

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



**AUMENTO DE LA EXTRACCIÓN DEL ORO DE UN MINERAL CON ALTO
CONTENIDO DE AZUFRE Y DE UN MINERAL CON ALTO CONTENIDO DE
CARBONO**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO METALURGISTA**

PRESENTADO POR:

JORGE ARMANDO LOMPARTE MELENDEZ

LIMA – PERU

2011

RESUMEN

El presente informe muestra el desarrollo de pruebas de cianuración a nivel laboratorio con dos tipos de minerales, uno de ellos presenta un alto contenido de azufre como sulfuro ($S^2=0.385\%$) y el otro presenta un alto contenido de carbono proveniente de materia orgánica ($TCM=0.134\%$). Se desarrollaran tres capítulos; en el primer capítulo se describen los objetivos del trabajo; en el segundo capítulo se realiza una breve revisión teórica del proceso de cianuración y de la ocurrencia del oro en la naturaleza; en el tercer capítulo se muestran los resultados de las pruebas y se realiza el análisis de las mismas observando como la variación de la concentración de cianuro y la granulometría de la muestra influyen en el porcentaje de la recuperación del oro en ambos minerales, adicionalmente se realizaron pruebas utilizando tratamientos previos al proceso de cianuración sobre las muestras minerales con la finalidad de aumentar la recuperación del oro respecto a un proceso.

INDICE

| | Pág. |
|--|------|
| Introducción | 5 |
| CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES | |
| 1. 1.Objetivo General | 7 |
| 1.2. Objetivos Específicos | 7 |
| CAPITULO II: CIANURACIÓN | |
| 2.1. General | 8 |
| 2.2. El Oro en la Naturaleza | 9 |
| 2.2.1. Oro Libre | 9 |
| 2.2.2. Oro Asociado a Otros Minerales | 10 |
| 2.3. Termodinámica | 11 |
| 2.4. Mecanismo de la disolución de Au en CN ⁻ | 12 |
| 2.5. Problemas en el proceso de cianuración | 13 |
| 2.6. Tipo de minerales a tratar | 13 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 2.7. Definiciones para las pruebas | 14 |
|------------------------------------|----|

CAPITULO III: PLAN DE PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS

| | |
|---|----|
| 3.1. Plan de Pruebas | 16 |
| 3.2. Recursos | 19 |
| 3.3. Análisis de Resultados | 21 |
| 3.3.1. Mineral Sulfuroso | 21 |
| a) Pruebas a Diferentes granulometrías y 500ppm de CN ⁻ | 22 |
| b) Pruebas a Diferentes Concentraciones de CN ⁻ con Granulometría 80% -1.1/2" | 26 |
| 3.3.2. Mineral Carbonoso | 32 |
| a) Pruebas a Diferentes granulometrías y 500ppm de CN ⁻ | 32 |
| b) Pruebas a Diferentes Concentraciones de CN ⁻ con Granulometría 80% -1.1/2" | 36 |
| 3.4. Pruebas a condiciones especiales | |
| 3.4.1. Mineral Sulfuroso | 42 |
| 3.4.2. Mineral carbonoso | 47 |

| | |
|--------------------------------|----|
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 51 |
| BIBLIOGRAFIA | 54 |

INTRODUCCIÓN

Entre los factores que influyen el proceso de cianuración, los cuales se deben determinar para realizar un proceso eficiente, se encuentran la granulometría y la concentración del lixivante; así también la mineralogía de la ganga es un factor importante ya que esta puede determinar la efectividad o no del proceso, esto debido a que algunos minerales pueden reaccionar con el cianuro, restando de esa manera la presencia de reactivos necesarios para llevar adelante la solubilización del oro.

Es conocido que los sulfuros presentes en las muestras minerales son elementos cianicidas (consumidores de cianuro en mayor o menor grado), estos presentan una mayor afinidad con la sustancia lixivante (cianuro) que el oro, es por ello que el consumo se eleva al tratar que aumentar el porcentaje de recuperación del metal

precioso en el mineral. Es posible elaborar un pre tratamiento para aumentar la cinética de disolución del sulfuro de tal forma que posteriormente se pueda realizar una lixiviación eficiente del oro.

El carbono orgánico actúa, al igual que el carbón activado, atrapando el oro lixiviado, al realizar una investigación bibliográfica se encuentra que es posible pasivar el carbono utilizando un compuesto para saturarlo evitando así que se origine lo que se conoce como efecto preg robbing. Un pre tratamiento permitiría saturar el carbono presente en el mineral de manera que en el proceso de lixiviación posterior este no atrape el oro lixiviado.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Objetivo General.

Aumentar la recuperación del oro en los minerales con alto contenido de azufre como sulfuro y carbono (TCM).

1.2. Objetivos Específicos.

- Caracterizar el mineral problema (% de extracción, % de Preg Robbing, consumo de reactivos).
- Determinar las condiciones de granulometría y concentración de cianuro óptimas para aumentar la recuperación del oro.
- Observar como varia la recuperación del oro en los minerales con alto contenido de sulfuro y carbono al realizar tratamientos previos a la lixiviación (golpe de cianuro, curado y saturación con kerosene).

CAPITULO II

CIANURACIÓN

2.1 General.- En la industria metalúrgica se practican varios métodos de lixiviación, dependiendo de los siguientes factores determinantes:

- Solubilidad del metal precioso en la fase acuosa.
- Cinética de disolución.
- Facilidad de la operación.

Entre estos métodos tenemos:

- Lixiviación in-situ.
- Lixiviación en botaderos.
- Lixiviación en pilas.
- Lixiviación por agitación.
- Lixiviación a altas presiones y temperaturas.

2.2.- El oro en la naturaleza

En general el oro se encuentra en la naturaleza de dos formas muy conocidas: como oro libre y como oro asociado a otras fases minerales, particularmente a los sulfuros.

2.2.1. Oro Libre: Se dice que el oro está en la naturaleza libre, cuando no está incluido en los mismos; es decir, el oro se encuentra en su estado elemental. Ejemplo el oro aluvial o de placer.

a) Oro Nativo: Éste, como su nombre lo dice, se forma naturalmente como oro de 99.8% de pureza, su textura varía de manera notable en función de su origen y condiciones de fenómenos secundarios como carácter detrítico, remobilización metamórfica o aún precipitaciones a partir de soluciones oxidantes sulfato o cloruro. También varía de tamaño desde unas cuantas micras, difíciles de recuperar, hasta pepas (nuggets) de dimensiones considerables.

b) Oro en Minerales Oxidados: Estos óxidos, alguna vez fueron minerales sulfurosos, que con el transcurso del tiempo y de las condiciones climáticas se han ido desnaturalizando, dejando poros en los lugares donde había azufre, así el mineral oxidado se caracteriza por ser poroso, en donde el oro se encuentra expuesto y muy fácil de recuperar por cianuración directa, por lo general en pilas.

2.2.2.- Oro asociado a otros minerales: El oro se puede encontrar asociado con sulfuros y minerales carbonáceos.

a) Oro en Sulfuros: Los sulfuros son la forma mineral en la que existe la mayor cantidad de oro en la naturaleza, la pirita es el sulfuro más frecuente en esta categoría, aquí el oro se encuentra diseminado bajo la forma de finas partículas en los cristales de la pirita y la pirrotita, por lo que su extracción implica un proceso más complejo frente a los minerales oxidados. Generalmente estos minerales son de gran dureza y de color gris a verde oscuro.

En esta categoría también pueden estar presentes elementos que hacen aun más difícil la recuperación de oro, como el Arsénico y el Antimonio, que muchas veces ni con una molienda fina se pueden liberar, en este caso se les llama minerales refractarios los cuales se caracterizan por su dificultad y gastos excesivos en su procesamiento.

b) Minerales con Ganga Carbonácea: Estos minerales contienen carbono, bajo una forma orgánica o mineral, muy a menudo conteniendo sulfuros; los cuales le proporcionan cierta dureza. Estos minerales son de un color gris a negro de acuerdo al contenido de carbono, este último adsorbe oro de manera similar al carbón activado durante la lixiviación y al ser fino se pierde en los relaves.

2.3.-Termodinamica

Los diagramas Eh-pH muestran la alta estabilidad de estos metales en agua en un amplio rango de potencial, en el caso de la plata presenta un menor campo de estabilidad y algunos ácidos fuertes pueden atacarla.

En el caso de estos diagramas en los que interviene un acomplexante (CN^-), en primer lugar hay que tener en cuenta la relación $Au - H_2O$. Dada la nobleza de este metal estos diagramas son bastante simples.

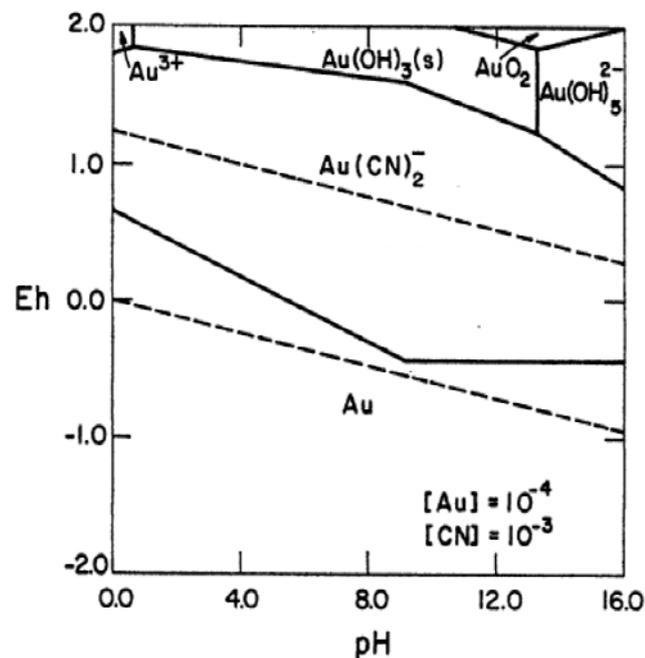


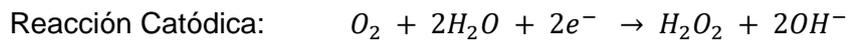
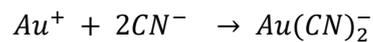
Figura N° 2.1.- Diagrama Eh-pH Au-CN-H₂O, aquí podemos ver las zonas de predominancia de los iones a un determinado potencial y pH.

2.4.-Mecanismo de la disolución de Au en CN⁻

Elsner (1820) propuso la siguiente reacción:



La cual procede de acuerdo al mecanismo siguiente:



El cual se expresa esquemáticamente:

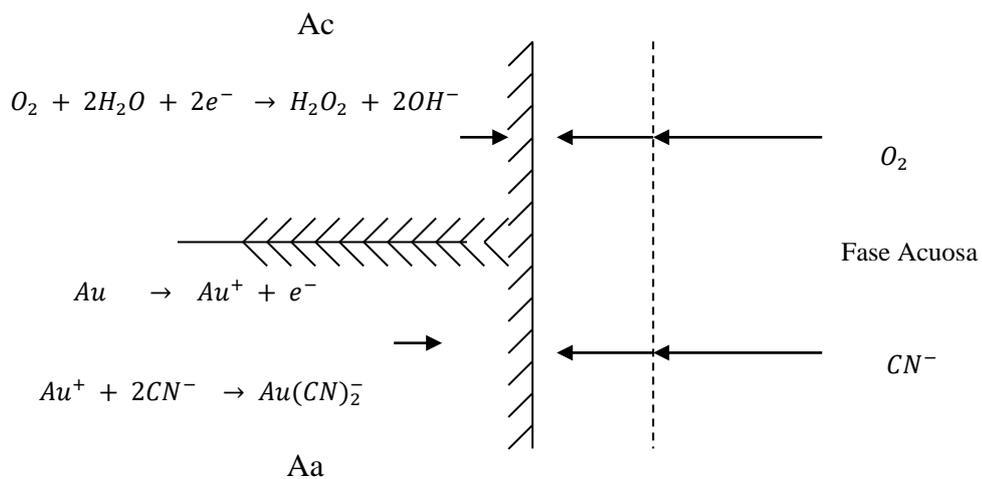


Figura N° 2.2.- Esquema de la disolución del oro en una solución cianurada

2.5.- Problemas en el proceso de Cianuración.

La velocidad en el proceso de cianuración depende de muchos factores como son:

- Concentración de cianuro.
- Concentración de oxígeno.
- Temperatura.
- Efecto de iones cianicidas.

2.6.-Tipo de minerales a tratar.

Mineral Sulfuroso: Este es mineral contiene sulfuros y un bajo valor de TCM. Generalmente está definido litológicamente por brechas y tobas volcánicas con sulfuro.

| | Au (ppm) | C(total) | TCM | S | S² |
|--------------|-----------------|-----------------|------------|----------|----------------------|
| Leyes | 2.7 | 0.06 | 0.04 | 0.46 | 0.385 |

Mineral Carbonoso: Este mineral es mixto ya que presenta sulfuro y carbono. Generalmente está definido litológicamente por brechas y tobas volcánicas con sulfuro y clastos o matriz carbonosa.

| | Au (ppm) | C(total) | TCM | S | S² |
|--------------|-----------------|-----------------|------------|----------|----------------------|
| Leyes | 9.38 | 0.266 | 0.134 | 0.94 | 0.17 |

2.7.- Definiciones para las pruebas

a) Prueba de Cianuración Rápida (QLT).- Esta Prueba en botella consiste en conocer el porcentaje de extracción máxima de Au que se puede obtener en el proceso, para esto se emplean 30 gr de mineral a un tamaño de 100% –malla N°200 y un volumen de 90ml de una solución con una concentración de 1000ppm de cianuro libre y se agita por cuatro horas, luego de esto se analiza el contenido del oro en la solución y en comparación con la ley de cabeza se determina el porcentaje de extracción del oro.

b) Golpe de Cianuro.- Durante un periodo de tres días el material es lixiviado con una alta concentración de cianuro (1500 ppm CN⁻), al cuarto día se deja descender la concentración de cianuro libre hasta mantenerla en 500ppm por 72 horas.

c) Curado.- Acondicionamiento del mineral humectándolo (con el 10% de su volumen de saturación) con una solución que contiene la cantidad de cianuro de sodio consumida cuando se lixivia a 1500ppm de cianuro libre, el mineral permanece en esta condición por tres días, después de esto se procede a lixiviar el material con una solución con 500ppm de cianuro libre.

d) Oxidación Química.- Consiste en humectar el mineral con una solución que contiene un agente oxidante (Perborato de sodio), el cual pretende oxidar el sulfuro presente en la muestra.

e) Preg Robbing.- Es el porcentaje de oro adsorbido por el carbono asociado a la muestra mineral durante el proceso de lixiviación.

f) TCM.- (Total Carbonaceous Matter) Es el carbono total proveniente de la material orgánica.

CAPITULO III

PLAN DE PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 Plan de Pruebas

a) Normalmente estos minerales son lixiviados a una granulometría 80% -1 1/2" y una concentración de cianuro libre de 500ppm, en esta oportunidad primero se caracterizo los minerales usando QLT (Quick Leach Test) para determinar la extracción máxima del oro, también se realizaron diferentes pruebas en botella donde se variaron la concentración de cianuro y granulometría de acuerdo a las siguiente tabla.

Tabla N° 3.1.- Plan de Pruebas

| N° Prueba | CN ⁻ (ppm) | Granulometría al 80% |
|-----------|-----------------------|----------------------|
| 1 | 500 | -1 1/2" |
| 2 | 500 | -1" |
| 3 | 500 | -3/4" |
| 4 | 500 | -1/2" |
| 5 | 500 | -1/4" |
| 6 | 1000 | -malla N°10 |
| 7 | 50 | -1 1/2" |
| 8 | 150 | -1 1/2" |
| 9 | 450 | -1 1/2" |
| 10 | 600 | -1 1/2" |
| 11 | 750 | -1 1/2" |
| 12 | 1000 | -1 1/2" |
| 13 | 1500 | -1 1/2" |

Nota.- Todas las pruebas se realizaron por duplicado (A y B).

b) Para ver el efecto de la velocidad de difusión del cianuro en el mineral se realizaron pruebas de lixiviación con un tiempo agitación de 10 días con granulometrías de 80% -1 1/2 "y 100% –malla N°10 a una concentración de 500 ppm de cianuro libre.

c) Se realizaron pruebas de Curado y Golpe de cianuro para mineral sulfuroso como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 3.2.- Pruebas a condiciones especiales para mineral Sulfuroso

| Tratamiento | Granulometría (80%) | Concentración de CN ⁻ para tratamiento (ppm) | Tiempo (días) | |
|-------------|------------------------|--|-------------------|---|
| | | | Acondicionamiento | Lixiviación (a 500ppm CN ⁻) |
| Golpe | - 1 ½" | 1500 | 3 | 7 |
| Curado | - 1 ½" | 1500 | 3 | 7 |

d) También se realizaron pruebas de oxidación química con Perborato de sodio a las siguientes concentraciones.

Tabla N° 3.3.- Pruebas a condiciones especiales (oxidación química) para mineral Sulfuroso

| Granulometría | Perborato (ppm) | Tiempo de acondicionamiento |
|---------------|--------------------|--------------------------------|
| -1/4" | 50 | 3 días |
| | 150 | 3 días |
| | 200 | 3 días |

e) Para el mineral carbonoso volcánico se realizaron pruebas de saturación con kerosene para observar el efecto sobre la recuperación del oro.

Tabla N° 3.4.- Pruebas a condiciones especiales para mineral Carbonoso

| Prueba | Kerosene (ml) | Tiempo de acondicionamiento (h) |
|---------------|----------------------|--|
| 1 | 5 | 2 |
| 2 | 6 | 1 |
| 3 | 6 | 3 |
| 4 | 5 | 2 |
| 5 | 5 | 2 |
| 6 | 4 | 1 |
| 7 | 4 | 3 |

Nota.- Todas las pruebas se realizan por duplicado (A y B).

3.2.- Recursos

Los recursos con los que se contó para ejecutar este proyecto fueron:

- Muestra mineral Sulfuroso y Carbonoso.
- Análisis de laboratorio químico (sólidos y soluciones).
- Reactivos (NaCN, Cal, rodanina, NaOH, perborato de sodio, floculante).

- Materiales de laboratorio (Botellas de vidrio, pipetas, matraz, vasos de precipitado, picetas, bureta).
- Equipos (Balanza analítica, pH-metro, chancadora, pulverizadora, mallas)



Figura N° 3.1.- Preparación de las muestras para el llenado de las botellas



Figura N° 3.2.- Agitación de botellas

3.3.- Análisis de Resultados.

3.3.1 Mineral Sulfuroso

Este es un mineral con alto contenido de sulfuro, su consumo de cianuro es alto a comparación de un mineral limpio debido precisamente al sulfuro que es un gran consumidor de cianuro y su extracción es baja debido a que una parte del oro no se encuentra expuesta si no asociado al sulfuro.

Tabla N° 3.5.- Ley de Cabeza del Mineral Sulfuroso

| | Au (ppm) | C | TCM | S | S⁻² |
|--------------|-----------------|----------|------------|----------|-----------------------|
| Leyes | 2.7 | 0.06 | 0.04 | 0.46 | 0.385 |

Tabla N° 3.5.- Prueba de Cianuración
Rápida para el mineral Sulfuroso

| | % Ext. QLT |
|--------------------------|------------|
| Mineral Sulfuroso | 69.8 |

a) Pruebas a Diferentes Granulometrías y a 500ppm de CN⁻ (por duplicado A y B).

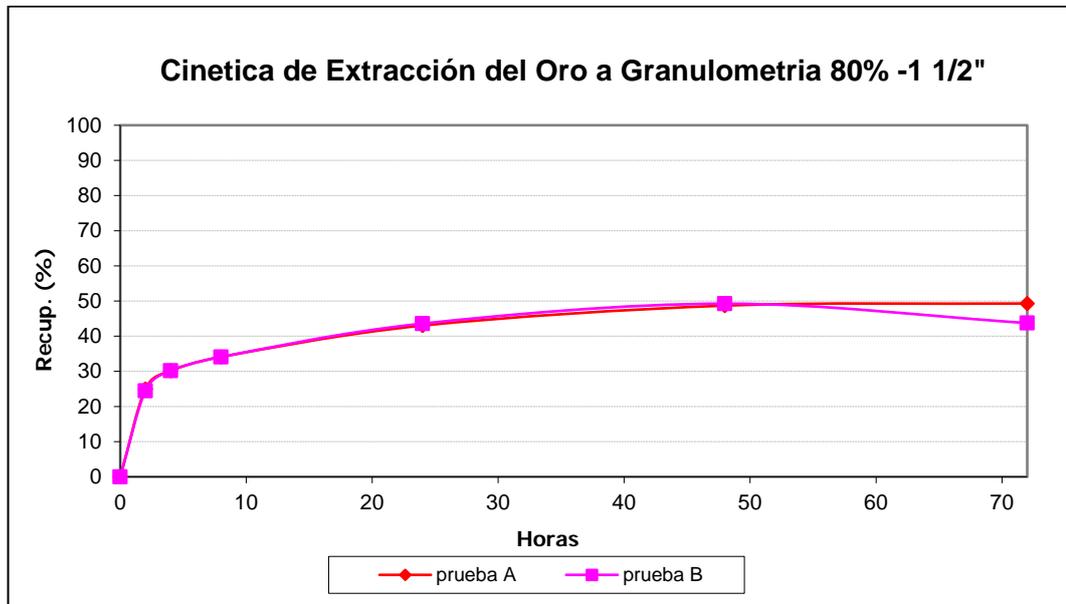


Figura N° 3.1.- Cinética de extracción del oro a 500ppm de concentración de CN⁻ y granulometría 80% -1.1/2" en mineral sulfuroso.

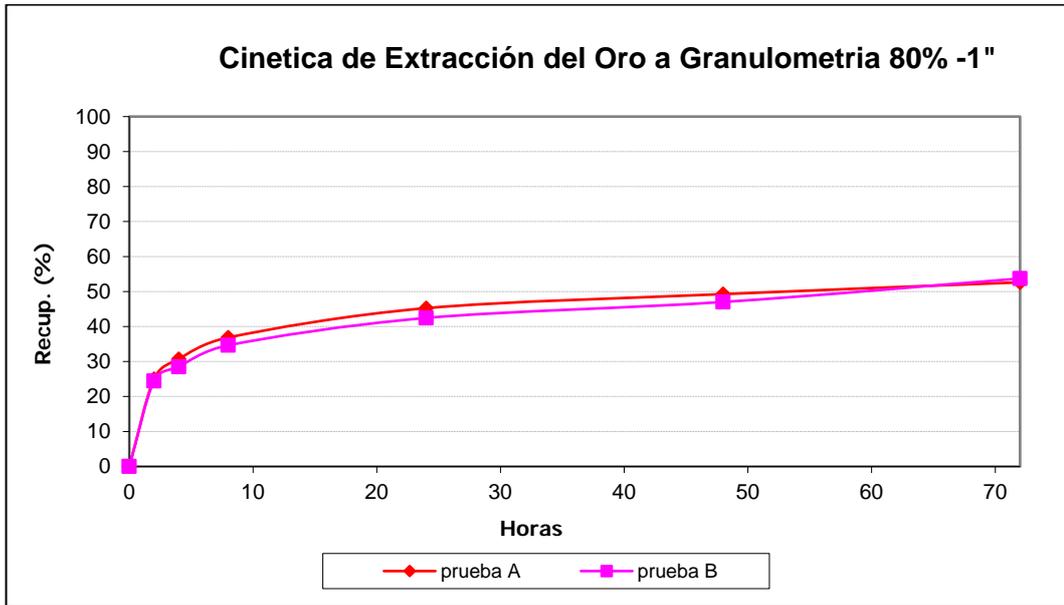


Figura N° 3.2.- Cinética de extracción del oro a 500ppm de concentración de CN⁻ y granulometría 80% -1" en mineral sulfuroso.

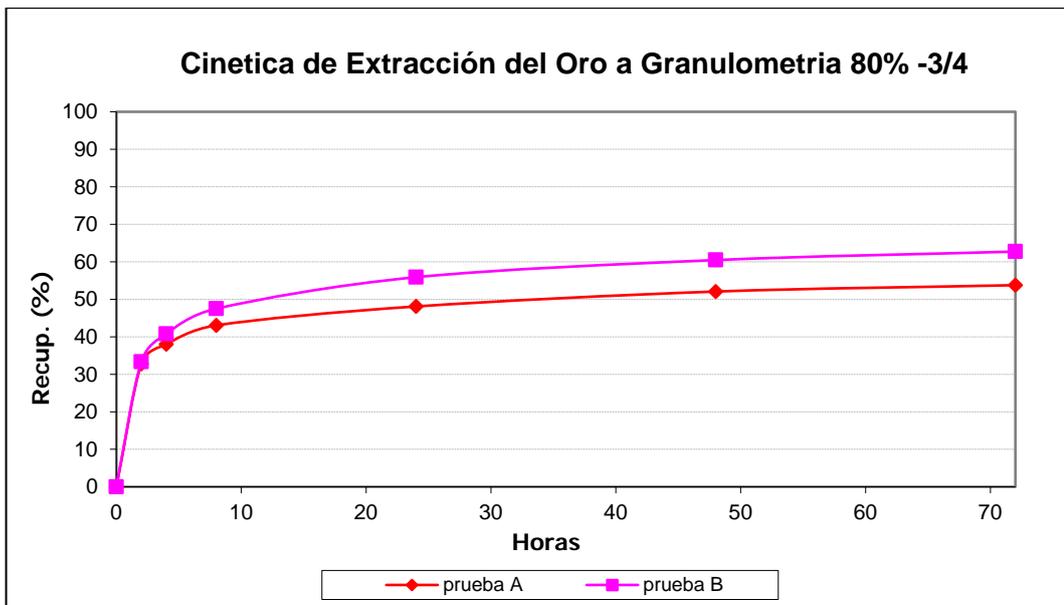


Figura N° 3.3.- Cinética de extracción del oro a 500ppm de concentración de CN⁻ y granulometría 80% -3/4" en mineral sulfuroso.

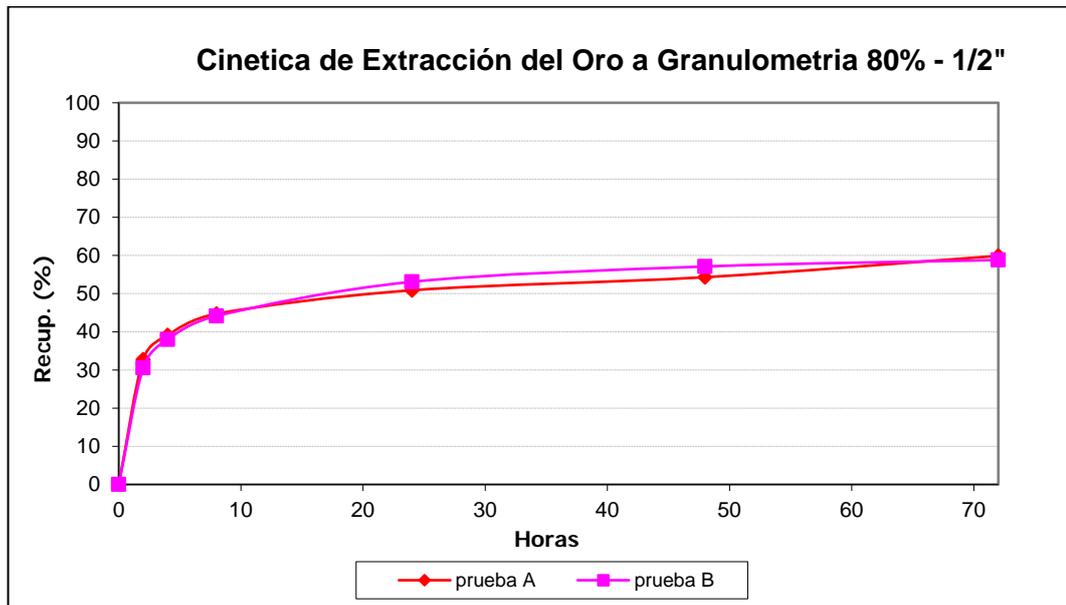


Figura N° 3.4.- Cinética de extracción del oro a 500ppm de concentración de CN^- y granulometría 80% -1/2" en mineral sulfuroso.

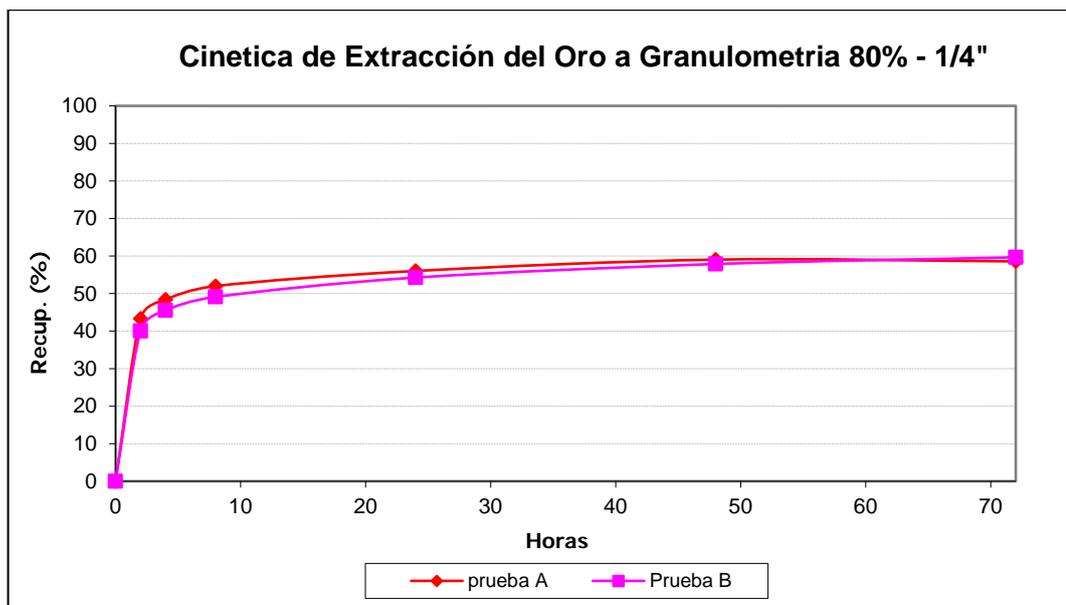


Figura N° 3.5.- Cinética de extracción del oro a 500ppm de concentración de CN^- y granulometría 80% -1/4" en mineral sulfuroso.

Tabla N° 3.6.- Porcentaje de Extracción del Oro por Cabeza Calculada a 500ppm de CN⁻ para el Mineral Sulfuroso

| Granulometría | % Ext. x Cabeza Calculada |
|---------------|---------------------------|
| -1 1/2" | 51.77 |
| -1" | 56.04 |
| -3/4" | 58.33 |
| -1/2" | 57.92 |
| - 1/4" | 61.35 |

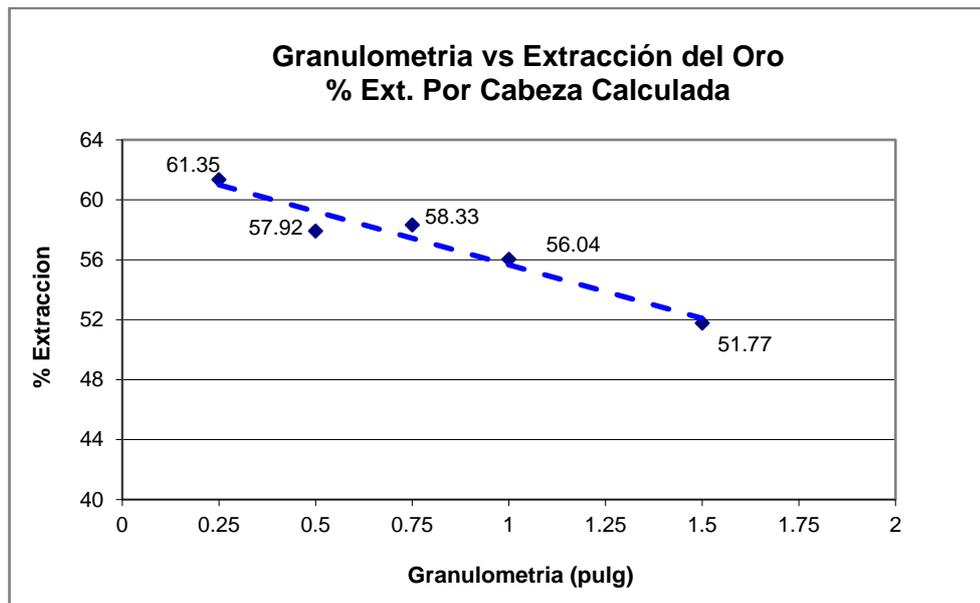


Figura N° 3.6.- Relación entre la granulometría y el porcentaje de extracción del oro a 500ppm de CN⁻ en mineral sulfuroso variando la granulometría, cálculo basado en la cabeza calculada.

Tabla N° 3.7.- Porcentaje de Extracción del Oro a 1000ppm de CN⁻ v 100% -malla N°10.

| Granulometría | % Ext. |
|----------------|--------|
| - malla N°10 B | 64.9 |

Tabla N° 3.8.- Consumo de Reactivos

| RATIO Kg/t | | |
|---------------|------|------|
| Granulometría | NaCN | CaO |
| -1 1/2" | 2.12 | 0.23 |
| -1" | 0.97 | 0.3 |
| -3/4" | 0.87 | 0.36 |
| -1/2" | 0.94 | 0.25 |
| - 1/4" | 0.41 | 0.25 |
| -malla N°10 | 1.1 | 0.0 |

Nota.- El consumo de cianuro de la prueba a 100% –malla N°10 es alto debido a que esta prueba se corrió a 1000 ppm de CN⁻.

b) Pruebas a Diferentes Concentraciones de CN⁻ con Granulometría 80% -1.1/2" (corridas por duplicado A y B).

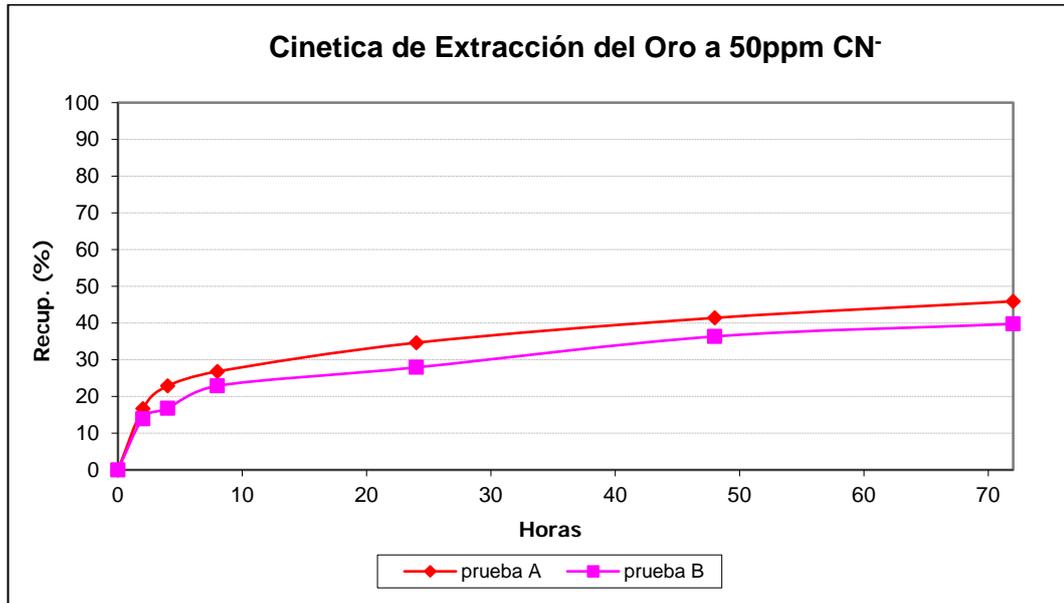


Figura N° 3.7.- Cinética de extracción del oro con una granulometría de 80% -1.1/2" y 50ppm de CN⁻ en mineral sulfuroso.

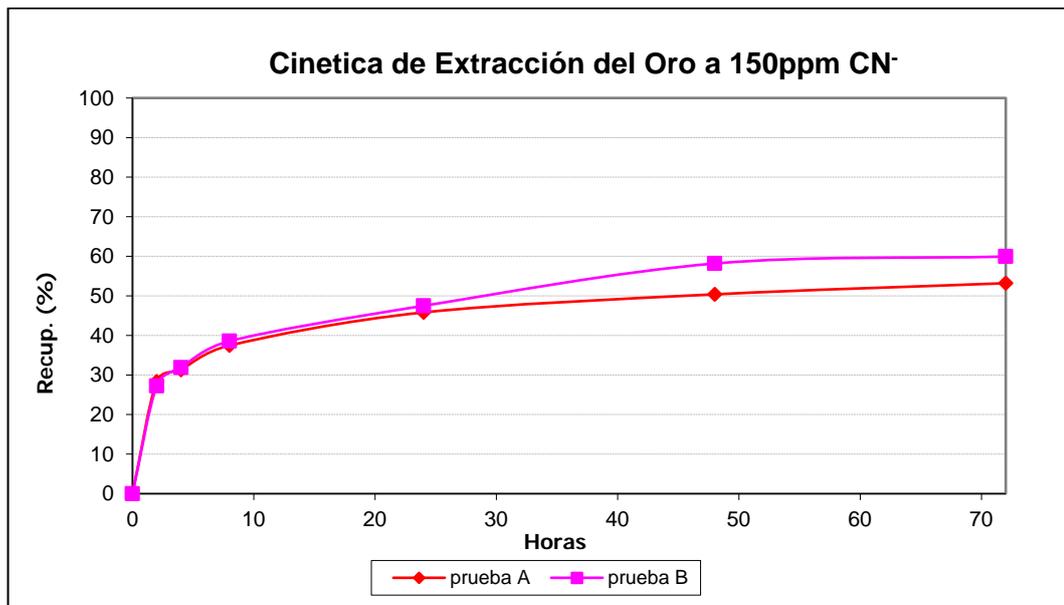


Figura N° 3.8.- Cinética de extracción del oro con una granulometría de 80% -1.1/2" y 150ppm de CN⁻ en mineral sulfuroso.

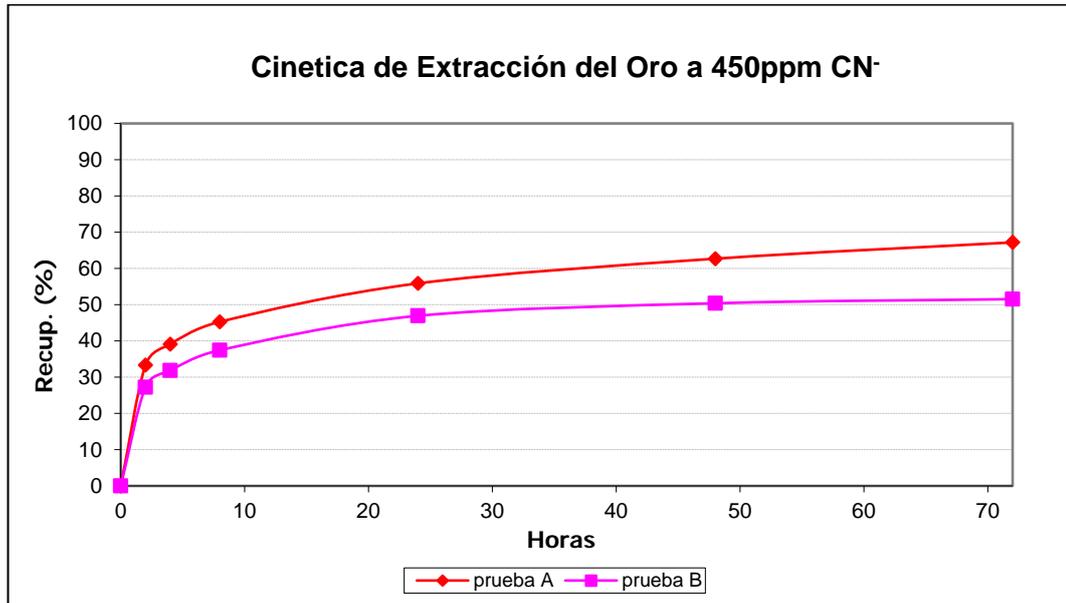


Figura N° 3.9.- Cinética de extracción de oro con una granulometría de 80% - 1.1/2" y 450ppm de CN⁻ en mineral sulfuroso.

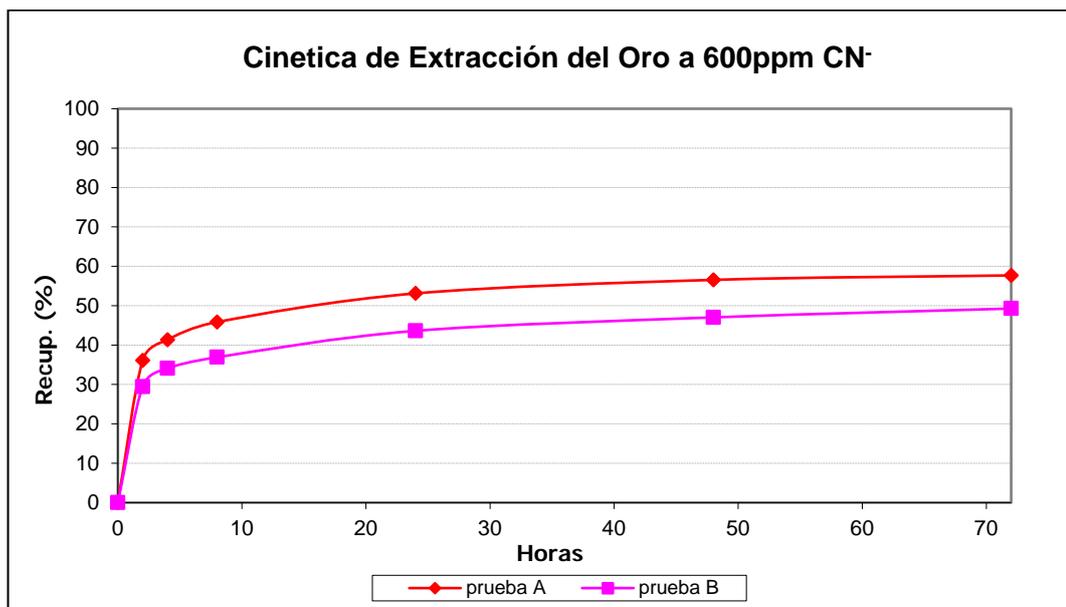


Figura N° 3.10.- Cinética de extracción del oro con una granulometría de 80% - 1.1/2" y 600ppm de CN⁻ en mineral sulfuroso.

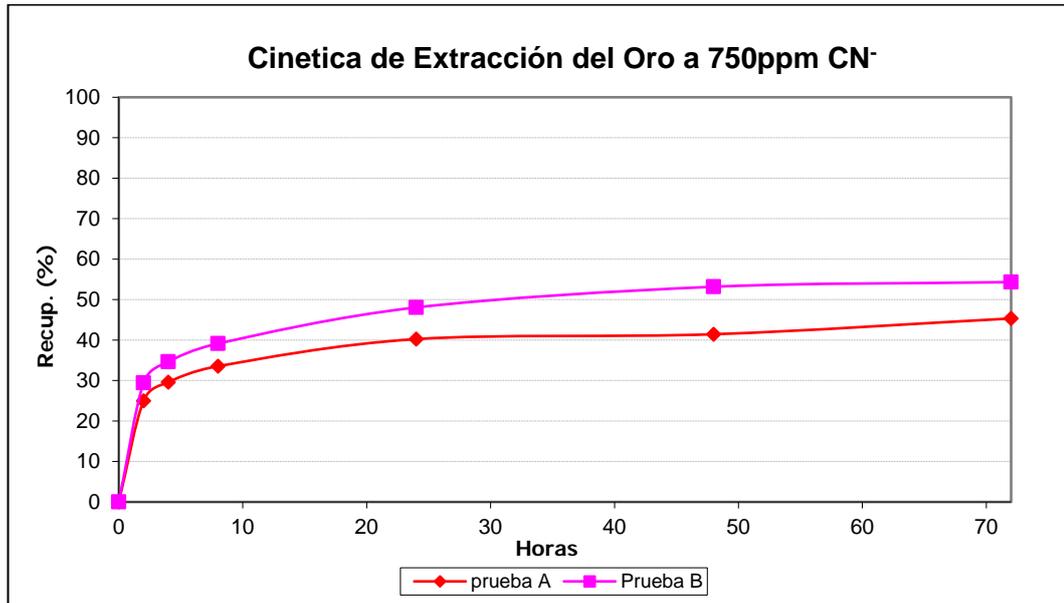


Figura N° 3.11.- Cinética de extracción del oro con una granulometría de 80% -1.1/2" y 750ppm de CN⁻ en mineral sulfuroso.

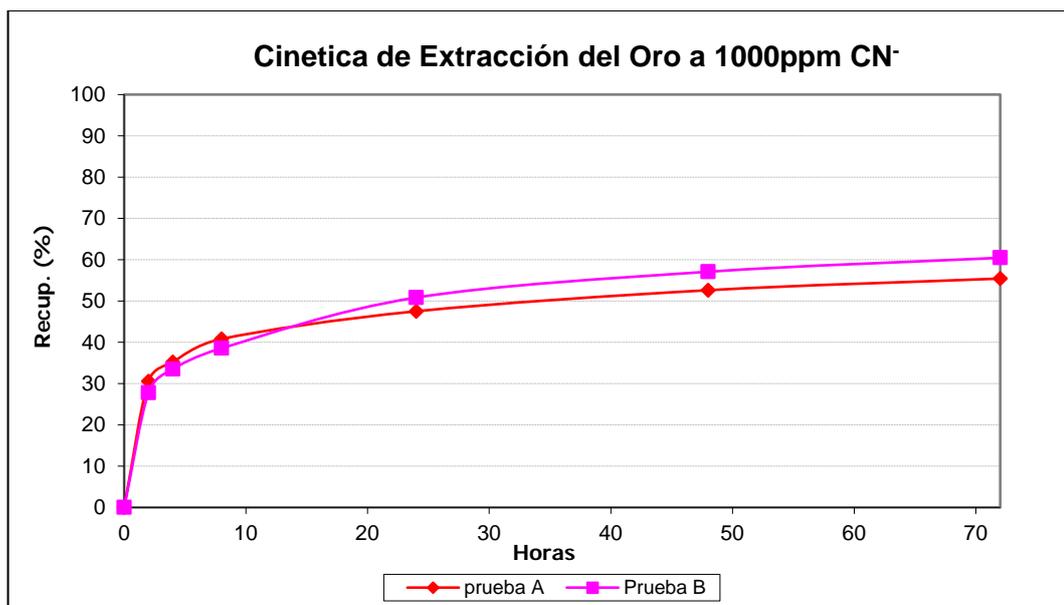


Figura N° 3.12.- Cinética de extracción del oro con una granulometría de 80% -1.1/2" y 1000ppm de CN⁻ en mineral sulfuroso.

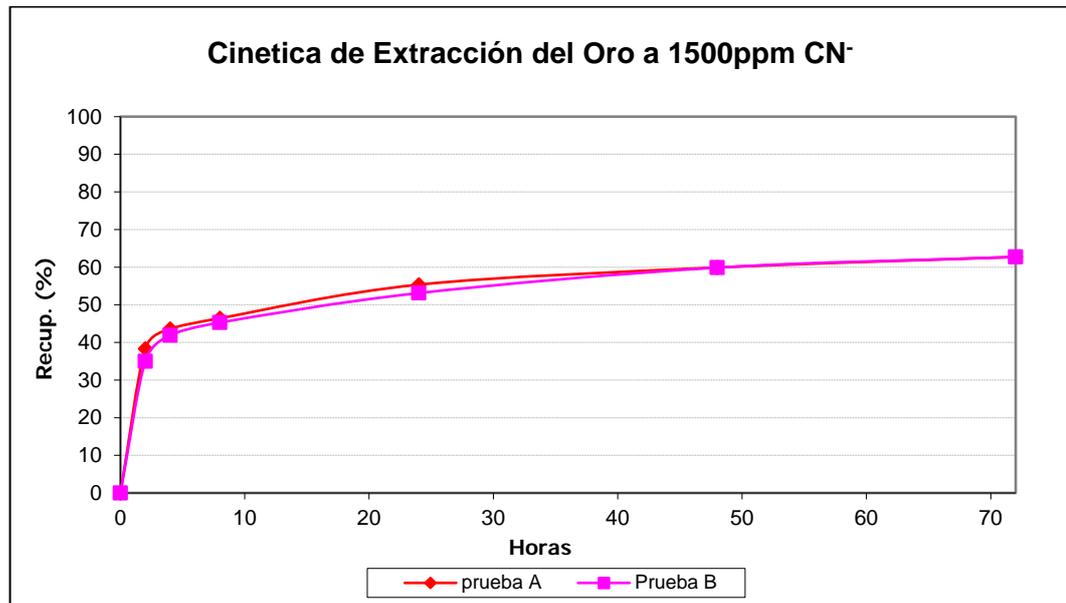


Figura N° 3.13.- Cinética de extracción del oro con una granulometría de 80% -1.1/2" y 1500ppm de CN⁻ en mineral sulfuroso.

Tabla N° 3.9.- Porcentaje de Extracción del oro a 80% - 1.1/2" por Cabeza Calculada para el Mineral Sulfuroso

| Conc. CN⁻ (ppm) | %Ext. x Cabeza Calculada. |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 50 | 41.84 |
| 150 | 47.59 |
| 450 | 49.64 |
| 600 | 54.23 |
| 750 | 55.54 |
| 1000 | 56.57 |
| 1500 | 56.95 |

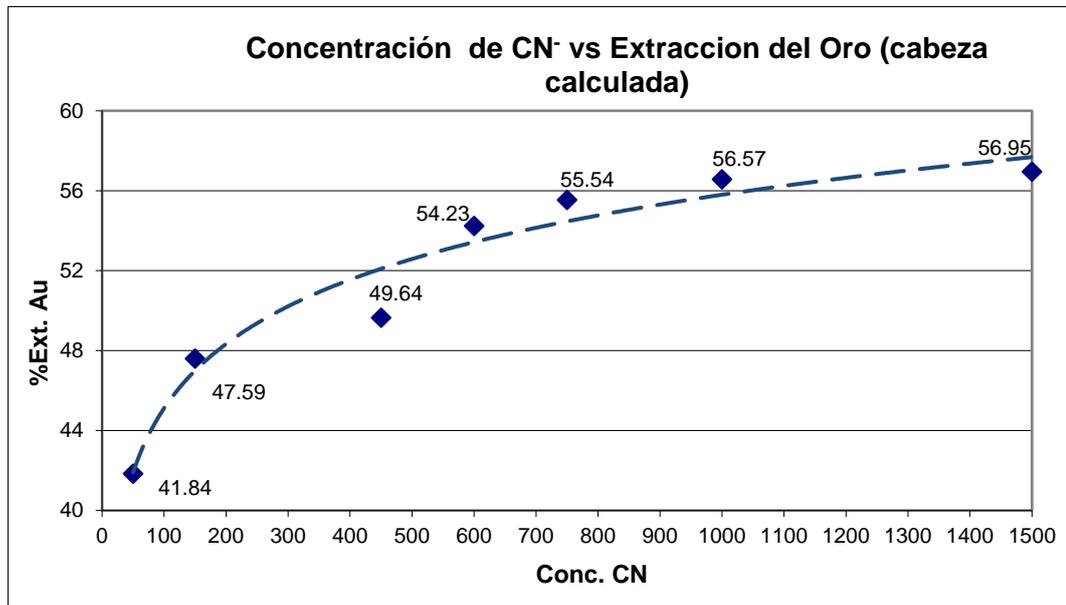


Figura N° 3.14.- Relación entre la concentración de cianuro y el porcentaje de extracción del oro en mineral sulfuroso a una granulometría constante de 80% - 1.1/2", cálculo basado en la cabeza calculada.

Tabla N° 3.10.- Consumo de Reactivos

| RATIO Kg/t | | |
|---------------------|------|------|
| CN ⁻ ppm | NaCN | CaO |
| 50 | 0.12 | 0.70 |
| 150 | 0.37 | 0.59 |
| 450 | 1.34 | 0.30 |
| 600 | 1.49 | 0.25 |
| 750 | 1.33 | 0.25 |
| 1000 | 1.33 | 0.25 |
| 1500 | 1.80 | 0.25 |

3.3.2 Mineral Carbonoso.

Tabla N° 3.11.- Ley de Cabeza del Mineral Carbonoso

| | Au (ppm) | C | TCM | S | S⁻² |
|--------------|-----------------|----------|------------|----------|-----------------------|
| Leyes | 9.38 | 0.266 | 0.134 | 0.94 | 0.17 |

Tabla N° 3.12.- Prueba de Cianuración Rápida para el mineral Carbonoso

| | % Ext. QLT |
|--------------------------|-------------------|
| Mineral Carbonoso | 58.69 |

a) Pruebas a Diferentes Granulometrías y a 500ppm de cianuro libre.

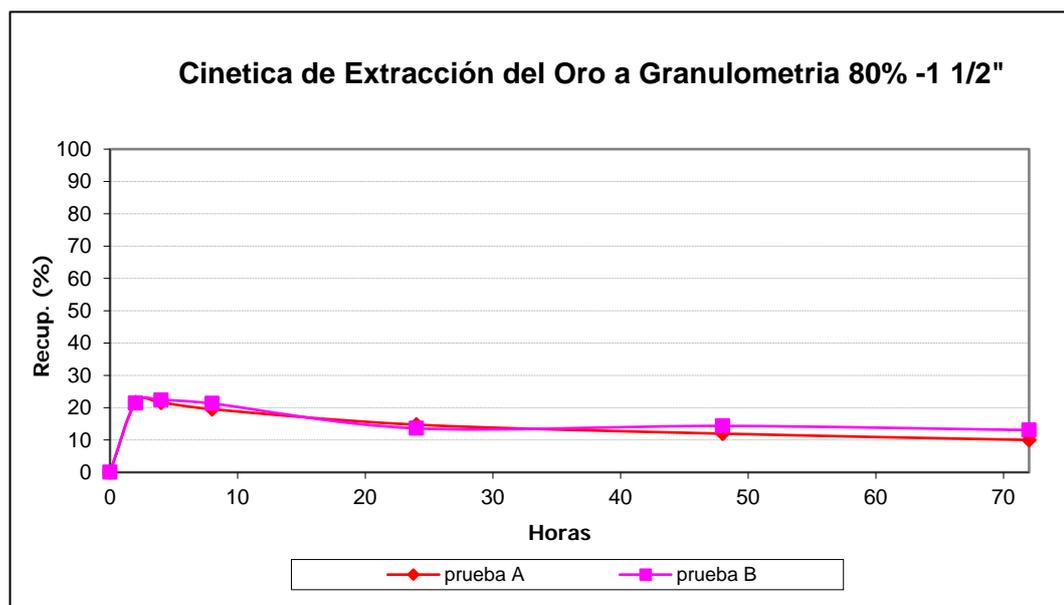


Figura N° 3.15.- Cinética de extracción del oro a 500ppm de concentración de CN⁻ y granulometría 80% -1.1/2" en mineral carbonoso.

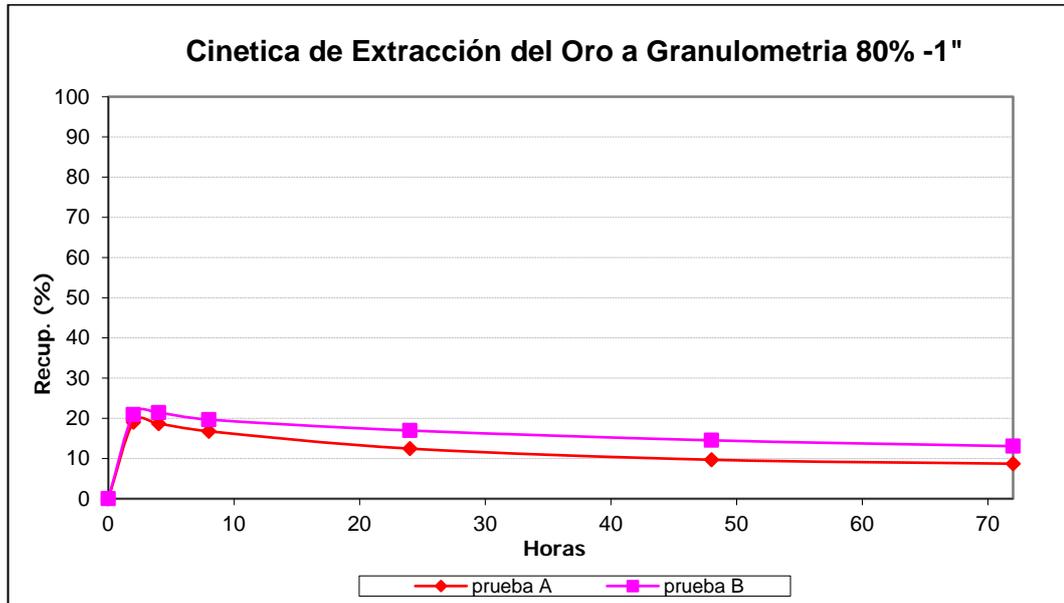


Figura N° 3.16.- Cinética de extracción del oro a 500ppm de concentración de CN^- y granulometría 80% -1" en mineral carbonoso.

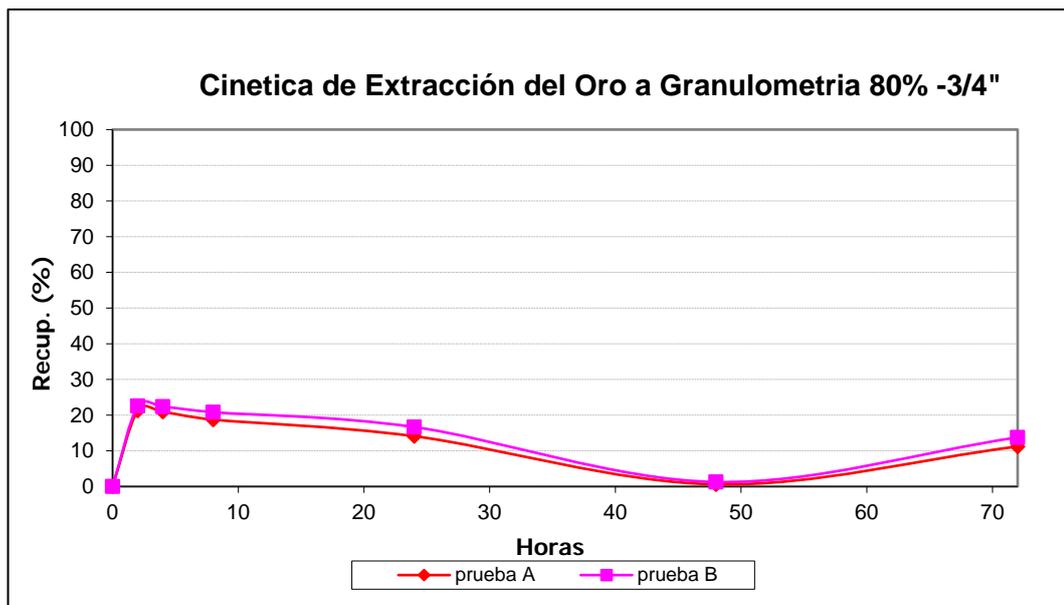


Figura N° 3.17.- Cinética de extracción del oro a 500ppm de concentración de CN^- y granulometría 80% -3/4" en mineral carbonoso.

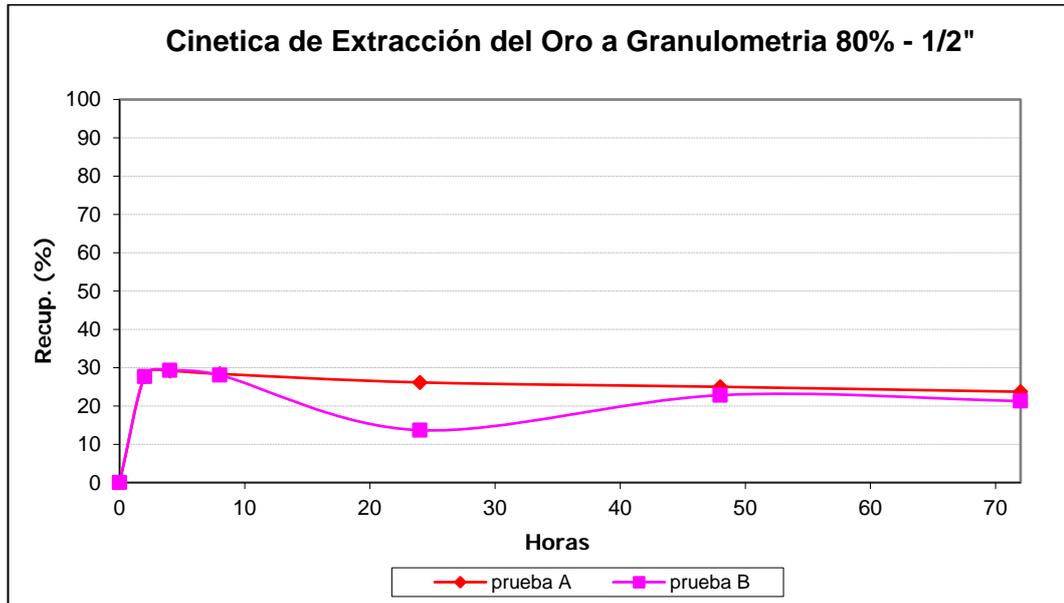


Figura N° 3.18.- Cinética de extracción del oro a 500ppm de concentración de CN⁻ y granulometría 80% -1/2" en mineral carbonoso.

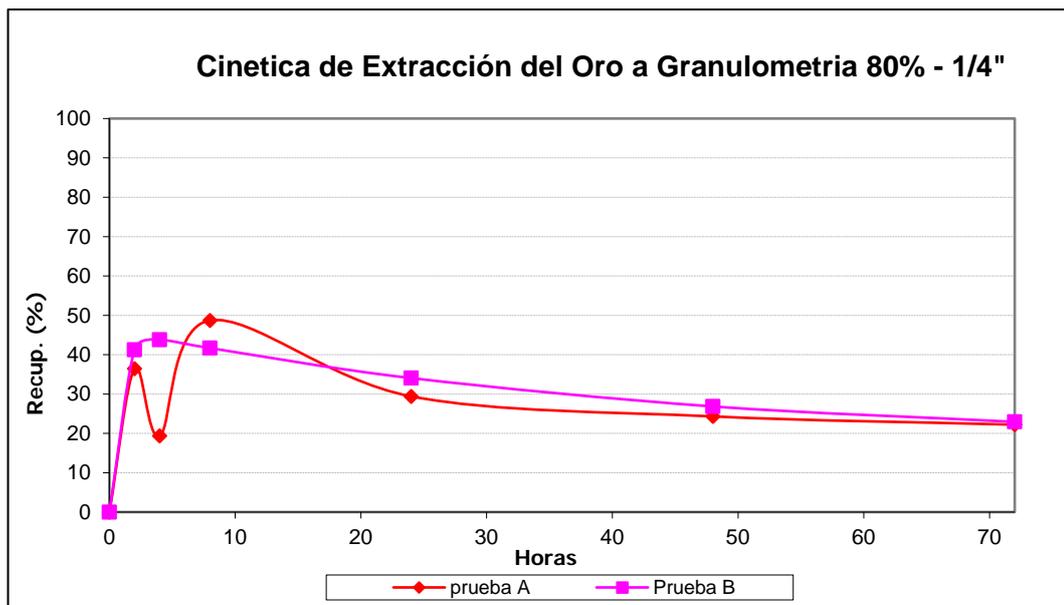


Figura N° 3.19.- Cinética de extracción del oro a 500ppm de concentración de CN⁻ y granulometría 80% -1/4" en mineral carbonoso.

Tabla N° 3.13.- Porcentaje de Extracción del Oro por Cabeza Calculada a 500ppm de CN^- para el Mineral Carbonoso

| Granulometría | % Ext. x Cabeza Calculada |
|---------------|---------------------------|
| -1 1/2" | 9.98 |
| -1" | 12.24 |
| -3/4" | 12.88 |
| -1/2" | 21.86 |
| - 1/4" | 24.05 |

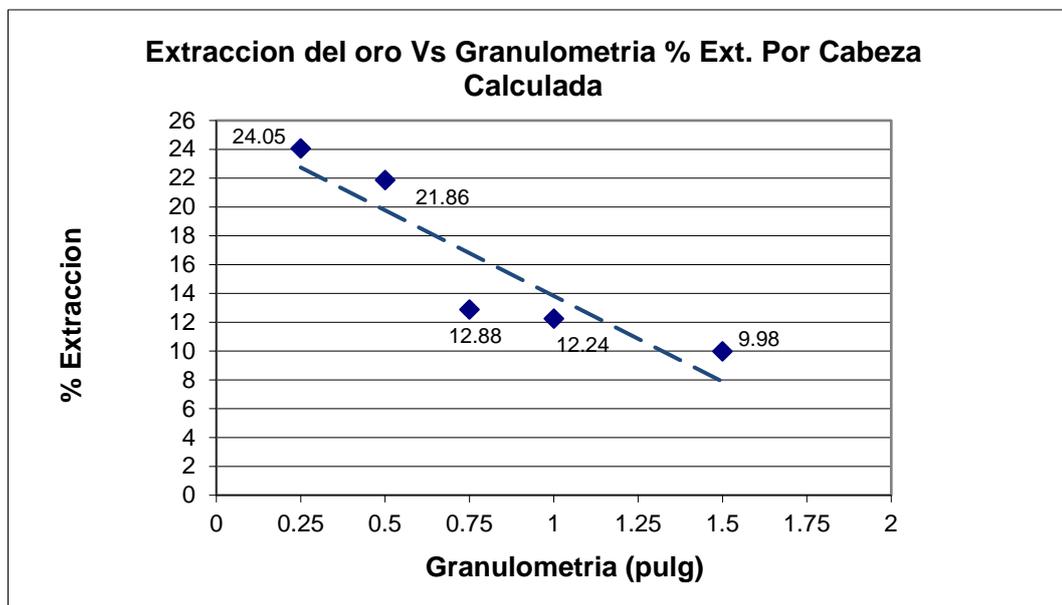


Figura N° 3.20.- Relación entre la granulometría y el porcentaje de extracción del oro a 500ppm de CN^- en mineral carbonoso variando la granulometría, cálculo basado en la cabeza calculada.

Tabla N° 3.14.- Porcentaje de Extracción del Oro a 1000ppm de CN⁻ y 100% -malla

| Granulometría | % Ext. |
|---------------|--------|
| - malla N°10 | 27.2 |

Tabla N° 3.15.- Consumo de Reactivos

| RATIO Kg/t | | |
|---------------|------|------|
| Granulometría | NaCN | CaO |
| -1 1/2" | 0.51 | 0 |
| -1" | 0.54 | 0 |
| -3/4" | 0.86 | 0 |
| -1/2" | 1.21 | 0 |
| - 1/4" | 1.81 | 0.09 |
| - malla N°10 | 3.57 | 0.08 |

Nota.- El consumo de cianuro de la prueba a 100% –malla N°10 es alto debido a que esta prueba se corrió a 1000 ppm de CN⁻.

b) Pruebas a Diferentes Concentraciones de cianuro libre y Granulometría 80% - 1.1/2" (corridas por duplicado A y B).

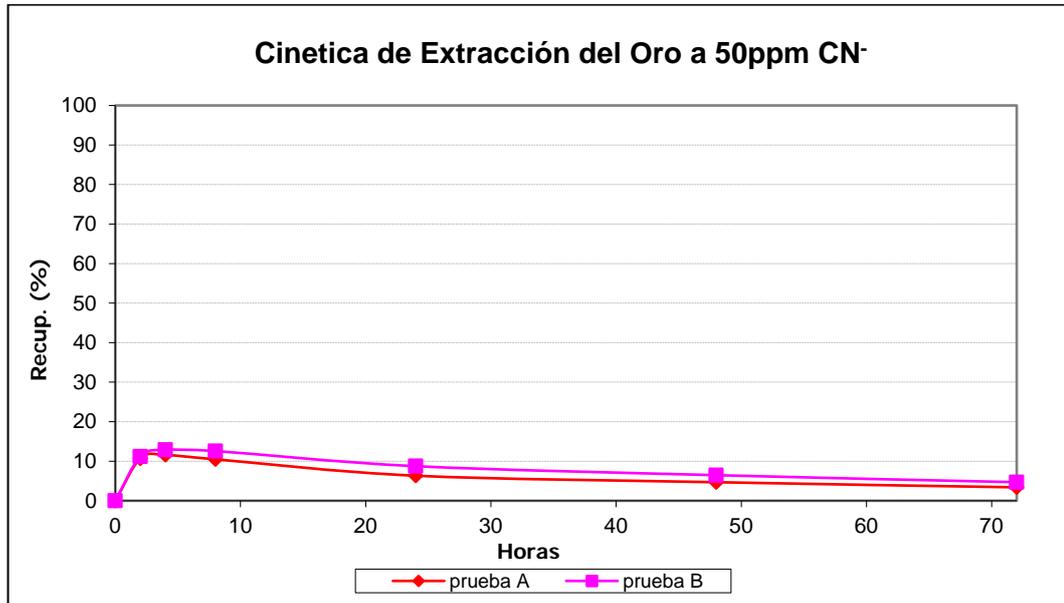


Figura N° 3.21.- Cinética de extracción del oro con una granulometría de 80% -1.1/2" y 50ppm de CN⁻ en mineral carbonoso.

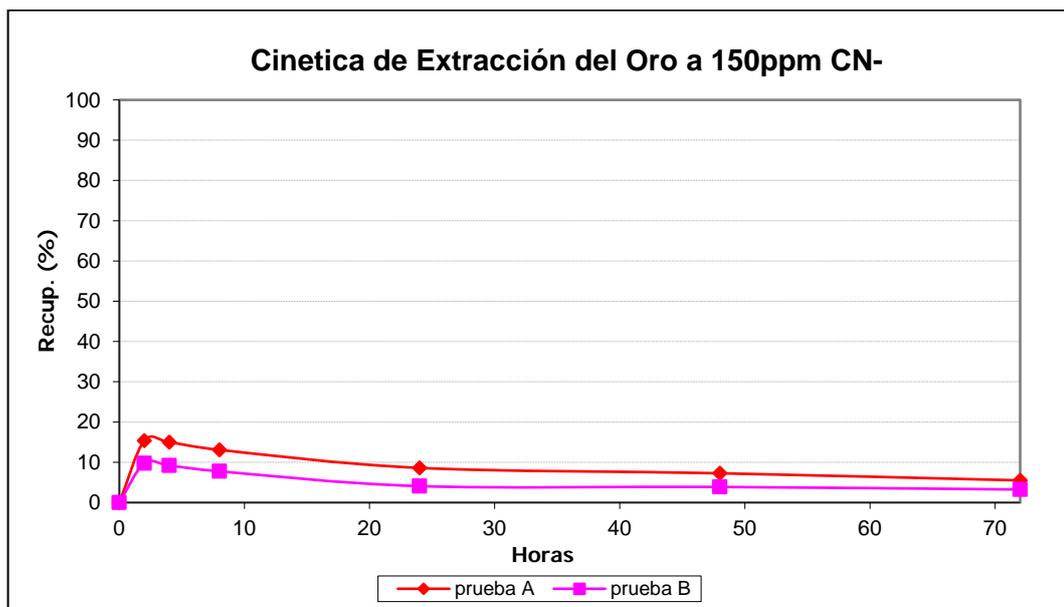


Figura N° 3.22.- Cinética de extracción del oro con una granulometría de 80% -1.1/2" y 150ppm de CN⁻ en mineral carbonoso.

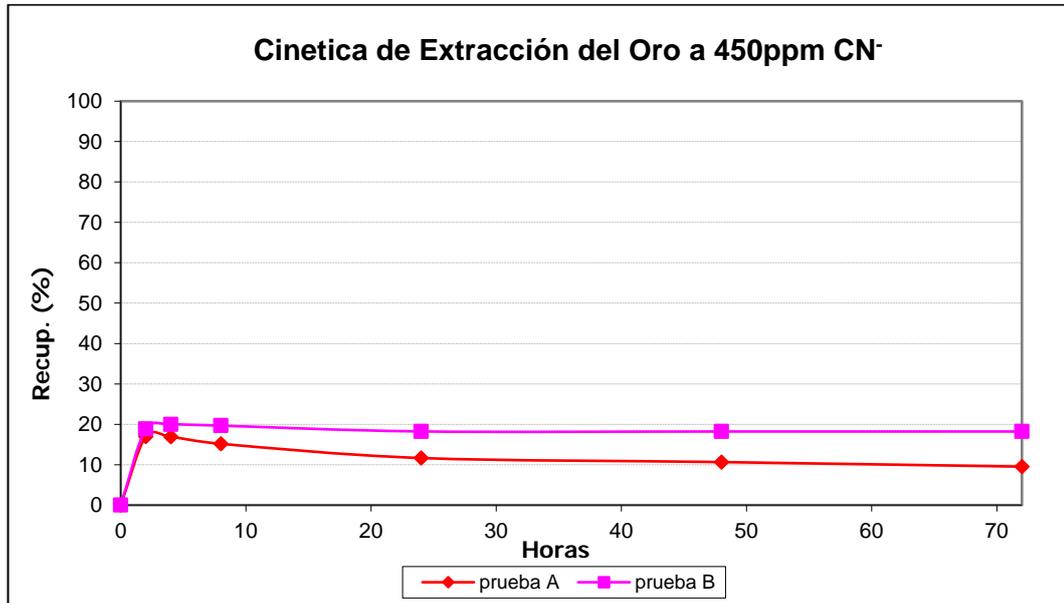


Figura N° 3.23.- Cinética de extracción del oro con una granulometría de 80% -1.1/2" y 450ppm de CN⁻ en mineral carbonoso.

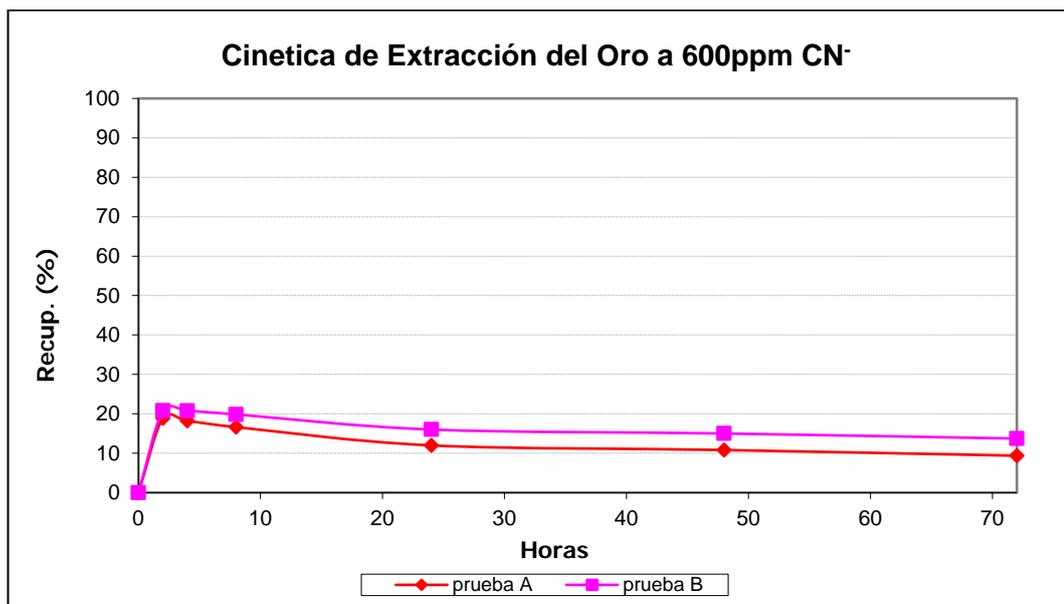


Figura N° 3.24.- Cinética de extracción del oro con una granulometría de 80% -1.1/2" y 600ppm de CN⁻ en mineral carbonoso.

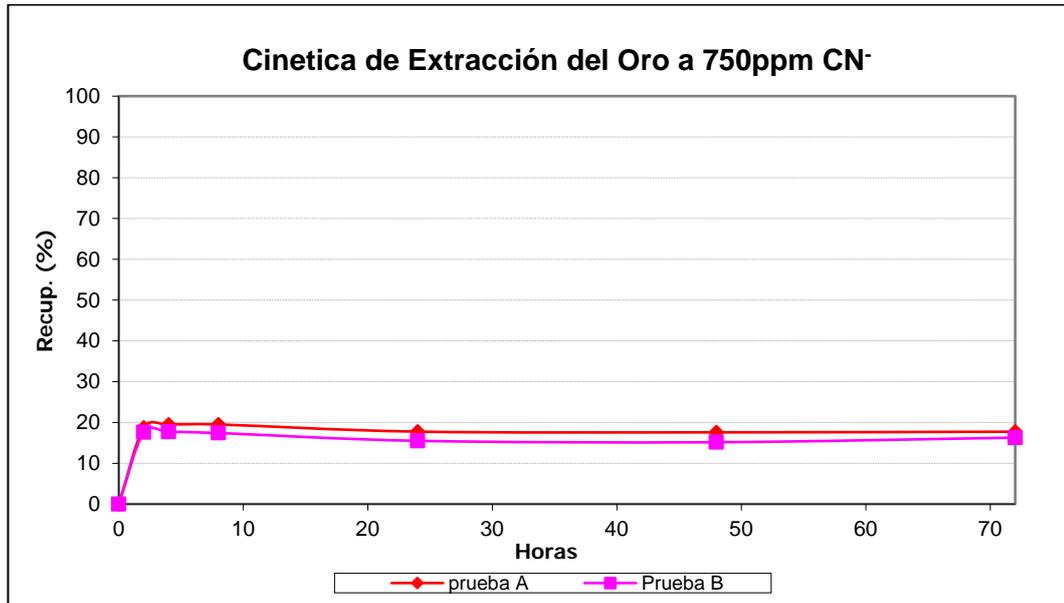


Figura N° 3.25.- Cinética de extracción del oro con una granulometría de 80% -1.1/2" y 750ppm de CN⁻ en mineral carbonoso.

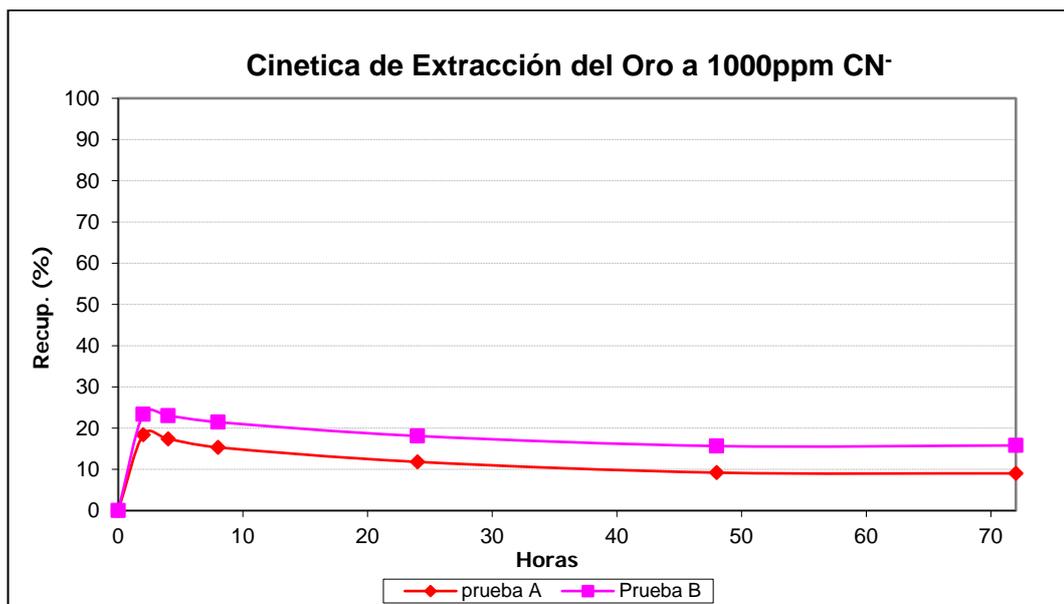


Figura N° 3.26.- Cinética de extracción del oro con una granulometría de 80% -1.1/2" y 1000ppm de CN⁻ en mineral carbonoso.

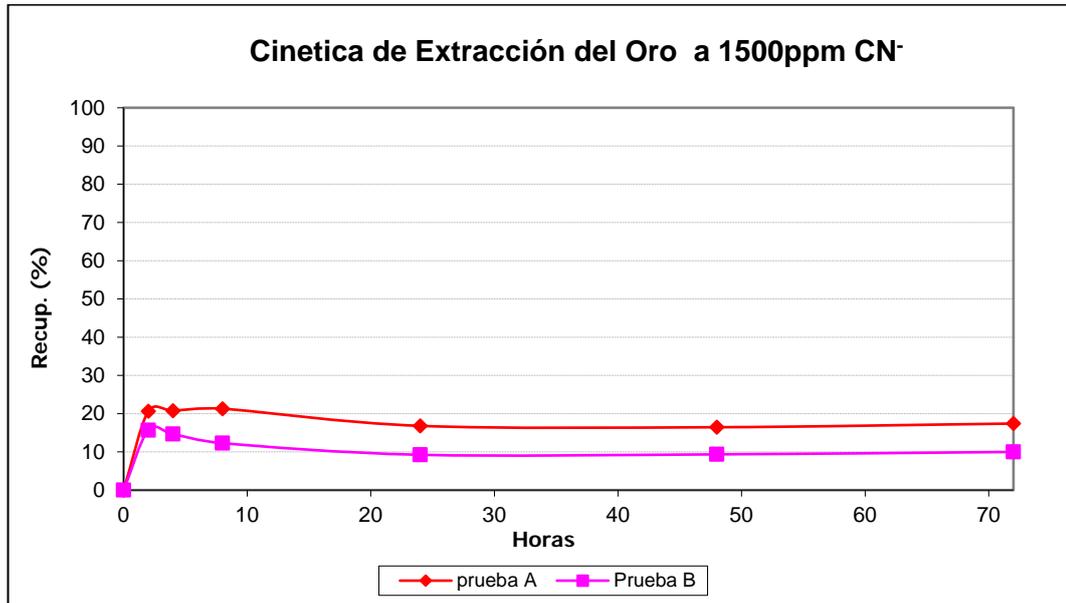


Figura N° 3.27.- Cinética de extracción del oro con una granulometría de 80% -1.1/2" y 1500ppm de CN⁻ en mineral carbonoso.

Tabla N° 3.16.- Porcentaje de Extracción de Au por Cabeza Calculada a a 80% -1.1/2" y variando la concentración de CN⁻ para el Mineral Carbonoso

| Conc. CN ⁻ | %Ext. x Cabeza Calculada. |
|-----------------------|---------------------------|
| 50 | 4.17 |
| 150 | 5.22 |
| 450 | 11.95 |
| 600 | 10.90 |
| 750 | 16.32 |
| 1000 | 14.04 |
| 1500 | 20.64 |

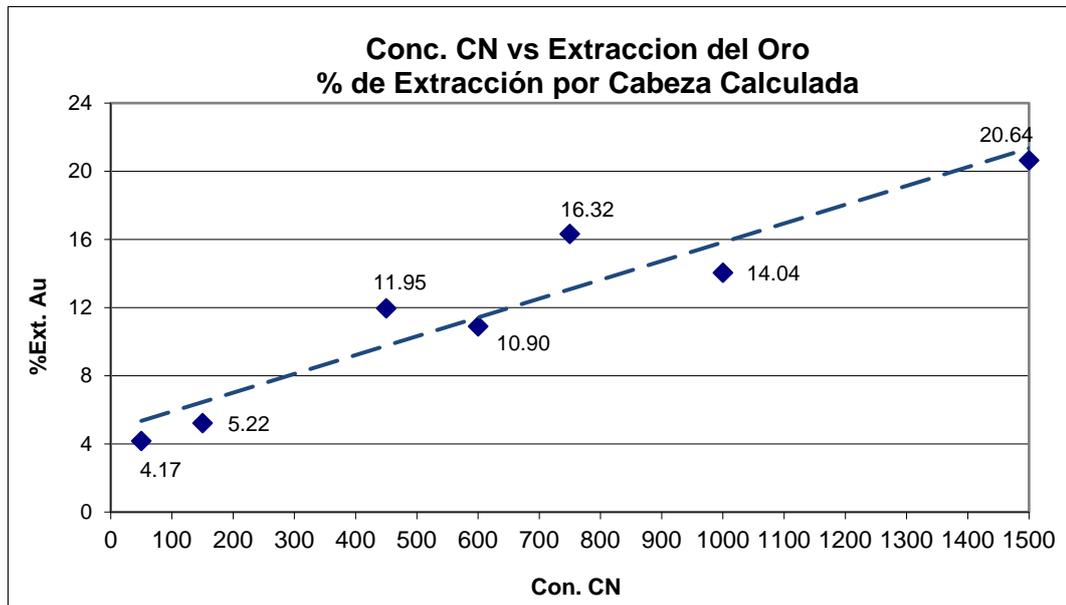


Figura N° 3.28.- Relación entre la concentración de cianuro y el porcentaje de extracción del oro en mineral carbonoso a una granulometría constante de 80% -1.1/2", cálculo basado en la cabeza calculada.

Tabla N° 3.17.- Consumo de Reactivos

| RATIO Kg/t | | |
|---------------------|------|------|
| CN ⁻ ppm | NaCN | CaO |
| 50 | 0.11 | 0.14 |
| 150 | 0.34 | 0.06 |
| 450 | 1.15 | 0.01 |
| 600 | 0.96 | 0.01 |
| 750 | 1.31 | 0.00 |
| 1000 | 1.06 | 0.00 |
| 1500 | 1.94 | 0.00 |

3.4.- Pruebas a Condiciones especiales.

3.4.1.-Mineral Sulfuroso

Tabla N° 3.18.- Pruebas de cianuración a 10 días para Mineral

| Granulometría | CN (ppm) | % Ext. |
|---------------|----------|--------|
| -1 1/2" | 500 | 62.30 |
| -malla N°10 | 500 | 71.99 |

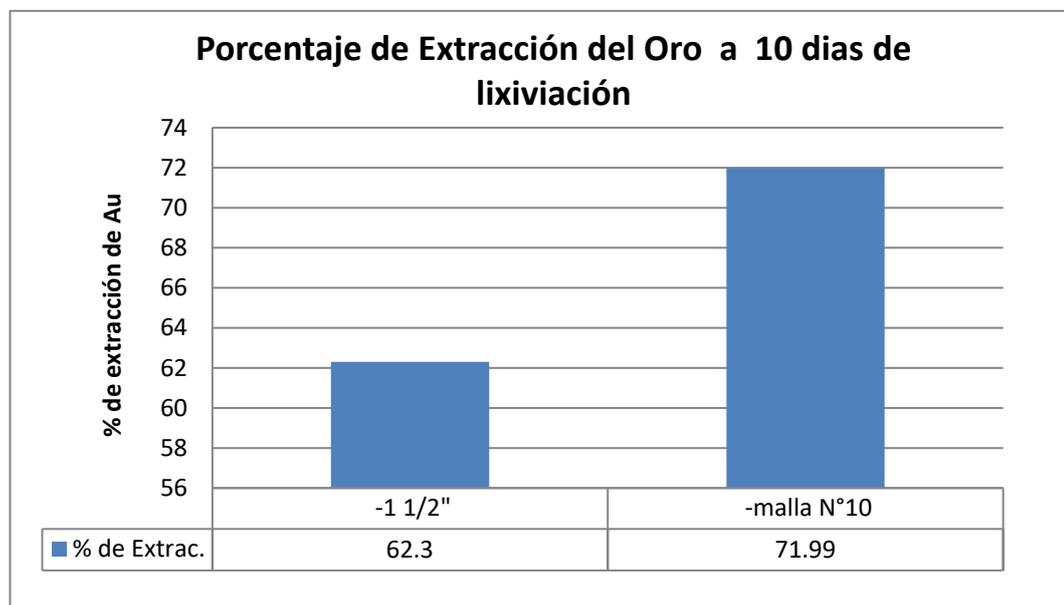


Figura N° 3.29.- porcentaje de extracción del oro en pruebas de cianuración a 10 días con 500ppm de CN- y granulometrías 80% -1.1/2" y 100% -malla N°10.

Tabla N° 3.19.- Consumo de Reactivos

| Granulometría | Días de Lix. | CN ⁻ ppm | Ratio Kg/t | |
|---------------|--------------|---------------------|------------|------|
| | | | NaCN | CaO |
| -1 1/2" | 10 | 500 | 2.74 | 0.21 |
| -malla N°10 | 10 | 500 | 1.23 | 0.24 |

b) Golpe de Cianuro.- Se lixivia el mineral durante un periodo de 3 días manteniendo una concentración de 1500ppm de cianuro libre constante a partir del cuarto día se deja bajar la concentración de cianuro libre hasta mantenerla en 500ppm.

c) Curado.- Se calcula el volumen de agua de saturación del mineral y en el 10% de ese volumen se añade la cantidad de cianuro de sodio consumido por el mineral cuando fue lixiviado a una concentración de 1500 ppm de cianuro libre (Tabla N° 3.17), se procede a humectar el mineral con la solución preparada y se deja reposar (sin agitación) por 3 días, después de esto se le lixivia manteniendo la concentración de cianuro libre en 500 ppm.

Tabla N° 3.20.- Porcentajes de extracción obtenido utilizando el Curado con Cianuro y el Golpe de Cianuro sobre la muestra de mineral sulfuroso

| Hora | % Extracción Au | |
|------|-----------------|--------|
| | Golpe | Curado |
| 0 | 0 | 0 |
| 2 | 59.2 | 44.7 |
| 4 | 62.1 | 44.4 |
| 8 | 62.1 | 45.3 |
| 24 | 65.4 | 47.2 |
| 48 | 67.8 | 46.7 |
| 72 | 65.9 | 48.9 |
| 96 | 72.5 | 53.3 |
| 120 | 71.1 | 61.9 |
| 144 | 70.7 | 50.8 |
| 168 | 71.1 | 51.7 |

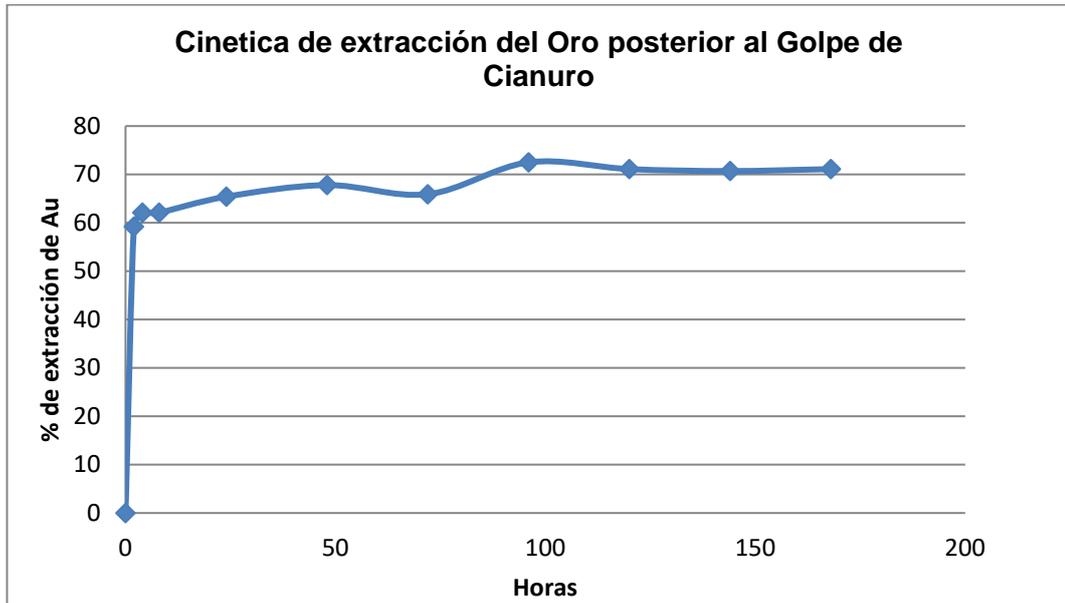


Figura N° 3.30.- Cinética de la prueba con golpe de CN⁻ a 1500ppm por 3 días seguida de lixiviación sin adición de cianuro por 7 días (no se le añade cianuro mientras la concentración de CN⁻ no baje de 500 ppm), granulometría 80% -1.1/2".

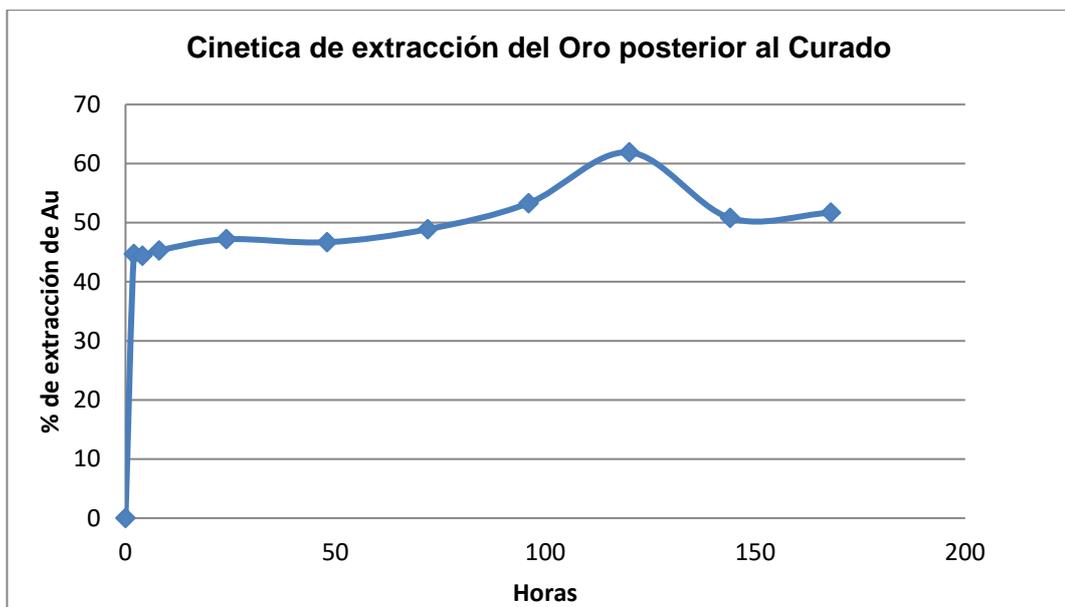


Figura N° 3.31.- Cinética de la prueba con curado a 1500ppm de CN⁻ por 3 días seguida de lixiviación a 500 ppm de CN⁻ por 7 días, granulometría 80% - 1.1/2".

Tabla N° 3.21.- Consumo de Reactivos

| Prueba | Días de Lix. | CN ⁻ ppm | Ratio Kg/t | |
|--------|--------------|---------------------|------------|------|
| | | | NaCN | CaO |
| Golpe | 7 | 500 | 4.41 | 0.00 |
| Curado | 7 | 500 | 4.14 | 0.00 |

d) Oxidación con Perborato de Sodio.- En el 8% de humedad del mineral se añade una determinada cantidad de perborato de sodio (dependiendo de la concentración deseada) y se mezcla con el mineral, luego de esto se le procede a lixiviar a 500 ppm de CN⁻.

Tabla N° 3.22.- Porcentajes de extracción de oro con la aplicación de perborato de sodio a la muestra de mineral sulfuroso lixiviado por 72 h a 500ppm de CN⁻.

| Granulometría | Perborato añadido (ppm) | % Ext. x Cabeza calculada |
|---------------|-------------------------|---------------------------|
| -1/4" | 0 | 57.2 |
| | 50 | 60.8 |
| | 150 | 61.1 |
| | 200 | 60.0 |

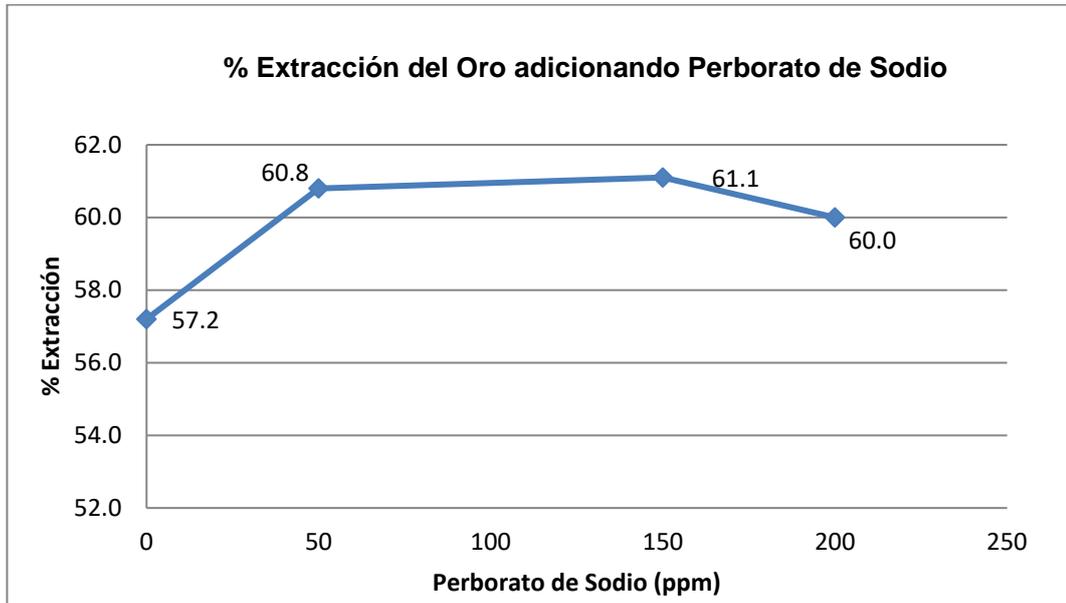


Figura N° 3.32.- Efecto de la concentración de perborato de sodio sobre la extracción del oro, granulometría 80% -1.1/2" y 500 ppm de CN⁻.

Tabla N° 3.23.- Consumo de Reactivos

| Perborato (ppm) | RATIO Kg/t | | |
|--------------------|------------|------|------|
| | Perborato | NaCN | CaO |
| 0 | 0 | 1.28 | 0.38 |
| 50 | 0.05 | 1.00 | 0.29 |
| 150 | 0.15 | 1.29 | 0.25 |
| 200 | 0.20 | 1.21 | 0.24 |

3.4.2- Mineral Carbonoso

a) **Pruebas en Botella con Saturación de Kerosene.**- Variando el volumen de kerosene y el tiempo de acondicionamiento.

Tabla N° 3.24.- Porcentaje de extracción en prueba rápida de cianuración

| | |
|--------------------------|-------------------|
| | % Ext. QLT |
| Mineral Carbonoso | 58.69 |

Tabla N° 3.25.- Porcentaje de extracción de oro a diferentes condiciones de acondicionamiento con kerosene en mineral carbonoso (Diseño de experimentos programa StatGraphics).

| Prueba | Kerosene (ml) | Tiempo de acondicionamiento (h) | Ley soluc. | %Ext. | %P.R. |
|---------------|----------------------|--|-------------------|--------------|--------------|
| | | | | | |
| 2 | 6 | 1 | 2.22 | 71.0 | 12.3 |
| 3 | 6 | 3 | 2.28 | 72.9 | 14.2 |
| 4 | 5 | 2 | 2.26 | 72.3 | 13.6 |
| 5 | 5 | 2 | 2.24 | 71.6 | 13.0 |
| 6 | 4 | 1 | 2.29 | 73.2 | 14.6 |
| 7 | 4 | 3 | 2.37 | 75.8 | 17.1 |

Como se observa el tiempo de acondicionamiento influye en el porcentaje de Preg Robbing y el volumen adecuado de kerosene resulto ser el menor. Ahora podemos realizar una prueba adicional disminuyendo el volumen de kerosene, acondicionándolo por tres horas y aumentando a 1 día el tiempo de lixiviación.

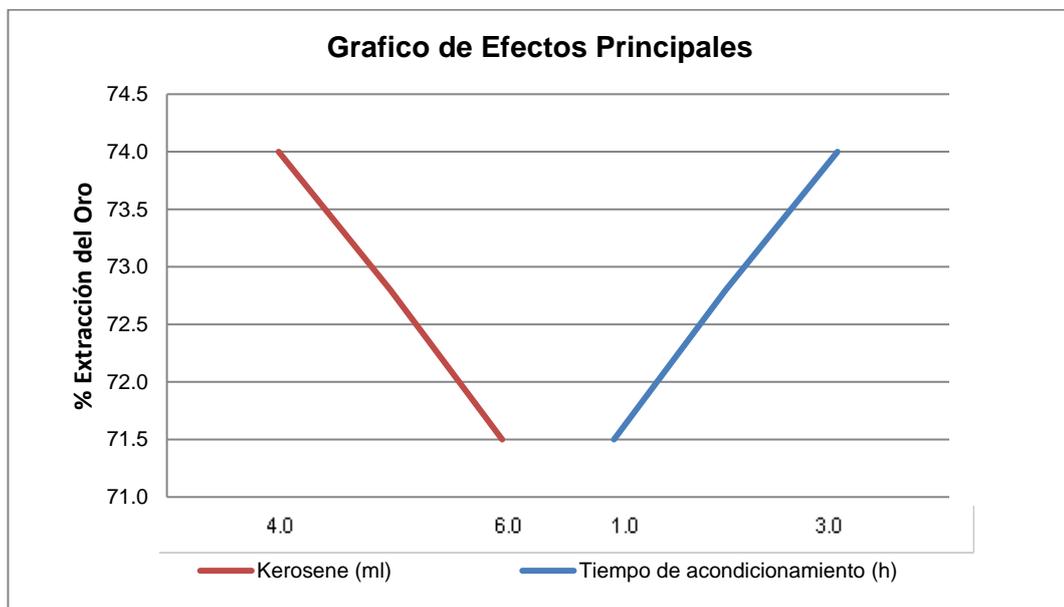


Figura N° 3.33.- Efectos principales de las variables volumen de Kerosene y tiempo de acondicionamiento.

Tabla N° 3.26.- Porcentaje de extracción de oro de la muestra de mineral carbonoso pre tratado con 1ml y 2ml de kerosene con un tiempo de acondicionamiento de 3 horas.

| PRUEBA | Ley de Solución (ppm) | %EXT. | %PR |
|----------------------|----------------------------------|--------------|------------|
| QLT 1 día de lix. | 1.455 | 46.54 | - |
| K-1 ml con Tenso. | 2.645 | 84.59 | 37.26 |
| K-2 ml con Tenso. | 2.595 | 83.00 | 35.66 |

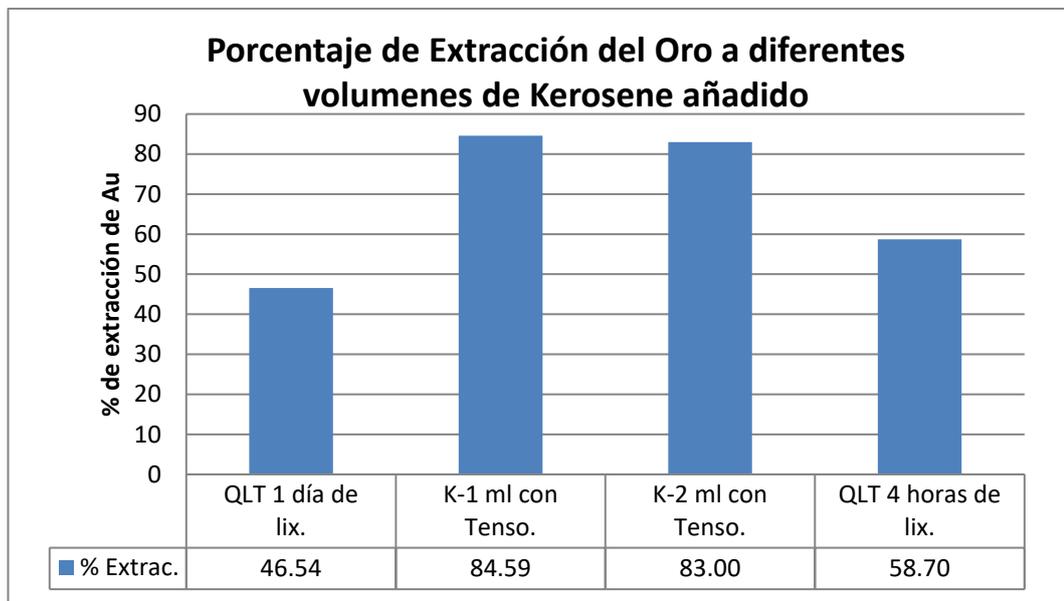


Figura N° 3.34.- Se muestra las diferencias en el % de extracción de oro al saturar con 1 y 2 ml de kerosene por un tiempo de acondicionamiento de 3 horas y un día de lixiviación, así como la diferencia entre el QLT de 4 horas y el de 1 día de lixiviación.

CONCLUSIONES

1. Al disminuir la granulometría en ambos tipos de minerales el porcentaje de extracción del oro aumenta, debido a que el mineral se encuentra más expuesto y por lo tanto existe mayor área de contacto con la solución cianurada.
2. Conforme aumenta la concentración de cianuro libre la recuperación del oro aumenta, llegando a extraer hasta el 56.95% de oro en el mineral con alto contenido de azufre como sulfuro y hasta el 20.64% en el mineral Carbonoso (TCM) a 1500 ppm de cianuro libre y una granulometría de 80% - 1 1/2"; a condiciones estándar (500ppm de cianuro libre y 80% - 1 1/2") la extracción del oro es 51.77%.

3. Para el mineral con alto contenido de azufre como sulfuro en el rango entre 150 y 500 ppm de cianuro libre, el porcentaje de extracción del oro no se ve afectado significativamente, variando entre 47.59% y 51.77% lo que se encuentra dentro del rango de error analítico (5%), por lo tanto se podría usar una fuerza de cianuro menor a la utilizada actualmente (500 ppm) y aun así obtener una recuperación similar, variando esta en 4.18%.
4. En el mineral con alto contenido de azufre como sulfuro, una disminución en la granulometría a 80% -1/4", traería como consecuencia un aumento en la recuperación del oro de entre 9.58%.
5. El tratamiento denominado golpe de cianuro para mineral con alto contenido de azufre como sulfuro da como resultado un incremento en la recuperación del oro de hasta un 65.9% a las 72 horas de lixiviación y un 71.1% a los 7 días de lixiviación, una lixiviación normal alcanza el 62.3% de extracción en 10 días; esto se debe a que en los primeros días el cianuro reacciona principalmente con el sulfuro para luego lixiviar el oro presente en la muestra.
6. El tratamiento con perborato de sodio no mostro mejoras en la extracción del oro.

7. En el mineral Carbonoso la baja recuperación del oro se debe al porcentaje de carbono orgánico presente en la muestra debido al efecto preg robbing que este origina, el cual puede ser disminuido al saturar con Kerosene la muestra, logrando así un 84.59% de extracción del oro.

8. En el mineral Carbonoso se puede observar que tanto el efecto de la granulometría como el de la concentración de cianuro aumenta la recuperación en aproximadamente 14 %.

9. Las pruebas de saturación con Kerosene muestran que el tiempo en la etapa de saturación con kerosene influye más en el aumento de la extracción del oro que el incremento del volumen de kerosene siendo los parámetros óptimos 1ml de Kerosene y tres horas de acondicionamiento.

BIBLIOGRAFIA

1. TAN, D. FENG, C.G. LUKEY, J.S.J. VAN DEVENTER. The Behaviour of Carbonaceous Matter in Cyanide Leaching of Gold, H. El Sevier - Hydrometallurgy 78 (2005). Pag. 226-235.
2. H. TAN, D. FENG, C.G. LUKEY, J.S.J. VAN DEVENTER. An Electrochemical Study Of Gold Cyanidation In The Presence Of Carbon Coating. El Sevier - Hydrometallurgy 84 (2006). Pag. 15.
3. G. SENANAYAKE. A Review Of Effects Of Silver, Lead, Sulfide And Carbonaceous Matter On Gold Cyanidation And Mechanistic Interpretation. El Sevier - Hydrometallurgy 90 (2007). Pag. 58-59.

4. PHILIP A. SCHMITZ, SASKIA DUYVESTYEN, WILLIAM P. JOHNSON, LARRY ENLOE, JACQUES MACMULLEN. Adsorption Of Aurocyanide Complexes Onto Carbonaceous Matter From Preg-Robbing Goldstrike Ore. El Sevier - Hydrometallurgy 61 (2001). Pag. 123.

5. ARAMBURÚ ROJAS, VIDAL SIXTO. Modelo De Pre-Aireación En Concentrados De Oro Piritico Para La Optimización Del Proceso De Cianuración. Rev. Inst. Investig. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. UNMSM jul./dic. 2003, vol.6, Nº12. Pag.7-15.

6. MIKE D. ADAMS. Developments In Mineral Processing, Vol. 15, Cap. 38 Advances in Gold Ore Processing. El Sevier 2007, Pag. 937-972.