

## ESTIMACION ECONOMICA GLOBAL DE LA RECUPERACION HIDROMETALURGICA DE Cu, Zn, Ag Y Au EN CENIZAS DE PIRITAS.-

Díaz O., E.; Romero A., R.; Carranza M., F.; Moraga B., J.M.  
Dpto. Ingeniería Química, Fac. Química, Univ. Sevilla.

### I.- INTRODUCCION.-

En el momento actual una solución satisfactoria al problema planteado por las cenizas de piritas dista mucho de conseguirse. La dificultad de aplicar los procesos de cloruración, (1), e incluso los de cloruración volatilizante, (2), debido a los factores ya conocidos, (de tipo general, como son tecnología compleja con altos costes de reactivos y de energía, y los que inciden de manera particular en las cenizas españolas, extremada finura y altos contenidos en impurezas que, como el As, son de difícil eliminación por el proceso), han hecho imposible su aplicación industrial.

Considerando que la obtención de "mineral púrpura" de calidad muy cuestionable no parece atractiva tras la recesión de la industria siderúrgica, las investigaciones se han encaminado hacia procesos no integrales.

Destaca el proceso Tharbar desarrollado por Viñals y colb., (3) que proponen una lixiviación de las cenizas con  $\text{Cl}_2\text{-ClH}$  obteniéndose, según los autores, resultados muy satisfactorios, figura 1. Aunque la estimación económica es muy atractiva debe tenerse en cuenta que se aplica sobre

cenizas procedentes de piritas de Tharsis, para las que los autores dan una riqueza metálica media muy superior a las obtenidas para un mapa en las que estén incluidas todas las cenizas que se producen en la actualidad, (4).

De diversos trabajos realizados en el Dpto. de Ingeniería Química de la Facultad de Químicas de la Universidad de Sevilla se deduce que es posible una recuperación conjunta de Cu, Zn, Ag y Au mediante dos procesos consecutivos de lixiviación ácida-oxidante y cianuración, cuyos resultados globales se presentan en la figura 1.

Las ventajas principales del proceso son :

- Se aplica al mapa de cenizas completo generadas en el Suroeste Español.

- Las extracciones de Au, elemento más valioso, supera a las obtenidas en todos los procesos conocidos para cenizas.

- Las recuperaciones de Ag, Cu y Zn, aunque menores en su conjunto, superan el valor del Au.

- Todos los procesos están comprobados en sus características físico-químicas en el laboratorio, previniéndose mejoras con pequeñas actuaciones sobre los sistemas de tostación.

- El proceso depende de técnicas conocidas por lo que su paso a escala industrial no deberá presentar problemas insalvables.

## II. INSTALACION PROPUESTA.-

En las figuras 2 y 3 se representan la instalación propuesta en un diagrama de bloques. El conjunto se conecta a través de la presa de almacenamiento de cenizas lixiviadas exentas de cianicidas.

En la sección de recuperación de Cu y Zn y acondicionamiento de las cenizas para la posterior recuperación de Au y Ag, figura 2, destaca la doble sección de lixiviación de pilas y pulpa.

Un estudio económico sobre la influencia del tiempo de tratamiento y el precio asignado a las cenizas sobre la rentabilidad bruta obtenible en el sistema de lixiviación en pulpa puso de manifiesto dos comportamientos diferentes.(5)

En los grupos de cenizas poco reactivos (I y V), en los que las pendientes de extracción son bajas, y en especial, cuando la riqueza metálica es baja, grupo V, un tratamiento prolongado en pilas hace disminuir la rentabilidad del proceso. Las extracciones alcanzadas por el sistema de lixiviación en pulpa a tiempos cortos son muy próximas a las de columna y la percolabilidad que presentan estas cenizas es baja, por lo que se recomienda el uso de la lixiviación en pulpa en estos casos.

Los grupos de cenizas más reactivos (II, III y IV), en los que se ha comprobado que tratamientos prolongados proporcionan extracciones muy superiores a las iniciales y las

pendientes de extracción se mantienen en niveles aceptables aún cuando transcurre mucho tiempo, la rentabilidad bruta aumenta con el tiempo de tratamiento, y por lo tanto debe optarse por este sistema de lixiviación.

Se han determinado el número de etapas de lavado así como el de etapas de extracción y reextracción para la purificación por extracción con disolventes. En la bibliografía se presentan los programas de computadoras que permiten determinar para cada concentración las etapas necesarias en los sistemas de lavado y extracción-reextracción, (5).

Se considera que el sistema propuesto con la doble línea de lixiviación es lo bastante flexible para adaptarse a las variaciones previsibles en las características de las cenizas.

En la figura 3 se recoge el sistema propuesto para la planta de cianuración.

Las cenizas son cianuradas en doble etapa, pues, como se ha visto en los anteriores trabajos, con ello se consigue un aumento en la extracción final y una importante disminución en el tiempo de reacción y en el consumo de reactivos, lo que justifica plenamente el aumento requerido en la inversión.

Teniendo en cuenta que los tiempos necesarios en cada etapa son bastante similares en todos los grupos, este tratamiento puede realizarse en un sólo circuito para todas

las cenizas.

El esquema , análogo al de plantas industriales de cianuración ya existentes, difiere de éstos en la existencia de una etapa de decantación y otra de reacción intermedias.

La flexibilidad de la planta para variar los tiempos correspondientes a cada etapa o la supresion de alguna queda garantizado por el diseño propuesto.

Los sistemas de decantación ( CCD ) deberán presentar menos problemas en el caso de las cenizas que para el Gosan, ya que las características de decantación de aquéllas son mejores.

### III. ESTIMACION ECONOMICA.-

Los contenidos en Au, Ag, Cu y Zn de las cenizas de piritas, así como los resultados obtenidos en la cianuración y lixiviación ácida de las mismas, indican claramente que podrían ser consideradas como menas de dichos metales. Teniendo en cuenta que una mena metálica es "una agregación de minerales que puede tratarse para obtener un compuesto metálico, un metal o una aleación con beneficio económico" se hace evidente la necesidad de un estudio económico del proceso que permita confirmar tal supuesto.

El estudio se realiza considerando un tratamiento global según se indica en la instalación propueta.

Se considera que la ceniza debe ser una materia prima

secundaria que, a ser posible, se integre en instalaciones ya existentes, y por lo tanto, la empresa que se haga cargo de su tratamiento posee los terrenos y la infraestructura para las instalaciones de lixiviación y cianuración.

Teniendo en cuenta que las cenizas de piritas constituyen hoy día un problema de almacenamiento de residuos para las empresas que las producen, su tratamiento por esta vía supondría su inmediata retirada como foco contaminante, solucionando así el problema planteado. Por consiguiente, parece lógico que su coste quede como parámetro a asignar que podría tener desde valor cero e incluso negativo hasta el valor que la empresa le asigne en función de la rentabilidad que prevea.

Los datos de concentraciones, tiempo de tratamiento y consumos de reactivos se han tomado de los ensayos de laboratorio y los datos técnicos y económicos han sido aportados por empresas del sector.

La vida útil de la maquinaria y aparatos se estima 10 años, considerándose una amortización lineal. El costo de producción se realiza por tonelada de ceniza.

De cualquier modo, el estudio efectuado hay que considerarlo como una aproximación a la viabilidad del proyecto a escala industrial, pues el cálculo más riguroso del mismo precisaría de datos a nivel de planta piloto y de precios y valores más exactos de cada una de las partidas.

### III.1. ESTIMACION DEL CAPITAL INMOVILIZADO.-

#### III.1.1. PLANTA DE LIXIVIACION ACIDA.-

##### Sistemas de lixiviación en pilas.-

Elementos impermeabilizantes ..... 400 pta/m<sup>2</sup>

Aspersores, tuberías, etc..... 25 pta/m<sup>2</sup>

La superficie de lixiviación será función de la altura del lecho y del tiempo de tratamiento, de forma que para una producción anual de cenizas (t/a) Mc, será:

$$S = Mc * t / (D * H * 330 * 24)$$

siendo t el tiempo de tratamiento en horas, D la densidad aparente de las cenizas, y H la altura del lecho.

Por tanto, el inmovilizado será :  $I_1 = 425 * S * 10^{-6}$  Mpta.

##### Sistemas de lixiviación en pulpa.-

Para las cenizas tratadas por este método, (grupos I y V), y considerando el tiempo de lixiviación estimado, (5), el volumen de reactor necesario sería de 50 m<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta que se precisarían además de un espesador y de un filtro de clarificación, y aplicando la regla de Williams sobre los precios suministrados por una empresa del sector, la inversión necesaria sería de 177,7 Mpta.

$$I_2 = 177,7 \text{ Mpta}$$

Lo que supondría una amortización anual de 27 pta/t de ceniza tratada mucho menor que las 125 pta/t que supone sólo el movimiento de las cenizas en el heap.

### III.1.2. PLANTA DE EXTRACCION CON DISOLVENTES Y ELECTROLISIS DEL Cu.

Con el número de etapas de extracción y reextracción obtenidas a partir del caudal a tratar, y de la concentración del licor, se determina la superficie de sedimentación, Ss.

Basándonos en un proyecto de extracción con disolventes presentado a una empresa para tratar una lejía con 0,8 g/l de Cu y un caudal de 32,2 m<sup>3</sup>/h, lo que supone según nuestros cálculos una superficie de sedimentación de 450 m<sup>2</sup>, se estima un inmovilizado de 56,4 Mpta. Con esto, el inmovilizado de extracción quedaría:

$$I_3 = 56,4 \cdot (S_s/450)^{0,4}$$

Para la zona de electrolisis, al no ser beneficiado el inmovilizado por la economía de escala, según los datos recopilados quedaría en la forma:

$$I_4 = 950 \cdot C_d \cdot 1^{-4} \cdot M_e$$

Cd : cambio del dólar, pta/\$

Me : masa de metal extraída, t.

### III.1.3. PLANTA DE EXTRACCION CON DISOLVENTES Y ELECTROLISIS DEL ZN.-

Se considera que el Zn se recupera mediante el proceso Zincex, descrito en la bibliografía, (6), para el que se disponen de los siguientes datos referentes a una planta



situada en Huelva con capacidad para producir 11000 t/a de Zn y en la que se consideran las modificaciones necesarias para el tratamiento de licores en medio sulfato.

Inmovilizado: Extracción ..... 350 Mpta

Electrolisis..... 550 Mpta

Otros..... 150 Mpta

Total I<sub>m</sub> = 1050 Mpta

En la partida de otros del inmovilizado se incluyen los disolventes, ánodos y cátodos que deben amortizarse en 5 años.

III.1.4. PLANTA DE CIANURACION.-

El inmovilizado se ha estimado en base a la partida de maquinaria y aparatos, cuyo valor asciende a 746,25 Mpta, (7). Los factores utilizados en dicho cálculo se reflejan en la Tabla I.

TABLA I. FACTORES PARA EL CALCULO DEL INMOVILIZADO.

Tuberías y accesorios :	0,31 X
Instrumentacion y control:	0,13 X
Aislamientos:	0,08 X
Instalación eléctrica:	0,10 X
Edificios y solares:	0,30 X
Instalaciones de servicios:	0,55 X

Con estos valores, y siendo X la partida mencionada anteriormente, el capital físico  $Y = 2,47 X$ .

Proyecto y dirección de obra : 0,11 Y

Inmovilizado :  $I_4 = 1,11 Y + \text{Contratación} + \text{Imprevistos}$

$$I_4 = 2353 \text{ Mpta}$$

### III.2. ESTIMACION DE LOS COSTES DE OPERACION.-

#### III.2.1. LIXIVIACION, EXTRACCION CON DISOLVENTES Y ELECTROLISIS DEL Cu.-

La distribución de los costes de operación es independiente de la ubicación geográfica en lo que se refiere a extracción y electrolisis, pero no así en la sección de lixiviación, por lo que del coste global indicado en la bibliografía, (8), 30 centavos por libra, se ha retraído la parte correspondiente a esta partida, el 36,7%, que se estima de la siguiente forma:

Bombeo:  $0,47 \text{ kW} * \text{h/m}^3 * V * 11.77 \text{ pta/kW} * \text{h}$

Movimiento de la ceniza: 125 pta/t

Ceniza (valor): Cv

Coste total de lixiviación :  $5,53 * V + (125 + Cv) * Mc$

Coste de extracción y electrolisis:  $0,633 * 0,30 * Cd * Me$

Amortización:  $0,1 * (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)$

### III.2.2. EXTRACCION CON DISOLVENTES Y ELECTROLISIS DEL Zn.-

Amortización de extracción y electrolisis:	90 Mpta/a
Amortización de otros:	30 Mpta/a
Mano de obra(operc. y supervisión):	95 "
Reactivos(reposición):	3 "
Mantenimiento:	31,5 "
Energía eléctrica:	453,1 "
Suministros, seguros, impuestos (2,5% I):	26,3 "
Laboratorio (5% M2):	4,7 "
Total:	733,6 Mpta/a

Los costes de operación se calcularían mediante la ecuación:

$$C = A(Q1/Q2) + B*I*(Q1/Q2)^{0.4} + C*(Q1/Q2)^{0.25}$$

A son las partidas que no dependen de la producción.

B incluye las partidas que dependen del inmovilizado.

C contiene las partidas dependientes de la mano de obra.

Con esto, el coste anual es de 1053,3 Mpta/a.

### III.2.3. PLANTA DE CIANURACION.-

En la Tabla 2 se resumen los costes de las materias primas consumidas.

El resto de las partidas que engloban los costes de fabricación se recogen en forma resumida en la Tabla 3.

Tabla 2. COSTE DE MATERIAS PRIMAS.-

Materia prima	Consumo(g/t cen.)	Precio(pta/kg)	Coste(pta/t)
NaCN	1036,5	180	186,6
CaO	3300	8	26,4
Zn	82,5	156	12,9
HCl	25	9	0,23
Floculante	50	360	18
Otros			3
Total			247 pta/t

TABLA 3. COSTES DE FABRICACION.-

Partidas	Coste pta/t
M-1 (materias primas y auxiliares)	247
M-2 (mano de obra directa)	57
M-4 (mano de obra indirecta)	17
M-5 (servicios auxiliares)	46
M-6 (suministros, 1% I <sub>v</sub> )	23,5
M-7 (conservación y mantenimiento)	70,6
M-8 (laboratorio)	8,6
M-11 (directivos y técnicos)	11,4
M-12 (amortización)	235,3
M-14 y M-15 (impuestos y seguros, 2% I <sub>v</sub> )	47

Coste de fabricación unitario: 763,4 pta/t

Los gastos generales, evaluados a partir de los costes

anteriores, ascienden a 76,3 pta/t, por lo que los costes totales unitarios de producción son de 839,7 pta/t.

### III.3. ESTIMACION DE LOS PRECIOS DE VENTA DE LOS METALES.-

El precio de venta del Cu y del Zn, aunque sujeto a fuertes oscilaciones, parece que se ha estabilizado en torno a las 200 pta/kg para el Cu y 100 pta/kg para el Zn. El oro y la plata, que tampoco tienen unos precios estables, presentan en los últimos tiempos una cierta tendencia a la baja, fijándose para los mismos un valor de 1700 pta/g de Au y 25 pta/g de Ag. Figura 4

Debe tenerse en cuenta que la disminución del precio de los metales por debajo de los indicados, afectará directamente la valor que se le puede asignar a la ceniza puesta en la planta, e incluso a la viabilidad del proceso.

### III.4. RENTABILIDAD BRUTA

En la figura 5 se representa la rentabilidad bruta frente al precio asignado a las cenizas considerando tres opciones.

A) Considera la inversión necesaria para instalar la planta de lixiviación, las dos líneas de extracción y electrolisis de Cu y Zn y la planta de cianuración.

B) Se considera en el caso del Zn la inversión

necesaria para la ampliación de la planta de 11000 a 19000 t/a.

C) Se considera además del caso B) que la ceniza puede integrarse en una planta de cianuración en funcionamiento sin inversión adicional.

### III.5. CONSIDERACIONES FINALES.

Considerando en las cenizas sus bajos contenidos metálicos, la complejidad de sus composiciones y comportamientos y la fuerte variabilidad en las mismas, las cenizas no deben considerarse como una materia prima independiente que a través de procesos tecnológicos también independientes den lugar a productos metálicos finales. Creemos, en cambio, que su tratamiento y beneficio debe realizarse en instalaciones ya existentes que puedan aceptarlas como materia prima secundaria sin que ello cause problemas tecnológicos.

El esquema general del proceso propuesto se basa en la incorporación de las cenizas de pirita a una planta de cianuración de gossan, realizando el tratamiento previo de lavado ácido en pilas de lixiviación controladas o en pulpa. Como resultado del mismo, se obtiene un licor cargado de Cu y Zn que se recuperaría por extracción con disolventes y electrolisis.

La planta de lixiviación ácida y la línea de recuperación del Cu no existen en la actualidad, y sería preciso montarlas. No así la línea de recuperación del Zn, que

podría realizarse por ampliación de una planta en proyecto de ejecución.

La estimación económica, que no pretende ser un estudio definitivo sino una aproximación a los resultados que podrían obtenerse, se basa en la recuperación de los 4 metales, según los datos de laboratorio obtenidos, en sus respectivos costes de producción, y en el capital invertido en las distintas opciones:

Los resultados alcanzados ofrecen una rentabilidad muy elevada y aconsejan realizar un estudio a escala de planta piloto empleando el esquema de proceso propuesto. La aplicación a escala industrial del mismo permitiría, no sólo la extracción de los cuatro metales con resultados económicos muy atractivos, sino también la eliminación del efecto contaminante que actualmente plantean las cenizas de piritas.

#### IV. BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Limpo, J.M. y Sistiaga Metal. CENIM Vol 1 N°1 5-20 (1965)
- 2.- Pietsch, H.; Walden, H.; Metal. CENIM, Vol. 6, n° 5, (1970), 490-500.
- 3.- Nuñez, C.; Viñals; XV Cong. Inter. Miner. Cannes (1985).
- 4.- Diaz, E.; Romero, R.; Carranza, F.; Ing. Quim., XIX, 223 Oct. (1987), 517-520.
- 5.- Romero Aleta, R., Tesis Doct. Univ. Sevilla Jul (1988).
- 6.- Nogueira, E.; Regife, J.M. Quim. Ind. Vol 23 N°10 694-702
- 7.- Diaz Ojeda, E., Tesis Doct. Univ. Sevilla, Abr (1987).

# MAPA DE CENIZAS

## VALOR ECONOMICO DE LOS METALES

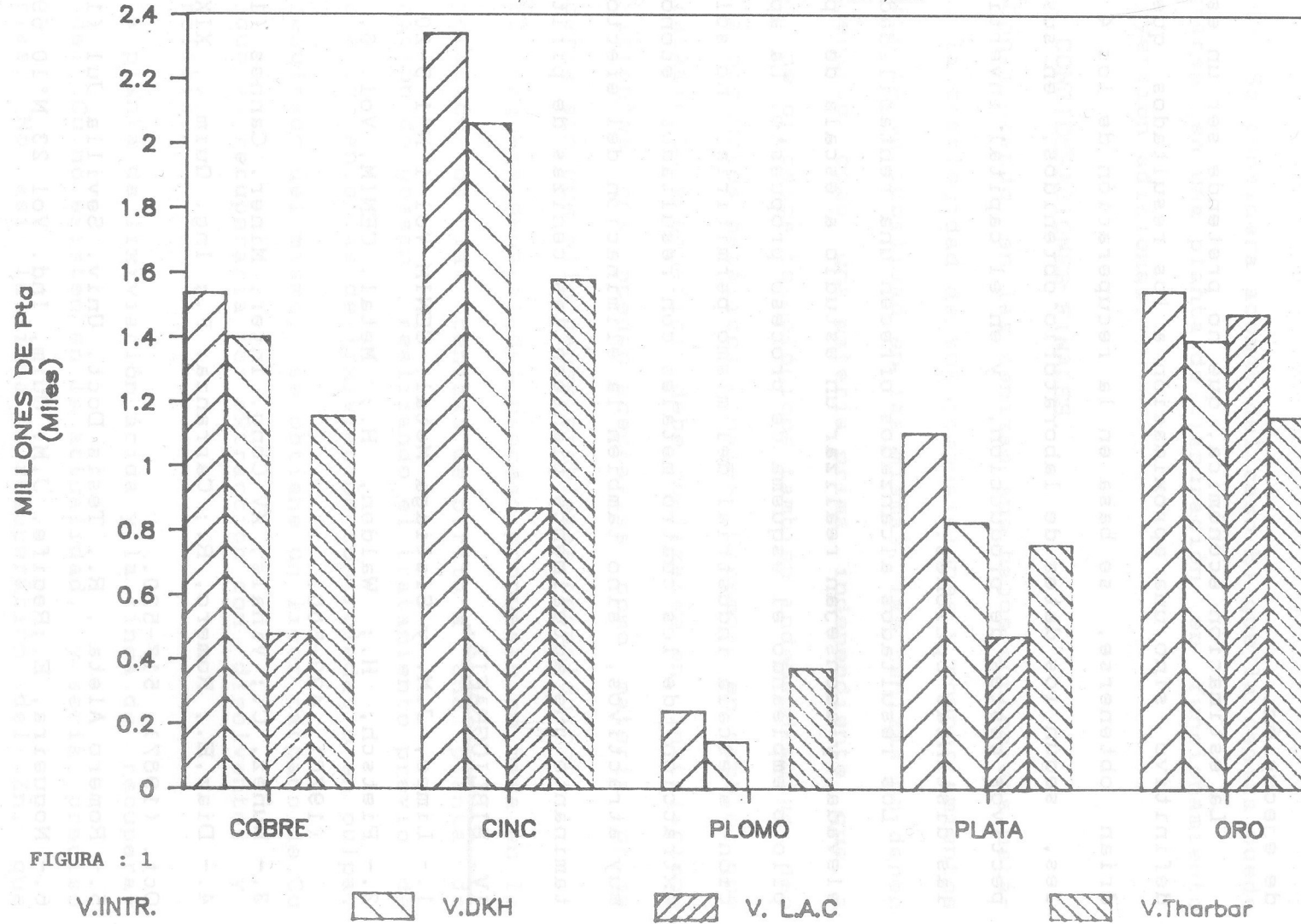


FIGURA : 1

V.INTR.

V.DKH

V. L.A.C

V.Tharbar



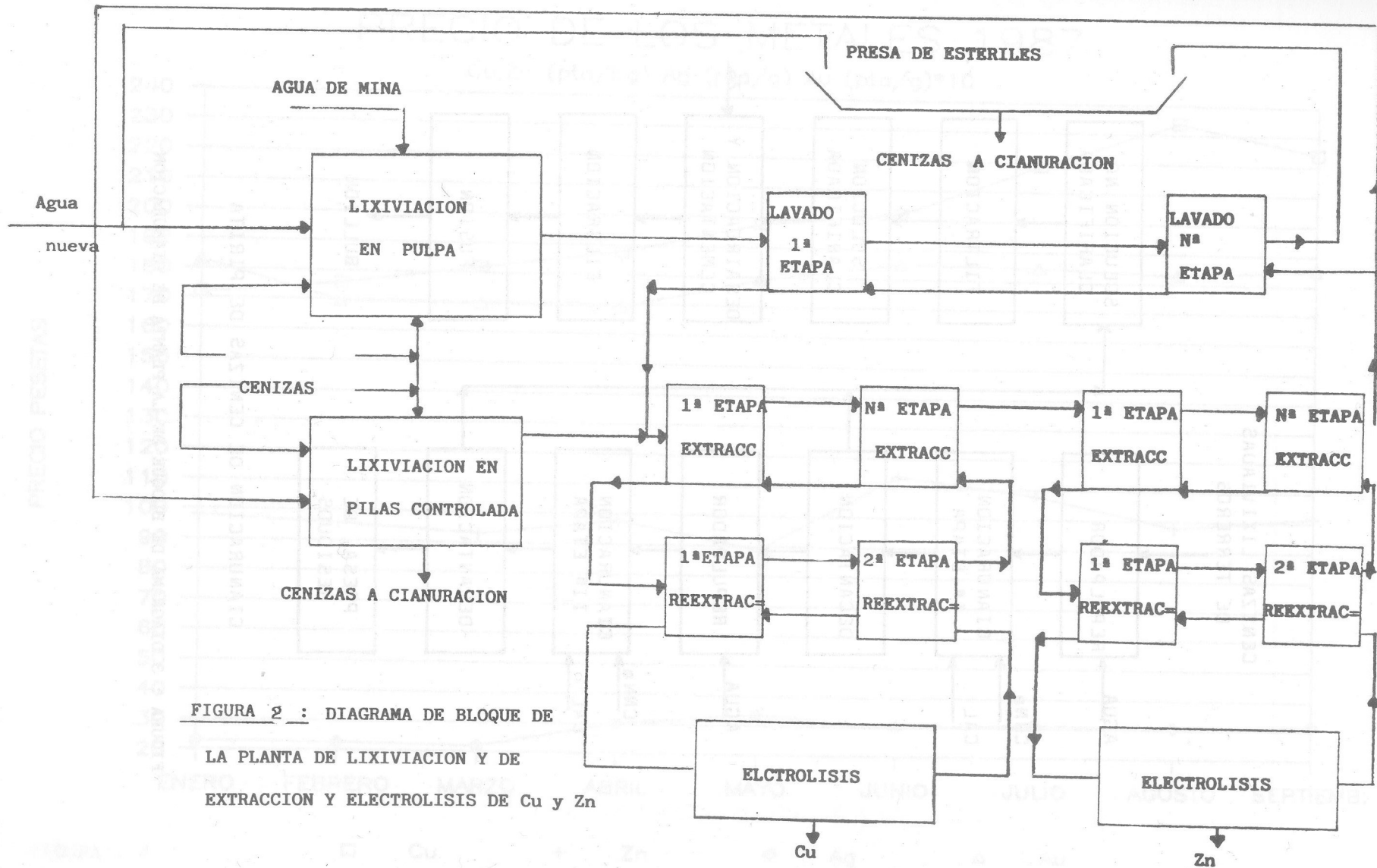
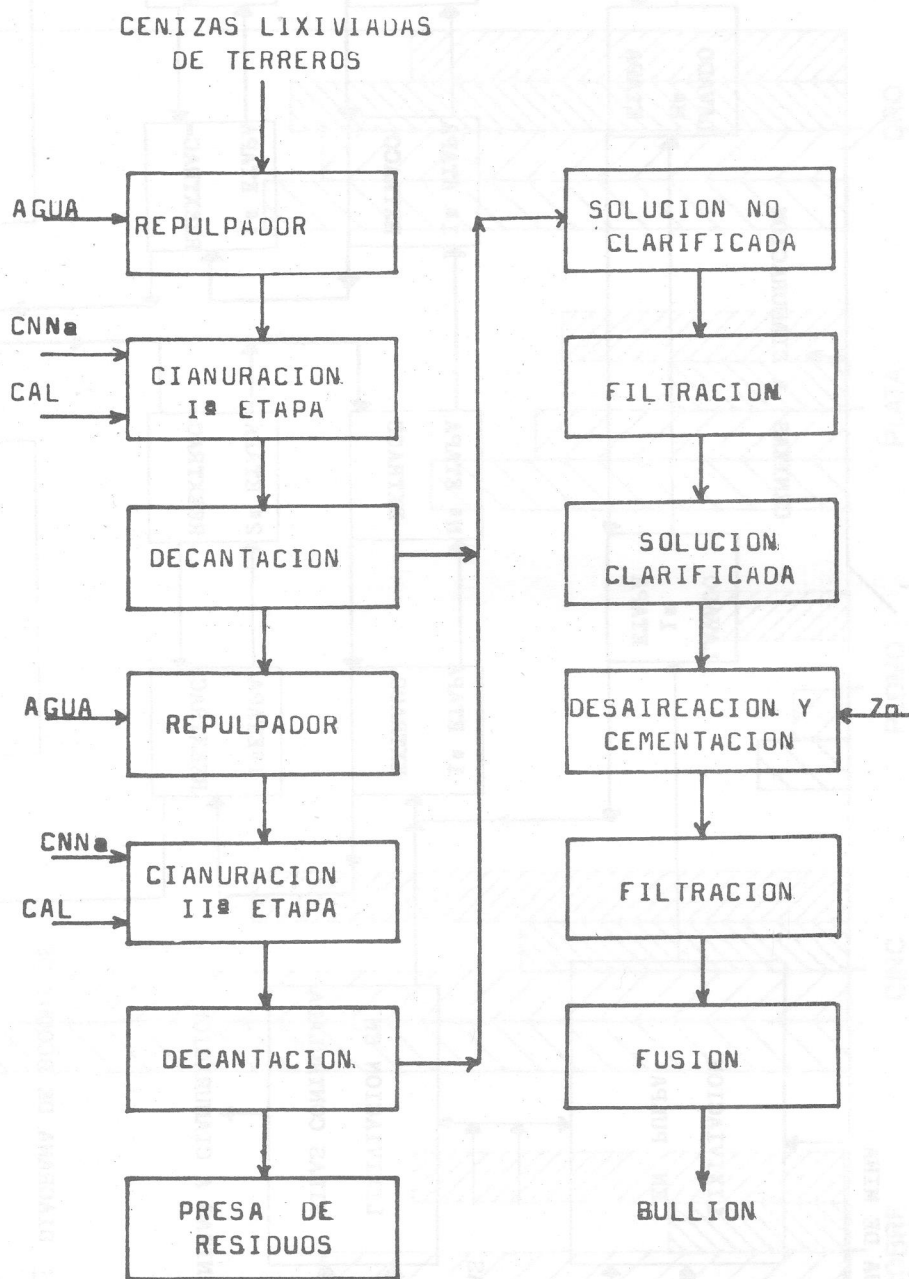


FIGURA 2 : DIAGRAMA DE BLOQUE DE LA PLANTA DE LIXIVIACION Y DE EXTRACCION Y ELECTROLISIS DE Cu y Zn



CIANURACION DE CENIZAS DE PIRITA

FIGURA : 3 DIAGRAMA DE BLOQUE DE LA PLANTA DE CIANURACION

# PRECIO DE LOS METALES 1987

Cu,Zn (pta/Kg) Ag (pta/g) Au (pta/g)\*10

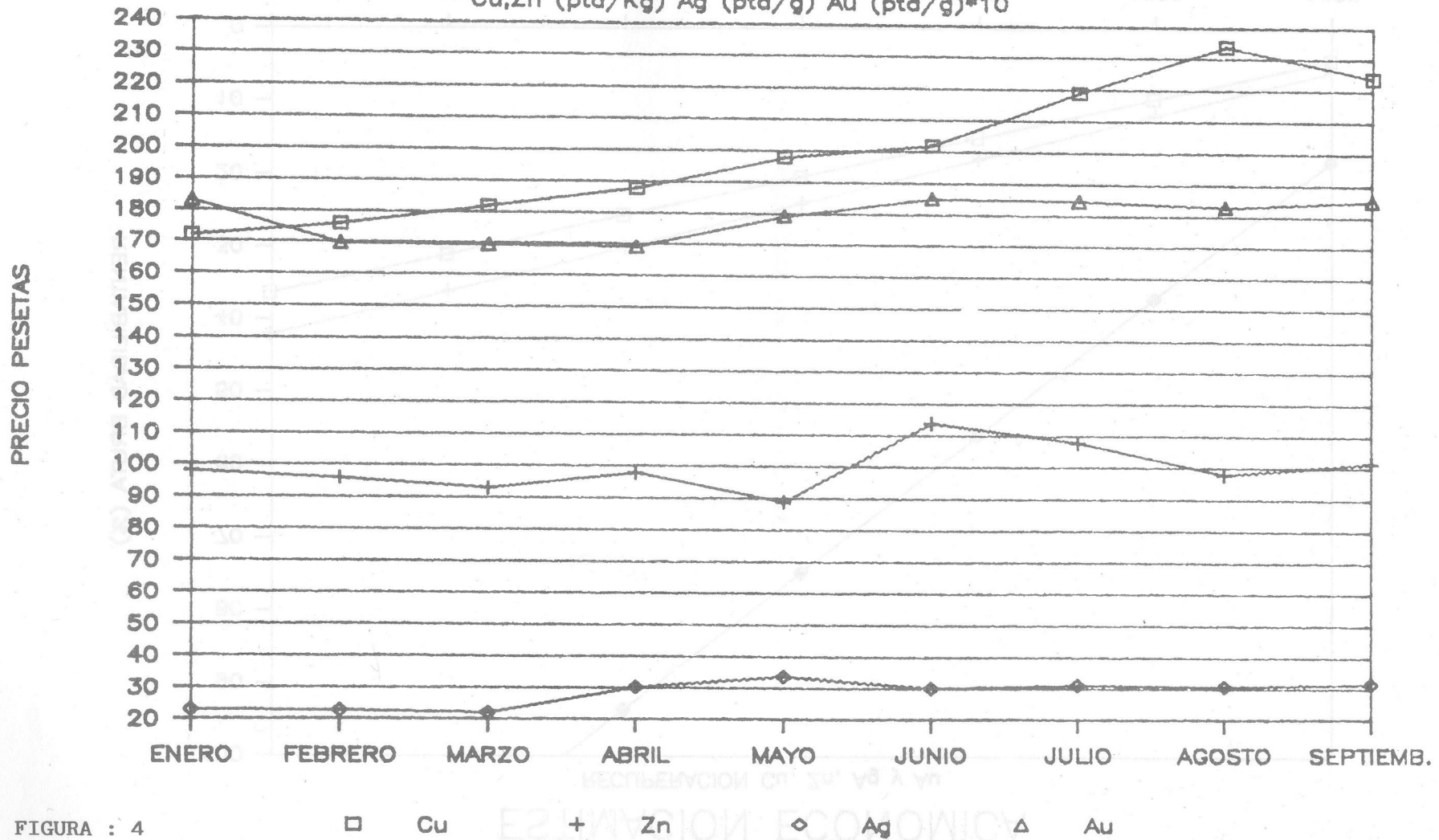


FIGURA : 4

# ESTIMACION ECONOMICA

RECUPERACION Cu, Zn, Ag y Au

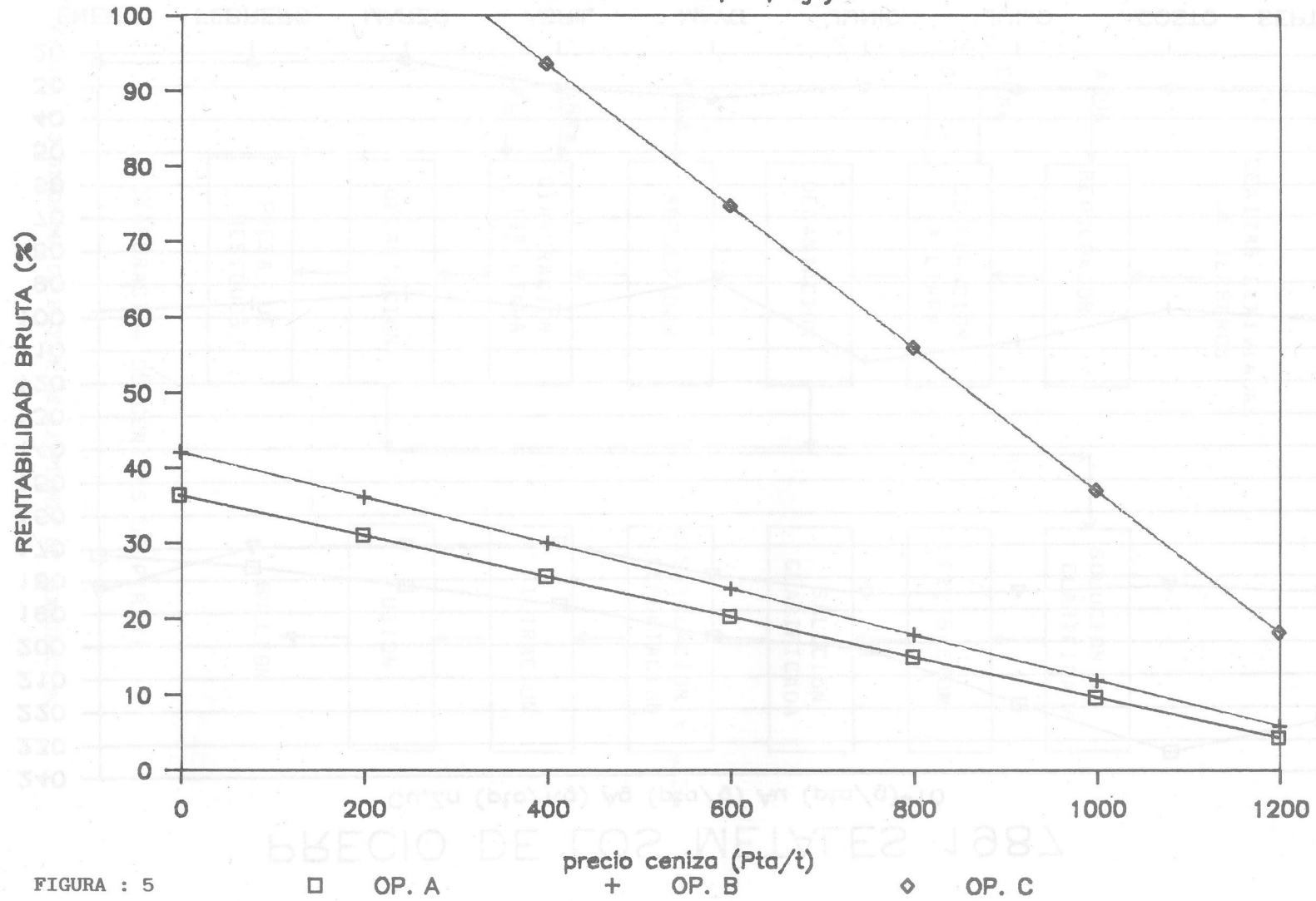


FIGURA : 5