

T  
54139  
T864



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en (Ciencias de la Tierra**

**“PROCESOS ALTERNATIVOS DE CIANURACION”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO DE MINAS**

**Presentada por:**

**Marco Troya Fuertes**

**Guayaquil - Ecuador**

**1.993**

## A G R A D E C I M I E N T O

A los Ings. Walter Camacho y Hugo Eguez, al Dr. David Choez, a Gigyta, y a todas las personas que contribuyeron a la culminación de este trabajo.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS.

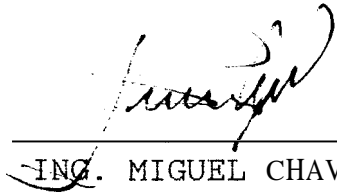
## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Marco Troya Fuertes', is written over a horizontal dotted line. The signature is enclosed within a large, hand-drawn oval.

Marco Troya Fuertes



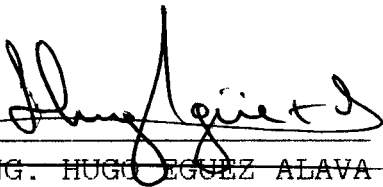
ING. MIGUEL CHAVEZ M.

Decano de la Facultad  
de Ingeniería en  
Ciencias de la Tierra.



Prof. WALTER CAMACHO N.

Director de Tesis



ING. HUGO EGUEZ ALAVA

Miembro del Tribunal



ING. SERGIO AGUAYO E.

Miembro del Tribunal

## RESUMEN

El presente trabajo trata sobre el estudio de procesos alternativos de cianuración, en los cuales, mediante el incremento de la concentración de oxígeno en la solución se optimizan los resultados. Nos referimos a los procesos conocidos por las siglas PAL y CILO (en inglés).

El material que se utilizó para las pruebas PAL son relaves de la zona minera de Ponce Enríquez en la Provincia del Azuay.

Consta de varias pruebas experimentales del proceso PAL, en el cual se trata de averiguar la incidencia que tienen el uso de peróxido de hidrógeno en la cinética de cianuración. Para lo cual se variaron las  $[H_2O_2]$  presentes en la pulpa. Los resultados que obtenidos en el laboratorio muestran grandes promesas para su posterior aplicación, mejorando los resultados obtenidos en procesos convencionales. Se obtuvo valores del 78.8% de la disolución total para la primera hora de agitación usando peróxido de hidrógeno, mientras que para la prueba en que no se añadió este oxidante se obtuvo el 27.83% de la disolución total para el mismo período de tiempo.

En la segunda parte del trabajo se presenta un estudio del proceso CILO, en el cual el incremento de oxígeno en la pulpa se lo realiza mediante la inyección de oxígeno a presión. Notándose que este proceso alcanza recuperaciones iguales a las conseguidas en el proceso

convencional a un factor tiempo muchísimo menor (4,8), el cual representa solamente 5 horas de agitación.

Se realiza un análisis de resultados obtenidos en pruebas a escala de planta, los cuales también presentan ventajas para la aplicación de CILO.

## INDICE GENERAL

RESUMEN .....	V
INDICE GENERAL .....	VI 1
INDICE DE FIGURAS .....	X
INDICE DE TABLAS .....	XI 1
ABREVIATURAS .....	XIII
INTRODUCCION .....	XV

### CAPITULO 1

#### PROCESO PAL PARA LIXIVIACION DE ORO

1.1. Generalidades .....	17
1.2. Cinética de la Extracción de Oro .....	20
1.3. Ahorro de Cianuro en PAL .....	21
1.3.1. Reducción del Tiempo de Retención .....	21
1.3.2. Prevención de Pérdidas de Cianuro por Volatilización .....	23
1.3.3. Pasivación de los Minerales de Sulfuro Consumidores de Cianuro .....	24
1.4. Proceso PAL y Diseño de Planta .....	25

### CAPITULO 2

#### EXPERIMENTACION PAL

2.1. Objetivo .....	29
2.2. Material Usado .....	29



2.3. Caracterización del Mineral .....	29
2.3.1. Granulometría .....	29
2.3.2. Tenor .....	30
2.4. Pruebas de Cianuración .....	30
2.4.1. Resultados de Pruebas Experimentales ..	36
2.4.2. Efecto de la concentración de Peróxido de Hidrógeno en la Disolución 'de Oro ..	48
2.5. Análisis de Resultados .....	48

## CAPITULO 3

### PROCESO CILO

3.1. Antecedentes y Sumarios de la Invención .....	52
3.2. El proceso CILO para lixiviación de menas de Oro y Plata .....	57
3.2.1. Descripción del Proceso .....	58
3.2.2. Efecto de la Concentración de Cianuro .	61
3.2.3. Efecto sobre menas consumidoras de oxígeno .....	62
3.3. Oxigenación .....	63
3.3.1. Introducción de Oxígeno en la Pulpa ...	64
3.3.2. Oxígeno Requerido para el Proceso .....	68
3.3.3. Niveles de Oxígeno en la Pulpa .....	69

## CAPITULO 4

## ANALISIS DE PRUEBAS EXPLORATORIAS

4.1. Pruebas Exploratorias CILO .....	73
4.2. Trabajo de Prueba en Planta Piloto .....	78
4.2.1. Procesos Investigatorios de Laboratorio .....	78
4.2.2. Prueba de la Mena Barberthon .....	81
4.2.3. Prueba de la Mena Witwatersrand .....	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	89
ANEXOS .....	92
BIBLIOGRAFIA .....	96

## INDICE DE FIGURAS

Fig.		
1.1	Cinética de la Extracción PAL .....	22
1.2	Ahorro de Cianuro en PAL .....	22
1.3	Tasas de Adición de Cianuro .....	26
2.1	Distribución Gramulométrica .....	31
2.2a	Consumo de NaCN vs Tiempo, P1 .....	39
2.2b	Consumo de CaO vs Tiempo, P1 .....	39
2.2c	Disolución de Au, P1 .....	46
2.3a	Consumo de NaCN vs Tiempo, P2 .....	41
2.3b	Consumo de CaO vs Tiempo P2 .....	41
2.3c	Disolución de Au, P2 .....	46
2.4a	Consumo de NaCN vs Tiempo, P3 .....	42
2.4b	Consumo de CaO vs Tiempo, P3 .....	43
2.4c	Disolución de Au, P3 .....	47
2.5a	Consumo de NaCN vs Tiempo, P4 .....	45
2.5b	Consumo de CaO vs Tiempo, P4 .....	45
2.5c	Disolución de Au, P4 .....	47
2.6a	Velocidad de Disolución vs [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] .....	50
2.6b	Velocidad de Disolución vs [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	50
3.1a	Circuito de Lixiviación y Absorción CIL .....	54
3.1b	Circuito de Lixiviación y Absorción CIP .....	55
3.2a	Inyección de Gas en las Tuberías .....	67
3.2b	Inyección de Oxígeno directa a los Tanques...	67
3.2c	Reciclaje de Oxígeno .....	67
3.3a	Niveles de DO sobre valores de Saturación	

con Corrección de Temperatura.....	70
3.3b Niveles de DO Sobre Valores de Saturación	
con Corrección de Presión.....	70
4.1 Pruebas CIL/CILO- Kamyrr/Hazen.....	75
4.2 Efecto de DO en Beakers agitados.....	75
4.3 Pruebas CIL/CILO- Mena Barbeton.....	79
4.4 Pruebas CIL/CILO- Mena Witwatersrand .....	83

## INDICE DE TABLAS

Tabla.		
2.1	Distribución Granulométrica .....	31
2.2	Disolución de Au, Prueba 1 .....	38
2.3	Consumo de NaCN y CaO, Prueba 1 .....	38
2.4	Disolución de Au, Prueba 2 .....	40
2.5	Consumo de NaCN y CaO, Prueba 2 .....	40
2.6	Disolución de Au, Prueba 3 .....	42
2.7	Consumo de NaCN y CaO, Prueba 3 .....	42
2.8	Disolución de Au. Prueba 4 .....	44
2.9	Consumo de NaCN y CaO, Prueba 4 .....	44
2.10	Velocidad de Disolución según [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] .....	49
2.11	Porcentajes de la Disolución Final .....	49
4.1	Sumario de pruebas de laboratorio CILO .....	74
4.2	Comparación de CILO y lixiviación acelerada con oxígeno en pruebas de laboratorio .....	74
4.3	Resultados de pruebas exploratorias de laboratorio .....	79
4.4	Resultados de la mena Barberton .....	84
4.5	Resultados de la mena Witwatersrand .....	84



## ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

PAL.	Lixiviación ayudada por peróxido (siglas en inglés)
CILO.	Carbón en lixiviación con oxígeno (siglas en inglés)
CIL.	Carbón en lixiviación (siglas en inglés)
CIP.	Carbón en pulpa (siglas en inglés)
Do.	Disolución de oxígeno
pH.	Potencial de hidrógeno
NaCN.	Cianuro de sodio
CaO.	Cal
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de Calcio
CO <sub>2</sub>	Dioxido de carbono
Ca (OH) <sub>2</sub> .	Hidróxido de Calcio

## UNIDADES

m.s.n.m.	metros sobre el nivel del mar
ppm	partes por millón
r.p.m.	revoluciones por minuto
<b>Kg.</b>	kilogramo
g.	gramo
mg.	miligramo
m.	metros
m <sup>2</sup>	metros cuadrados
m <sup>3</sup>	metros cúbicos

hr.	horas
min.	minutos
seg.	segundos
°C.	grados centigrados

## INTRODUCCION

La minería es practicada en el Ecuador desde antes de la venida de los españoles. Tiempos en los que se aprovecharon los metales según los limitados usos que tenían para los antiguos primitivos, los que fueron solo ornamentales y religiosos. A finales del siglo XIX, cuando se estableció en Portovelo la compañía minera "Zaruma Gold" y posteriormente cediera sus derechos a la compañía minera norteamericana "South American Development", se tuvo por primera vez en nuestro país una verdadera planta metalúrgica de preparación y concentración de minerales.

Después de la mitad del presente siglo, cuando la empresa tomo la decisión de disolverse, no hubo en nuestro país minería seria. Grupos de antiguos empleados de la mina, herederos de la escuela de Portovelo, se dedicaron a realizar labores mineras por su cuenta, las cuales aún se realizan, pero sin la técnica y tecnología adecuadas. Produciendo un elevado nivel de desperdicio del oro explotable, alrededor del 50%.

En los últimos años se han implementado pequeñas cianuradoras con el fin de recuperar el desperdicio de oro presente en los relaves.

Pese al uso de métodos de lixiviación de oro por cianuro, que brindan buenos resultados en la extracción, considero que **los** procesos que se describen en este trabajo (PAL y



CILO) se presentan como una buena alternativa para el tratamiento de menas de oro, debido a que presenta una buena recuperación y considerable disminución del tiempo de retención requerido en los procesos comunmente usados.

## CAPITULO 1

### PROCESO PAL PARA LIXIVIACION DE ORO

#### 1.1. GENERALIDADES

El Último paso en la optimización química de la cianuración es el uso de peróxido de hidrógeno como un líquido oxidante. El sistema de lixiviación ayudada por peróxido de hidrógeno (PAL), permite el uso de este poderoso oxidante en la cianuración, mientras evita una reacción entre  $H_2O_2$  y cianuro. La disponibilidad de  $H_2O_2$  en la cianuración, acelera significativamente la cinética de extracción comparada con la tecnología normal, la cual usa aire comprimido u oxígeno como oxidante. La optimización de la cinética de extracción conduce a un incremento en la recuperación de oro y una reducción en el tiempo de lixiviación. Además, el uso de un poderoso oxidante en cianuración minimiza el consumo de cianuro por reducción en el tiempo de lixiviación, previene pérdidas de cianuro por volatilización de HCN y pasiva los minerales de sulfuro consumidores de cianuro.

El principal campo de aplicación del sistema PAL es el procesamiento de menas de sulfuro que son fuertes consumidoras de oxígeno y cianuro. En contraste con la tecnología de aireación normal, el proceso PAL es muy eficiente y económico en este tipo de menas. Incrementando la recuperación de oro entre 5% y 20%, y reduciendo el consumo de cianuro hasta en 50%. Así, en muchos casos, el uso del oxidante más caro H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es usualmente justificado económicamente. El proceso PAL fue el primero en ser introducido en algunas industrias mineras hace unos cuatro años, y siete minas están usando actualmente esta nueva tecnología.

Como cuerpos de menas oxidadas se minan, y más menas de oro con sulfuros deben ser minadas, es posible que PAL sea cada vez más usado en la cianuración.

La cianuración se basa en la conversión de oro y plata en complejos de cianuro solubles en agua. En adición de complejos de cianuro, un oxidante debe ser incluido para oxidar el oro elemental, por lo tanto, se usa aire comprimido para producir oxígeno en la pulpa de la mena. Por alrededor de 100 años el problema del aprovisionamiento de oxígeno permaneció intocado, sin embargo, a medida que la tecnología de la extracción de oro se fue volviendo más "científica", nuevos intentos se hicieron para incrementar la cantidad de oxígeno disuelto contenido

en la pulpa, y se volvió aceptable que la insuficiente transferencia de oxígeno de la fase gaseosa (burbujas de aire) a la fase líquida (pulpa de la mena) fue a menudo la razón detrás de los bajos niveles de oxígeno disuelto y por lo tanto una lenta cinética de extracción y bajas recuperaciones de oro. Después de reconocer la importancia del oxidante en la cianuración se puso énfasis en el abastecimiento de oxígeno, mediante la introducción de técnicas avanzadas de dispersión de gas, usando oxígeno en lugar de aire comprimido. La primera aplicación de la adición controlada de peróxido de hidrógeno, el proceso de lixiviación auxiliada por peróxido (PAL), introducido en 1887 en la mina de oro Fairview en el Transvaal Oriental en el Africa del Sur, indicó ventajas significativas sobre las técnicas convencionales de aireación:

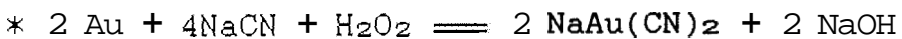
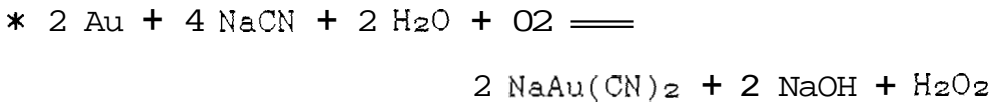
- Cinética de lixiviación acelerada.
- Recuperación de oro incrementada por la extracción de todo el oro accesible a la cianuración.
- Ahorro en el consumo de cianuro.
- Reducción de los costos de operación.

PAL se usa ahora en varias minas de Australia, Sud Africa y más recientemente en Africa del Norte.

## 1.2. CINÉTICA DE LA EXTRACCIÓN DE ORO

La cinética de la extracción del oro depende de la concentración de oxígeno disuelto en la solución lixiviada. Sin embargo, esta dependencia no se observa en el uso del proceso PAL.

Una aplicación PAL corriendo al mismo nivel de oxígeno que en una aplicación convencional nos enseña una cinética de extracción mucho más rápida. La aceleración de la velocidad es probablemente causada por la presencia de  $H_2O_2$  así como del oxígeno disuelto. Una reacción de cianuración puede ser formulada asumiendo que el  $H_2O_2$  se forma como un intermedio que a su turno reacciona directamente como un oxidante:



La primera reacción empleando oxígeno como un oxidante es significativamente más lenta que la segunda reacción, que emplea el  $H_2O_2$ . Durante el proceso PAL la concentración de peróxido de hidrógeno es directamente incrementada, mientras que en la cianuración convencional el peróxido debe formarse. Por lo tanto la reacción de cianuración más rápida es

favorecida.

La primera aplicación PAL es un buen ejemplo de aceleración de la velocidad de lixiviación. Esta operación trata un sulfuro de fácil tratamiento por flotación, seguida por una lixiviación del concentrado.

El concentrado de alto grado (3 Kg/t de Au, 8 Kg/t de **Ag**) tiene que ser lixiviado por 5 a 9 días para extraerse el 98% de **Au** y el 90% de **Ag**. La aplicación PAL dio buenos resultados en la extracción de oro final, se la alcanzó después del 25% del tiempo total de retención (Fig. 1.1) y la recuperación de plata fue incrementada en 8% (640 g/t) esto es el 98%.

### **1.3. AHORRO DE CIANURO EN PAL**

El uso de PAL permite una reducción significativa en consumo de cianuro, en muchos casos los ahorros son el resultado de varias causas.

#### **1.3.1. Reducción del Tiempo de Retención**

Una aplicación exitosa de PAL tiende a reducir significativamente el tiempo de lixiviación necesario para extraer todo el oro necesario accesible al cianuro. La reducción del tiempo de lixiviación reduce el cianuro consumido en

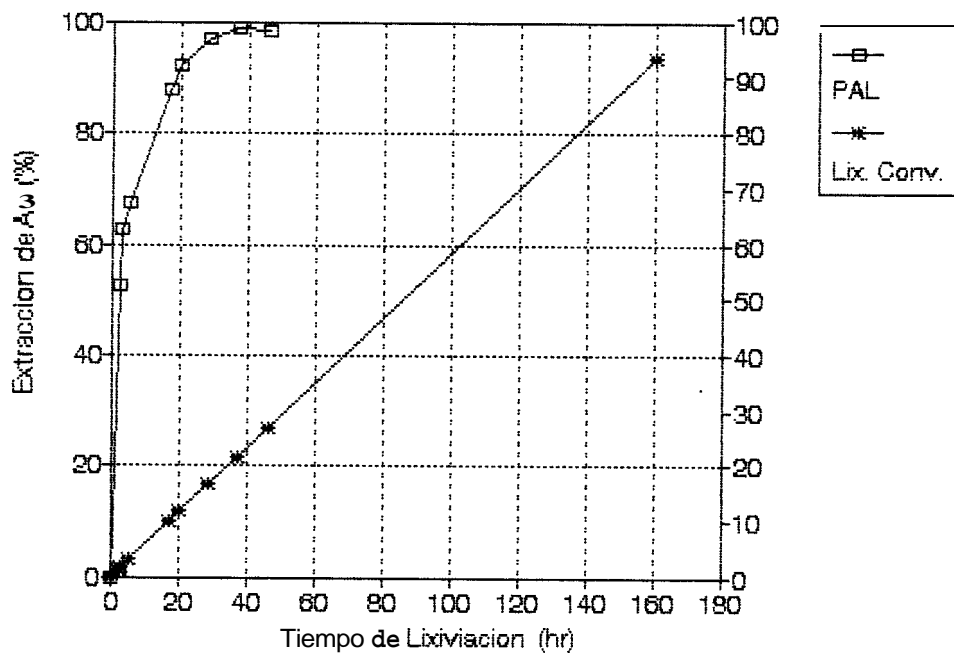


Fig. 1.1 Cinética de la extracción PAL

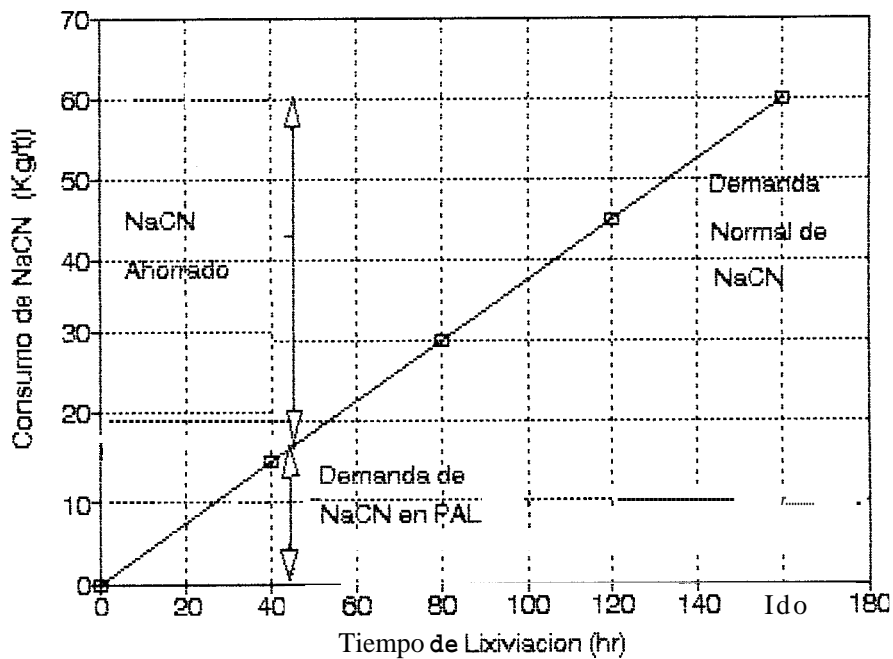


Fig. 1.2 Ahorro de NaCN en PAL

varias reacciones colaterales, que no son relacionadas con la disolución del oro. Por ejemplo, en la aplicación Norteamericana citada, el tiempo de lixiviación se redujo a **25%** del tiempo de retención original, produciendo un ahorro de cianuro del **75%** (Fig. 1.2).

### **1.3.2. Prevención de Pérdidas de Cianuro por Volatilización**

Siempre se pierde algo de cianuro por volatilización de HCN durante todos los procesos de cianuración, debido al equilibrio entre los iones  $\text{CN}^-$  y el ácido hidrocianico (HCN), que es un gas disuelto. Las pérdidas de cianuro dependen del pH y de la intensidad de la aireación. Con pH bajos un alto porcentaje de cianuro esta presente como HCN disuelto (50% a pH=9.4 y 20% a pH=10.0) el cual puede ser retirado por aireación, con mayor pH el equilibrio se vuelve a favor de los iones  $\text{CN}^-$  y la pérdida se reduce. Combinada con el pH, la intensidad de aireación es un factor importante para las pérdidas de cianuro.

En contraste, durante el proceso PAL, se



introduce  $H_2O_2$  líquido como un oxidante y no se requiere una mayor aireación, previniendo así pérdidas de cianuro por volatilización.

### **1.3.3. Pasivación de los Minerales de Sulfuro Consumidores de Cianuro**

Menas de sulfuro, especialmente cuando la pirrotita y la arsenopirita están presentes tienden a consumir una alta cantidad de cianuro para formar el tiocianato (SCN). Debido al fuerte poder oxidante del  $H_2O_2$ , la superficie de los minerales que contienen azufre es disminuida. Esto ha sido probado por la simultánea reducción del cianuro consumido y el SCN formado.

Ahorros de cianuro relacionados con la pasivación de los minerales de sulfuro se ha encontrado en trabajos de prueba efectuados en una mina de oro al norte de Ontario. Pruebas PAL en esta planta demostraron una reducción del consumo de cianuro indicado por un incremento en la concentración de cianuro en las colas, para la misma tasa de adición de cianuro. El paso subsiguiente fue la reducción de la adición real de cianuro al primer tanque, para regular los valores

usuales de cianuro en las colas. El nivel de NaCN en el primer tanque se redujo de 0.55 g/t a 0.25 g/t de mena, conduciendo a un valor de NaCN en las colas aun por debajo del nivel usual (Fig.1.3). Esta reducción en la adición de cianuro no enseña ninguna influencia sobre la cinética extractiva, pero condujo a ahorros del 50% del consumo de cianuro. Los ahorros del cianuro solo exceden los costos del proceso PAL en esta operación.

#### 1.4. PROCESO PAL Y DISEÑO DE PLANTA

Plantas metalúrgicas a menudo se diseñan para largos tiempos de retención, tomando en consideración la lenta cinética de lixiviación. Si el tiempo de retención con que se cuenta en una planta es suficientemente largo para asegurar la disolución de todo el oro accesible al cianuro, PAL no puede incrementar más la recuperación de oro. Sin embargo, la reducción del tiempo de retención reduce el consumo de cianuro.

El principal campo de aplicación para el proceso PAL es en plantas de cianuración con un tiempo de retención muy corto para extraer todo el oro accesible al cianuro, resultando unas pérdidas significativas de oro. Una razón es que la planta

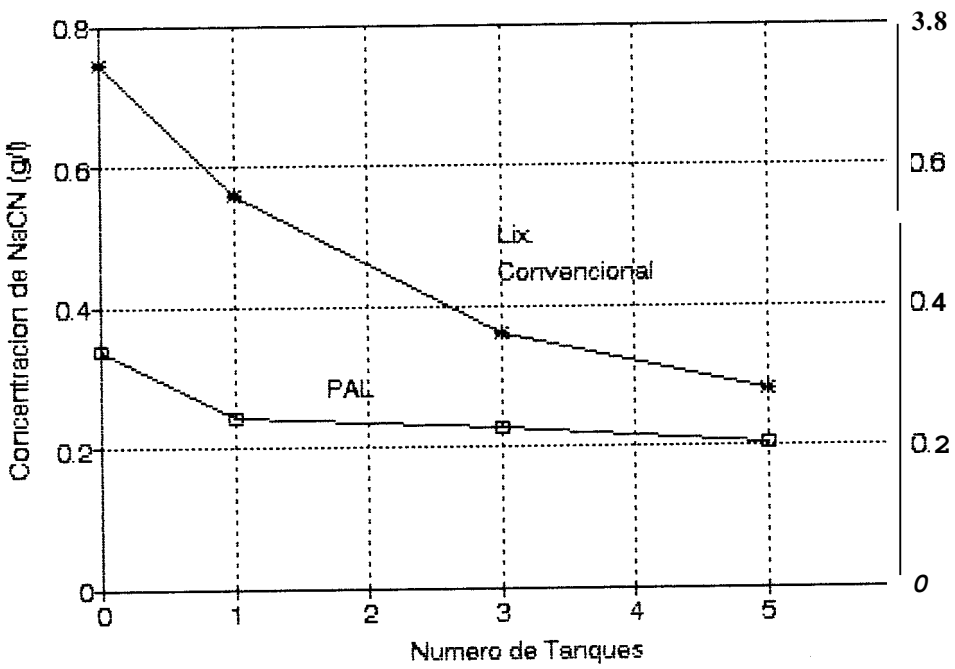


Fig. 1.3 Tasas de Adición de NaCN

original puede haber sido diseñada para tratar menas oxidadas ó de bajo contenido de sulfuros. Cuando la producción de la mina se mueve de la zona de mena oxidada a los sulfuros primarios, las condiciones de lixiviación cambian.

La solución es la introducción de PAL, para que todo el oro accesible a la cianuración pueda ser extraído dentro del tiempo de retención del diseño original de la planta.

En el caso de una nueva planta de cianuración, el diseño de la planta puede tomar ventajas del completo potencial de PAL. Se puede lograr mayores ahorros en capital de inversión debido al extremadamente corto tiempo de retención.

Debido a las ventajas de PAL sobre la aireación con oxígeno puro, puede parecer sorprendente que junto con el creciente número de aplicaciones de PAL, se observe un similar incremento para el proceso de lixiviación con oxígeno puro. Sin embargo, la aireación con oxígeno puro es principalmente usada para menas que consumen poco oxígeno, poco cianuro y para el retratamiento de colas en Australia Occidental, Sud Africa y Cánada.

Ahorros en cianuro se alcanzan ocasionalmente, pero sólo se informa de pequeños incrementos en la extracción de oro (alrededor del 1%). El margen de utilidad para este tipo de menas es bajo y solo

permite oxidantes de bajo costo tales como aire comprimido u oxígeno.

De todas maneras, PAL es favorable para la cianuración de menas de sulfuro que son altos consumidores de oxígeno y cianuro, mientras la aireación con oxígeno puro se ha encontrado que es insuficiente y no competitiva para tales menas.

## CAPITULO 11

### EXPERIMENTACION PAL

#### 2.1. OBJETIVO

Investigar la influencia del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) como catalizador en el proceso de cianuración y si su uso presenta condiciones favorables para una mejor extracción de oro.

#### 2.2. MATERIAL USADO

Para todas las pruebas experimentales se utilizaron relaves del sitio denominado "El Paraíso", en Ponce Enríquez, Provincia del Azuay.

#### 2.3. CARACTERIZACION DE LA MENA .

##### 2.3.1. Granulometría

La granulometría que presentó el mineral fue de 75.4% pasante malla 100 ASTM, el cual se lo usó directamente para todas las pruebas de

laboratorio, sin moliendas posteriores. Una distribución granulométrica mostrando la variación en el tamaño de los granos se puede ver en la Tabla 2.1 y Fig. 2.1.

### 2.3.2. Tenor

El calculo de Tenor de Au y Ag de la mena se lo efectuó luego de haber realizado un análisis pirometalúrgico, disolución del doré y la posterior lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

- Tenor de Au ..... 38.9 g/t
- Tenor de Ag ..... 101.1 g/t

## 2.4. PRUEBAS DE CIANURACION

Todas las pruebas de cianuración se efectuaron bajo idénticas variables, exepctuando la concentración de peróxido de hidrógeno, a sabiendas de que éste es el parámetro a estudiar. Se tomó concentraciones de cianuro y cal de: 0.75 g/l y 1.0 g/l respectivamente, tomando en consideración resultados positivos que se habían obtenido con estas concentraciones en experiencias anteriores tratando este tipo de mena. Un pH promedio de 11.43 y un contenido de sólidos en la pulpa de 40%. La agitación a la que se sometió

Tabla 2.1 Distribucion Granulométrica

# Malla ASTM	Diametro ( $\mu\text{m}$ )	Peso (g)	Peso (%)	
8	2220	2	0.41	
16	1191	4	0.82	
30	600	6	1.22	97.53
50	300	12	2.46	95.07
100	150	96	19.67	
200	75	178	36.43	
<b>Fondo</b>	0	190	38.93	

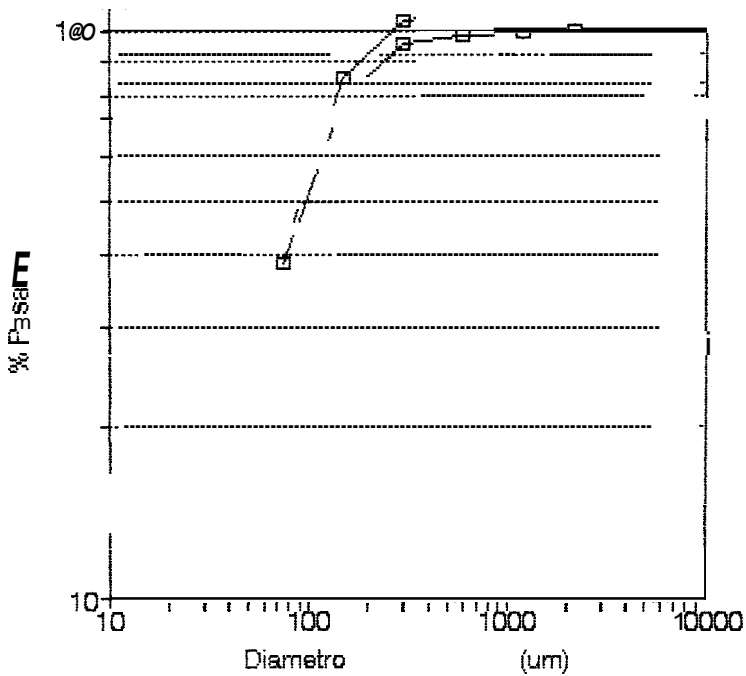


Fig. 2.1 Distribucion Granulométrica



fue de **532 rpm**. Las condiciones particulares de cada prueba sera descrita en el desarrollo de los resultados.

### Equipos Utilizados

1. Agitador tipo Denver
2. Botellas de plástico de 3 litros
3. Equipo necesarios para la titulación de cal y cianuro
  - 2 soportes universales
  - 2 buretas
  - 2 Erlen Meyers de 25ml
  - 2 goteros
  - 2 pipetas de 5 y 10ml
4. Equipo necesario para filtrar
  - 1 soporte universal
  - 1 anillo de soporte
  - papel filtro # 4
  - 2 beakers de 40ml
5. pH-metro
6. Equipo necesario para pesar y agregar cal y cianuro
  - 1 balanza analítica
  - 2 vidrios reloj
  - 1 espatula pequeña
  - 1 piseta

7. Equipo necesario para añadir peróxido de hidrógeno
  - pipetas de 5 y 10ml
  - pera
8. Equipo para guardar muestras de solución
  - refrigerador
  - tubos de ensayo con tapones de caucho
  - pipetas de 10 y 25ml
9. Equipo para medición de oro
  - Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer
10. Equipo para realizar la prueba de Chiddey
  - 1 reberbero
  - 1 beaker de 500ml
  - 1 beaker de 20ml
  - 1 varilla de vidrio
  - 1 pipeta
  - 1 vidrio reloj



### Reactivos

1. Cianuro de Sodio de grado industrial
2. Cal, 50% de pureza
3. Peróxido de Hidrógeno 150V
4. Acido Oxálico

5. Nitrato de Plata
6. Fenoftaleina
7. Ioduro de Potasio
8. Agua destilada
9. Zinc en polvo (Prueba de Chiddey)
10. Acetato de Plomo (Prueba de Chiddey)
11. Acido Clorhidrico (Prueba de Chiddey)
12. Reactivos para ensayos al fuego
13. Reactivos para ataque ácido al doré

### Procedimiento

Todas las prueba de cianuración se realizaron siguiendo básicamente el mismo procedimiento, el cual describimos a continuación.

1. Se coge una cantidad de material mayor de la que se va a utilizar en la prueba. Se cuartea bien y se separa unos 150g para calcular la ley de cabeza (tenor). Se realiza un ensayo al fuego, luego se ataca con agua regia y se lleva a medir en el espectrofotómetro de absorción atómica y se calcula el tenor de Au y Ag.
2. Se pesa la cantidad de material a utilizarse, se coloca dentro del recipiente de agitación y se agrega la cantidad necesaria de agua para obtener la densidad de pulpa que se va a utilizar.
3. Se agita la pulpa por 15 minutos y luego se mide

el pH. Para la medición del pH se saca un poco de pulpa con un beaker de 40ml y se filtra. Luego se mide el pH del filtrado mediante un pH-metro.

4. Se agrega la cantidad de cal necesaria para elevar el pH a un valor apropiado para la cianuración. La cantidad de cal a agregarse se la determina experimentalmente. Es decir, se agrega la cal, se mide el pH, y se mide hasta que el pH este entre 10 y 12.
5. Se filtra un poco de pulpa, se coge 5ml de filtrado y se titula la cal; se compara la concentración de cal de la pulpa con la concentración requerida para la prueba. Si la concentración de cal en la pulpa es menor a la deseada se agrega la cantidad de cal necesaria para mantener la concentración óptima. Se devuelve la solución restante.
6. Inmediatamente se agrega el NaCN necesario para mantener la concentración del mismo, que se requiere para la prueba. Se inicia la agitación y se da inicio a la cianuración.
7. Inmediatamente de iniciada la agitación se **procede** a añadir la cantidad de  $H_2O_2$  necesario para **tener** la concentración de  $H_2O_2$  que se requiere para la prueba.
8. Luego de 30 minutos se procede a titular la cal y el cianuro, y se agrega la cantidad necesaria para

mantener las concentraciones deseadas, se recoge una muestra de solución para medición de oro y luego se añade la cantidad de  $H_2O_2$  que se requiere para tratar de mantener la concentración deseada. Este paso se repite para cada uno de los tiempos establecidos en un horario de cianuración hecho antes de iniciar la prueba.

9. Luego de culminada la prueba. Se deja asentar el sólido y se saca el líquido, luego se realiza un ensayo al fuego de este, se ataca el doré con agua regia hasta su disolución total, luego se mide en el espectrofotómetro de absorción atómica. Con 500ml de líquido se realiza una prueba de Chiddey, se funde, se copela y se mide de la misma forma.
10. Se calcula la disolución de oro comparando la disolución con el tenor.

#### 2.4.1. Resultados de Pruebas Experimentales

Prueba No. 1 ..... [ $H_2O_2$ ] = 0.0%

[NaCN] ... 0.75 g/l    pH promedio ... 11.43

[CaO] ..... 1.0 g/l    Au en muestra . 55.6 mg

Ws ..... 1.43 kg    Agitación ..... 532 rpm

Vl ..... 2.156 l    Pureza de CaO . 50%

Los resultados Obtenidos se muestran en:  
Tablas 2.2 - 2.3 y Figuras 2.2a a 2.2c.

Prueba No.2 ..... [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]= 0.1%

[NaCN] ... 0.75 g/l    pH promedio .. 11.57  
 [CaO] ..... 1.0 g/i    Au en muestra.. 55.6 mg  
 Ws ..... 1.43 Kg    Agitación ... 532 rpm  
 Vl ..... 2.066 l    Pureza de CaO . 50%

Los resultados de esta prueba se muestran en las Tablas 2.4 - 2.5 y Figuras 2.3a a 2.3c

Prueba No.3 ..... [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]= 0.05%

[NaCN] ... 0.75 g/l    pH promedio ... 11.32  
 [CaO] ..... 1.0 g/l    Au en muestra ..55.6 mg  
 Ws ..... 1.43 Kg    Agitación ..... 532 rpm  
 Vl ..... 2.111 l    Pureza de CaO .. 50%

Los resultados se pueden visualizar en las Tablas 2.6 - 2.7 y Figuras 2.4a a 2.4c.

Prueba No.4 ..... [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]= 0.08%

[NaCN] ... 0.75 g/l    pH promedio ... 11.40  
 [CaO] ..... 1.0 g/i    Au en muestra . 55.6 mg  
 Ws ..... 1.43 Kg    Agitación ..... 532 rpm  
 Vl ..... 2.100 l    Pureza de CaO .. 50%

Los resultados obtenidos en esta prueba se pueden observar en las Tablas 2.8 - 2.9 y Figuras 2.5a a 2.5c.

Tabla 2.2 Disolucion de Au. P1

Tiempo (hr)	Au (ppm)	Disolucion de Au, ppm	Disolucion de Au, %
0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	4.4	9.3	16.7
2.0	8.4	17.9	32.2
4.0	12.5	26.4	47.5
12.0	15.8	33.2	59.5
24.0	15.8	33.3	60.0

Tabla 2.3 Consumo de NaCN y CaO, P1

Tiempo (hr)		
0.0		
0.5		
1.0		
2.0		
4.0		
8.0		
12.0		
20.0		
24.0	20.936	4.094

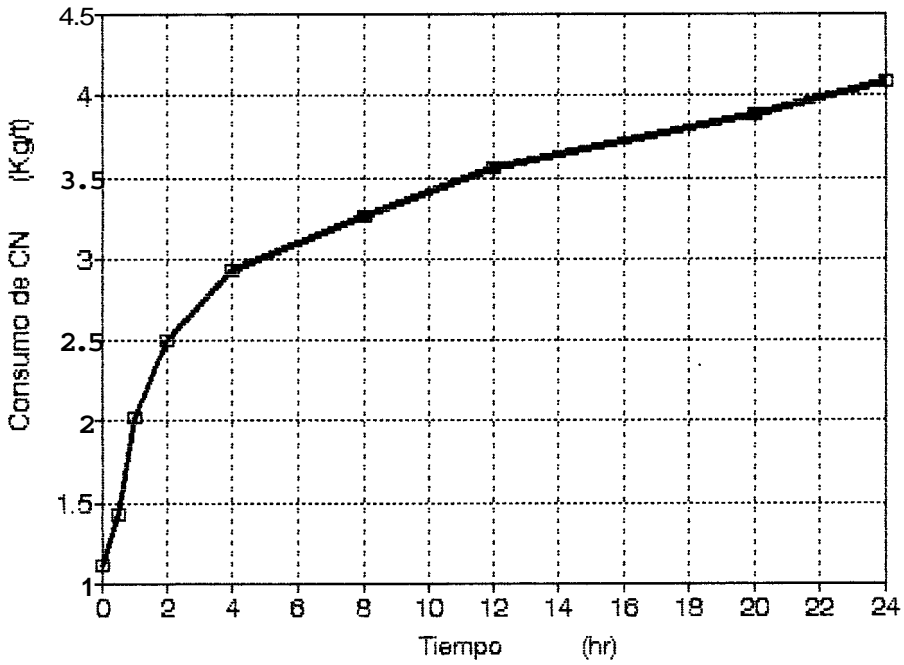


Fig. 2.2a Consumo de NACN vs Tiempo, P1

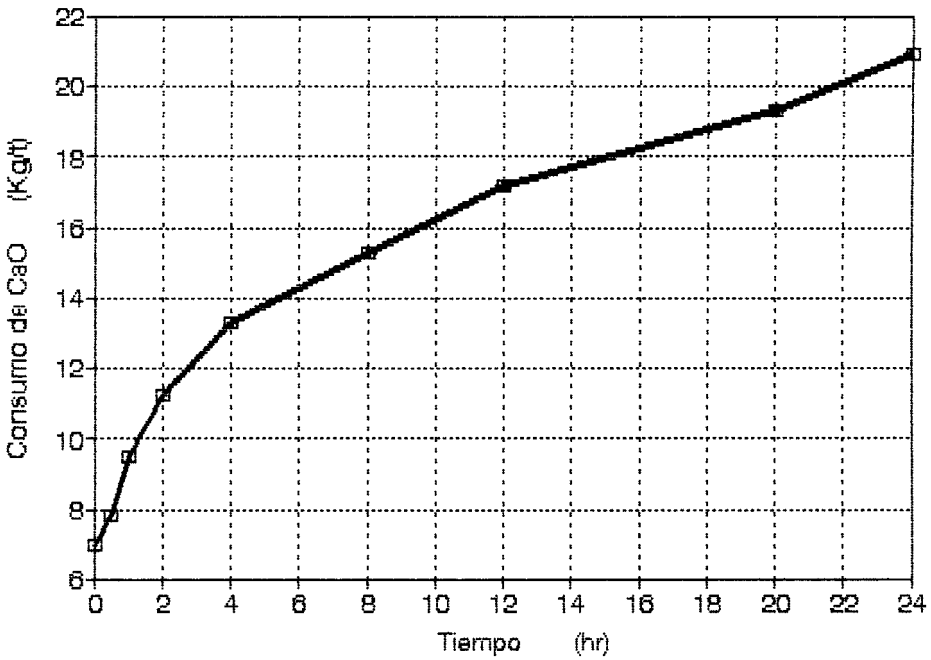


Fig. 2.2b Consumo de CaO vs Tiempo, P1



**Tabla 2.4 Disolución de Au, P2**

<b>mempo</b> (hr)	<b>Au</b> (ppm)	<b>Disolución</b> <b>de Au, mg</b>	<b>Disolución</b> <b>de Au, %</b>
0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	9.1	18.7	33.6
1.0	17.9	36.8	66.2
2.0	19.8	40.8	73.3
8.0	22.2	45.4	81.7
16.0	23.1	46.7	84.0

**Tabla 2.5 Consumo de NaCN y CaO, P2**

<b>Tiempo</b> (hr)	<b>Consumo CaO</b> (Kg/t)	<b>Consumo NaCN</b> (Kg/t)
0.0	6.973	1.155
0.5	8.938	1.783
1.0	10.121	1.996
2.0	11.108	2.434
4.0	11.913	2.550
8.0	13.461	3.446
10.0	15.319	4.147
12.0	17.397	4.660
16.0	19.325	5.218
20.0	21.150	5.648

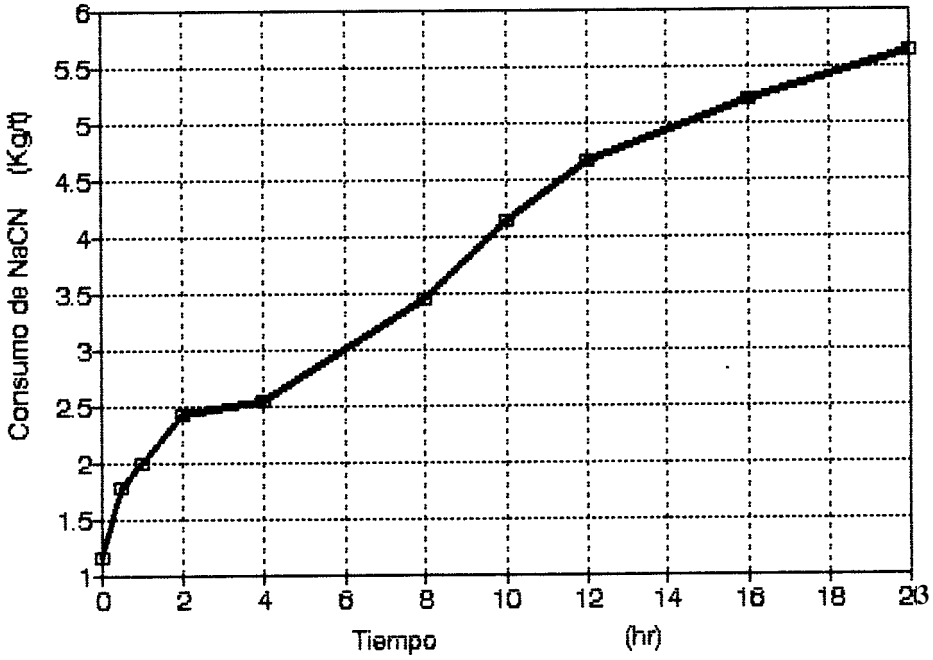


Fig. 2.3a Consumo de NaCN va Tiempo, P2

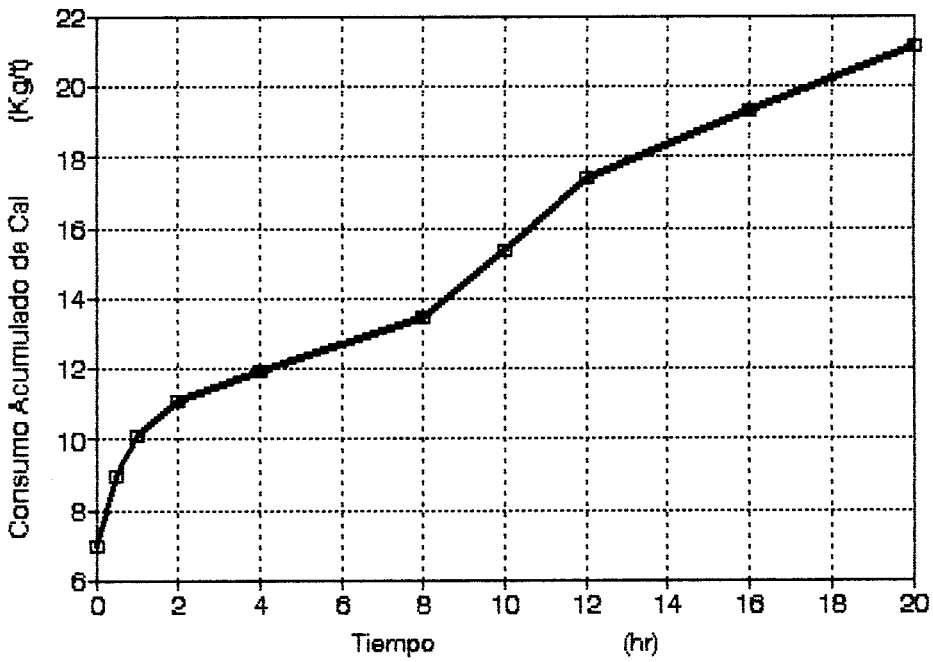


Fig. 2.3b Consumo de CaO vs Tiempo, P2

<b>Tiempo (hr)</b>	<b>Au (ppm)</b>	<b>Disolucion de Au, mg</b>	<b>Disolucion de Au, %</b>
0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	4.7	9.8	17.7
1.0	10.1	21.2	37.9
4.0	14.6	30.3	54.5
16.0	17.0	34.9	62.7
20.0	17.3	35.6	64.0

<b>Tiempo (hr)</b>	<b>Consumo CaO (Kg/t)</b>	<b>Consumo NaCN (kg/t)</b>
0.0	6.990	1.107
0.5	8.400	1.560
1.0	9.712	1.761
2.0	11.004	2.120
4.0	12.103	2.431
8.0	13.342	2.921
12.0	14.291	3.182
16.0	15.580	3.419
20.0	17.035	3.639

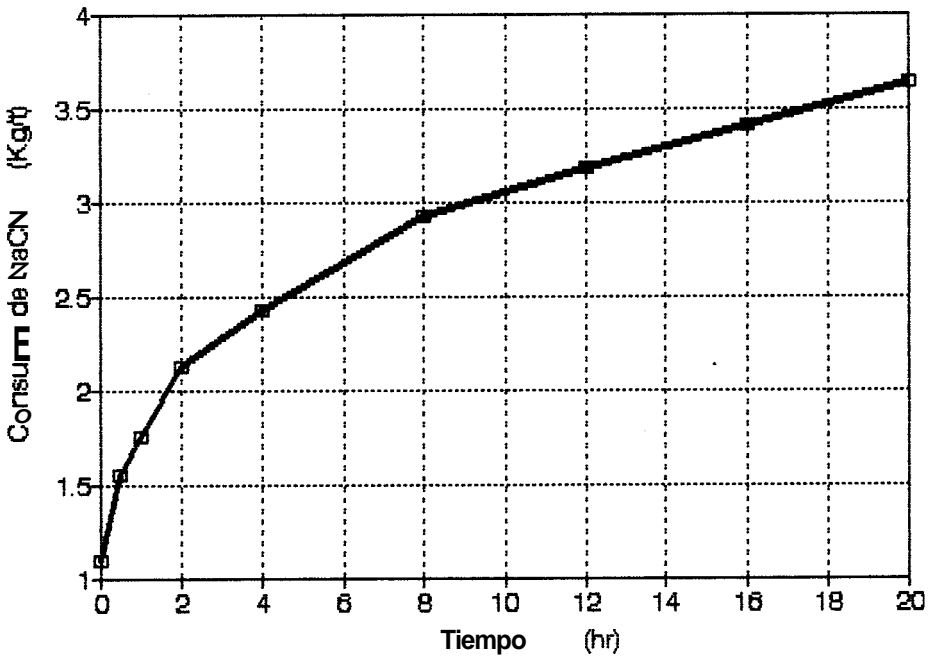


Fig. 2.4a Consumo de NaCN vs Tiempo, P3

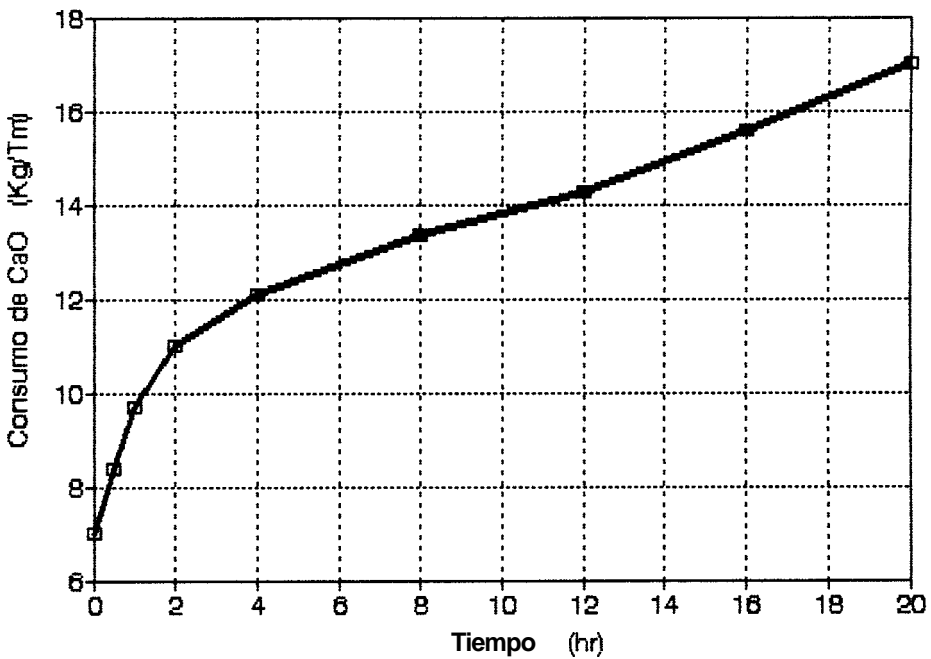


Fig. 2.4b Consumo de CaO vs Tiempo, P3



Tabla 2.8 Disolución de Au. P4

Tiempo (hr)	Au (ppm)	Disolución de Au, mg	Disolución de Au, %
0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	10.6	22.1	39.7
2.0	13.4	28.1	50.5
4.0	15.1	31.6	56.8
12.0	16.7	34.8	62.6
20.0	17.3	36.2	65.1

Tabla 2.9 Consumo de NaCN y CaO. P4

Tiempo (hr)	Consumo CaO (Kg/t)	Consumo NaC (Kg/t)
0.0	6.99	1.10
0.5	9.16	1.85
1.0	11.12	2.33
2.0	12.93	2.65
4.0	14.94	3.17
8.0		
12.0	19.06	3.97
18.0		
20.0		

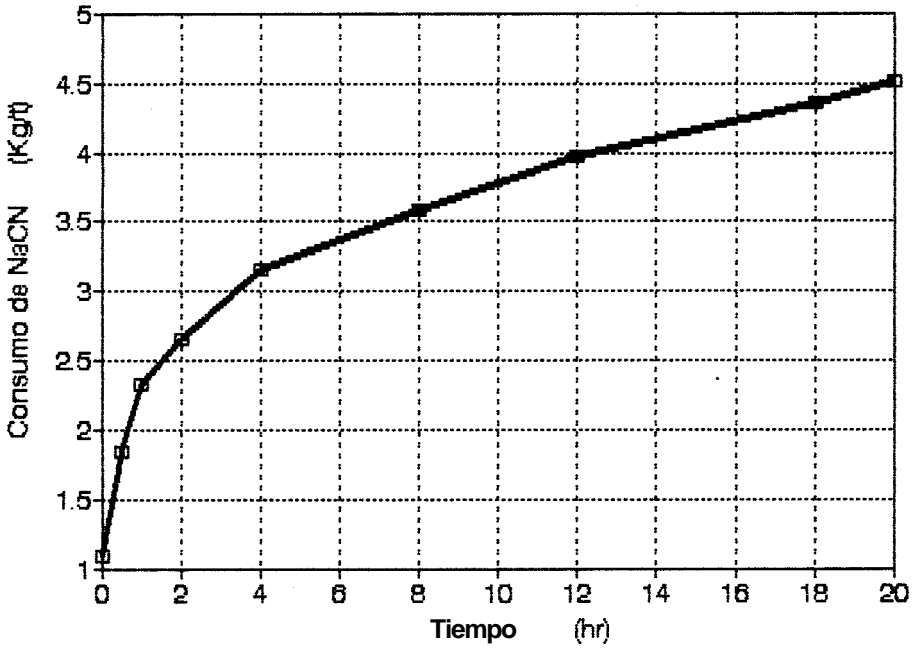


Fig. 2.5a Consumo de Na CN vs Tiempo. P4

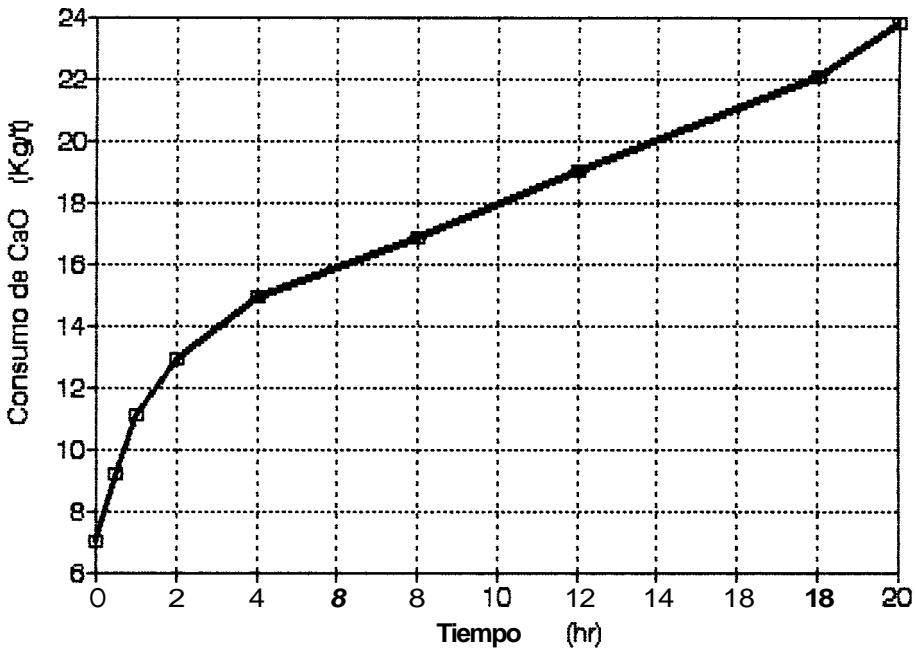


Fig. 2.5b Consumo de CaO vs Tiempo. P4

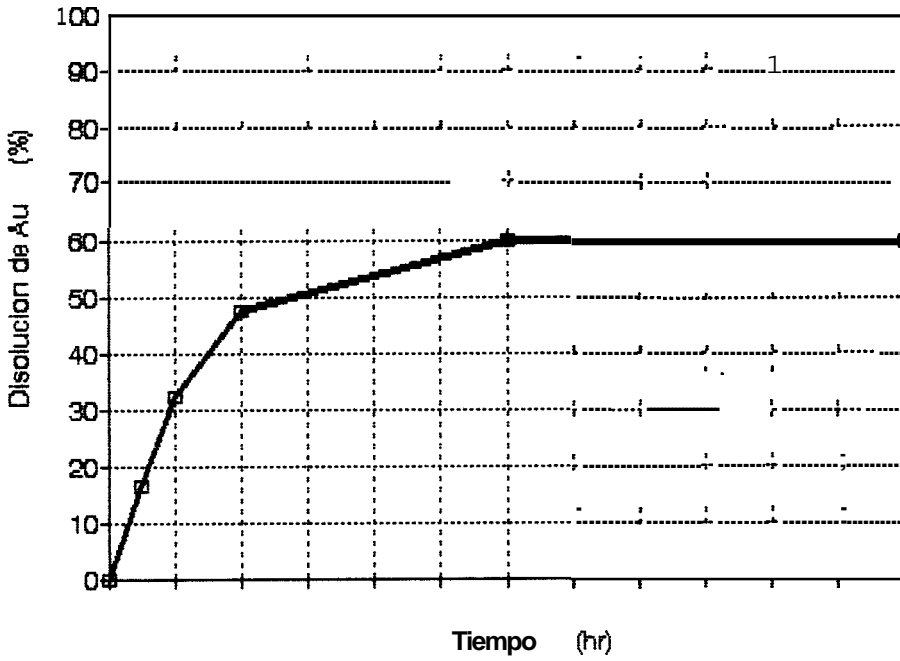


Fig. 2.2c Disolución de Au, P1

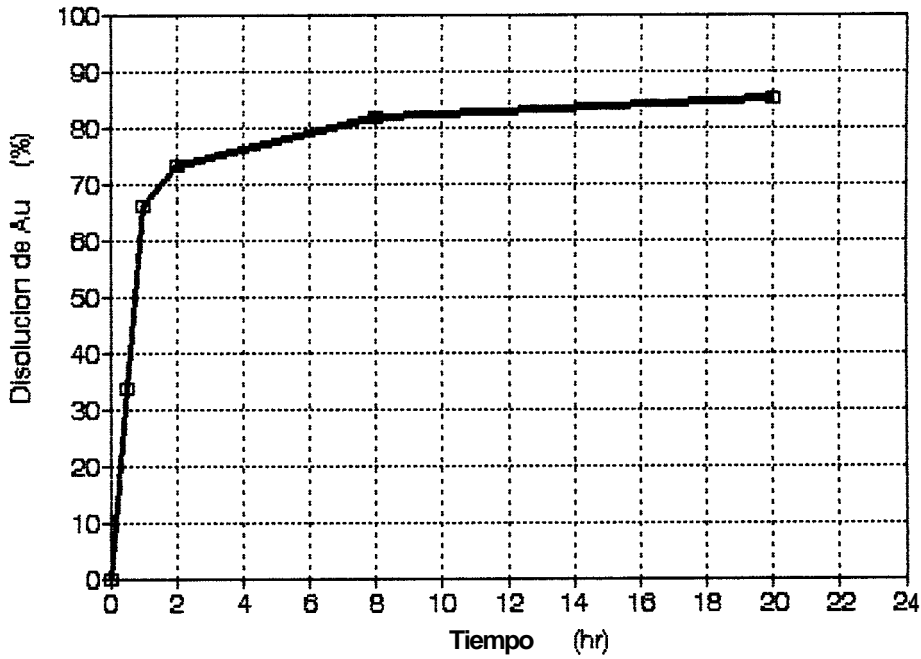


Fig. 2.3c Disolución de Au, P2

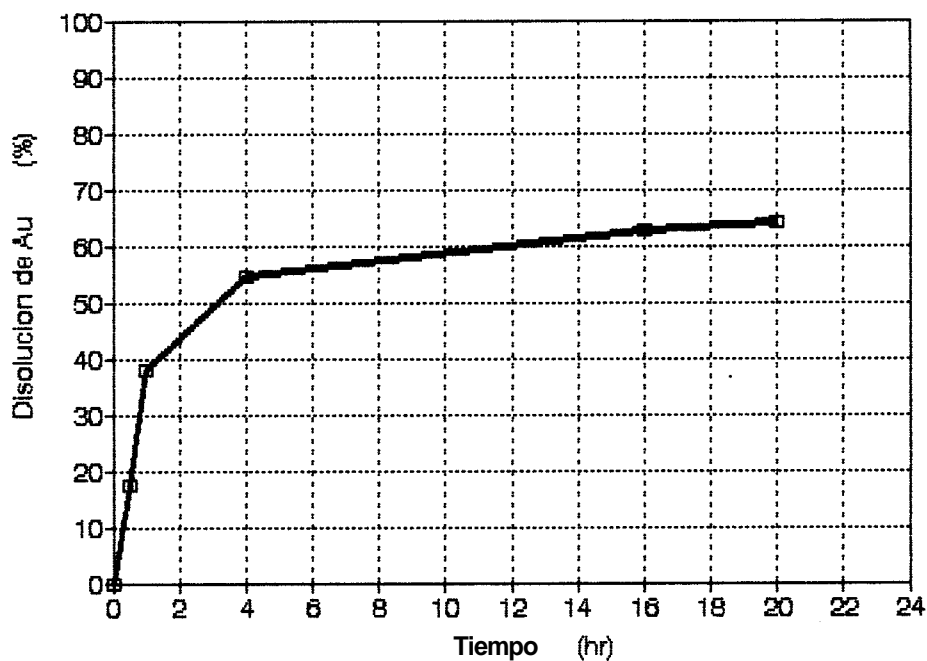


Fig. 2.4c Disolucion de Au. %

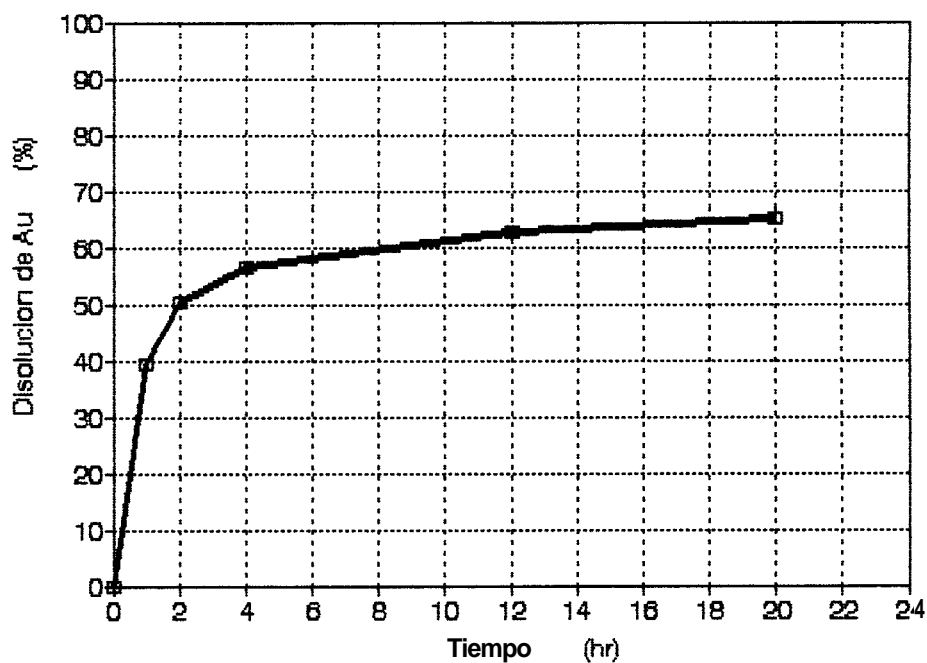


Fig. 2.5c Disolucion de Au. P4



#### **2.4.2. Efecto de la Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en la Disolución de Oro.**

Los resultados se muestran en las Tablas

**2.10 - 2.11** y Figuras 2.6a - 2.6b

### **2.5. ANALISIS DE RESULTADOS**

Podemos notar que se obtuvieron mejores disoluciones de Au para las pruebas en las cuales el peróxido de hidrógeno fue añadido. La mejor disolución de Au se la obtuvo en la prueba en que se uso una  $[H_2O_2]=1.0\%$ , alcanzándose una disolución de **84%** después de 16 horas de agitación, la cual es considerablemente mayor a la obtenida en la prueba sin adición de peróxido de hidrógeno durante **24** horas de agitación (**60%**).

La velocidad de disolución de Au durante las primeras cuatro horas de agitación se ve incrementada de una manera muy significativa cuando se añade peróxido de hidrógeno a la pulpa. Después de transcurrido este tiempo, la cinética de disolución en bdición de peróxido de hidrógeno tiende a igualarse a la velocidad que se tiene en la prueba normal ( $[H_2O_2]=0\%$ ). Si bien es cierto, que para la prueba en que se obtuvo la mejor disolución de Au se produjo un mayor consumo de cianuro, no es menos cierto que

[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] (%)	Porcentaje de Disolucion							
	t=0.5	t=1.0	t=2.0	t=4.0	t=12.0	t=16.0	t=20.0	t=24.0
0.0	8.0	16.7	32.2	47.5	59.7	59.8	59.9	60.0
0.05	17.7	37.9	47.0	54.5	61.8	62.7	64.0	65.2
0.08	32.0	39.7	50.5	56.8	62.6	63.9	65.1	66.2
0.1	36.6	66.2	73.3	79.3	83.0	84.0	85.0	86.0

[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] (%)	Porcentajes de la Dis. a t horas			
	<del>t=0.5</del>	t=1.0	t=2.0	t=4.0
0.0	13.30	27.83	53.66	<del>79.16</del>
0.05	27.66	59.22	73.44	85.16
0.08	49.15	60.98	77.57	87.25
1.0	40.00	78.81	87.26	94.40

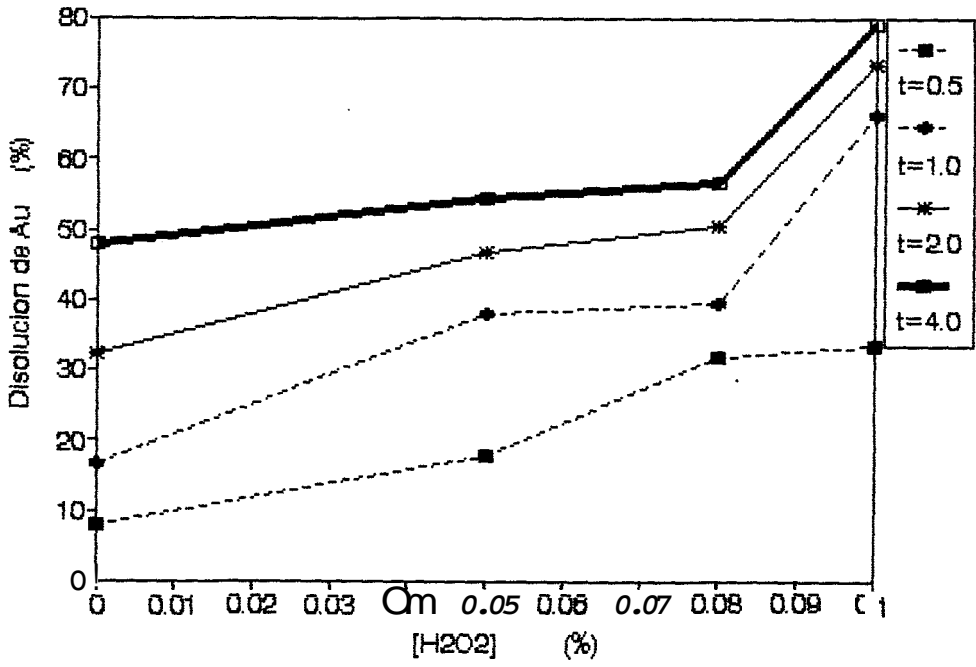


Fig. 2.6a Velocidad de Disolucion vs [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]

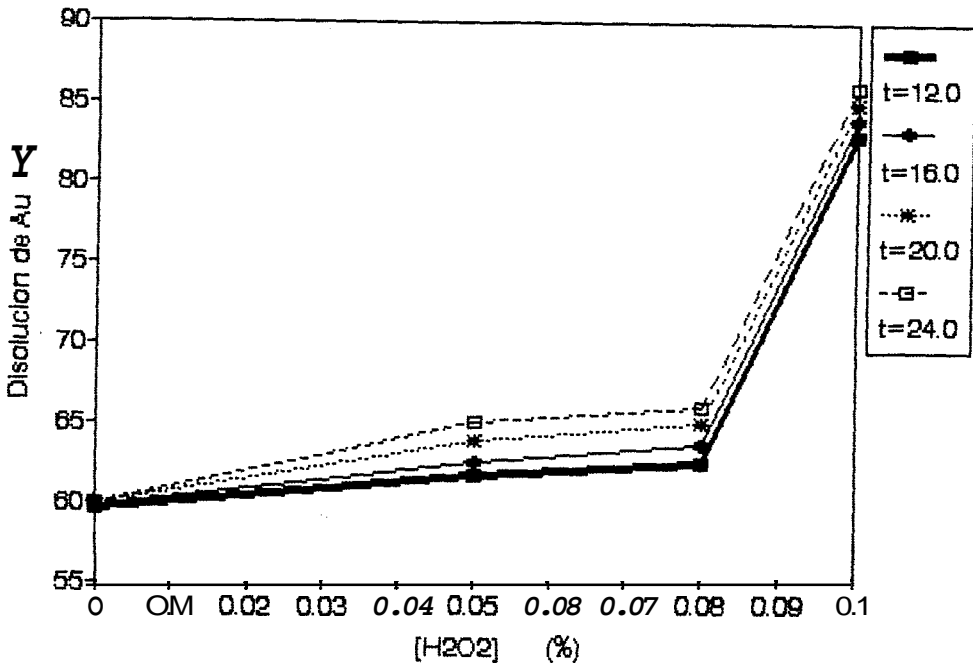


Fig. 2.8 b Velocidad de Disolucion ve [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]

el consumo que se tiene después de las 4 horas de proceso no tiene efectos en la disolución de Au, lo cual se puede identificar con claridad en los gráficos de Disolución de Au vs  $[H_2O_2]$  y Disolución de Au vs Tiempo. Esto se debe con seguridad a que después de este período de tiempo el  $H_2O_2$  esta disolviendo  $CN^-$  o atacando sulfuros, ya que la velocidad de disolución decrece significativamente.

El consumo de Cal no presenta diferencias significativas para una u otra prueba.

Los resultados que se muestran en la Tabla 2.11 muestran que en el mejor de los casos, durante las primeras cuatro horas se obtiene un porcentaje de disolución que representa casi la totalidad de la disolución producida al final de la prueba, lo que nos conduce a pensar en que éste sería el tiempo requerido para el proceso. Durante la primera hora de lixiviación las diferencias en cuanto a porcentaje de la disolución total entre el uso o no de peróxido de hidrógeno van desde 31.39% y 50.98%, que son valores por demás ilustrativos de las ventajas que tiene el proceso PAL como alternativa frente al proceso convencional.

## CAPITULO 111

### PROCESO CILO

#### 3.1- ANTECEDENTES Y SUMARIOS DE LA INVENCION

El proceso CILO es un mejoramiento de los procesos de cianuración convencionales, realizado en base a estudios efectuados sobre la viabilidad de mejorar la recuperación y aminorar el tiempo de duración del proceso.

Su desarrollo se originó en un estudio sobre la posibilidad del uso de oxígeno para incrementar la tasa de disolución de oro y/o plata en el proceso de la columna de lixiviación contra flujo de Kamyr, a inicios de 1985. Este estudio fue llevado a efecto revisando previamente la literatura sobre el incremento en la presión de oxígeno sobre la cinética de cianuración. En este estudio se notó que la solubilidad de oxígeno en agua a presión atmosférica, dura cerca de un factor de **4.8** más cuando el agua está en contacto con oxígeno que cuando está en contacto con aire. Además, bajo algunas condiciones, suponiendo que la cianuración adecuada esta presente, la tasa de disolución de oro es aproximadamente

proporcional a la concentración de oxígeno.

Aunque ésto no ha sido estudiado en su totalidad hasta el momento, tiene que ser usado comercialmente realizando un mejoramiento en la cinética de cianuración, con el uso de oxígeno.

Los posibles impedimentos para el uso de oxígeno son concernientes a los efectos pasivos, posibilidad de incremento en el consumo de cianuro y a los costos de oxígeno. Ninguno de estos factores han incidido significativamente en los trabajos realizados hasta la fecha, en realidad el consumo de cianuro está siendo reducido.

Este procedimiento ha sido obtenido incrementando su aceptación y estudiando su uso para la recuperación de oro y/o plata de las menas, similar a los procesos de Carbón en Pulpa (CIP) y Lixiviación con Carbón (CIL), Figs. 3.1a y 3.1b.

Estos procedimientos son versátiles y efectúan una eficiente recuperación de oro y/o plata de las menas. Se ha sabido por muchos años, que bajo ciertas condiciones limitantes, la tasa de DO en una solución de cianuro es aproximadamente proporcional a la presión parcial de oxígeno y que la tasa de DO puede ser incrementada significativamente si se usa gas de oxígeno puro (gas que contiene 99% de oxígeno o más) en lugar de aire para el efecto de la oxidación durante el proceso de cianuración. Sin embargo este

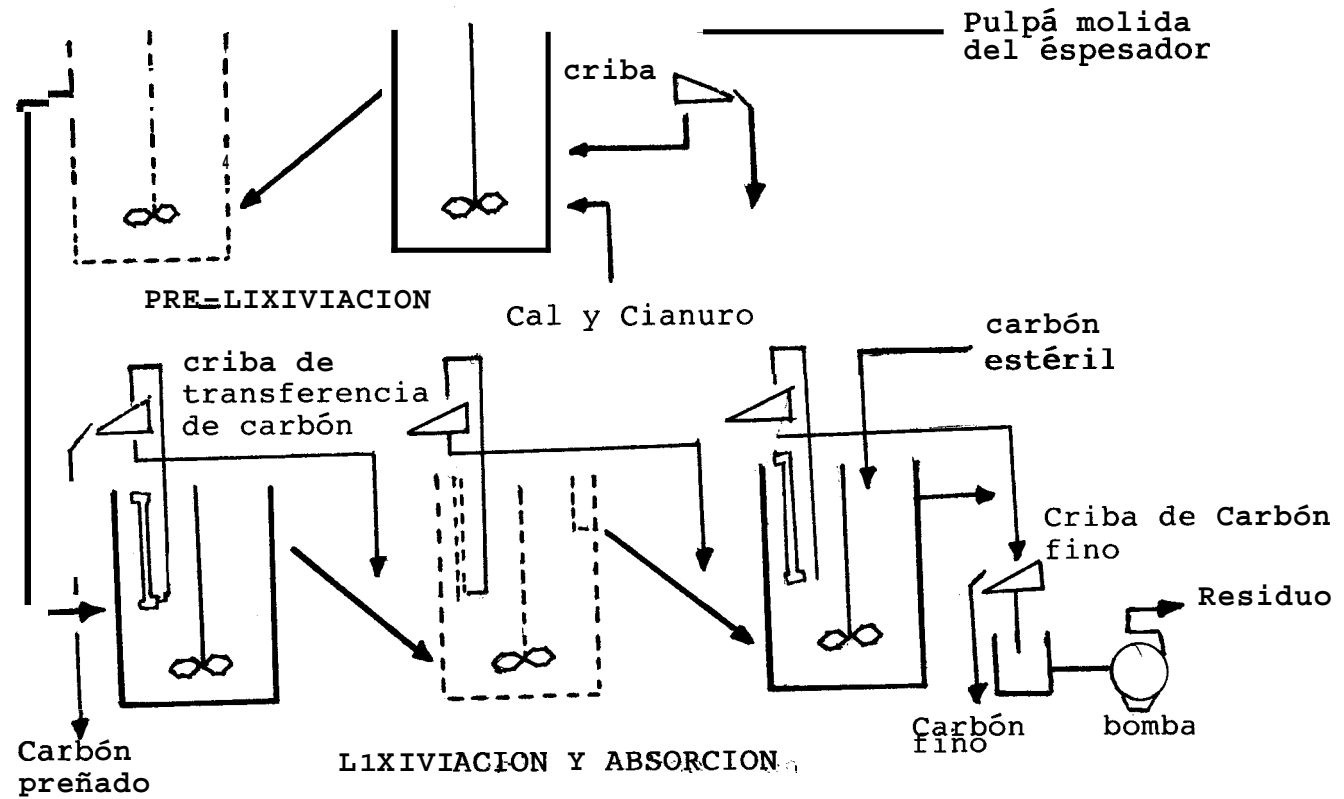
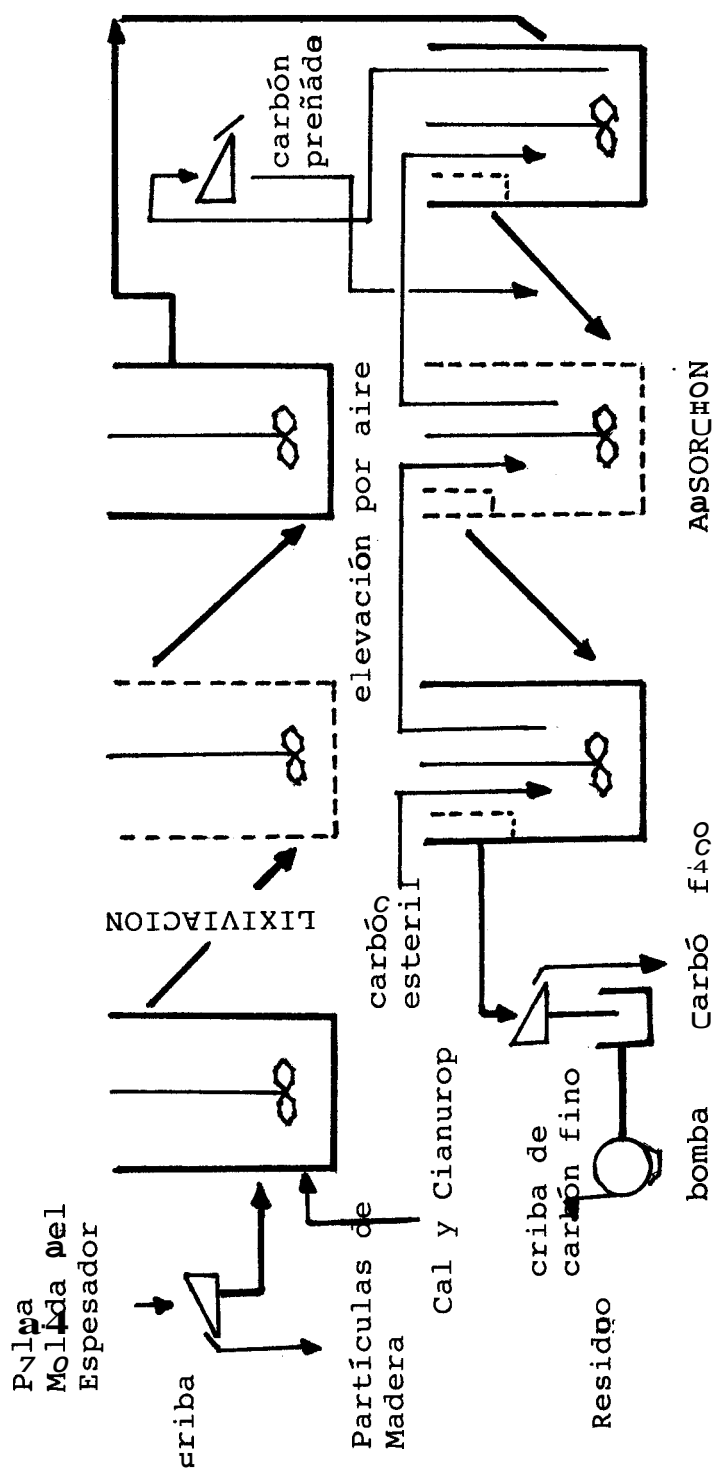


Fig. 3.1a Circuito de Lixiviación y Absorción CIL

Fig. 3.1b Circuito de Lixiviación y Adsorción CIP





hecho no ha sido aprovechado comercialmente.

Según el invento **(CILO)**, se ha encontrado que la combinación de (1) el uso de oxígeno o aire enriquecido con oxígeno y (2) un sistema de lixiviación-absorción usando carbón activado resulta un proceso extremadamente eficiente para el tratamiento de menas de oro y/o plata o similares.

Se ha encontrado que no solo el oxígeno incrementa la tasa de disolución de oro y/o plata, sino que la eficiencia general del proceso que usa absorción con carbón en la recuperación se incrementa de manera significativa con el uso de un gas que contenga una mayor proporción de oxígeno que el que se encuentra en el aire.

Aunque se sabe que el carbón activado es un catalizador en la descomposición del ión cianuro por oxígeno, sorprendentemente se ha encontrado que el oxígeno en lugar de aire en **los** sistemas **CIL** o **CIP** ha producido un inesperado bajo consumo de cianuro, se ha encontrado también que el incremento en la eficiencia resultante de la aplicación del presente proceso tiene varios factores contribuyentes. En **los** procesos **CIL** y **CIP** el oxígeno incrementa la tasa de disolución, la cual hace al oro y/o plata más accesible al absorción por carbón. También como el gas que se introduce tiene una mayor proporción de oxígeno que el aire natural, tendrá una

significativamente menor proporción de  $\text{CO}_2$  (Dioxido de Carbono) que el aire normal. Reduciendo el  $\text{CO}_2$  también se incrementa la eficiencia en la absorción de carbón, ya que éste reacciona con la cal en la solución de cianuro para formar  $\text{CaCO}_3$  (Carbonato de Calcio), que se deposita sobre los gránulos de carbón, disminuyendo así su capacidad de absorción.

El proceso CILO puede tener un mayor porcentaje de extracción de oro y/o plata u obtener el mismo porcentaje que en los procesos convencionales, solo que usando menos equipo y más pequeño, ó una combinación de estas ventajas.

El objetivo primario del invento es proveer el incremento de eficiencia en la recuperación de menas de oro y/o plata o similares.

### **3.2. EL PROCESO CILO PARA LIXIVIACION DE MENAS DE ORO Y/O PLATA**

CILO es una sigla en inglés, para "Lixiviación en Carbón con Oxígeno".

CILO opera de manera similar al convencional CIL, exepto en que el oxígeno es añadido eficientemente e incrementado su contenido en la pulpa de lodos por un factor de 4 a 6 sobre el proceso convencional. CILO incrementa la tasa de reacción y la disolución de oro total, el cual puede ser extraído de diferentes

maneras, sin producir un incremento significativo en el consumo de cianuro comparandolo con el proceso CIL para el mismo tiempo de lixiviación.

En realidad, para la misma extracción de oro: el tiempo de lixiviación requerido, el cianuro consumido y el tamaño del equipo puede ser reducido por un factor de **4 a 6**.

Para una nueva planta, el número y tamaño de los tanques puede ser optimizado de acuerdo a los requerimientos esperados de la mena.

### **3.2.1. Descripción del Proceso**

EL proceso CILO usa varios tanques de agitación cerrados y en serie, proporcionando de **6 a 24** horas de tiempo de retención para la mena.

Dependiendo de la mena, el carbón puede ser llevado a través de todos los tanques del circuito y el primer tanque puede ser usado solamente para la lixiviación, en general CILO puede suministrar la misma extracción que el convencional CIL, procesando en **4 a 6** tanques y proporcionando solamente alrededor de **6** horas de retención. Tanques grandes y largos tiempos de retención pueden usarse para incrementar la cantidad de oro que puede ser

recuperado.

Para obtener un máximo beneficio de CILCO es deseable mantener la concentración de oxígeno cerca de la de saturación con un mínimo uso del mismo.

La pulpa de la mena molida es lixiviada en una serie de recipientes agitados, con un tiempo de retención de aproximadamente una hora en cada recipiente. La pulpa alimenta al primer tanque y fluye por gravedad a través de los tanques subsiguientes, de la misma manera que en el proceso convencional CIL,

El oxígeno es añadido en el primer tanque por medio de una alimentación en línea o directamente al tanque.

El carbón activado es alimentado a los tanques del circuito en los recipientes de lixiviación-absorción, el carbón y el flujo de la mena sigue una trayectoria contracorriente, de la misma manera que en los circuitos convencionales CIL y CIP.

Cada tanque está equipado con una criba para que retenga el carbón en el tanque, mientras que los lodos de la mena fluyen **por** gravedad en dirección al próximo tanque.

Bombas centrífugas son usadas para cargar carbón y para reenviar los lodos de la mena,

el carbón cargado es separado y luego enviado al proceso normal de recuperación de oro con el retorno de la mena al primer tanque.

Dependiendo de la mena, el carbón puede ser llevado a través de todos los tanques del circuito y el primer tanque puede ser usado solo para lixiviación.

Luego de inyectar el oxígeno en el primer tanque, en los tanques subsiguientes es necesario solamente mantener la atmósfera de oxígeno o mantener cada uno de los tanques llenos de pulpa y a presión atmosférica, sin embargo, los tanques deberán ser tapados y sellados.

El sistema CILO es diseñado para minimizar el espacio libre en los tanques y equipos donde las elevadas concentraciones de oxígeno pueden acumularse. Cuando el oxígeno viene fuera de la solución, dentro de los espacios libres entre la pulpa y la parte superior del tanque, éste puede ser capturado y reciclado por medio de un eyector o compresor, mientras que una pequeña parte puede ser almacenado.

La concentración de oxígeno en la pulpa puede ser mantenida cerca de la de saturación, siendo ésta de 20 a 35ppm de oxígeno, comparada con los 4 a 8ppm disponibles en la

pulpa CIL.

### 3.2.2. Efecto de la Concentración de Cianuro

Está generalmente aceptado que la razón de cianuración es proporcional solamente a la concentración de oxígeno presente en la solución cianurada. Como la razón de ión cianuro a oxígeno en la solución excede en algunos valores críticos; una concentración de 0.3 g/i de NaCn es considerada adecuada cuando la solución esta saturada con oxígeno en un local a presión atmosférica (12.2 psia.), estas concentraciones han sido usadas efectivamente en las pruebas CILO realizadas:

**Dos** pruebas idénticas, hechas sobre una mena de Sud Africa con concentraciones de 0.2 g/l de NaCN, mostraron **los** siguientes resultados.

	PRUEBAS	
	1	2
Tiempo, hr	6	6
Residuo, g/t Au	0.75	0.75
Extracción de Au, %	90.5	90.1
Consumo de NACN, Kg/t	0.06	0.006

La extracción obtenida con concentraciones de 0.02 g/l de NaCN son similares a las obtenidas en las pruebas comparativas con

concentraciones de 0.3 g/l de NaCN. Aunque no muchas veces puede ser practicable una reducción en la concentración inicial a 0.2 g/l en una planta, **los** resultados indican que 0.3 g/l está probablemente seguro por encima del valor crítico para una pulpa saturada de oxígeno.

### **3.2.3. Efectos Sobre las Menas que Consumen Oxígeno**

Varios componentes de las menas consumidoras de oxígeno, como el hierro, cobre o minerales de sulfato arsénico pueden tener un efecto significativo y deben ser considerados para determinar un consumo completo de oxígeno.

En Sud Africa, la pulpa es retenida y frecuentemente reprocesada para recuperar el oro residual. Estas pulpas pueden tener materiales que consumen oxígeno, **los** cuales disminuyen el nivel de oxígeno disuelto en la pulpa y reducen la eficiencia de la cianuración, lo que se debe tomar en cuenta cuando se vaya a aplicar este proceso en caso parecidos. Pruebas de lixiviación con oxígeno a escala piloto deben ser hechas con menas de este tipo y debe obtenerse un incremento significativo en la recuperación de oro. Se

creo que el incremento en la recuperación de oro se debe a varios factores: la oxidación de materiales orgánicos, la reducción de las incrustaciones en el carbón que disminuyen su capacidad de acción por pérdidas de superficie de contacto y el mejoramiento general en la tasa de disolución de oro debido a una elevada concentración de oxígeno.

### 3.3. OXIGENACION

En el proceso CILO es deseable alcanzar una alta concentración de oxígeno en la pulpa a inicios del proceso y mantenerla cerca del punto de saturación, desde el inicio hasta el final de la etapa lixiviación-absorción.

Se realizan aun varios trabajos con el fin de estudiar métodos para la oxigenación de la pulpa y para mantener la concentración de oxígeno a través de las diferentes etapas de CILO.

El trabajo inicial indica que la pulpa puede ser oxigenada rápidamente en el primer tanque CILO al mantener una atmósfera de oxígeno e inyectándolo cerca de la base del tanque. La mayor parte del oxígeno inyectado puede ser reciclado desde arriba del tanque mediante un eyector, mientras que una pequeña parte puede ser provista desde el tanque de



abastecimiento, para completar el requerimiento.

En **los** tanques subsiguientes es necesario solamente mantener una atmósfera de oxígeno, o de mantener el tanque completamente lleno de pulpa. Tomando como base las menas tratadas se conoce que ocurre un consumo significativo de oxígeno durante la lixiviación.

Un estudio estimativo de costos efectuado por **los** fabricantes del proceso, muestra que el valor del oxígeno no será un factor mayor para la aplicabilidad del mismo, ya que asumiendo que la solución está saturada con 35ppm de  $O_2$  y que el doble de esta cantidad se utiliza para permitir la remoción de nitrógeno y otras pérdidas misceláneas, el requerimiento aproximado de oxígeno es de 70ppm, que es equivalente a 0.14 lb/t de mena, una razón 1:1 entre mena y solución.

### **3.3.1. Introducción de Oxígeno en la Pulpa**

El proceso CILO es independiente del método que se use para introducir el oxígeno en la pulpa.

Hay varios métodos que se pueden considerar:

### Inyección de Gas en la Tuberías de Alimentación

La inyección de gas de oxígeno en la pulpa a través de la tubería de alimentación (Fig. 3.2a) es semejante al espesador alimentando en la parte baja del flujo de **los** tanques CILLO, es simple y aplicable en una variedad de circunstancias. La bomba de presión permitiría una DO en exceso de la necesaria en **los** niveles nominales de saturación. Alimentando el oxígeno bajo el flujo de la pulpa en el tanque CILLO, siempre la no DO contribuirá a mantener el nivel de disolución en el tanque. Con menas moderadamente limpias de óxido este método puede ser suficiente para mantener el nivel esperado en la pulpa sobre varios tanques.

### Inyección Directa en los Tanques

La inyección directa en los tanques CILLO (Fig. 3.2b) usando aspersores diseñados para producir burbujas de gas fino, puede ser también efectivo y seguro, la principal ventaja de la inyección directa en **los** tanques es porque se puede abastecer continuamente el

oxígeno para mantener niveles elevados de disolución en menas en las cuales el consumo durante la lixiviación es significativo. La inyección directa en **los** tanques es usada especialmente en los circuitos que incluyen preaireación. La inyección directa en **los** tanques puede también ser usada para mantener niveles elevados sobre cualquier número de tanques en el circuito CILO.

### Reciclaje de Oxígeno

El reciclaje de oxígeno podría ser considerado donde las cribas barridas por aire o donde elevadores de aire instalados en **los** circuitos CIL han sido cambiados a circuitos de operación CILO. El concepto de esto es referido de (Ref. 2) el cual es cubrir los tanques para mantener una abundante atmósfera de oxígeno sobre la pulpa (Fig. 3.2c) un pequeño compresor es usado para reciclar este oxígeno, el cual es usado en lugar de aire para elevar el carbón y arrastrarlo a la criba.

Otro concepto es instalar cubiertas sobre la porción de la criba o sobre **los** elevadores de aire donde el burbujeo de oxígeno está



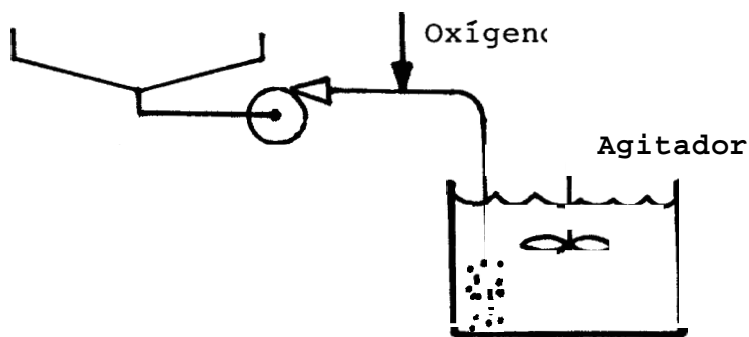


Fig. 3.2a Inyección de Oxígeno en las tuberías de alimentación

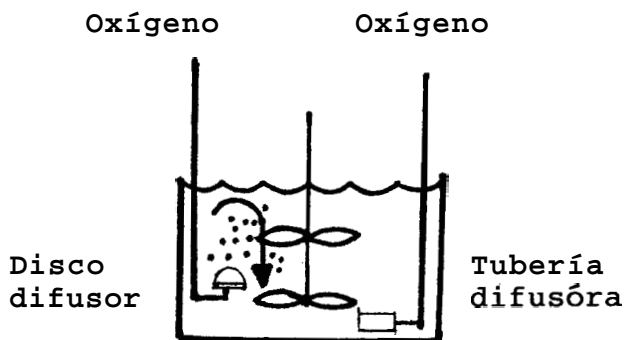


Fig. 3.2b Inyección de Oxígeno directa al tanque

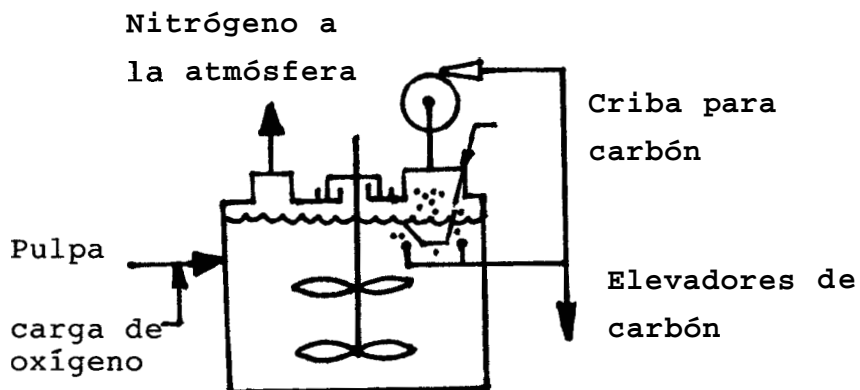


Fig. 3.2c Reciclaje de Oxígeno

concentrado para capturar y reciclar el oxígeno.

### **3.3.2. Oxígeno Requerido para el Proceso**

CILLO requiere solo de una pequeña cantidad de oxígeno. La cantidad teórica que se requiere para saturar una pulpa típica es 0.02 a 0.04 Kg/t. Se espera que el rango de consumo sea menor a 0.1 o quizá 1 Kg/t de mena, dependiendo de la mena y de la eficiencia de inyección de oxígeno.

La aplicación práctica del proceso requiere varias consideraciones, de ninguna manera se conseguiría la máxima eficiencia fuera del uso de oxígeno.

#### **Disolución Eficiente**

Cuando el oxígeno es introducido directamente dentro de la pulpa por una tubería hay una cantidad límite de oxígeno que puede ser disuelto, siempre que haya una presión considerable en la bomba y una longitud de tubería adecuada para alcanzar la saturación.

Cuando el flujo de pulpa entra al tanque, la no DO en la forma de burbujas de gas puede ser

parcialmente absorvida. El monitoreo de los niveles, así como el residuo en cada tanque podría ser usado para determinar la tasa de adición de oxígeno para una máxima eficiencia. Donde la aspersion directa es usada, localización de aspersores, pequeñas burbujas y una mezcla adecuada para asegurar la dispersión y maximizar el tiempo de retención de las burbujas es importante.

### **3.3.3. Niveles de Oxígeno en la Pulpa**

Se cree que CILO sería mucho más efectivo cuando la pulpa esté completamente saturada con oxígeno. Esto es de 25 a 40ppm dependiendo de la presión atmosférica local y la temperatura sobre la pulpa. Los niveles de DO conseguidos con oxígeno alcanzan un factor de 4.8 más que el conseguido con aire, y es proporcional a la presión parcial de oxígeno. Incidentalmente, los niveles de DO sobre los valores de saturación nominal (con corrección para la temperatura y la presión atmosférica local, Fig.3.3a y 3.3b) tienen que ser medidos en tanques de lixiviación CIL. Se cree que la mejor explicación es que los aspersores están localizados en la parte baja de la pulpa, y el

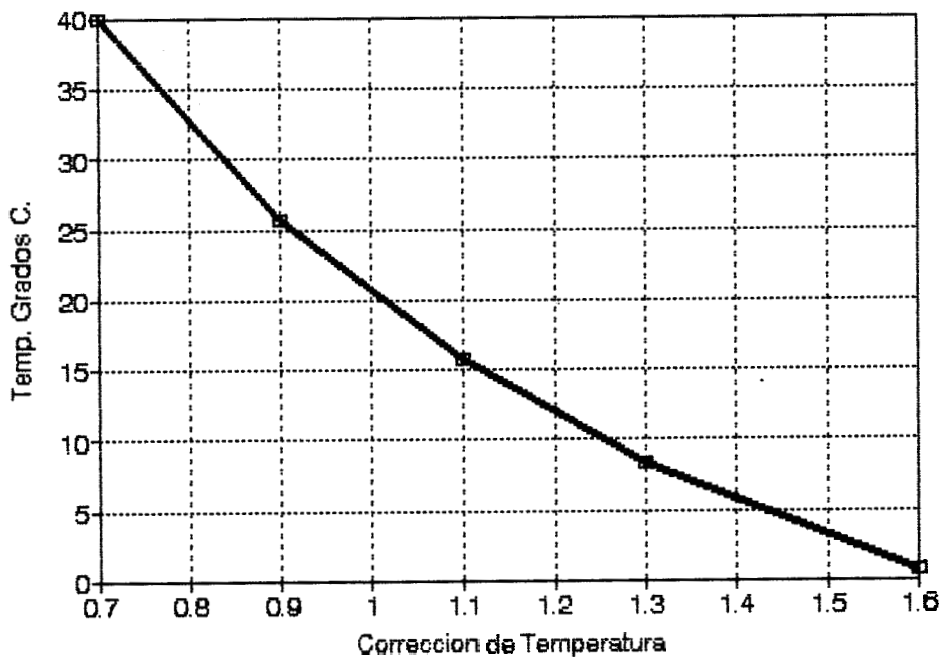


Fig. 3.3a Niveles de DO sobre valores de saturacion con correccion de Temp

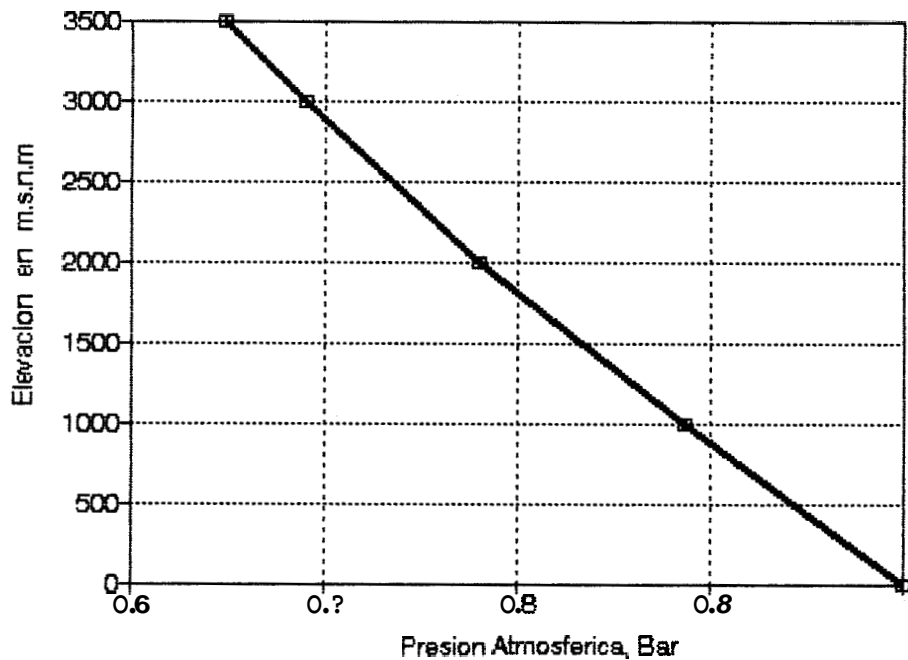


Fig. 3.3b Niveles de DO sobre valores de saturacion con correccion de Presio

aire resultante o las burbujas de oxígeno y aire se distribuyen hacia afuera, entonces el efecto de la presión hidrostática sobre el promedio de burbujas de gas causa el incremento.

### Máximos Niveles Efectivos de Oxígeno en la Pulpa

Han sido obtenidos bajo condiciones normales de lixiviación, esto es, una cantidad suficiente de cianuro en la pulpa y niveles de oxígeno controlando la tasa de reacción de lixiviación.

Valores que indican los máximos niveles de oxígeno a varias concentraciones de cianuro se muestran a continuación.

Cianuro	Oxígeno
50 ppm	6.2 ppm
100 ppm	12.3 ppm
200 ppm	24.6 ppm
300 ppm	36.9 ppm
400 ppm	49.2 ppm

Estos valores son efectivos para varios niveles de concentración de NaCN.

Los datos sugieren que los valores pueden ser pequeños cuando se usa oxígeno en lugar de aire y a concentraciones de cianuro abajo de



los 100ppm.

## CAPITULO IV

### ANALISIS DE PRUEBAS EXPLORATORIAS

#### 4.1. PRUEBAS EXPLORATORIAS CILO

El trabajo de prueba conducente al proceso CILO fue hecho por los laboratorios Hazen Reseach, en EE.UU. Tres pruebas sobre menas de Sud Africa para probar el resultado en la disolución de oro, el cual fue más alto en estas pruebas que en las pruebas convencionales, también el consumo de cianuro fue menor.

Pruebas más detalladas fueron hechas sobre un amplio rango de comportamiento de oro. Los resultados de estas pruebas están reproducidos en la Tabla 4.1. Promediando los resultados obtenidos para menas de Sud Africa A,B y C, un gráfico puede ser construido, el cual representa las ventajas que tiene el proceso CILO sobre el método CIL, con respecto a la disolución de oro (Fig. 4.1).

Los resultados también indican claramente las ventajas que el proceso CILO tiene con respecto al consumo de cianuro para un corto tiempo de retención.

## de Laboratorio CILO

		% de Extraccion			Consumo de Cianuro (g/t)		
		CIL 24hr	CILO 8hr	CILO 24hr	CIL 24hr	CILO 8hr	CILO 24hr
1 Sud Africa	8.59	90.2	89.5	93.1	87	17	125
3 Sud Africa	2.30	95.4	89.6	98.1	61	9	85
3 Sud Africa	4.57	90.1	89.6	91.8	101	26	130
Nevada	1.77	79.4	78.8		145	80	
Nevada	4.23	83.1	78.4		240	170	
California	3.08	79.0	84.2		260	190	
Utah	2.74	59.1	61.9		90	20	
Ontario	0.72	17.8	15.7		145	65	
California	8.15	98.3	97.2		205	10	
Nevada Oxido 1	3.88	85.8	85.3	85.0	225	95	315
Nevada Oxido 2	3.58	97.1	30.7	38.8	150	145	240
Sud Africa	3.34	96.69	35.75	97.02	113	91	142
Ontario (colas)	2.05	68.1 43hr	68.3 20hr	92.0 96hr	282	131	345
Nevada Subterranea	7.00	91.0 43hr	33.4 8hr 4	92.0 43hr	835	680	950
Nevada Carbonacess	4.82	84.2 48hr	81.3 10hr	87.7 48hr	6155	4875	6910

Tabla 4.2 Comparacion de CILO y Lix. acelerada con Oxigeno

Muestra	24-hr Lix. Aire	24-hr CIL	24-hr Lix. Oxig.	24-hr CILO	8-hr Lix. Oxig.	8-hr CILO
Extraccion (%)						
# 1	96.37	96.68	94.26	96.93	63.78	95.63
# 2	94.84	96.70	92.93	37.11	92.93	95.95
Promedio	95.50	96.69	93.60	97.02	93.35	85.79
Cianuro Consumida (g/t)						
# 1	65.0	110.0	123.0	118.7	32.2	64.8
# 2	134.0	115.0	1125	188.0	84.5	117.0
	99.5	1424	117.8	1424	88.4	80.9

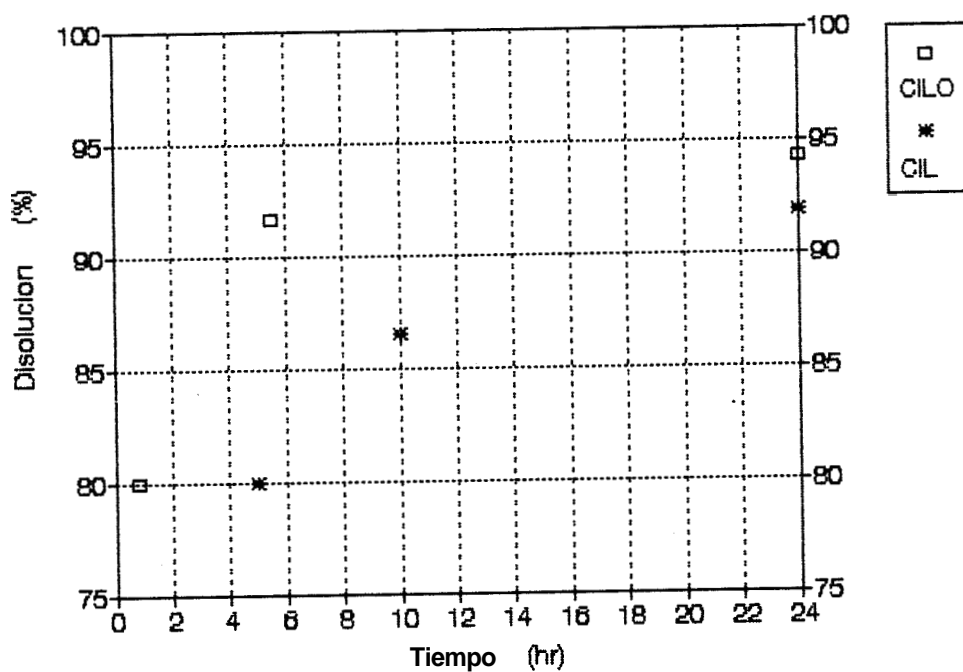


Fig. 4.1 Pruebas CIL/CILO - Kamyr Hazen

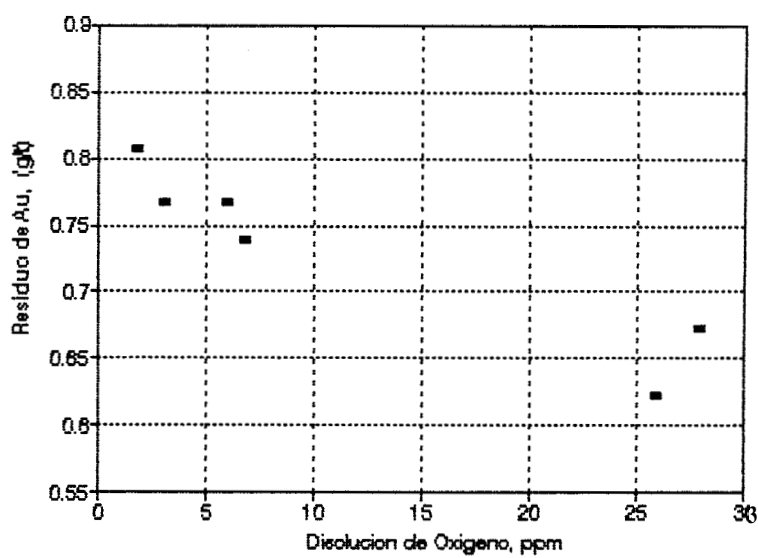


Fig. 4.2 Efecto de DO en Beakers Agitados



	Atmósfera	
	Aire	Oxígeno
Tiempo de Lixiviación, hr	<b>24</b>	<b>5</b>
Residuo del Análisis, g/t Au	<b>0.605</b>	<b>0.534</b>
Extracción de Au, %	<b>68.65</b>	<b>69.03</b>

de la prueba. Se ha desarrollado procesos alternativos para ese tipo de menas. Aplicando una purga continua de oxígeno para asegurar niveles elevados de DO durante el período que dura la prueba. El proceso de las pruebas CILCO aplicado normalmente por Hazen Research Inc. está incluido al final en Anexo 1.

Para asemejar más aproximadamente **las** condiciones de la planta, se han usado varias mezclas de nitrógeno y oxígeno para obtener niveles de equilibrio de oxígeno muy bajos en la pulpa. La pruebas arrancan en beakers agitados, pero las técnicas son también aplicables para pruebas en botella. Los resultados están descritos en la Fig. 4.2.

Las pruebas para diferentes tiempos también muestran una pequeña reducción en el residuo después de **24** horas de proceso aproximadamente. Esto muestra la importancia de las pruebas para determinar el tiempo Óptimo para reducir el consumo de cianuro.

Otras pruebas se han efectuado con el fin de observar al proceso CILCO frente a un proceso de lixiviación ayudada con oxígeno, los resultados se muestran en la Tabla **4.2**. Aparece un pequeño mejoramiento en la recuperación y un pequeño incremento en el consumo de cianuro en todos los resultados de lixiviación-absorción comparadas con las pruebas de lixiviación en botellas rotatorias.

Presumiblemente la diferencia es en gran parte el resultado de la absorción de oro de la solución y el resultado de la elevada fuerza de empuje para la disolución.

#### **4.2. TRABAJO DE PRUEBA EN PLANTA PILOTO**

El trabajo de pruebas fue realizado en la planta piloto de Gencor, ésta investigación arranca con el trabajo de prueba hecho en los procesos investigatorios de laboratorio sobre dos tipos de mena, seguido por un trabajo de prueba hecho en Barberton usando una mena refractaria. Finalmente el trabajo de prueba fue hecho involucrando un tipo de mena Witwatersrand, recogida en Grootvlei Proprietary Limited Mines.

Todas estas pruebas fueron hechas en un recipiente cerrado de 0.5 m<sup>3</sup> adaptado con un agitador de velocidad variable, el oxígeno fue inyectado dentro de la pulpa para todas las pruebas enriquecidas con oxígeno.

##### **4.2.1. Procesos Investigatorios de Laboratorio**

El resumen del trabajo de pruebas usando menas de West Rand Consolidates Mines Limited y Barberton están sumarizados en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Resultados de Pruebas Exploratorias de Laboratorio

Material Alimentado	Cabeza de Au (gt)	Au no Disuelto (gt)			% Disolucion			Tasa Constante, 1/hr			Consumo de NaCN, gt			Duracion de la Prueba
		Duracion			Duracion			Duracion			Duracion			
		Total	A hr	B hr	Total	A hr	B hr	Total	A hr	B hr	Total	A hr	B hr	
Mena de West Rand	3.03	0.13	0.19	0.42	96.71	93.73	86.14	0.116	0.574	0.704	186	129	117.6	24
	3.03	0.12	0.12	0.15	96.04	96.04	96.06	0.105	0.626	1.225	94.8	90.6	66.3	23
Mena Barberton	1.91	1.4	1.49	1.5	25.7	21.99	21.47	0.009	0.049	0.092	163.2	161.8	163.2	23
	1.91	1.2	1.27	1.43	37.17	33.51	25.13	0.016	0.069	0.084	47.9	19.4	25.1	23
	1.95	1.23	1.49	1.5	36.92	23.69	23.08	0.016	0.05	0.084	167.5	72	72	23

## Condiciones de la Prueba

pH, ajustado o con limo o - 11

NaCN Anadido - 300 ppm al inicio

Concentracion de Oxi. - con aire de 6 a 9 ppm

- con oxigeno . 20 ppm

% de Solidos - 12

Carbon anadido - 20 g/l para la prueba CIL O



A continuación desglosamos un análisis de los resultados.

1. Para las menas de West Rand Consolidated Mines, la tasa de lixiviación para las pruebas enriquecidas con oxígeno es mayor durante la etapa inicial de la prueba. Sobre la duración total de la prueba, la tasa de lixiviación para el aire es mayor que para el oxígeno. La disolución obtenida con aire es menor que la obtenida con adición de oxígeno, aunque está no es una diferencia marcada al final de la prueba.
2. Para la mena Barberthon, la tasa de lixiviación es inicialmente la misma en ambos casos, aunque un poco más rápida en la prueba enriquecida con oxígeno en el caso CILO sobre la duración total de la prueba. La disolución de oro es incrementada en presencia de oxígeno.
3. Para las menas de West Rand Consolidated Mines el consumo de cianuro es mucho menor en las pruebas en las cuales el oxígeno fue añadido.
4. Para la mena Barberton, el consumo de cianuro en las pruebas de enriquecimiento con oxígeno es menor que para las pruebas

en donde el aire fue usado. Sobre la duración completa de la prueba, el consumo de cianuro para la prueba CIL0 y las pruebas donde el aire fue usado son casi similares.

#### **4.2.2. Pruebas de la Mena Barberton**

El material usado en la alimentación de esta serie de pruebas fue una mena refractaria comprendiendo una mezcla de mena subterránea, colas de planta de flotación y colas de material de regeneración.

Se realizaron tres pruebas para comparar el uso de aire y el uso de oxígeno, de las cuales:

- a) Prueba de lixiviación normal
- b) Una prueba tipo CIL/CIL0
- c) Otra prueba de lixiviación normal usando monitoreo de material regenerado de unas colas viejas represadas.

Un sumario de los resultados de los resultados está dado en la Tabla 4.4. Los resultados de la prueba CIL/CIL0 están dispuestos gráficamente en la Fig. 4.3.

A continuación desglosamos un análisis a partir de los resultados.

Tabla 4.4 Sumario de los Resultados de la Mena Barberton

Material Alimentado	Au en Cabeza (g)	Residuo de Au no disuelto				Porcentaje de Disolución				Tasa Constante, 1/hr				Consumo Cianuro (g)	Duración Prueba (hr)
		Duración				Duración				Duración					
		Total	6hr	2hr	1hr	Total	6hr	2hr	1hr	Total	6hr	2hr	1hr		
<b>Menas y Colas</b>															
Aire	4.84	0.88	2.27	3.66	3.75	81.82	63.1	26.46	22.62	0.078	0.132	0.157	0.261	319	24
Oxígeno	5.1	0.84	1.16	2.23	3.46	83.63	77.45	66.27	32.16	0.068	0.282	0.427	0.398	309	24
<b>Menas y Colas</b>															
Aire	3.67	1.08	1.32	1.78	2.29	70.67	64.03	51.5	37.6	0.069	0.177	0.373	0.484		16
Oxígeno	3.38	1.09	0.81	1.19	1.12	67.75	76.04	64.79	66.86	0.027	0.175	0.541	1.146		16
<b>Colas</b>															
Aire	1.685	1.19	1.485	1.46	1.485	29.38	11.87	13.36	11.87	0.021	0.016	0.073	0.129	186	14
Oxígeno	1.6	0.83	1.09	1.27	1.22	48.13	31.88	20.63	23.75	0.09	0.058	0.118	0.278	128	14

## Condiciones de la Prueba

pH - 11.0

Cianuro Inicial - 1.17

## Concentración de Oxígeno

- con aire 7 ppm

- con oxígeno &gt; 20 ppni

Razon de Pulpa - entre y 1.4

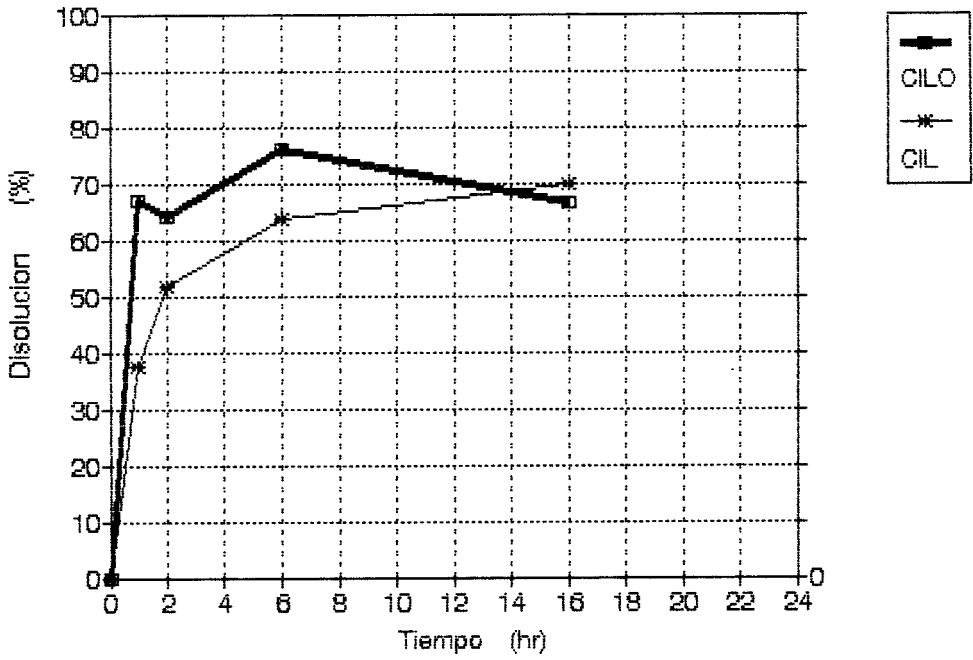


Fig. 4.3 Pruebas CIL/CILO - Mena Barberton

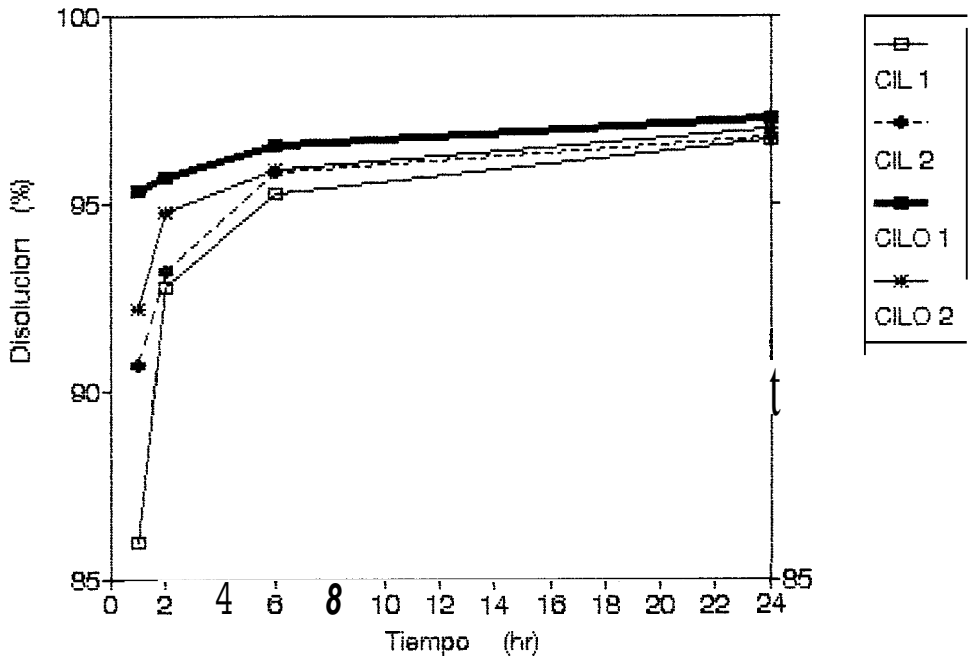


Fig 4.4 Pruebas CIL/CILO - Mena Barberton

obtenida sobre este material es mayor sobre el período completo de la prueba enriquecida con oxígeno. La disolución final es significativamente mayor en el caso de la prueba con oxígeno comparada con la prueba en la cual el aire fue usado.

4. El consumo de cianuro es menor en el caso de las pruebas de lixiviación normales, sobre las menas y sobre colas cuando el oxígeno es usado.

#### **4.2.3. Pruebas de la Mena Witwatersrand**

El material de alimentación usado en este trabajo de prueba fue mena subterránea de Grootvlei Proprietary Gold Mines, la planta de lixiviación alimenta específicamente al circuito de absorción con carbón.

Fueron hechas tres pruebas que comprenden:

- a) Una prueba de lixiviación normal
- b) Una prueba tipo CIL/CILO
- c) Una prueba CIL/CILO con una concentración de cianuro significativamente mayor. Cada prueba fue llevada a cabo, dos veces con aire y dos veces con oxígeno.

Un sumario de los resultados está dado en la Tabla 4.5. Los resultados de la prueba

Tabla 4.6 Sumario de Resultados de la Mena Witwatersrand

Material Alimentado	Cabeza de Au gt	Residuo de Au no Disuelto				Porcentaje de Disolucion				Tasa de Disolucion				Consumo de Cianuro, gt				Duracion de la Prueba
		Duracion Total	6hr	2hr	1hr	Duracion Total	6hr	2hr	1hr	Duracion Total	6hr	2hr	1hr	Duracion Total	6hr	2hr	1hr	
<b>Mena</b>																		
Aire 2	3.03	0.11	0.15	0.23	0.19	96.37	95.05	92.41	93.73	0.08	0.346	1.194	2.626	65	35.8			24
Aire 3	2.8	0.15	0.17	0.31	0.54	94.64	93.93	88.93	80.71	0.094	0.448	1.19	1.735	134	98.2			24
Oxigeno 1	2.09	0.12	0.13	0.17	0.2	94.26	93.78	91.87	90.43	0.062	0.358	1.366	2.561	123	92.2			24
Oxigeno 4	2.83	0.2	0.2	0.22	0.22	92.93	92.93	92.23	92.23	0.036	0.335	1.416	2.832	112.5	84.5			24
<b>Mena</b>																		
Aire 6	3.01	0.1	0.14	0.22	0.42	96.68	95.35	92.69	86.05	0.123	0.508	1.43	2.104	110	64	60	29	24
Aire 7	3.64	0.12	0.15	0.25	0.34	95.7	95.88	93.13	90.66	0.112	0.488	1.39	2.592	115	77	44	37	24
Oxigeno 5	3.25	0.1	0.11	0.14	0.15	96.93	96.63	96.71	95.4	0.09	0.454	1.625	3.629	118.7	64.8	45.2	43.2	24
Oxigeno 8	3.45	0.1	0.14	0.18	0.27	97.11	95.95	94.8	92.2	0.035	0.452	1.494	2.827	166	117	98	70	24
<b>Mena</b>																		
Aire 10	2.71	0.11	0.14	0.14	0.25	95.94	94.83	94.83	90.41	0.088	0.448	1.587	2.558	180	120	100	90	24
Aire 11	4.01	0.11	0.15	0.18	0.4	97.26	96.26	95.51	90.02	0.132	0.532	1.768	2.508	169.5	110	95.1	75.3	24
Oxigeno 9	3.1	0.09	0.09	0.2	0.2	97.1	97.1	93.55	93.55	0.13	0.621	1.552	3.092	123.2	64.2	20.2	15.1	24
Oxigeno 12	2.52	0.1	0.11	0.12	0.14	96.03	95.63	95.25	94.44	0.065	0.352	1.535	3.315	215.9	152	97.5	65.5	24

## Condiciones de la Prueba

- pH 11.0 \* 11.0  
 Adicion de Carbon - 6 \* 6 Kg  
 Concentracion Oxigeno \* con aire, de 4 a 8 ppm  
 Con Oxigeno entre 20 y 30 ppm  
 Razon de Pulpa \* entre 0.60 y 1.03  
 Granulometria \* entre 64.1 y 79.5% menor de 75 micras  
 Adicion de Cianuro \* Concentraciones entre 200 y 700 ppm

CIL/CILO están representados en la Figura 4.4.

A continuación desglosamos un análisis realizado en base a estos resultados.

1. La tasa de lixiviación inicial es más rápida en el caso de la pulpa enriquecida por oxígeno. Después de esto disminuye hasta el final de la prueba, la tasa para la prueba de aire agitado es generalmente más rápida que para la pulpa enriquecida por oxígeno.
2. La disolución obtenida para las pruebas CIL y CILO son mayores que para las pruebas de lixiviación normal.
3. Las pruebas CILO parecen tener una menor cantidad de oro no disuelta comparada con la prueba CIL.
4. El incremento en la concentración de cianuro aparentemente no mejora la disolución de oro ni la tasa de lixiviación comparada con la concentración "normal" de cianuro.
5. El consumo de cianuro para una lixiviación normal no fue reducido por la presencia de oxígeno. Para las pruebas CIL/CILO, la diferencia en el consumo de cianuro no es muy marcada, pero es menor para la prueba

CIL. Para las pruebas CIL/CILO conteniendo una elevada concentración de cianuro, el consumo de cianuro en las pruebas de aire agitado CIL es menor que para las pulpas enriquecidas con oxígeno, esto es las pruebas CILO.

Los resultados de los trabajos de prueba muestran que el proceso CILO tiene una razonable cantidad de promesas en el tratamiento de menas refractarias.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

#### PAL

1. El empleo del proceso de lixiviación con adición de peróxido de hidrógeno, en el laboratorio y para los fines de la presente tesis, nos permite demostrar que mediante él podemos producir un notable incremento en la cinética de la cianuración.
2. La velocidad de disolución de oro mediante el proceso **PAL** se incrementa de manera significativa durante las primeras cuatro horas de agitación. Luego de este lapso la velocidad de disolución de oro decrece y tiende a equipararse con la presentada en el proceso convencional.
3. Considerando que durante las primeras cuatro horas de proceso se logró disolver hasta el 94.2% del oro disuelto al final de la prueba, se puede creer que alcanzando buenas condiciones de cianuración este tiempo de lixiviación puede ser el requerido para el proceso **PAL**.
4. El consumo de cianuro que se tiene durante las primeras cuatro horas de agitación con adición de peróxido es igual e incluso menor al que se tiene en condiciones normales de lixiviación, durante el mismo período de tiempo, considerando esto y tomando en cuenta la

conclusión anterior, se puede pensar en la posibilidad de parar el proceso en el tiempo mencionado. Con lo que se conseguiría ahorros impresionantes en cuanto a tiempo (83.3%) y consumo de cianuro (alrededor del 36%).

5. El consumo de cal para el control del pH no presenta diferencias significativas entre el proceso convencional y el proceso con adición de peróxido de hidrógeno, por lo que económicamente no sería un factor significativo.

### CILO

1. El proceso CILO brinda un ahorro en cuanto a tiempo de retención de 79.16%, ya que se requiere de 5 horas de proceso para alcanzar recuperaciones iguales o mejores a las obtenidas en el proceso CIL convencional.
2. Se producen muy importantes ahorros de cianuro (aproximadamente 45%), el cual se atribuye a la disminución de dióxido de carbono presente en la pulpa, debido al mayor nivel de oxígeno y a que el proceso emplea tanques sellados que no permiten el contacto de la pulpa con el CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera.
3. Para menas que son grandes consumidoras de oxígeno, el proceso no es muy recomendable, excepto si se tiene una purga continua de oxígeno, y los requerimientos económicos de este no sean elevados.

## RECOMENDACIONES

1. Continuar las investigaciones sobre el proceso PAL en el laboratorio, realizando pruebas sobre otro tipo de menas, ya que este trabajo muestra el comportamiento de una mena de Ponce Enríquez, que tienen un elevado contenido de sulfuros.
2. Realizar pruebas tipo planta piloto, para de esta manera averiguar el comportamiento cuando se trata grandes cantidades de mena a nivel comercial.
3. Tener mucho cuidado con el manejo de peróxido de hidrógeno, ya que es un oxidante muy fuerte y puede resultar peligroso.
4. Tratar de implementar en los laboratorios de la facultad el equipo y la infraestructura adecuada para probar el proceso CILO y verificar los resultados que se han conseguido hasta la fecha en otros laboratorios.
5. Siempre que se adopte un proceso que involucre el uso de cianuro debe brindarse la debida importancia al cuidado del medio ambiente, realizando el tratamiento debido a a los efluentes producto de estos procesos.

## ANEXO 1

Procedimiento usado por Hazen Research, Inc. para las pruebas en botella rotatoria.

Las pruebas en botella rotatoria para el proceso CILO de Kamyrr son una extensión de las pruebas en botella rotatorias que se usan ampliamente en la industria de procesamiento mineral.

Equipos:

- Botellas de Reacción (2 litros)
- pH-metro
- Papel filtro # 40
- Filtro de botella (2 litros)
- Cilindros Graduados, **500** y 1000ml
- Compresor de Oxígeno
- Cribas # 40 (malla **35** ASTM) para usar con carbón Calgón PCB, 12 \* **30** mesh
- Cribas # 20 (malla 20 ASTM) para usar con carbón Calgón GRC, 6 \* 10 mesh

Químicos:

- Solución buffer pH 10
- Hidróxido de Calcio [Ca(OH)<sub>2</sub>]
- Cianuro de Sodio
- Agua destilada

- Oxígeno Comprimido ( $O_2$ )

**Procedimiento:**

1. Poner 300ml de agua destilada en la botella de reacción, añadir 300g de mena y la mitad del carbón requerido. Agitar la mezcla.
2. Chequear el pH
3. Añadir  $Ca(OH)_2$  para ajustar el pH hasta cerca 11, Agitar vigorosamente.
4. Añadir NaCN en las cantidades requeridas y agitar la pulpa.
5. Purgar el oxígeno a la botella de reacción por alrededor de 5 seg. y colocar los sellos.
6. Colocar sobre los rodillos de agitación
7. Después de un tiempo mínimo de una hora de retención se añade la cantidad de carbón necesaria y se vuelve a purgar oxígeno a la pulpa.
8. Al final de la prueba, se coge la botella de los rodillos, se quita los sellos y se toma una parte la solución.
9. Se filtra la pulpa a cribas # 40 o # 20, dependiendo del tipo de carbón empleado.
10. Filtrar y lavar la pulpa para los procedimientos normales.
11. Desaguar el residuo sólido y carbón y separar una muestra para oro.

12. Analizar la solución para cianuro y para oro.

La duración de la prueba se la determinó en base a las anticipadas características de lixiviación de la mena.

- En la purga de oxígeno se añade como mínimo 10 Volúmenes de este, se lo hace por medio de tubos que están completamente dentro de la botella, con una tasa de flujo no mayor a 10 l/min.
- Chequear el oxígeno disuelto a  $t=0.5$ ,  $t=6$  hr y al final de la prueba.

### Variación de los Procedimientos de las Pruebas CIL0

Hay dos variaciones del procedimiento usado para las pruebas CIL0, los cuales pueden ser convenientes para menas que consumen oxígeno, donde elevadas temperaturas son necesarias.

#### A. Pruebas en Botella con Purga continua de Oxígeno

Se perforaron huecos a 3/8-1/2" de diametro en el centro de los tapones de caucho para cada botella. El gas de oxígeno es añadido por un tubo de alrededor de 1/4-3/8" de diametro que es ajustado en el hueco.

Un pequeño flujo continuo de oxígeno es mantenido a lo largo de toda la prueba, seguido de la purga inicial de 10 volúmenes de gas como en el proceso normal. El exceso de gas puede ser ventilado al final por el ánulo del tubo de alimentación.

## B. Pruebas en Beakers Agitados

Las pruebas CILO pueden ser conducidas en beaker agitados por burbujeo continuo de oxígeno a la pulpa. Se puede poner un pequeño tanque aireador en la base del beaker, lo que ayudaría a una disolución eficiente. El beaker puede ser tapado con una cubieta plástica que debe ser sellada. El exceso de gas puede ser ventilado por el ánulo del ventilador agitador.

## BIBLIOGRAFIA

1. Anonymoos. CILO Process Carbon-in-leach-with-oxygen  
Kamyr Inc., U.S.A.
2. DeRuijter, M.A., P.C. Van Aswegen, and C.L. Elmore,  
"The Kamyr Carbon-in-leach-with-oxygen (CILO)  
Process" presented at the Leaching Colloquium held by  
The South African Institute of Mining and Metallurgy,  
November 8 and 9, 1988, Randburg, South Africa.
3. Elmore, C.L., Brison, R.J. and Kenney, C.W.  
Development of a Carbon in Leach With Oxygen (CILO)  
process for gold ores.
4. McMaster, J.A., Update on the Kamyr CILO process.  
paper presented for the Randol Conference Sacramento,  
California, November 1989.
5. Ming, N. Cyanidation tests on WORCM slimes and FRP  
(Fairview) using Kamyr "CILO" process-Gencor Group  
Laboratories (Process Research) Report Number PR  
86/43f, 3 October 1987.
6. Update on Peroxide Assisted Gold Leaching,  
Engineering Mining Journal, June, 1991, pp 36-37
6. U.S. Patent No. 4,816,234, Utilization of oxygen in  
Leaching and/or Recovery Procedures Employing Carbon,  
March 28, 1989. Assigned to Kamyr, Inc. Glens Falls,  
New York.