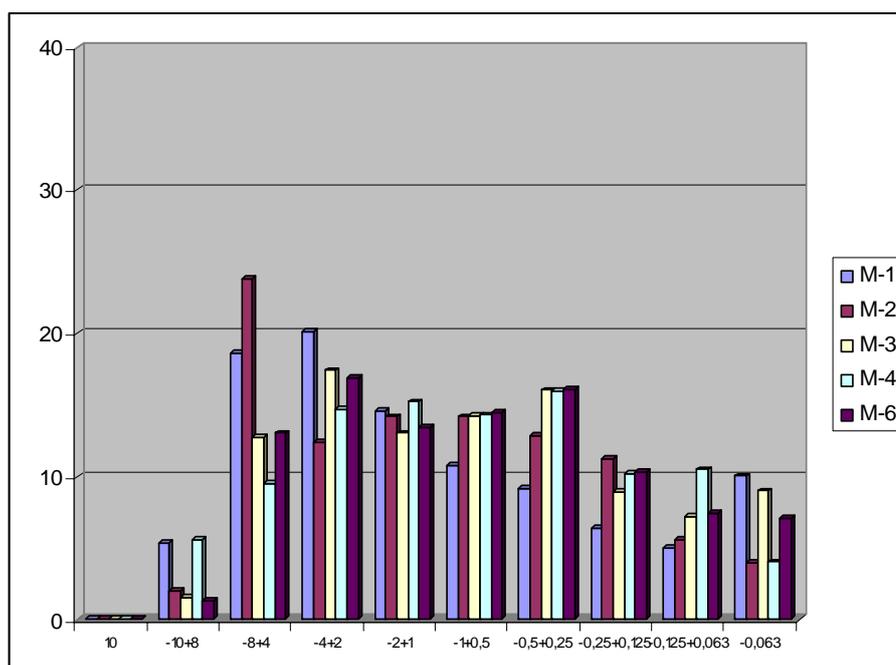


6.2.5.3. Caracterización granulométrica

Se realiza una distribución de tamaño de partícula por tamizado. La tabla siguiente muestra los resultados obtenidos:

ESCALA DE TAMAÑO DE CRIBA (mm)	M-1	M-2	M-3	M-4	M-6
	PESO FRACCIONES (%)				
+10	0	0	0	0	0
-10+8	5,36	2,01	1,50	5,58	1,35
-8+4	18,58	23,77	12,72	9,5	13,01
-4+2	20,15	12,36	17,41	14,69	16,89
-2+1	14,61	14,18	13,02	15,21	13,40
-1+0,50	10,78	14,17	14,23	14,3	14,50
-0,5+0,250	9,14	12,84	16,02	16	16,05
-0,250+0,125	6,35	11,19	8,91	10,21	10,32
-0,125+0,063	5,00	5,54	7,21	10,49	7,41
-0,063	10,03	3,93	8,99	4,02	7,07

La figura siguiente muestra comparativamente el porcentaje en peso de cada una de las muestras, en las fracciones granulométricas ensayadas





Se realiza un estudio de la distribución de oro en la muestra M-3 en función de la granulometría.

MUESTRA	Peso %	LEYES	DISTRIBUCIÓN
		Au (ppm)	Au (%)
8 mm	1,5	0,1	0,30
4 mm	12,72	0,6	15,31
2mm	17,41	0,6	20,95
1 mm	13,02	0,4	10,44
0,500 mm	14,23	0,40	11,42
0,250 mm	16,02	0,60	19,28
0,125 mm	8,91	0,4	7,15
0,063 mm	7,21	0,4	5,78
< 0,063 mm	8,99	0,52	9,38
Todo-uno (r)	100	0,50	100
Todo-uno (a)		0,96	

El oro se concentra en fracciones superiores a 0.250 mm por lo que se decide la molienda (molino de bolas) para conseguir recuperaciones de oro óptimas.

6.2.5.4. Ensayos de cianuración

Se realizan ensayos de cianuración para determinar la recuperación de oro en cada una de las muestras

Las condiciones de cianuración son las siguientes:

- Relación S/l= 1/5
- Densidad de pulpa= 20%
- pH= 9- 10.5 con $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- KCN = 10g/l



Muestra M-1

pH inicial: 8,65

CONDICIONES INICIALES DE ENSAYO:

- **TEMPERATURA:** ambiente
- **RELACIÓN S/L:** 1/5
- **KCN:** 10g/l (1g)
- **pH:** 10,5-11
- **Ca(OH)₂:** 0.05g

El balance obtenido se muestra en la tabla siguiente

ELEMENTO	M-1 INICIAL	M1- LICOR	M1 RESIDUO
Ag (ppm)	14	0,48	12
Al (%)	1,33	2	1,59
As (ppm)	2573	0,01	2965
Ba (ppm)	145	27	192
Be (ppm)	0	0	<1
Bi (ppm)	70	0	66
Ca (%)	0,8	169	0,71
Cd (ppm)	0	1	<2
Ce (ppm)	9	0	15
Co (ppm)	14	0,09	18
Cr (ppm)	39	9	49
Cu (ppm)	366	3,32	432
Fe (%)	33,11	21	34,76
K (%)	0,26	1262	0,52
La (ppm)	4	0	6
Li (ppm)	3	0	<10
Mg (%)	0,04	0	0,06
Mn (ppm)	111	0,06	253
Mo (ppm)	3		4
Na (%)	0,06	105	0,06
Nb (ppm)	2	17	<10
Ni (ppm)	4	0,02	<10
P (ppm)	237	0,26	281
Pb (ppm)	9329	1	9739
Rb (ppm)	12	1,03	37
S (ppm)	6637	734	5302
Sb (ppm)	266	0,04	264
Sc (ppm)	3	0	3



ELEMENTO	M-1 INICIAL	M1-LICOR	M1 RESIDUO
Se (ppm)	58	1,07	93
Sr (ppm)	22	0,19	27
Ti (%)	0,07	0	0,1
Tl (ppm)	0	7	<20
V (ppm)	31	3	36
W (ppm)	3	5	<10
Y (ppm)	4	0	4
Zn (ppm)	154	2,26	175
Au (ppm)	0,46	0,31	0,3
S(%)	0,78	-	0,53

Recuperación de Au: 35,24 %

Muestra M-2

pH inicial: 2,38

CONDICIONES INICIALES DE ENSAYO:

- **TEMPERATURA:** ambiente
- **RELACIÓN S/L:** 1/5
- **KCN:** 10g/l (1g)
- **pH:** 10,5-11
- **Ca(OH)₂**=0.05g; pH=10.27

El balance obtenido se muestra en la tabla siguiente

ELEMENTO	M-2 INICIAL	M-2 LICOR	M-2 RESIDUO
Ag (ppm)	31	1,36	27
Al (%)	0,29	0	0,26
As (ppm)	1312	0,04	1639
Ba (ppm)	40	5	35
Be (ppm)	0	0	<1
Bi (ppm)	114	0	115
Ca (%)	2,57	791	3,59
Cd (ppm)	0	38	<2
Ce (ppm)	0	0	<10
Co (ppm)	31	0,37	41
Cr (ppm)	14	3	18
Cu (ppm)	1047	10,33	1160
Fe (%)	35,83	51	42,6



ELEMENTO	M-2 INICIAL	M-2 LICOR	M-2 RESIDUO
K (%)	0,12	5315	0,23
La (ppm)	1	0	<5
Li (ppm)	0	0	<10
Mg (%)	0,06	0	0,06
Mn (ppm)	69	0,12	67
Mo (ppm)	3		4
Na (%)	0,08	9	0,09
Nb (ppm)	2	18	<10
Ni (ppm)	3	0,03	<10
P (ppm)	137	0,33	150
Pb (ppm)	22143	0	24056
Rb (ppm)	1	0,87	24
S (ppm)	44120	1489	39631
Sb (ppm)	400	0,19	472
Sc (ppm)	0	1	<1
Se (ppm)	12	0,62	<40
Sr (ppm)	14	0,3	18
Ti (%)	0,01	0	0,02
Tl (ppm)	16	26	<20
V (ppm)	6	0	7
W (ppm)	3	3	<10
Y (ppm)	1	0	<1
Zn (ppm)	524	22,9	537
Au (ppm)	1,09	0,06	0,5
S(%)	4,78	-	4,12

Recuperación de Au: 54,27 %

Muestra M-3

pH inicial: 8,38

CONDICIONES INICIALES DE ENSAYO:

- **TEMPERATURA:** ambiente
- **RELACIÓN S/L:** 1/5
- **KCN:** 10g/l (1g)
- **pH:** 10,5-11
- **Ca(OH)₂** =0.02 g; pH=10.08



El balance obtenido se muestra en la tabla siguiente

ELEMENTO	M-3 INICIAL	M-3 LICOR	M-3 RESIDUO
Ag (ppm)	12	0,4	11
Al (%)	2,82	0	3,2
As (ppm)	2966	0,11	4433
Ba (ppm)	238	29	297
Be (ppm)	0	0	<1
Bi (ppm)	122	0	182
Ca (%)	0,72	253	0,85
Cd (ppm)	0	2	<2
Ce (ppm)	16	0	26
Co (ppm)	21	0,25	23
Cr (ppm)	56	7	73
Cu (ppm)	393	3,78	470
Fe (%)	32,98	27	38,89
K (%)	0,36	1235	0,66
La (ppm)	11	0	13
Li (ppm)	4	0	<10
Mg (%)	0,05	0	0,05
Mn (ppm)	65	0,048	54
Mo (ppm)	5		6
Na (%)	0,11	147	0,07
Nb (ppm)	1	18	<10
Ni (ppm)	11	0,02	14
P (ppm)	416	0,1	549
Pb (ppm)	6819	0	8655
Rb (ppm)	19	0,84	42
S (ppm)	7986	760	8677
Sb (ppm)	253	0,09	253
Sc (ppm)	5	0	6
Se (ppm)	41	0,85	58
Sr (ppm)	45	0,19	44
Ti (%)	0,09	0	0,1
Tl (ppm)	2	13	<20
V (ppm)	61	9	77
W (ppm)	4	3	<10
Y (ppm)	4	0	5
Zn (ppm)	156	2,79	167
Au (ppm)	0,96	<0,03	0,4
ST (%)	0,97	-	0,88



Recuperación de Au: 31,31 %

Muestra M-3 Molida

pH inicial: 8,07

CONDICIONES INICIALES DE ENSAYO:

- **TEMPERATURA:** ambiente
- **RELACIÓN S/L:** 1/5
- **KCN:** 10g/l (1g)
- **pH:** 10,5-11
- **Ca(OH)₂** 0.03 g; pH=10.26

El balance obtenido se muestra en la tabla siguiente

ELEMENTO	M-3 INICIAL	M-3 LICOR	M-3 RESIDUO
Ag (ppm)	12	0,62	9
Al (%)	2,82	3	2,84
As (ppm)	2966	0,32	3616
Ba (ppm)	238	52	255
Be (ppm)	0	0	<1
Bi (ppm)	122	0	124
Ca (%)	0,72	268	0,75
Cd (ppm)	0	2	<2
Ce (ppm)	16	0	23
Co (ppm)	21	0,18	21
Cr (ppm)	56	6	69
Cu (ppm)	393	2,99	394
Fe (%)	32,98	40	34,16
K (%)	0,36	1203	0,61
La (ppm)	11	0	11
Li (ppm)	4	0	<10
Mg (%)	0,05	0	0,05
Mn (ppm)	65	0,052	66
Mo (ppm)	5	0,03	6
Na (%)	0,11	123	0,05
Nb (ppm)	1	17	<10
Ni (ppm)	11	0,06	13
P (ppm)	416	0,07	455
Pb (ppm)	6819	1	7099



ELEMENTO	M-3 INICIAL	M-3 LICOR	M-3 RESIDUO
Rb (ppm)	19	0,94	42
S (ppm)	7986	608	5824
Sb (ppm)	253	0,44	276
Sc (ppm)	5	0	5
Se (ppm)	41	0,83	46
Sr (ppm)	45	0,19	47
Ti (%)	0,09	0	0,1
Tl (ppm)	2	11	<20
V (ppm)	61	10	66
W (ppm)	4	3	<10
Y (ppm)	4	0	5
Zn (ppm)	156	2,61	160
Au (ppm)	0,96	0,08	0,2
S(%)	0,97		0,66

Recuperación de Au: 79.33 %

Muestra M-4

pH inicial: 8,17

CONDICIONES INICIALES DE ENSAYO:

- **TEMPERATURA:** ambiente
- **RELACIÓN S/L:** 1/5
- **KCN:** 10g/l (1g)
- **pH:** 10,5-11
- **Ca(OH)₂**=0.04 g; pH=10.39

El balance obtenido se muestra en la tabla siguiente:

ELEMENTO	M-4 INICIAL	M-4 LICOR	M-4 RESIDUO
Ag (ppm)	19	1,45	15
Al (%)	2,28	1	2,34
As (ppm)	3203	0,06	3720
Ba (ppm)	221	33	209
Be (ppm)	0	0	<1
Bi (ppm)	90	0	87
Ca (%)	0,89	411	0,86



ELEMENTO	M-4 INICIAL	M-4 LICOR	M-4 RESIDUO
Cd (ppm)	0	4	<2
Ce (ppm)	12	0	19
Co (ppm)	18	6,12	40
Cr (ppm)	52	3	57
Cu (ppm)	454	43	458
Fe (%)	35,01	28	32,63
K (%)	0,35	5107	0,57
La (ppm)	8	0	8
Li (ppm)	8	0	<10
Mg (%)	0,1	0	0,09
Mn (ppm)	130	0,11	169
Mo (ppm)	5		6
Na (%)	0,05	36	0,05
Nb (ppm)	1	16	<10
Ni (ppm)	7	4,21	19
P (ppm)	404	1,22	443
Pb (ppm)	11816	3	12069
Rb (ppm)	17	0,81	41
S (ppm)	8222	900	6345
Sb (ppm)	342	0,06	377
Sc (ppm)	5	1	5
Se (ppm)	78	0,63	84
Sr (ppm)	44	0,22	46
Ti (%)	0,08	0	0,09
Tl (ppm)	1	20	<20
V (ppm)	53	5	56
W (ppm)	7	1	<10
Y (ppm)	5	0	5
Zn (ppm)	293	2,69	310
Au (ppm)	0,89	0,05	0,2
S(%)	0,98		0,7

Recuperación de Au: 77,82 %



Muestra M-6

pH inicial: 8,55

CONDICIONES INICIALES DE ENSAYO:

- TEMPERATURA: ambiente
- RELACIÓN S/L: 1/5
- KCN: 10g/l (1g)
- pH: 10,5-11
- $\text{Ca(OH)}_2 = 0.02 \text{ g}$; pH=10.01

El balance obtenido se muestra en la tabla siguiente:

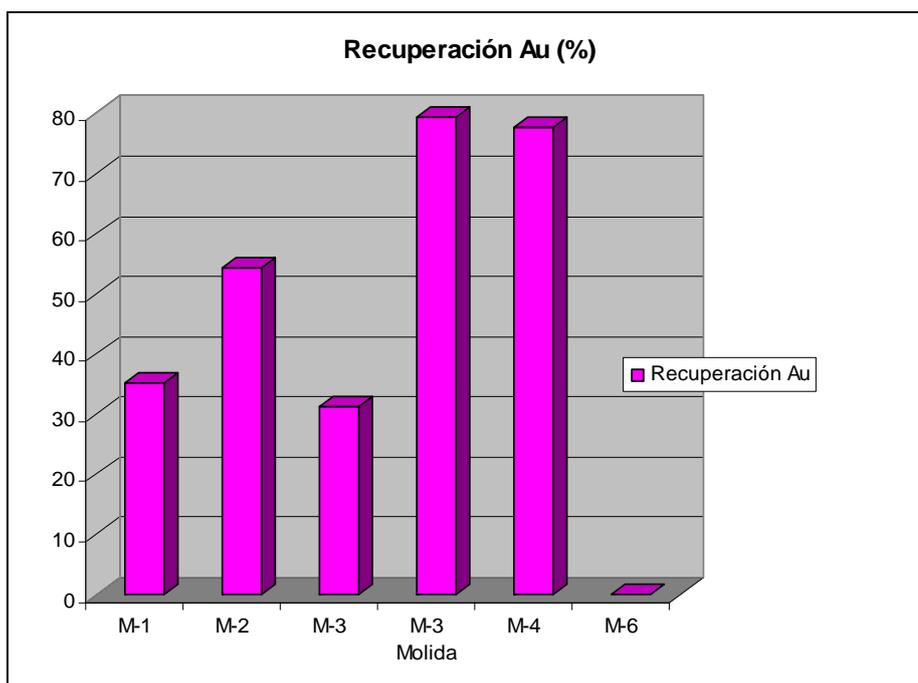
ELEMENTO	M-6 INICIAL	M-6 LICOR	M-6 RESIDUO
Ag (ppm)	12	0,32	10
Al (%)	2,78	0	2,99
As (ppm)	3600	0,54	3857
Ba (ppm)	233	18	256
Be (ppm)	1	0	<1
Bi (ppm)	91	0	102
Ca (%)	0,77	46	0,71
Cd (ppm)	0	1	<2
Ce (ppm)	17	0	23
Co (ppm)	10	0,11	10
Cr (ppm)	68	5	77
Cu (ppm)	319	1,32	313
Fe (%)	31,06	12	32,81
K (%)	0,52	1229	0,8
La (ppm)	10	0	11
Li (ppm)	5	0	<10
Mg (%)	0,05	0	0,05
Mn (ppm)	78	0,04	81
Mo (ppm)	3		4
Na (%)	0,05	48	0,05
Nb (ppm)	1	16	<10
Ni (ppm)	7	0,01	<10
P (ppm)	576	0,04	598
Pb (ppm)	7820	0	6956
Rb (ppm)	31	0,77	55
S (ppm)	4236	306	3239
Sb (ppm)	214	0,08	210
Sc (ppm)	6	0	6
Se (ppm)	52	0,39	66



ELEMENTO	M-6 INICIAL	M-6 LICOR	M-6 RESIDUO
Sr (ppm)	38	0,07	42
Ti (%)	0,08	0	0,09
Tl (ppm)	1	4	<20
V (ppm)	69	15	76
W (ppm)	5	2	<10
Y (ppm)	5	0	5
Zn (ppm)	168	2,43	168
Au (ppm)	0,7	<0,03	0,7
S(%)	0,53		0,36

Recuperación de Au: 0,07 %

La figura siguiente muestra comparativamente las recuperaciones de oro obtenidas en los ensayos de cianuración



Sobre la muestra M-3 molida y posteriormente sometida a un proceso de cianuración en las condiciones estudiadas previamente, se han realizado ensayos de cocción de arcillas



La tabla siguiente muestra los parámetros obtenidos en el proceso de cocción:

<i>Ladrillo n°</i>	<i>% Estéril</i>	<i>% Arcilla</i>	<i>Nº Vueltas</i>	<i>Presión conformado (Mpa)</i>	<i>T cocción (°C)</i>	<i>Peso seco estufa (g)</i>	<i>Peso cocido (g)</i>	<i>Contracción lineal media (%)</i>
1	100	0	4 (800 div)	3.43	950	71,19	61,39	0,64
2					1150	71,10	59,35	3,56
3	100	0	4 (800 div)	3.43	950			
4					1150	83,09	78,27	6,98

Después de heladicidad =pérdida en masa 0,02%



6.3. Ensayos realizados con el mineral de la escombrera de la Mina La Lapilla

Se ensayan muestras procedentes de la Escombrera de la Mina la Lapilla.



Relleno con mineral de la Escombrera

Corta la Lapilla

Corta la Lapilla



Escombrera

6.3.1. Caracterización química

El análisis químico medio de las muestras iniciales a ensayar, realizado mediante fluorescencia de rayos X (FRX), ICP plasma y Absorción atómica (AA) se muestra en la Tabla siguiente.

Caracterización química del mineral de La Lapilla

ELEMENTO	Mineral de La LAPILLA
<i>Ag (ppm)</i>	30
<i>Al (%)</i>	2,91
<i>As (ppm)</i>	3580
<i>Ba (ppm)</i>	150
<i>Be (ppm)</i>	<1
<i>Bi (ppm)</i>	290
<i>Ca (%)</i>	0,28
<i>Cd (ppm)</i>	<2
<i>Ce (ppm)</i>	32
<i>Co (ppm)</i>	11



ELEMENTO	Mineral de La LAPILLA
<i>Cr (ppm)</i>	58
<i>Cu (ppm)</i>	421
<i>Fe (%)</i>	15,2
<i>K (%)</i>	0,46
<i>La (ppm)</i>	15
<i>Li (ppm)</i>	<10
<i>Mg (%)</i>	0,05
<i>Mn (ppm)</i>	182
<i>Mo (ppm)</i>	9
<i>Na (%)</i>	0,09
<i>Nb (ppm)</i>	<10
<i>Ni (ppm)</i>	<10
<i>P (ppm)</i>	678
<i>Pb (ppm)</i>	13312
<i>Rb (ppm)</i>	48
<i>Sb (ppm)</i>	835
<i>Sc (ppm)</i>	5
<i>Se (ppm)</i>	116
<i>Sr (ppm)</i>	48
<i>Ti (%)</i>	0,13
<i>Tl (ppm)</i>	<20
<i>V (ppm)</i>	45
<i>W (ppm)</i>	<10
<i>Y (ppm)</i>	13
<i>Zn (ppm)</i>	496
<i>Au (ppm)</i>	1,6

El contenido en oro y cobalto se muestra en la tabla siguiente.

Contenido en oro de las muestras

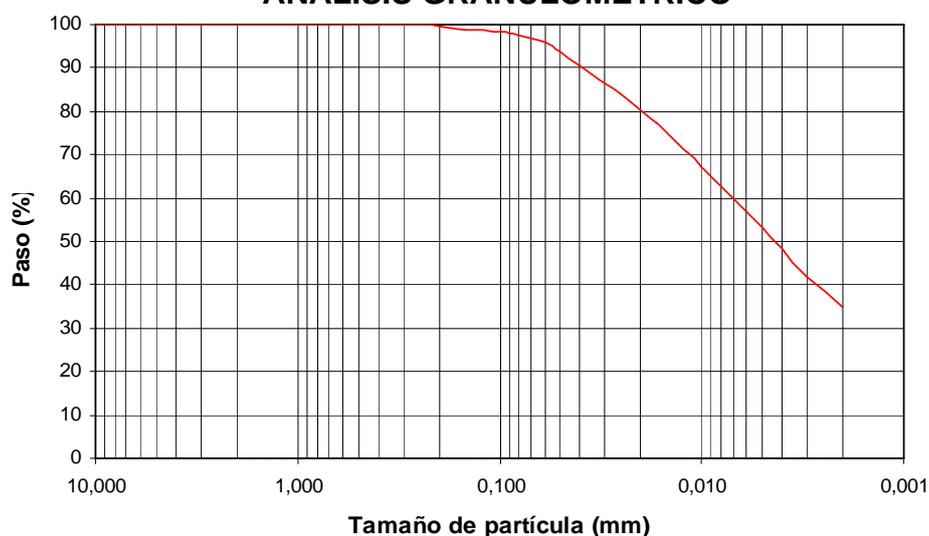
<i>Muestra</i>	<i>Au (ppm)</i>	<i>Co (ppm)</i>
La Lapilla	1,6	11

6.3.2. Caracterización granulométrica

El D80 obtenido por análisis granulométrico en **Coulter láser LS100** es de 20 μ m. La curva granulométrica muestra la distribución granulométrica obtenida.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



TAMAÑO DE ABERTURA NOMINAL (mm)	PASO (%)
0,25	100,00
0,2	99,60
0,15	98,70
0,1	98,30
0,08	97,70
0,06	95,80
0,05	93,70
0,04	90,70
0,03	86,60
0,025	84,00
0,02	80,50
0,015	75,50
0,01	67,30
0,008	62,80
0,006	57,10
0,005	53,40
0,004	48,30
0,003	41,80
0,002	34,90

6.3.3. Ensayos de cianuración

Los ensayos de cianuración se han realizado al 20% de densidad de pulpa a un pH entre 10,5-11,00 por adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, con una concentración de KCN de 10g/l.

Se lavan los residuos con agua a pH básico (pH=8.5–9).

La siguiente tabla muestra el balance de cianuración obtenido en el proceso.

ELEMENTO	LEYES INICIALES	
	Au (%)	Ag (ppm)
La LAPILLA	1,6	30

ELEMENTO	La LAPILLA	
	LEYES FINALES	RENDIMIENTO (%)
Au (%)	0,29	81,97
Ag (ppm)	22	27,07

Se ha recuperado el 82% del oro en el proceso de cianuración con las condiciones operativas estudiadas.

6.3.4. Ensayos de Flotación

Condiciones operativas

Ensayo de desbaste y un relavo

- Colector: Etilxantato potásico
- Espumante: metilisobutilcarbinol





6.3.4.1. Balance de flotación

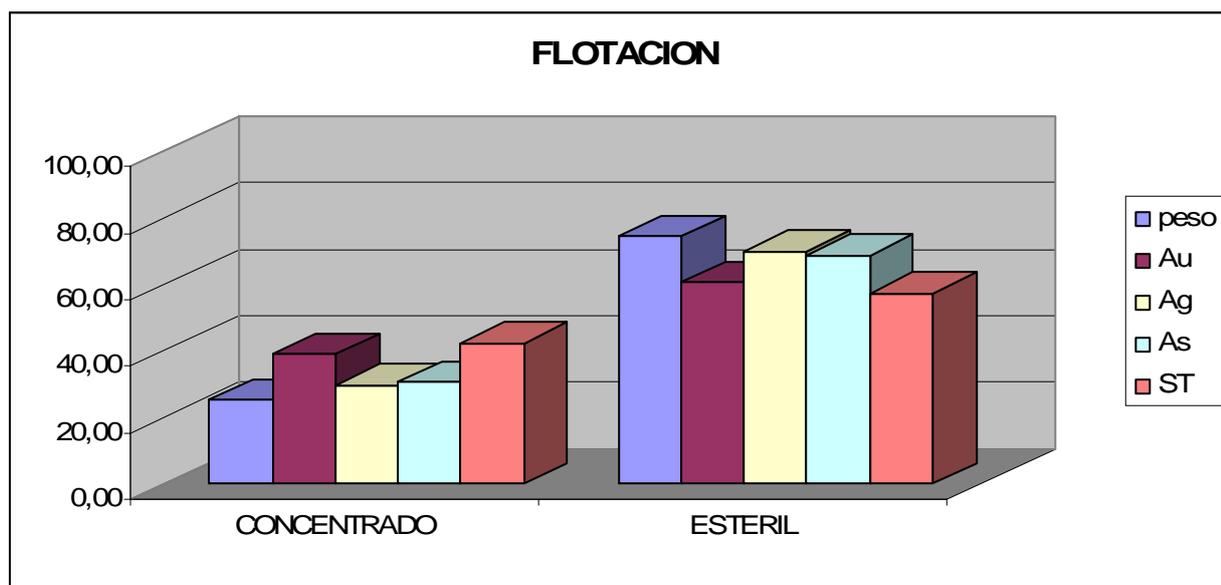
El balance en peso obtenido es el siguiente:

MUESTRA	Peso %
CONCENTRADO	25,16
ESTERIL	74,84
Todo-uno (r)	100,00

El balance en peso y leyes finales obtenido en el ensayo se muestra en la siguiente tabla:

MUESTRA	Peso %	LEYES				DISTRIBUCIÓN			
		Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	S (%)	Au (%)	Ag (%)	As (%)	S (%)
CONCENTRADO	25,16	1,52	40,64	4377	-	39,00	29,92	31,04	-
ESTERIL	74,84	0,80	32,00	3270	0,4	61,00	70,08	68,96	-
Todo-uno (r)	100,00	0,98	34,17	3549	-	100,00	100,00	100,00	-
Todo-uno (a)		1,30	30,20	3580	0,48				

La siguiente figura muestra la distribución obtenida en el proceso de flotación



No se ha conseguido un balance óptimo de flotación con el mineral de la Lapilla



6.3.5. Estudio de revalorización del mineral de La Lapilla como material cerámico

Paralelamente se ha realizado un estudio con el mineral de la Lapilla para su utilización como material cerámico para la realización de ladrillos.

Se estudia la realización de ladrillos variando:

- El agua de amasado
- La presión de conformado
- La temperatura de cocción

Los parámetros a estudiar han sido:

Humedad inicial: 26.09%

Determinación de los **límites de Atterberg**. para establecer la plasticidad.

Límites de Atterberg:

Límite líquido: **29.8**

Límite Plástico: **17.6**

Índice Plástico: **12.2**

Ensayos cerámicos:

Para la realización de ensayos cerámicos se han empleado dos muestras denominadas **La Lapilla** y **Arcilla para mezclas** con la referencia siguiente.

Muestra1: Mineral de LA LAPILLA:

Muestra 2: Arcilla para mezclas:

Los Ensayos a realizar se basan en la realización de **mezclas** variando el % de adiciones.



La arcilla para mezclas tienen las características siguientes

ARCILLA PARA MEZCLAS:

Límites de Atterberg:

Límite líquido: **30.0**

Límite Plástico: **19.2**

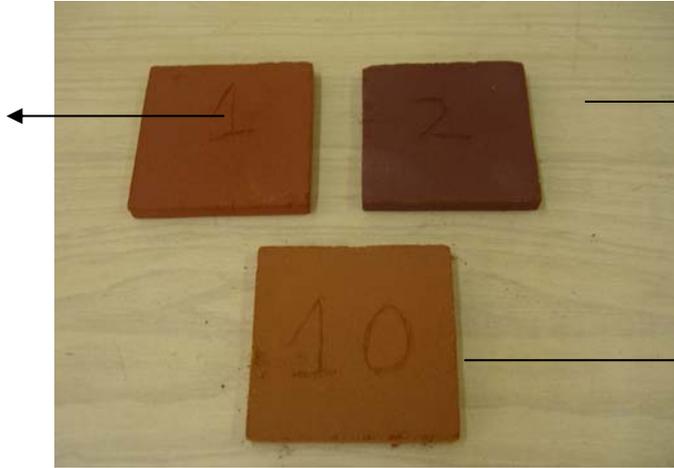
Índice Plástico: **10.8**

En la Tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos

Ladrillo nº	% Lapilla	% Arcilla	Presión conformado (MPa)	Humedad amasado (%)	T cocción (°C)	Contracción lineal media (%)
1	100	0	3.43	6.1	950	0.64
2	100	0	3.43	6.1	1150	3.56
3	0	100	3.43	11.56	950	2.55
4	0	100	3.43	11.38	1150	8.65
5	10	90	3.43	11.83	950	2.17
6	10	90	3.43	11.53	1150	8.52



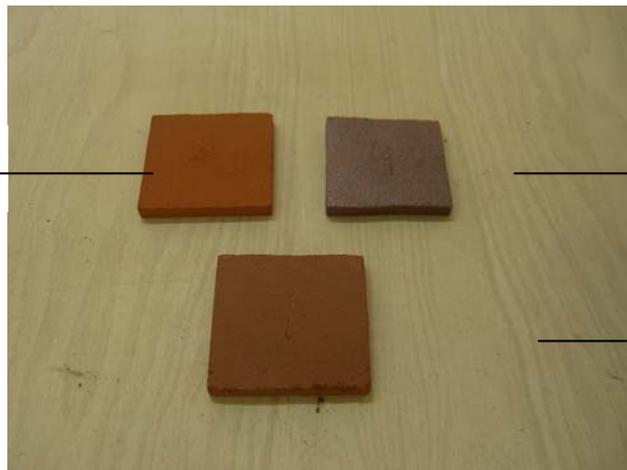
Ladrillo cocido a 950°C



Ladrillo cocido a 1150°C

Ladrillo sin cocer

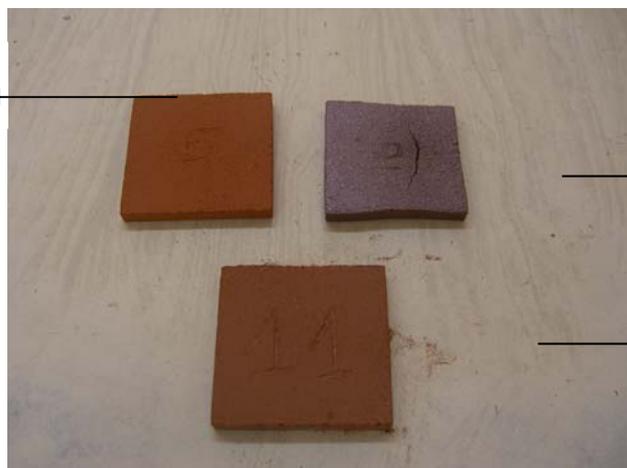
Ladrillo arcilla mezcla cocido a 950°C



Ladrillo arcilla mezcla cocido a 1150°C

Ladrillo arcilla mezcla sin cocer

Ladrillo mezcla 10/90 cocido a 950°C



Ladrillo mezcla 10/90 cocido a 1150°C

Ladrillo mezcla 10/90 sin cocer



7. Conclusiones

Se ha operado la planta piloto de flotación con mineral "stockwork" de Tharsis de leyes comprendidas entre 0.42 y 1.65 g/tm de Au y 66 y 164 g/tm de Co, realizando ensayos de desbaste y posteriormente de desbaste y un relavo, utilizando como colector etilxantato potásico y como espumante metilisobutilcarbinol, obteniéndose los siguientes resultados:

Concentrados de 3.75 g/tm de Au y hasta de 358 g/tm de Co, con recuperaciones superiores al 90% de Au y superiores al 80% de Co, con moliendas de $D_{80} < 30\mu\text{m}$.

Al mismo tiempo se han realizado ensayos de filtrabilidad, en los filtros prensas de la planta piloto, con minerales de las escombreras del Filón Sur y La Lapilla, previamente molidos en la planta piloto, habiéndose comprobado la buena filtrabilidad con granulometrías de $D_{80} < 20\mu\text{m}$ y obteniéndose humedades inferiores al 26%, sin soplado.

También se han realizado análisis y ensayos preliminares en laboratorio con el residuo de la cianuración de los minerales de las escombreras del Filón Sur y La Lapilla para comprobar su posible utilización como materia prima para la fabricación de material cerámico, tales como ladrillos, tejas, bovedillas, etc... con resultados satisfactorios.

A la vista de los resultados obtenidos hasta la fecha, y disponer de una planta piloto de flotación, con toda su infraestructura y personal adiestrado en su marcha, se propone una prorroga del convenio con vigencia 24 de junio de 2010 a 23 de junio de 2011, para:

- Ampliar los ensayos ya realizados de desbaste y un primer relavo con el mineral "stockwork" de Tharsis a ensayos con un segundo y tercer relavo con la finalidad de mejorar la calidad del concentrado de Au y Co.
- Realizar ensayos con mineral de mayor ley en Au-Co del "Stockwork" de Tharsis.
- Realizar ensayos de flotación en laboratorio y en planta piloto, con el mineral carbonatado de Tharsis y/o la Zarza, para la recuperación de los metales contenidos, Cu, Zn, Zu, ya que existen mas de 4 millones de toneladas de mineral carbonatado de Tharsis, extraídos y depositados en superficie, que podrían ser beneficiados en un futuro en alguna planta de flotación próxima, con el consiguiente beneficio medioambiental y de creación de empleo.



- Realizar ensayos a escala planta piloto de molienda, cianuración, filtración, lavado y soplado en filtros prensa, con los minerales de las escombreras de Filón Sur y La Lapilla, para demostrar que es posible sustituir los espesadores en contracorriente por este tipo de filtración y lavado en filtros prensa, lo que facilitaría el aprovechamiento futuro de dichas escombreras, con el consiguiente beneficio medioambiental y de creación de empleo.