



\*D-I 3884\*



T  
622.4866,  
7712

# **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**“CIANURACION POR AGITACION DE LAS ARENAS  
DEL SECTOR LA INDEPENDENCIA”**

**TQPICO DE GRADUACION**  
**Pevia a la obtención del Título de:**  
**INGENIERO EN GEOLOGIA**



Presentada por:

**JOSEDIONISIOVILLACRESEPIN**

Guayaquil - Ecuador

**1993**

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi especial gratitud al Ing. Hugo Egüez por su preocupación más allá de sus responsabilidades como director de Tópico.

A los profesores, quiénes impartieron sus sabios conocimientos y experiencia durante mi vida estudiantil.

A mis amigos y compañeros de estudio que de una manera han colaborado a alcanzar esta meta.



## DEDICATORIA

A mis padres:

RUFINO VILLACRECES Y DOLORES PIN

**Quiénes** constituyeron la base primordial en la **culminación** de mi carrera; por sus **constantes** sacrificios vida ejemplar **y** excelente **orientación**.

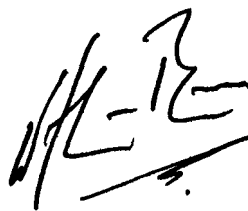
A mis hermanos:

IGNACIO, VICTORIA, ELEODORO, OFELIA, ROSA, ESTHER Y MARCOS, quienes me han brindado en **todo** momento su **cariñosa** ayuda y **compresión**.

A mi **compañera** PELAGIA y a los **pequeños** JOSE IGNACIO, VICTOR MARCELO y JOSE GABRIEL, quienes con su existencia han dado un mayor aliciente a mi vida.



Ing. Hugo Egúez Alava  
DIRECTOR DEL TOPICO



Ing. Walter Camacho Navarro  
HIEHBRO DEL TRIBUNAL



## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por **los** hechos, ideas y **doctrinas** expuestas 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).

---

JOSE DIONISIO VILLACRESES PIN

## RESUMEN

La cianuración por agitación es el método de lixiviación que permite una mayor recuperación de oro; por lo tanto es uno de los más difundidos universalmente. Sin embargo en nuestro país la metalurgia del oro es de bajo nivel tecnológico y son pocas las plantas procesadoras que trabajan en base de este método.

El presente trabajo fue realizado dentro del programa de TOPICO DE GEOLOGIA, que es una alternativa de graduación que ofrece la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

El objetivo fue el de estudiar las características del oro y la plata de la arena de concentrado de canalón de la mena del sitio La Independencia, ubicado en el Cantón de Santa Isabel; y conocer los parámetros más óptimos que permiten la recuperación de oro utilizando el método de cianuración de las arenas por agitación.

Las pruebas fueron realizadas en el Laboratorio de Mineralurgia con excepción de las de Absorción Atómica, las cuales sobre el espectrofotómetro en el Laboratorio Instrumental del Instituto de Química.

Se determinaron **los tenores** generales de oro y de plata de las arenas, **los** cuales **dieron** un valor de 58 g/T y 42.3 g/T respectivamente, lo que viene a constituir una cantidad **apreciable** de oro; **además** se hicieron pruebas granulometricas y se determinaron **los tenores** de las diferentes fracciones, arrojando **como** resultado que la cantidad de oro era mayor en las fracciones **finas** (-140 mesh).

Como paso previo a la **cianuración** se determine la densidad de las arenas y las características de las **pulpas**, la que trabajaria con una densidad **del** 40%.

La **lixiviación** se **realizó** utilizando cianuración en botella de **agitación**, la **recuperación** de las soluciones cianuradas por el **método** de CHIDEY y el control de las soluciones se hizo por **titulación**. Se realizaron tres pruebas.

En la **primera** prueba se trabajo con una **concentración** de cianuro de sodio de 1 g/T y de cal 0.5 g/T, obteniendose una **recuperación** de 78.2 %; sin embargo el **consumo** de cianuro fue bastante elevado. En la segunda prueba la **concentración** de cianuro de sodio fue de 0.3 g/l y la cal se mantuvo en 0.5 g/l obteniendo una **recuperación** de 45 % y disminuyendo en consumo de cianuro. En la tercera prueba se **trabajó** con una **concentración** de 0.5 g/l de cianuro e igual **concentración** del cal; recuperando el 84.8 %.

A cada una de las tres pruebas de **cianuración** se le realizaron control de las soluciones **por absorción atómica**, para conocer la forma en que se iba disolviendo el **oro** al pasar **el** tiempo.

De acuerdo a las pruebas realizadas se ha encontrado que existe una buena **recuperación del oro** de la **mena** de La Independencia'por el **método de cianuración por agitación**.

## INDICE GENERAL

|                              | PAGS. |
|------------------------------|-------|
| RESUMEN .....                | VI    |
| INDICE GENERAL .....         | IX    |
| INDICE DE ABREVIATURAS ..... | XII   |
| INTRODUCCION .....           | XIV   |

### CAPITULO I

#### FUNDAMENTOS TEORICOS

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1 DATOS HISTORICOS DE LA CIANURACION .....                          | 15 |
| 1.2 PRINCIPIOS DE LA CIANURACION .....                                | 16 |
| 1.2.1 <b>Descomposición</b> de las soluciones de <b>cianuro</b> ..... | 17 |
| 1.2.2 Tiempo de <b>cianuración</b> .....                              | 18 |
| 1.2.3 <b>Concentración</b> de cianuro .....                           | 18 |
| 1.2.4 <b>Tamaño</b> de la <b>partícula</b> .....                      | 19 |
| 1.2.5 Densidad de la <b>Pulpa</b> .....                               | 19 |
| 1.2.6 Efecto <b>del</b> oxígeno .....                                 | 19 |
| 1.2.7 Alcalinidad .....                                               | 20 |
| 1.2.8 Temperatura .....                                               | 20 |
| 1.3 FASES DE LA CIANURACION .....                                     | 21 |
| 1.4 METODOS DE LIXIVIACION .....                                      | 21 |
| 1.4.1 Lixiviación por <b>percolación</b> .....                        | 22 |
| 1.4.2 Lixiviación por <b>agitación</b> .....                          | 22 |
| 1.5 METODOS DE RECUPERACION .....                                     | 24 |
| 1.5.1 <b>Utilización</b> del <b>carbón</b> activado .....             | 25 |
| 1.5.2 <b>Cementación</b> con polvo de zinc .....                      | 25 |

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 1.6 ASPECTOS ECOLOGICOS RELACIONADOS CON EL PROCE- |    |
| SO DE CIANURACION . . . . .                        | 27 |

## CAPITULO II

### AGITADORES

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 2.1 TIPOS DE AGITADORES . . . . .             | 29 |
| 2.2 AGITADOR BROWN O TANQUE PACHUCA . . . . . | 30 |
| 2.3 TANQUE <b>PARRAL</b> . . . . .            | 31 |
| 2.4 AGITADOR DORR . . . . .                   | 31 |
| 2.5 AGITADOR WALLACE . . . . .                | 32 |
| 2.6 TURBO MIXER . . . . .                     | 33 |

## CAPITULO III

### PERFIL DE LA ZONA

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 3.1 ASPECTOS GEOGRAFICOS . . . . .               | 34 |
| 3.2 MARCO GEOLOGICO . . . . .                    | 34 |
| 3.3 <b>POTENCIAL MINERO</b> . . . . .            | 35 |
| 3.4 <b>LABORES Y DESARROLLO MINERO</b> . . . . . | 36 |

## CAPITULO IV

### PRUEBAS DE LABORATORIO

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR DE LAS ARENAS . . . . .                                                           | 38 |
| 4.2 DETERMINACION DE LA DENSIDAD . . . . .                                                                   | 39 |
| 4.3 <b>ANALISIS PIROMETALURGICO</b> . . . . .                                                                | 40 |
| 4.3.1 <b>Determinación de tenores generales de oro</b><br>y plata <b>para</b> las arenas . . . . .           | 40 |
| 4.3.2 <b>Determinación de tenores de oro y plata</b><br><b>paracadafracción</b> . . . . .                    | 43 |
| 4.4 <b>ANALISIS DE RECUPERACION DE ORO POR CIANURACION</b><br><b>MEDIANTE BOTELLA DE AGITACION</b> . . . . . | 47 |
| 4.4.1 <b>Determinación de la densidad de pulpa</b> . . .                                                     | 48 |



|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.4.2 Metodología de trabajo de la <b>cianuración</b><br>por <b>agitación</b> . . . . . | 49 |
| 4.4.3 Determinación de la <b>concentración</b> de<br>cianuro . . . . .                  | 51 |
| 4.4.4 <b>Determinación</b> de la <b>concentración</b> de <b>cal.</b>                    | 52 |
| 4.4.5 <b>Recuperación</b> de oro de soluciones<br>cianuradas . . . . .                  | 52 |
| 4.5 <b>ANÁLISIS DE ABSORCIÓN ATÓMICA</b> . . . . .                                      | 64 |
| 4.5.1 Procedimiento . . . . .                                                           | 65 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .                                                | 72 |
| BIBLIOGRAFÍA . . . . .                                                                  | 75 |

## INDICE DE ABREVIATURAS

|                    |                                 |
|--------------------|---------------------------------|
| <b>g</b>           | Gramo                           |
| <b>mg</b>          | Miligramo                       |
| <b>Kg</b>          | <b>Kilogramo</b>                |
| <b>T</b>           | Tonelada <b>métrica</b>         |
| <b>H</b>           | Hora                            |
| <b>MIN</b>         | Minutos                         |
| <b>cc</b>          | Centimetro <b>cúbico</b>        |
| <b>l</b>           | Litro                           |
| <b>ml</b>          | Mililitro                       |
| <b>n m</b>         | <b>Nanómetro</b>                |
| <b>PPM</b>         | Partes por <b>millón</b>        |
| <b>°C</b>          | Grado <b>centígrado</b>         |
| <b>RPM</b>         | Revoluciones por minuto         |
| <b>P</b>           | Porcentaje de solidos por peso  |
| <b>ws</b>          | Peso de <b>solido</b>           |
| <b>Wl</b>          | Peso de <b>liquido</b>          |
| <b>M</b>           | Masa                            |
| <b>Wt</b>          | Peso total                      |
| <b>ΔWi</b>         | Peso retenido                   |
| <b>ΔWi/Wt</b>      | Fracción de peso retenido       |
| <b>ΣΔWi/Wt</b>     | Pasante acumulado               |
| <b>LECT Ac. Ox</b> | <b>Lectura de ácido oxálico</b> |
| <b>CONC Cal</b>    | <b>Concentración de cal.</b>    |
| <b>VOL</b>         | Volumen                         |
| <b>VOL SOL</b>     | Volumen de <b>solido</b>        |
| <b>VOL LIQ</b>     | Volumen de <b>liquido</b>       |

|            |                                    |
|------------|------------------------------------|
| VOLo       | Volumen <b>inicial</b>             |
| VOLf       | Volumen final                      |
| VOLd       | Volumen desplazado                 |
| PORC RECUP | Porcentaje de <b>recuperación</b>  |
| LECT NIT   | <b>Lectura</b> en nitrato de plata |
| ADIC CAL   | <b>Adición</b> de cal              |
| ADIC CIAN  | <b>Adición</b> de cianuro          |

## INTRODUCCION

el oro como todo material es un recurso natural no renovable que se encuentra en la corteza terrestre y cuyo proceso de utilización puede ser costoso, lo importante no es tanto poseerlo si no saber explotarlo y negociarlo.

La actividad minera en el Ecuador se reinició en la década de los 80 con el descubrimiento de yacimientos auríferos en la region oriental del país, tales como Nambija, Pangui, Chinapinza, entre otros y reactivación de las minas de Portovelo y Zaruma.



El yacimiento de Ponce Enrique descubierto en 1983 es explotado activamente en la actualidad.

En el Ecuador la explotación del oro se realiza utilizando procedimientos de bajo nivel tecnológico originando pérdidas por la poca eficiencia en la recuperación. Además de que se pone en peligro el sistema ecológico y la seguridad de los obreros y sus familias.

En el presente trabajo se realizaron diversas pruebas de cianuración por agitación encaminadas a lograr los parámetros que permitan una mejor eficiencia en la recuperación de oro, los cuales podrian ser tomados en cuenta para una explotacion de mayor escala.

## CAPITULO I

### FUNDAMENTOS TEORICOS

#### 1.1 DATOS HISTORICOS DE LA CIANURACION

Los procesos de disolución de oro y plata han sido conocidos durante muchos siglos. Sin embargo solo con el descubrimiento en 1840 por el Dr. Wright de Birmingham (Inglaterra) de la disolución del oro por cianuro se entra a un método aplicable a operaciones industriales.

En 1887 J. S. Mac Arthur y los hermanos Ferrests demostraron que el oro y la plata podían ser disueltos en soluciones diluidas de cianuro y luego podrían precipitarse con polvo de zinc, de la solución.

El proceso de cianuración fue aplicado por primera vez en las minas de Crown en Nueva Zelandia en 1883 y rápidamente se expandió en Sud-Africa, Australia y EE.UU., correspondiendo las primeras aplicaciones al oro y posteriormente a la plata.

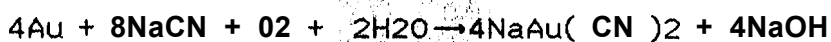
C. I. MERRILL Perfeccionó el proceso de precipitación de oro con polvo de zinc y T. B. CROW aplicó el vacío para eliminar el aire de la solución antes de la precipitación.

Entre 1899 y 1912 JOHN DORR inventó el clasificador, el espesador y el agitador mecánico, inventos con los cuales se pudo operar la cianuración en unidades de gran volumen, con mayores recuperación y bajo costo.

Como se puede observar a pesar de el tiempo transcurrido la cianuración no solo mantiene su vigencia y aceptación para el tratamiento de minerales auríferos y argentíferos sino que va adaptando nuevas formas para adecuarse a otros tipos de minerales (1).

## 1.2 PRINCIPIOS DE LA CIANURACION

La cianuración utiliza la propiedad del oro y de la plata de disolverse en soluciones diluidas de cianuro de sodio o de potasio. Se ha establecido que en condiciones normales la reacción que rige la disolución de el oro en soluciones de cianuro es la siguiente:



En un sistema relativamente sencillo de este tipo el oro se disuelve rápidamente. Los únicos requisitos

son: que el oro esté libre, que la solución de cianuro no contenga impurezas y que este presente una adecuada cantidad de oxígeno en la solución durante todo el período de la reacción.

En la práctica muchos minerales de oro se comportan de acuerdo a la reacción general. Sin embargo otros presentan una serie de problemas químicos que dependen de los constituyentes de los minerales, siendo los más importantes fuentes de perturbación los minerales de cobre, zinc, níquel y arsénico.

A continuación se detallan parámetros que deben ser controlados y sus efectos en el proceso de cianuración.

#### 1.2.1 Descomposición de las Soluciones de Cianuro

En una de las principales causas de un alto consumo de cianuro y puede darse por lo siguiente:

- Aguas contaminadas con sustancias orgánicas y sales solubles.
- Cianicidas que son sustancias presente en el mineral y que consumen cianuro.

En la práctica la adición de cal a una pulpa de cianuro es prácticamente universal para tratar

de evitar la descomposición del cianuro libre (1).

### 1.2.2 Tiempo de cianuración

Es muy variable y depende de factores tales como la composición mineralógica, tamaño de las partículas de oro y plata, grado de liberación, concentración de cianuro en la solución y la temperatura del medio ambiente (2).

### 1.2.3 Concentración de cianuro

La velocidad de disolución de oro aumenta rápidamente con la concentración hasta alcanzar un máximo. A mayor concentración por encima de este punto va a existir una ligera disminución de la recuperación y un mayor gasto en el consumo de cianuro porque empiezan a formarse cianocidas por la descomposición de las impurezas (2).

En la práctica la mayoría de las plantas de cianuración que benefician menas de oro utilizan soluciones que contienen menos de 0.05 % de NaCN; el promedio general probablemente esté cerca del 0.02 al 0.03 %.

#### 1.2.4 Tamaño de partícula

El tamaño de las partículas tiene incidencia en la velocidad de disolución, cuando se presenta el oro en grano grueso la práctica usual es eliminarlo antes de la cianuración. De otro modo estas partículas gruesas podrían no disolverse completamente en el tiempo disponible para la cianuración.

BARSKY y otros descubrieron que la velocidad máxima de disolución de oro era de 3.25 mg por centímetro cuadrado por hora. Y para la plata toma el doble del tiempo para disolverse (2).

#### 1.2.5 Densidad de pulpa

El porcentaje de sólidos por peso en la pulpa por lo general deben estar comprendidos entre 30 y 60 %.

A bajos porcentajes de sólidos existe mayor cantidad de soluciones en contacto con las partículas minerales y se obtiene una disolución mayor, sin embargo aumenta el consumo de cianuro (1).

#### 1.2.6 Efecto del oxígeno

El empleo de oxígeno o de un agente oxidante

es esencial para la disolución del oro bajo condiciones normales de cianuración.

Sin embargo los agentes oxidantes han caído en desuso y se ha mostrado que una adecuada aereación bajo condiciones normales da muy buenos resultados.

#### 1.2.7 Alcalinidad

La alcalinidad protectora se debe mantener en la solución de cianuro mediante el empleo de álcalis, tales como la cal para neutralizar la acidez de la pulpa y los efectos de los cianicidas. Lo ideal es mantener un **PH** entre **10.5 y 11**.

Aunque un exceso de cal protege al cianuro del hidrólisis, si el mismo es demasiado grande puede retardar la disolución del metal por lo tanto lo mejor es mantenerlo en el punto más bajo posible que sea compatible con un buen grado de extracción (6).

#### 1.2.8 Temperatura

Cuando se aplica calor a una solución de cianuro que contiene oro metálico, dos factores opuestos afectan a la velocidad de disolución.

Ser ía de esperar que el aumento de la temperatura aumente la actividad de la solucidn, aumentando así la velocidad de disolucidn del oro. Al mismo tiempo la cantidad de oxígeno de la solución disminuiría (2).

En l a práctica empleo de soluciones calientes para la extracción de oro de una mena tiene muchas desventajas, tales como el costo de calentamiento de la mena y de la solucidn, la descomposicidn creciente del cianuro debida al calor, consumo de cianuro, etc.

### 1.3 FASES DE LA CIANURACION

El proceso de cianuración tiene d o s fases principales:

- a.- Lixiviación.
- b.- Recuperacidn.

En la lixiviación el oro y la plata son disueltas en la solucidn de cianuro.

### 1.4 METODOS DE LIXIVIACION

El método de lixiviación es escogido tomando en cuenta el tenor de la mena y la facilidad con lo cual los minerales valiosos se disuelven en el reactivo deseado. De acuerdo a estos factores puede realizarse

## 1.4 METODOS D E LIXIVIACION

El método de lixiviación es escogido tomando en cuenta el tenor de la mena y la facilidad con la cual los minerales valiosos se disuelven en el reactivo deseado. De acuerdo a estos factores puede realizarse por percolación y por agitación.

### 1.4.1 Lixiviación por percolación

Para que exista una buena percolación se debe tener regularidad en el tamaño de las partículas para que no vaya a existir una compactación de las pequeñas entre las grandes debiendo siempre los finos no sobrepasar el 20% para no afectar la permeabilidad.

La lixiviación por percolación implica operaciones de bajo costo y permite tratar minerales de baja ley, sin embargo la recuperación no es mayor del 85 %.

La lixiviación puede realizarse en tinas, pilas y montones.

### 1.4.2 Lixiviación por agitación

Fue el único método aplicado convencionalmente durante años y consiste en tratar el material

para minimizar los polvos y producir el tamaño óptimo de partícula; las densidades de pulpa variando de 30 a 60 % de sólidos y el agente lixiviante que es el cianuro de sodio es agregado a la pulpa y agitado continuamente.

En la agitación el tiempo de contacto es de horas en lugar de días que se requiere para la percolación.

La agitación puede ser efectuada por agitación mecánica, por aire comprimido, o por agitación mecánica combinada con aire.

La lixiviación de la pulpa puede ser realizada en una etapa o en dos etapas; en una etapa esta puede ser un proceso por lotes o intermitente y continuo. En el proceso continuo una proporción fija de la solución cargada y de los sólidos se remueve del circuito; el remanente como también el filtrado se retornan al tanque de lixiviación. El método tiene la ventaja de alta economía especialmente para el consumo del reactivo.

En dos etapas se tiene la ventaja de recuperación de reactivo no usado.

Un diagrama de flujo para la lixiviación por

agitación es mostrado en la Fig. 1.

La ventaja de la agitación es que la recuperación puede ser mayor del 90 %; sin embargo se tiene que la desventaja de que se necesita molienda, que la solución resultante es diluida y que se necesita separación sólido líquido (4).

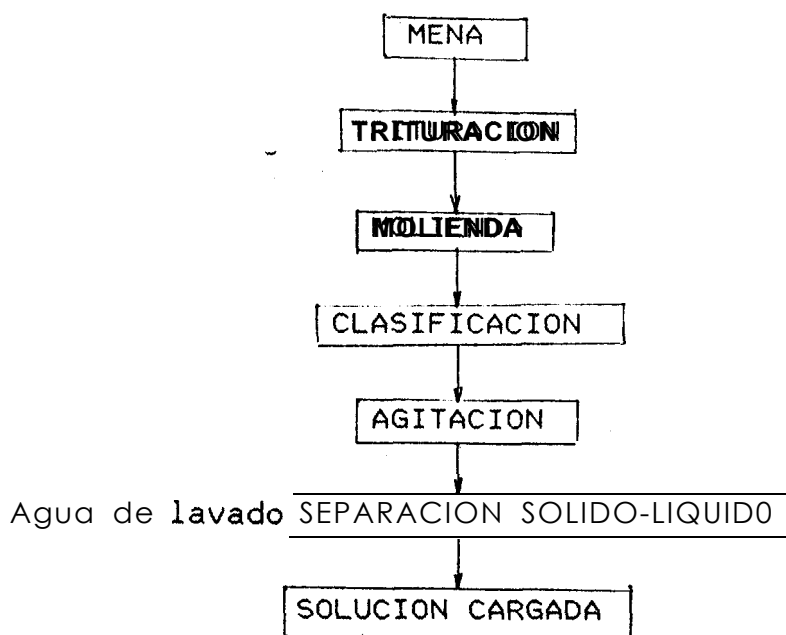


Fig. 1.

### 1.5 METODOS DE RECUPERACION

Existen varias formas de recuperar el oro y la plata de las soluciones cianuradas, pero son los métodos de absorción carbono activado y el de cementación con polvo de zinc los que destacan en nuestro medio por su mayor uso.

### 1.5.1 Utilización del carbón activado

En los últimos años se ha desarrollado el uso de carbón activado para recuperar principalmente oro a partir de soluciones con cianuro:

El principio del método consiste en tres básicas operaciones:

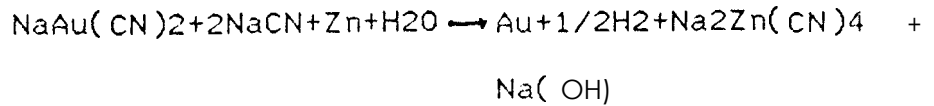
- Cargado, adsorción de oro y la plata desde la solución sobre el carbón.
- Desorción y reactivación, desorción del oro y la plata desde el carbón.
- Recuperación.

### 1.5.2 Cementación con polvo de zinc

El proceso para precipitar oro y plata sobre la superficie de zinc fue comercializado desde mucho antes que el proceso de cianuración. En el mismo.

Similar a otros procesos de cementación, la química está basada en el hecho de que el metal a ser recuperado de la solución (Au, Ag) es más noble que el metal usado para la cementación (Zn).

La reacción de cementación de oro usando el zinc en polvo puede ser descrita como:



o también:



La operación se debe llevar a cabo bajo condiciones fuertemente reductoras.

En la actualidad se han desarrollado tres reglas para mejorar la eficiencia del proceso:

- Adición de sales de plomo en cantidades controladas que permiten la deposición continua del oro.
- El uso de polvo de zinc en lugar de viruta; que incrementa la velocidad de precipitación.
- Deseaeración de la solución.

El proceso es eficiente para precipitar oro desde niveles de concentración tan bajos como 0.01 FFM, logrando recuperaciones mayores que **99 % (1)**.

## 1.6 ASPECTOS ECOLOGICOS RELACIONADOS CON EL PROCESO DE CIANURACION

Es conocido que los desechos industriales que contienen cianuro originan alteraciones ecológicas.

En el caso de la hidrometalurgia del oro y la plata donde se utiliza el cianuro para su obtención, este problema al igual que el originado por el mercurio en los procesos de amalgamación, deben de ser considerados dentro del estudio global del proyecto.

La industria ha demostrado que con instrucciones y entrenamiento adecuados el cianuro puede ser utilizado rutinariamente con poco riesgo para el trabajador y el medio ambiente.

Se pueden aplicar dos tipos de procesos para tratar las soluciones residuales de cianuro, y así evitar las contaminaciones:

- Regeneración del cianuro.
- Destrucción del cianuro.

En el proceso de regeneración se trata de acidificar las soluciones alcalinas residuales de cianuración, para formar el ácido cianhídrico el cual posteriormente se hará reaccionar con el hidróxido de sodio para formar el cianuro de sodio. Sin embargo la

principal dificultad de la aplicaci3n de este m3todo industrial es el manipuleo de una sustancia tan t3xica como el 3cido cianh3drico, por lo cual cualquier fuga resulta grav3sima y los equipos utilizados deb3n ser altamente sofisticados.

El proceso de , destrucci3n del c i a n u r o es m3s frecuentemente utilizado para su eliminaci3n de aguas residuales.

L a clorinaci3n es el m3todo de mayor difusi3n; se efect3a por adici3n de un hipoclororito o bien cloro gaseoso e hidr3xido de sodio, e n los procesos industriales se prefiere usar hipoclorito al cloro gaseoso debido a que este 3ltimo es m3s peligroso y de diffcil manipuleo a3n cuando es m3s barato (1).



## CAPITULO II

### AGITADORES

#### 2.1 TIPO DE AGITADORES

Los agitadores en general son usados como máquinas elevadoras de aire que mantienen a la pulpa en continuo movimiento. Entre los principales tipos de agitadores tenemos el agitador BROWN o el tanque PACHUCA, el agitador DORR, el WALLACE o el turbo MIXER; en orden a la agitación combinada con la aereación.

En tanques elevadores de aire la agitación es efectuada por la reducción de la gravedad específica de una columna central de pulpa, por la introducción de aire a una presión que pueda justamente vencer la presión de la columna en el punto de introducción.

A continuación se redactan las características de trabajo de los principales tipos de agitadores.

## 2.2 AGITADOR BROWN O TANQUE PACHUCA

Este tipo de agitador fue introducido en Nueva Zelanda en 1902 y después adoptado en Mexico. Es un tipo de agitador con aire comprimido y consiste de un tanque cilindrico de forma cónica en el fondo.

Los tanques son de varios tamaños como de 45 y 55 pies de altura por 13 a 33 de diámetro y fondo cónico de 60 grados.

Son fabricados de madera y acero, recubierto con caucho; debido a estas dimensiones y el costo del aire comprimido, estos tanques son costosos.



En el tanque un tubo vertical abierto es colocado concéntrico con el tubo de menor diámetro mediante el cual es suministrado el aire causando circulación de los materiales hacia arriba por el tubo central y abajo por el espacio natural. Nueva pulpa es sacada desde el fondo y puesta para una perfecta circulación.

El tiempo de agitación varia de 3 a 12 horas y las concentraciones de cianuro y cal más utilizadas son 0.01 % y 0.005 % respectivamente.

A l comienzo de la agitación la presión de aire requerido es considerable pero cuando la circulación está establecida, la cantidad de aire es moderada.

Originalmente el uso del agitador BROWN fue intermitente, pero ahora es algo común para 4 ó 6 tanques ubicados y trabajando en serie.

### 2.3 TANQUE PARRAL

Este tipo de agitador tiene el tanque con fondo plano y 2 ó 4 surtidores de aire cercanos a la periferia del tanque, en lugar de uno en el centro como en el tanque Pachuca. De esta manera se obtienen tanques de gran diámetro y capacidad.

Codos o giradores son **fijados al** tope del tubo de suministro de aire y la punta es dada circunferencialmente de modo que el contenido del tanque adquiera un **movimiento** de rotación, el cual está **diseñado** para evitar los asentamientos de sólido y ayudar a la agitación.

### 2.4 AGITADOR DORR

Son utilizados para lixiviar a gran escala., raramente son utilizados para tratamientos de sistemas intermitentes .

Consisten en tanques **circulares** con fondo plano y con un tubo abierto en el fondo, a través del cual se introduce **aire** comprimido. Posee un tubo central que sirve **también como** un eje soporte para los brazos de **agitación**, uno en el fondo y otro en la parte

superior. Los brazos del fondo están formados con palas raspadoras situadas en un ángulo de tal manera que puedan llevar cualquier material orientado hacia el tubo central, donde puede ser elevado por el aire comprimido; los brazos superiores ayudan a distribuir la fase acuosa.

Los agitadores DORR al igual que los tanques Pachuca son confinados a los tratamientos del material tamaño de -150 mesh 6 material fino.



## 2.5 AGITADOR WALLACE

Consiste de un tanque circular de 12 x 12 pies con una cavidad de 22 pulg. con un tubo vertical on el centro; dentro de éste un eje al cual está adherido un motor que se encuentra en un punto bajo el fondo y rota a 200 RPM., el tubo vertical permite el ajuste de acuerdo a la altura de carga; usualmente esto es cerca de 2 pies de el fondo del tanque.

Existen 4 pequeños surtidores de aire los cuales son situados alrededor de la periferia.

En funcionamiento la pulpa extraída abajo del tubo vertical por medio de un vórtice el cual la succiona.

La pulpa entonces es subida en el espacio exterior

ayudada por los suministradores de aire.

Este tipo de agitadores está siendo también utilizado en los tratamientos de flotación con solución cianurada.

Es recomendable el uso del agitador donde el material es más arenoso, en concentrados de flotación, debido a que pueden tratar arenas de hasta 40 mesh.

## 2.6 TURBO MIXER

Tienen una unidad revolvedora consistente de un motor, con aspas curvas que se encuentran fijas desviando y rotando en un plano horizontal.

La pulpa ingresa cerca al centro del motor y es expulsada tangencialmente, luego desviada por las aspas estacionarias en los alrededores del motor, produciendo así una agitación intensa.

Como se ha visto la mayor parte de los agitadores modernos emplean algunos mecanismos surtidores de aire, con lo cual incrementan la aireación.

Todo tipo de mineral necesita un máximo suministro de aire. En algunas plantas incluso se ha colocado la pulpa en grandes tanques al aire libre (2).

## CAPITULO III

### PERFIL DE LA ZONA

#### 3.1 ASPECTOS GEOGRAFICOS

**La localidad de Santa Martha se encuentra en la zona de Ponce Enriquez, localizada al sur-occidente del país, en los límites entre las Provincias de Azuay, Guayas y El Oro. Está delimitada por las siguientes coordenadas:**

**Entre 79 36'51" y 79 46'29' longitud oeste y  
03 01'13" y 03 07'46" latitud sur**

**El acceso al área se inicia en el poblado de La Patricia, carretera Guayaquil-Machala, a partir de este punto se recorre 1 km. por un camino de tercer orden que asciende en dirección este, hasta el sitio La Independencia, desde este poblado el acceso se lo hace por un camino de herradura (8).**

#### 3.2 MARCO GEOLOGICO

**La faja Calacali-Pallatanga-Palenque marca el límite entre un terreno oceánico y una metamorfita**

continental la **cual** destaca una complejidad geotectónica. Un magnetismo plutónico asociado a una **subducción** terciaria ha contribuido a la **formación** de **depósitos** hidrotermales de oro sobrepuestos sobre un **potencial** preexistente para sulfuros masivos **vulcanogénicos**.

Alrededor de la zona de Ponce **Enriquez** ocurre un conjunto predominante de vulcanitas, andesíticas y **basálticas**, tobas, areniscas y limolitas intercaladas; **diabasas**, **brechas**, espelitos de la formación Macuchi, **además** de **plutonitas** granodioríticas responsables del origen de flujos hidrotermales (5).

### 3.3 POTENCIAL MINERO

La zona de Ponce Enriquez ha adquirido un auge significativo en la minería a partir de 1983. Esta zona comprende amplios **sectores** donde se observan **vetas** con minerales **auríferos** de leyes **altas** que involucran **varias** poblaciones y **distritos** mineros como el de Santa' Martha, Rica Ensellada, etc.

**Además** es necesario considerar que esta zona es **propicia** para la **búsqueda** de yacimientos **vulcanogénicos** o sulfuros masivos estratiformes.

Estas **zonas** son habitadas **por alrededor de 20.000**

personas de **los** cuales aproximadamente **3.500** se dedican a la minería **directa** e indirectamente.

La ley de oro en la zona es **muy** alta y puede variar desde **20g/T** hasta **400g/T**.

En el año anterior se produjo en la zona **más** de **1 T** anual (8).

### 3.4 LABORES Y DESARROLLO MINERO

El **patrón** de explotación y beneficio de oro primario en la zona es **exactamente** igual al desarrollado por **los pequeños** mineros de Zaruma y Portovelo y suele sintetizarse en **los** siguientes pasos:

- a.- Abertura de una **galería** transversal a la veta mineralizada y extracción **del** material aurífero.
- b.- Trituración y molienda **del** material utilizando inicialmente combos o trituradoras primarias y posteriormente molinos **californianos** (de pisonés), o chilenos (de rueda).
- c.- Clasificación de la molienda **para** lo cual se usa una **mall**a de nylon (aproximadamente 70 mesh).
- d.- Concentración sobre bayetas recubiertas con **te jido**.
- e.- **Recuperación** **del** oro **del** material concentrado por **amalgamación** con **mercurio**.
- f.- **Cianuración** de las colas provenientes **del** paso

de concentraci3n en bayetas, para extraer el oro  
 w e no pudo ser amalgamado. Este proceso reci3n  
 se est3 difundiendo, siendo mayormente empleado  
 el de percolaci3n.

Por lo tanto la Metalurgia del oro en las zonas de  
 estudio, es de bajo nivel tecnol3gico, lo que se  
 traduce entre otros aspectos en el impact0 nega-  
 tivo sobre el ambiente y la salud de la poblaci3n.



En efecto, el mercurio ha sido utilizado casi desde  
 el inicio de la explotaci3n minera en la zona y es  
 tambi3n el preferido por ser el m3s barato y sencillo  
 de utilizar y por lo tanto el m3s difundido entre  
 peque1os y medianos mineros para la refinaci3n del  
 oro por amalgamaci3n, originando de esta manera una  
 fuerte contaminaci3n.

En la zona de Ponce Enriquez el total de roca  
 procesada es de aproximadamente 41.270 T anuales,  
 existiendo una capacidad de molienda de 273 T diarias  
 provenientes de 33 molinos existentes.

La cianuraci3n est3 reci3n difundi3ndose y existen 3  
 procesadoras en la zona, estando su producci3n en  
 fase de estudio (8).

## CAPITULO I V

### PRUEBAS DE LABORATORIO

#### 4.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR DE LAS ARENAS

Las arenas analizadas en el presente estudio corresponden al material concentrado de canalón proveniente del sitio La Independencia, sector Santa Martha, Cantón Santa Isabel, Provincia del Azuay.

Las arenas inicialmente fueron dispersadas sobre un plástico donde se las dejó secar a la temperatura ambiente. Una vez secas, se procedió a la homogenización que se logró mezclando y amontonando el material en formas sucesivas hasta comprobar visualmente que se había logrado una textura homogénea.

Posteriormente se procedió a la reducción de la muestra, siendo el método aplicado el del cuarteo.

Finalmente, el material así obtenido fue el que se tomó para el análisis posterior.

#### 4.2 DETERMINACION DE LA DENSIDAD

La determinación de la densidad de las arenas es importante en el proceso de cianuración, puesto que su valor es primordial para la preparación de la pulpa.

Para determinar la densidad se utilizó una probeta cilíndrica graduada en la que se observa la variación de volumen que experimenta al introducir las arenas con un peso determinado en el interior de la probeta conteniendo un volumen conocido de agua destilada.

La densidad se calcula mediante la ecuación:

$$DENS = \frac{M}{VOL}$$

Los resultados se ilustran en la Tabla I.

TABLA I

| Masa<br>(g) | VOLo<br>(cc) | VOLf<br>(cc) | VOLd<br>(cc) | DENSIDRD<br>(g/cc) |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| 40.0        | 190.0        | 200.0        | 10.0         | 4.00               |
| 40.0        | 100.0        | 111.0        | 11.0         | 3.63               |

La densidad promedio de las arenas es :

DENS = 3.82 g/cc.

#### 4.3 ANALISIS PIROMETALURGICO

##### 4.3.1 Determinación de tenores generales de oro y plata

El análisis pirometalúrgico se realizó para determinar el tenor de oro y plata presente en el material concentrado.

El procedimiento empleado para el ensayo pirometalúrgico fue el siguiente:

- 1.- Homogenizar la muestra.
- 2.- Pesar 50 g. de muestra.
- 3.- Introducir la muestra en el horno a una temperatura de 800°C aproximadamente para el proceso de tostación durante 40 minutos, en este intervalo se removió esporádicamente el material.
- 4.- Sacar del horno el recipiente que contenía el material tostado, enfriar y pesar.
- 5.- Preparar la carga fundente, pesando los reactivos necesarios en la balanza:

60.00 g de litargirio

15.00 g de borax

5.00 g de sílice

3.50 g de harina

Carbonato de sodio igual al peso obtenido

en el paso 4.

- 6.- Mezclar y homogenizar las sales fundentes con el mineral en un crisol de arcillas.
- 7.- Espolvorear la carga con borax antes de introducir el crisol en la mufla, la cual debió encontrarse a una temperatura de unos  $1000^{\circ}\text{C}$  y dejar en el interior por unos 30 minutos para su fundición.
- 8.- Sacar la carga del horno, vertir sobre una lingotera y dejar enfriar.
- 9.- Separar el botón de plomo de la escoria.
- 10.- Moldear el botón de plomo con el mazo hasta darle una forma más o menos cúbica.
- 11.- Introducir el botón de plomo en el horno sobre una copela previamente calentada. Dejar en el interior a unos  $800^{\circ}\text{C}$  hasta que quede solamente el doré.
- 12.- Aplanar el doré hasta que tome forma de disco y pesar.
- 13.- En un vaso pirex, colocar ácido nítrico y agua en proporción 1:7. Introducir el doré en la solución y someter a calentamiento por espacio de 20 minutos.
- 14.- Posteriormente atacar el doré con ácido nítrico concentrado, colocando en un vaso pirex 20 ml de ácido de ácido nítrico y calentado en la hornilla.

15.-Lavar el oro resultante en el vaso con agua destilada; pesar y calcular el tenor de la muestra.

Este procedimiento se realizó por duplicado al material concentrado y los resultados se detallan a continuación en la Tabla-II.

TABLA II

| Peso Muestra (g) | Peso Doré (g) | Peso Oro (g) | Tenor Oro (g/T) | Tenor Plata (g/T) |
|------------------|---------------|--------------|-----------------|-------------------|
| 50.00            | 0.0035        | ~0.0019      | 38.00           | 30.30             |
| 50.00            | 0.0051        | 10.0029      | 58.00           | 42.30             |

(Contaminación por plata del litargirio es de 1.7 g/T)

Por lo tanto el tenor de oro del material concentrado de La Independencia es de 58.00 g/T y el de plata 42.30 g/T.

Estos valores serán utilizados como referencia en el cálculo de el porcentaje de recuperación de las soluciones cianuradas.

#### 4.3.2 Determinación de tenores de oro y plata para cada fracción granulométrica

**Esta** prueba fue realizada para conocer como se encontraba distribuido el oro en cada una de las fracciones. El procedimiento fue el siguiente:

- 1.- Se homogenizó y se obtuvo una muestra representativa de las arenas.
- 2.- Se pesó 300 g del material y se colocó un juego de tamices No. 40, 50, 70, 100, 140, 200, 230 y fondo.
- 3.- Se tamizó en el vibrador ROP-TAP' . por espacio de 20 minutos.
- 4.- Se pesó el retenido de cada tamiz y en base de los resultados obtenidos se construyó una curva de distribución granulométrica (Ver **Fig. 2**, Tabla III).
- 5.- Se pesó una determinada cantidad de muestra del retenido en cada tamiz.
- 6.- Se preparó la carga fundente, pesando los reactivos necesarios.
- 7.- **Se realizó todos los pasos 3** partir del 6 de el procedimiento de determinación de tenores generales de oro y plata, para cada una de las fracciones retenidas. En caso de que se observaran la presencia de sulfuro.



se tostaba inicialmente la muestra.

8.- Se realizó un diagrama de barras de los tenores de oro y plata para cada fracción . ( Fig . 3 ) .

TABLA III  
DATOS GRANULOMETRICOS

| Aber .<br>(u) | Tamiz | $\Delta W_i$<br>(g) | $\Delta W_i/W_t$ | $\Sigma \Delta W_i/W_t$ |
|---------------|-------|---------------------|------------------|-------------------------|
| 420           | 40    | 20.75               | 0.070            | 1.00                    |
| 297           | 50    | 46.93               | 0.157            | 0.93                    |
| 210           | 70    | 66.84               | 0.224            | 0.77                    |
| 149           | 100   | 31.31               | 0.105            | 0.55                    |
| 105           | 140   | 73.40               | 0.246            | 0.44                    |
| 74            | 200   | 26.20               | 0.088            | 0.20                    |
| 63            | 230   | 11.29               | 0.038            | 0.11                    |
|               | Fondo | 21.29               | 0.071            | 0.07                    |

TABLA IV  
TENORES DE ORO Y PLATA EN FRACCIONES

| Tamiz | Peso<br>Muestra<br>(g) | Peso<br>D o r e<br>(mg) | Peso<br>Oro<br>(mg) | Tenor<br>Oro<br>(g/T) | Tenor<br>Plata<br>(g/T) |
|-------|------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| 50    | 20.60                  | 3*1                     | 1.5                 | 50.00                 | 51.60                   |
| 70    | 50.00                  | 4.1                     | 2.3                 | 46.00                 | 34.30                   |
| 100   | 30.00                  | 1.9                     | 0.9                 | 30.00                 | 31.60                   |
| 140   | 33.2                   | 4.8                     | 3.8                 | 114.50                | 28.401                  |
| 200   |                        |                         |                     |                       |                         |
| 230   | 50.00                  | 6.9                     | 3.6                 | 72.00                 | 64.30                   |
| Fondo |                        |                         |                     |                       |                         |

\* No se obtuvo

GRAFICO # 2

CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA (GAUDIN - SCHUMMAN)  
DEL CONCENTRADO DE COLAS DE CANALON

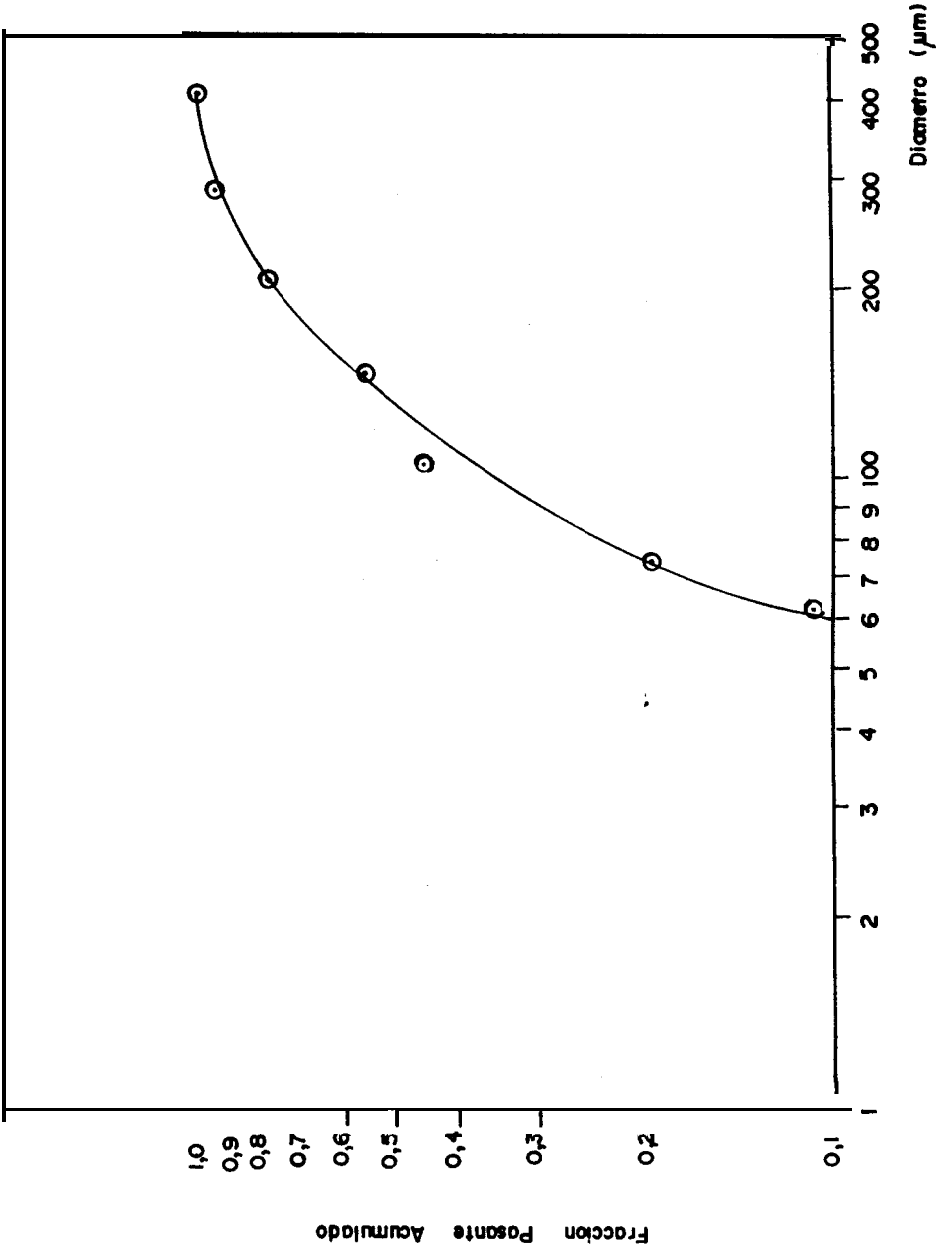
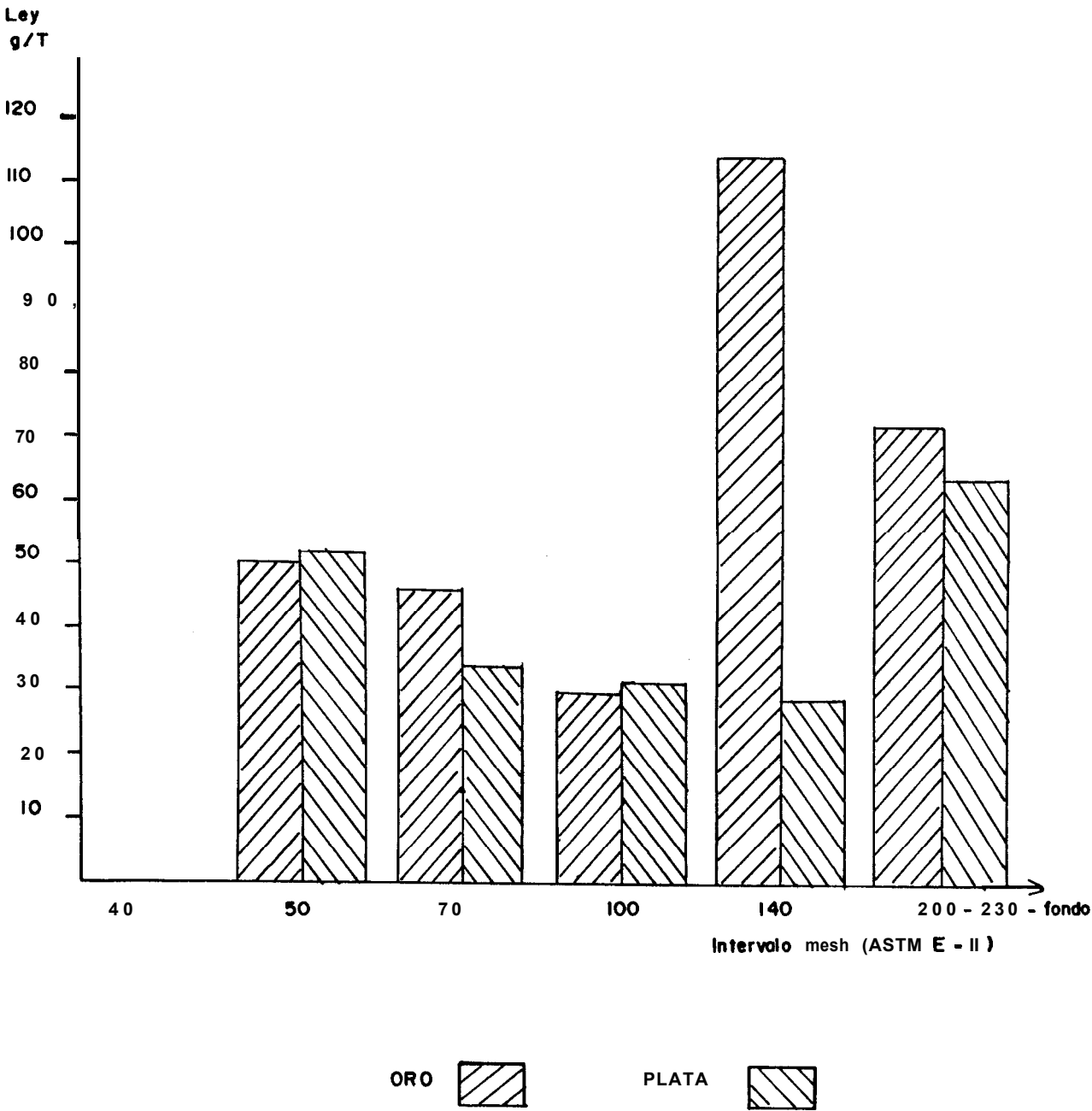


GRAFICO 3

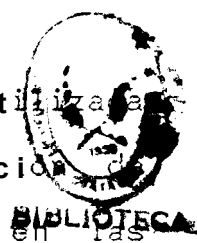
DIAGRAM DE TENORES DE ORO Y PLATA  
DE DIFERENTES FRACCIONES GRANULOMETRICAS



De los resultados obtenidos se observa que el oro se encuentra distribuido en mayor cantidad en las partículas más finas ( 140-200 mesh), donde las leyes de oro son muy altas; sin embargo las arenas poseen en su granulometría un 50 % de partículas de mayor tamaño.

#### 4.4 ANALISIS DE RECUPERACION DE ORO POR CIANURACION MEDIANTE BOTELLA DE AGITACION

La cianuración en botella de agitación fue utilizada en el laboratorio como método para la lixiviación de las partículas de oro y de plata presentes en las arenas estudiadas. Posteriormente el oro será recuperado por cementación con polvo de zinc, utilizando el método de CHIDEY.



Los parámetros a ser controlados en las pruebas fueron los de la concentración de cianuro libre y los de la concentración de cal .

Se realizaron tres pruebas en las cuales la concentración de cianuro de sodio varió, utilizando 0.1, 0.03 y 0.05 % y manteniendo la concentración de cal 0.05 % para las tres pruebas.

Como paso previo se determinó la densidad de pulpa.

#### 4.4.1 Determinación de la densidad de pulpa

El porcentaje de sólidos por peso en la pulpa debe ser tal que permita mayor contacto del mineral con la solución y al mismo tiempo facilidad operacional.

Conociendo que el porcentaje de sólidos debe ser de 0.4 y que la densidad del material es 3.82 g/cc. , se realizaron los cálculos de la cantidad de material y de agua necesaria para la cianuración, tomando como referencia un volumen de pulpa de 4.5 litros para la primera prueba y de 3.5 litros para la segunda y tercera prueba.

Los cálculos se realizaron en base de las siguientes fórmulas:

$$P = \frac{W_s}{W_s + W_l}$$

$$VOL\ PUL = VOL\ SOL + VOL\ LIQ$$

Los resultados obtenidos se ilustran en la siguiente tabla:

TABLA V

| VOL PULPA<br>(l) | CANT AGUA<br>(l) | CANT MAT.<br>(Kg) |
|------------------|------------------|-------------------|
| 4.50             | 3.830            | 2.550             |
| 3.50             | 2.985            | 1.990             |

#### 4.4.2 Metodología de trabajo de la cianuración por agitación

La metodología detallada a continuación se siguió para las tres pruebas realizadas

La lixiviación se realizó por aproximadamente 32 horas., determinando la concentración de cianuro, y de cal; controlando que se cumplan las condiciones fijadas cada cierto tiempo.

Los pasos realizados fueron:



- 1.- Preparar la pulpa en base a las cantidades de agua y de material previamente calculada.
- 2.- Colocar la muestra, el agua y 3 bolas de porcelana dentro de un recipiente cilíndrico de boca pequeña la cual debe permanecer destapada para el correspondiente ingreso de oxígeno.
- 3.- Colocar el recipiente sobre los ejes giratorios y accionar el mecanismo por un tiempo de 5 minutos. Luego extraer una muestra de la pulpa y medir el PH imperante antes de la prueba.
- 4.- Agregar la cantidad de cal necesaria para obtener la elevación del PH inicial hasta 10 ó 12.

- 5.- Agregar a la botella la cantidad de solución de NaCN y de cal necesarias para obtenerlas concentraciones deseadas.
- 6.- Agitar durante el tiempo preestablecido: el cual al comenzar es de cortos intervalos, los cuales se van espaciando hasta concluir el tiempo de prueba.
- 7.- Parar el proceso en cada tiempo, retirar la botella, dejar decantar la solución, y extraer con una pipeta 25 ml. de solución.
- 8.- Poner en agitación la botella.
- 9.- Filtrar la solución extraída.
- 10.-Tomar 12 3 15 ml de la solución filtrada para determinar los valores finales de PH, concentración de NaCN, concentración de cal y para la prueba posterior de absorción atómica.
- 11 -Restituir cal, cianuro y agua hasta volver a la solución a las condiciones iniciales de trabajo.
- 12 -Retirar la botella y filtrar la solución con el filtro de vacío, al finalizar el tiempo de la prueba.
- 13.-Calcular el consumo de cal cianuro ( Tablas IX, X y XI) en la prueba y graficar su variación en el tiempo (Graf.# 4, 5 y 6).

#### 4.4.3 Determinación de la concentración de cianuro

La determinación de la concentración de cianuro libre como la de cal se las realizó por titulación.

Para el caso del NaCN se utilizó una solución de nitrato de plata con un indicador de yoduro de potasio.

El procedimiento empleado fue el siguiente:

- 1.- Se detuvo la cianuración por un pequeño intervalo de tiempo para extraer un poco de solución de la pulpa.
- 2.- Se filtró la solución y se colocaron 5 mililitros en un recipiente para la titulación.
- 3.- Se les agregó a los 5 mililitros, 3 gotas de yoduro de potasio de plata y se le vertió poco a poco una solución de nitrato de plata de concentración conocida ( $5,1020408 \times 10^{-3}$  M) por medio de la bureta hasta que cambió el color del indicador. Se midió el volumen de nitrato de plata utilizado y se calculó la cantidad necesaria y se le añadió a la pulpa (Ver Tablas VI, VII y VIII).

#### 4.4.4 Determinación de la concentración de cal

Para el caso de cal se utilizó una solución de ácido oxálico y fenolftaleína como indicador.

El procedimiento empleado fue el siguiente:

1. Se siguieron los dos primeros pasos del procedimiento de determinación de la concentración del cianuro.
2. Se le agregó una gota de fenolftaleína a la solución y se vertió cantidades controladas de ácido oxálico de concentración conocida ( $4,464286 \times 10^{-3} M$ ) por medio de una bureta hasta que el color del indicador cambió.
3. Si la concentración calculada es menor que la requerida se calculó la cantidad de cal a añadir, tomando en cuenta la pureza de la cal. (Ver Tabla VI, VII y VIII).

A continuación se detallan los resultados obtenidos durante las tres pruebas de cianuración, así como los gráficos de consumo de cal y cianuro respecto al tiempo.

#### 4.4.5 Recuperación de oro de soluciones cianuradas

El método de CHIDEY se utilizó para la recuperación de oro y plata presente en la solución cianurada de las arenas concentradas de

La Independencia, para lo cual se utilizó como precipitador partículas de polvo de zinc. Se determinó el tenor de oro existente en solución y el porcentaje de recuperación obtenido por el procedimiento de agitación, en cada una de las tres pruebas.

El procedimiento empleado fue el siguiente:

- 1.- Luego de finalizada la cianuración se filtró la pulpa, se recogió un litro de ésta en un beaker y se colocó a calentar en una hornilla.
- 2.- Se vertieron 20 mililitros de solución de acetato de plomo al 10 %, 1 gramo de polvo de zinc a la solución preñada y se agitó continuamente. Se calculó hasta la temperatura de ebullición.
- 3.- Se añadió suavemente 30 mililitros de ácido clorhídrico diluido en proporción de dos a uno, luego se dejó enfriar.
- 4.- Se filtró la solución con cuidado para que no existan pérdidas y luego se secó el papel filtro.
- 5.- Se colocó el filtro en un crisol y se rocía acetona y quemó.
- 6.- Se preparó la siguiente carga fundente:  
10 gramos de sílice

15 gramos de carbonato de sodio

30 gramos de litargirio

15 gramos de bórax

3 gramos de harina

7.- Se colocó la carga fundente dentro del crisol que contenía el papel filtro quemado y se homogenizó.

8.- Se sometió la carga a un ensayo al fuego.

9.- Se copeló; el doré se atacó con ácido nítrico.

10.- Se tomó el peso del oro y se calculó el tenor existente, así como también el porcentaje de recuperación.

Los resultados obtenidos son mostrados en la

Tabla XII.

TABLA XII

RESULTADOS DE RECUPERACION DE ORO

| CONC.<br>CIAN.<br>(%) | CANT.<br>LIQ.<br>(l) | CANT.<br>SOL.<br>(Kg) | PESO<br>DORE<br>(mg) | PESO<br>ORO<br>(mg) | PORC.<br>RECUP.<br>(%) |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|------------------------|
| 0.10                  | 3.830                | 2.55                  | 32.5                 | 30.2                | 78.2                   |
| 0.03                  | 2.085                | 1.99                  | 17.7                 | 17.3                | 45.0                   |
| 0.05                  | 2.985                | 1.99                  | 26.2                 | 26.5                | 67.6                   |

TABLA V I

## CIANURACION EN 30 TELLA DE AGITACION (PRUEBA 1)

[ACIDO OXALICO] = 4.464286 \* 10 M [CaO] = 0 . 0 5 %

[AgNO3] = 5.1020408 \* 10 M [NaCN] = 0.1 %

| TIEMPO<br>(H:MIN) | PH    | LECT.<br>AC. OX.<br>(ml) | CONC.<br>CAL<br>(g/lit) | ADIC.<br>CAL<br>(g) | LECT.<br>NIT.<br>(ml) | CONC.<br>CIAN.<br>(g/l) | ADIC.<br>CIAN<br>(g) | VOL.<br>SOL<br>(l) |
|-------------------|-------|--------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|
| 00:00             | 9.8   |                          |                         | 0.750               |                       |                         | 1.20                 | 3.880              |
| 01:45             | 9.2   | 3.1                      | 0.155                   | 2.66                | 3.1                   | 0.310                   | 2.50                 | 3.305              |
| 03:45             | 9.9   | 5.9                      | 0.295                   | 1.57                | 7.9                   | 0.395                   | 2.28                 | 3.775              |
| 06:45             | 13.2  | 8.4                      | 0.420                   | 0.58                | 6.3                   | 0.680                   | 1.20                 | 3.750              |
| 10:45             | 113.2 | 7.1                      | 0.355                   | 1.03                | 6.7                   | 0.670                   | 1.23                 | 3.730              |
| 15:45             | 10.5  | 6.2                      | 0.310                   | 1.40                | 5.7                   | 0.570                   | 1.59                 | 3.690              |
| 23:00             | 10.2  | 6.3                      | 0.315                   | 1.33                | 5.0                   | 0.500                   | 1.84                 | 3.670              |
| 28:00             | 10.6  | 6.8                      | 0.340                   | 1.19                | 6.4                   | 0.640                   | 1.31                 | 3.645              |
| 33:45             | 10.5  | 8.1                      | 0.405                   | *0.7                | 6.8                   | 0.680                   | *1.16                | 3.625              |

\* NO SE APLICAN

TABELA VI I

## CIANURACION EN BOTELLA DE AGITACION (PRUEBA 2)

|                   |      | [ACIDO OXALICO] = 4.464286 * 10 M |                        |                     |                       | [CaO] = 0.05 %          |                    |
|-------------------|------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------|
|                   |      | [AgNO3] = 5.1020403 * 10 M        |                        |                     |                       | [NaCN] = 0.03 %         |                    |
| TIEMPO<br>(H:MIN) | PH   | LECT.<br>AC. ox.<br>(ml)          | CONC.<br>CAL<br>(g/lt) | ADIC.<br>CAL<br>(g) | LECT.<br>NIT.<br>(ml) | CONC.<br>CIAN.<br>(g/l) | VOL.<br>SOL<br>(l) |
| 00:00             | 11.1 |                                   |                        | 6.50                |                       |                         | 2.985              |
| 00:30             | 10.3 | 1.0                               | 0.050                  | 2.71                | 1.0                   | 0.100                   | 2.963              |
| 01:30             | 11.7 | 3.3                               | 0.135                  | 2.00                | 1.5                   | 0.150                   | 2.943              |
| 03:00             | 11.3 | 4.5                               | 0.225                  | 1.34                | 0.9                   | 0.090                   | 2.923              |
| 03:30             | 11.1 | 3.0                               | 0.100                  | 0.32                | 1.1                   | 0.110                   | 2.912              |
| 09:00             | 11.1 | 3.3                               | 0.100                  | 1.33                | 1.1                   | 0.110                   | 2.900              |
| 13:00             | 10.3 | 3.0                               | 0.100                  | 2.35                | 1.0                   | 0.100                   | 2.888              |
| 19:00             | 10.3 | 3.0                               | 0.110                  | 2.23                | 1.1                   | 0.110                   | 2.871              |
| 24:00             | 10.3 | 3.0                               | 0.195                  | 1.73                | 1.1                   | 0.110                   | 2.859              |
| 30:30             | 10.3 | 2.7                               | 0.135                  | 2.10                | 1.3                   | 0.130                   | 2.832              |



TABLA VIII  
CIANURACION EN BOTELLA DE AGITACION (PRUEBA 3)

| TIEMPO<br>(H:MIN) | PH   | [ACIDO OXALICO] = 4.464286 * 10 M |                        |                     |                       | [CaO] = 0.05 %          |                      |                     |  |
|-------------------|------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|--|
|                   |      | [AgNO3] = 5.1020403 * 10 M        |                        |                     |                       | [NaCN] = 0.05 %         |                      |                     |  |
|                   |      | LECT.<br>Ac. Ox.<br>(ml)          | CONC.<br>CAL<br>(g/lt) | ADIC.<br>CAL<br>(g) | LECT.<br>NIT.<br>(ml) | CONC.<br>CIAN.<br>(g/l) | ADIC.<br>CIAN<br>(g) | VOL.<br>SOL.<br>(l) |  |
| 00:00             | 10.0 |                                   |                        | 7.50                |                       |                         | 1.49                 | 2.935               |  |
| 00:00             | 10.0 | 1.7                               | 0.035                  | 2.50                | 2.0                   | 0.200                   | 0.89                 | 2.974               |  |
| 01:30             | 10.7 | 4.4                               | 0.220                  | 1.69                | 3.0                   | 0.300                   | 0.59                 | 2.963               |  |
| 03:00             | 11.1 | 6.0                               | 0.300                  | 1.20                | 2.4                   | 0.240                   | 0.77                 | 2.952               |  |
| 05:30             | 10.9 | 5.0                               | 0.250                  | 1.50                | 2.5                   | 0.250                   | 0.74                 | 2.941               |  |
| 09:30             | 10.9 | 3.6                               | 0.180                  | 1.91                | 1.6                   | 0.160                   | 0.99                 | 2.930               |  |
| 13:30             | 11.0 | 5.2                               | 0.260                  | 1.42                | 2.3                   | 0.230                   | 0.79                 | 2.919               |  |
| 19:00             | 10.9 | 4.2                               | 0.210                  | 1.71                | 2.0                   | 0.200                   | 0.87                 | 2.908               |  |
| 25:00             | 10.9 | 6.0                               | 0.300                  | 1.13                | 2.6                   | 0.260                   | 0.69                 | 2.892               |  |
| 30:00             | 10.9 | 5.7                               | 0.285                  | 1.26                | 2.7                   | 0.270                   | 0.66                 | 2.881               |  |



TABLA I X

## CONSUMO DE CAL Y CIANURO (PRUEBA 1)

CANTIDAD DE MATERIAL = 2.55 Kg      [NaCN] = 0 . 1 %

| TIEMPO<br>H:MIN | ADIC. CIAN.<br>(g) | ACUM. CIAN.<br>(kg/T) | ADIC. CAL<br>(g) | ACUM. CAL<br>(Kg/T) |
|-----------------|--------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| 00:00           | 1.50               | 1.50                  | 0.75             | 0.75                |
| 00:30           | 2.62               | 2.53                  | 2.60             | 1.79                |
| 01:45           | 2.28               | 3.42                  | 1.57             | 2.41                |
| 03:45           | 1.20               | 3.89                  | 0.58             | 2.64                |
| 06:45           | 1 . 23             | 4.37                  | 1.09             | 3.07                |
| 10:45           | 1.59               | 4.99                  | 1.39             | 3.61                |
| 15:45           | 1.59               | 5.61                  | 1.43             | 4.17                |
| 23:00           | 1.84               | 6.33                  | 1.22             | 4.71                |
| 28:00           | 1.31               | 6.85                  | 1.19             | 5.18                |
| 33:00           | 1.16               | 7.30                  | 0.70             | 5.45                |

TABLA X

## CONSUMO DE CAL Y CIANURO (PRUEBA 2)

CANTIDAD DE MATERIAL = 1.99 Kg

[NaCN] = 0.03 %



| TIEMPO<br>H:MIN | ADIC. CIAN.<br>(g) | ACUM. CIAN.<br>( kg/T) | ADIC. CAL<br>(g) | ACUM. CAL<br>(Kg/T) |
|-----------------|--------------------|------------------------|------------------|---------------------|
| 00:00           | 0.89               | 0.45                   | 6.50             | 3.27                |
| 00:30           | 0.59               | 0.75                   | 2.71             | 4.63                |
| 01:30           | 0.44               | 0.97                   | 2.00             | 5.64                |
| 03:00           | 0.62               | 1.28                   | 1.64             | 6.46                |
| 05:30           | 0.55               | 1.56                   | 2.02             | 7.48                |
| 09:30           | 0.55               | 1.83                   | 1.89             | 8.42                |
| 13:30           | 0.58               | 2.12                   | 2.35             | 9.60                |
| 19:00           | 0.55               | 2.40                   | 2.28             | 10.75               |
| 24:30           | 0.54               | 2.67                   | 1.78             | 11.64               |
| 30:30           | 0.48               | 2.91                   | 2.10             | 12.69               |

TABLA XI

CONSUMO DE CAL Y CIANURO (PRUEBA 3)

CANTIDAD DE MATERIAL = 1.99 Kg [NaCN] = 0.05 %

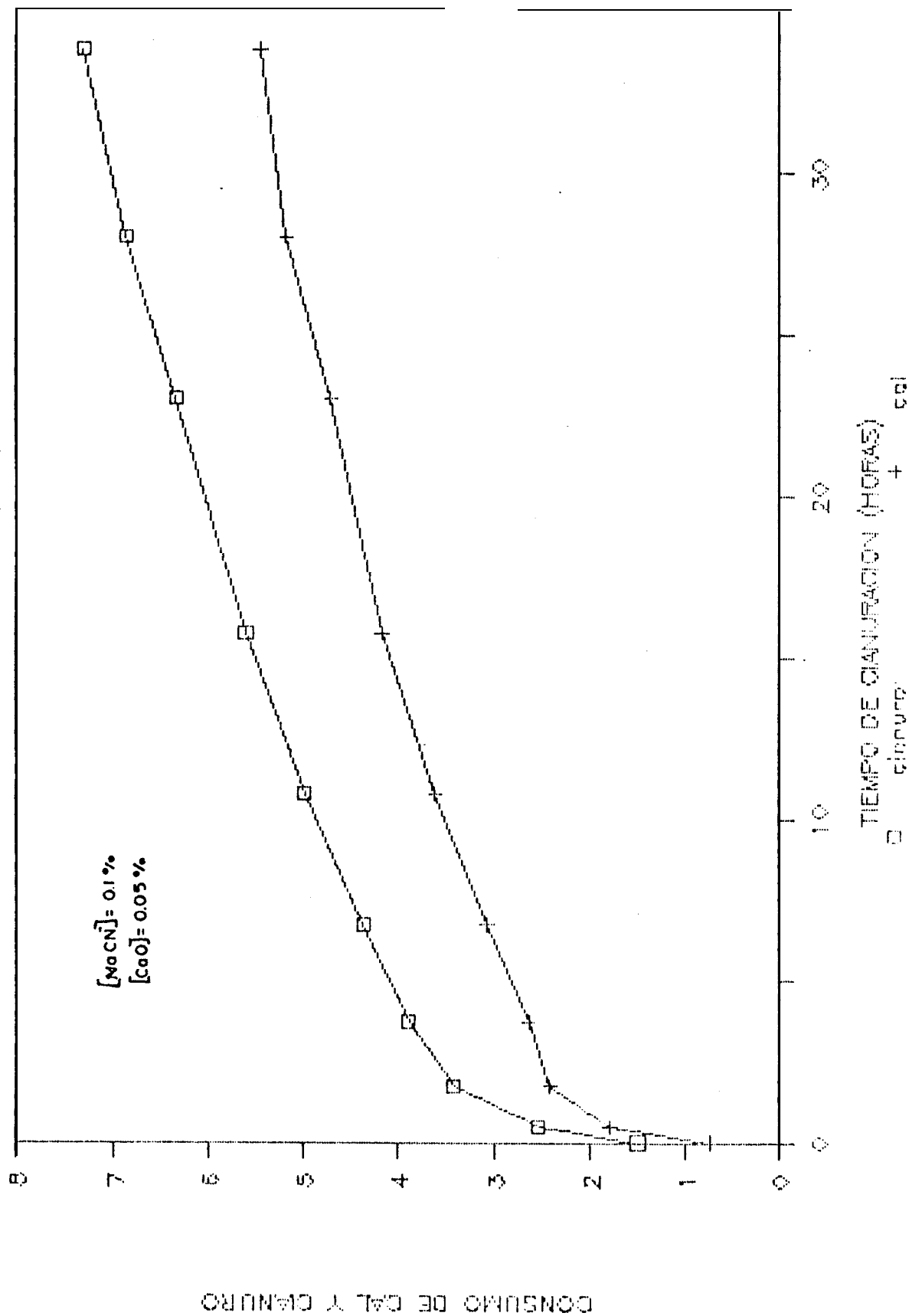
| TIEMPO<br>H:MIN | ADIC. CIAN.<br>(g) | ACUM. CIAN.<br>(kg/T) | ADIC. CAL<br>(g) | ACUM. CAL<br>(Kg/T) |
|-----------------|--------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| 00:00           | 1.49               | 0.74                  | 7.50             | 3.77                |
| 00:30           | 0.89               | 1.19                  | 2.50             | 5.02                |
| 01:30           | 0.59               | 1.49                  | 1.69             | 5.87                |
| 03:30           | 0.77               | 1.18                  | 1.20             | 6.48                |
| 05:30           | 0.74               | 2.25                  | 1.50             | 7.23                |
| 09:30           | 0.99               | 2.75                  | 1.91             | 8.18                |
| 13:30           | 0.79               | 3.14                  | 1.42             | 8.90                |
| 19:00           | 0.87               | 3.58                  | 1.71             | 9.76                |
| 25:00           | 0.69               | 3.93                  | 1.18             | 10.34               |
| 30:00           | 0.66               | 4.26 I                | 1.26             | 10.99               |

El consumo de cianuro aumenta conforme aumenta la concentración del cianuro de sodio utilizado mientras que el consumo de cal aumenta al disminuir la concentración de cianuro de sodio.

# GRAFICO # 4

CONSUMO DE CAL Y CIANURO

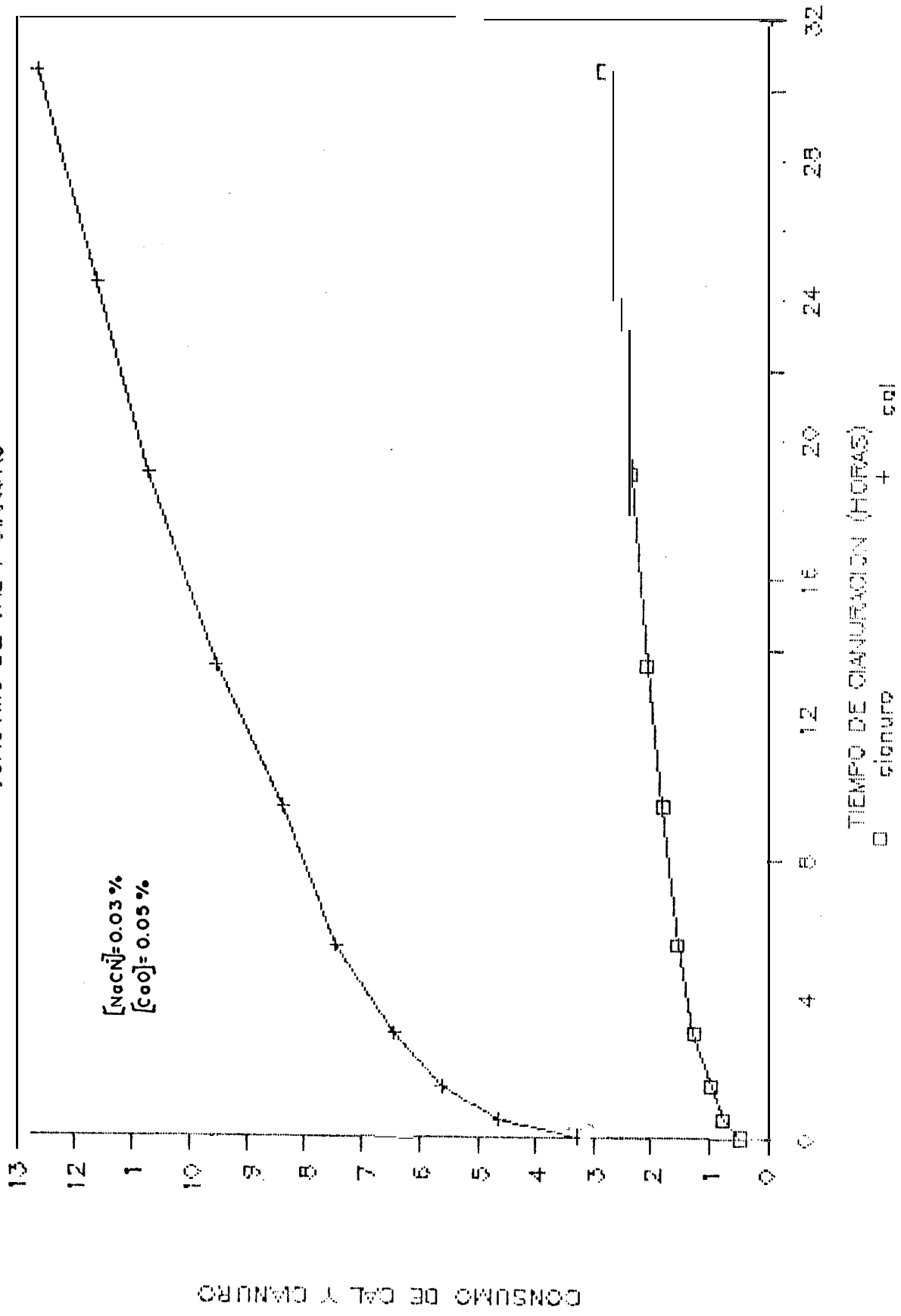
$[NaCN] = 0.1\%$   
 $[CaO] = 0.05\%$



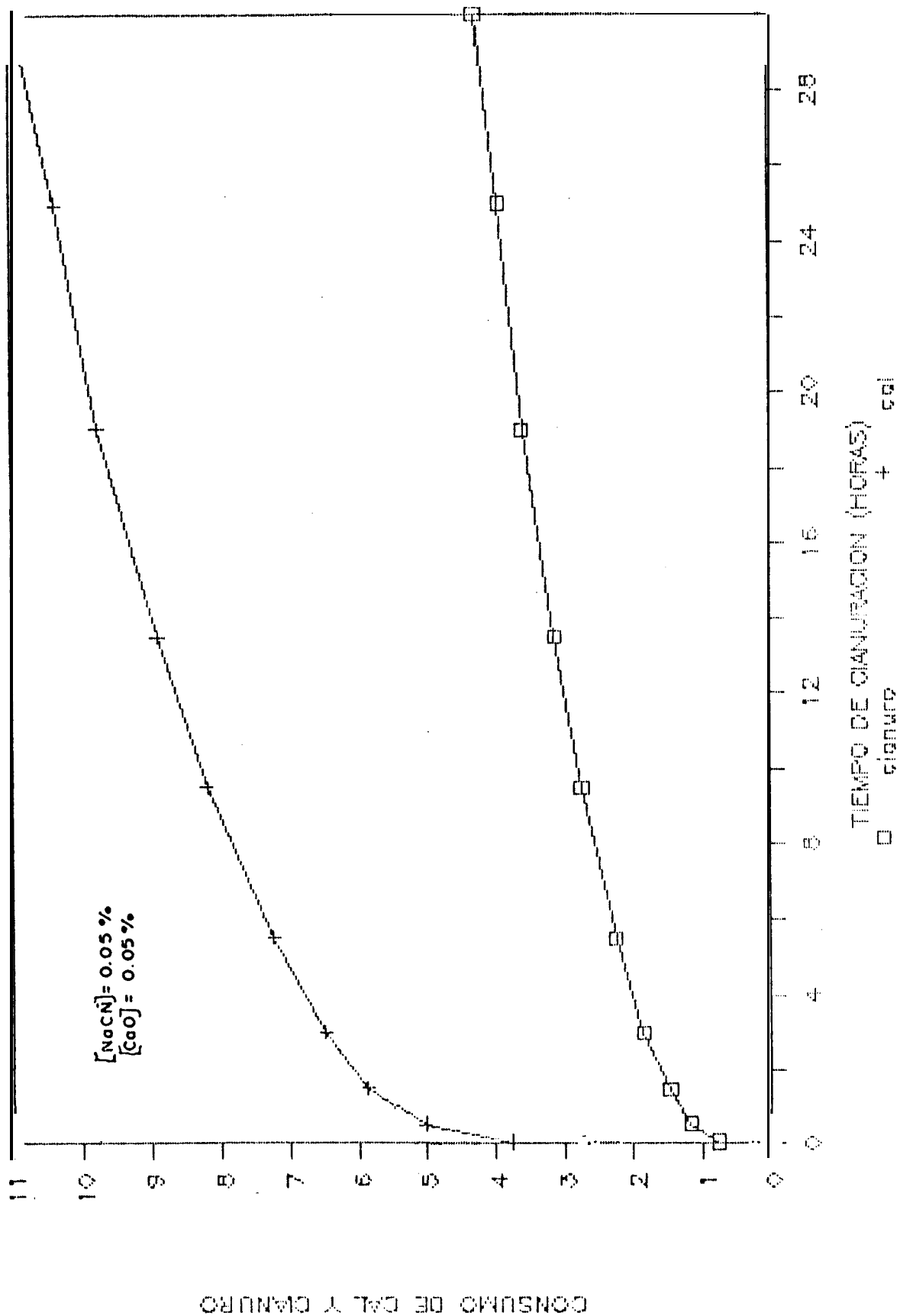
# GRAFICO # 5

CONSUMO DE CAL Y CIANURO

$[NaCN]=0.03\%$   
 $[CaO]=0.05\%$



# GRAFICO # 6



#### 4.5 ANALISIS DE ABSORCION ATOMICA

El funcionamiento del espectrofotómetro de absorción atómica (SAA), se basa en la propiedad de los átomos de liberar o absorber energía radiante cuando pasan sus electrones de una a otra órbita, según sea de mayor o menor energía, o de menor a mayor energía respectivamente. Cada transición tiene una línea de emisión única con longitud de onda fija, y cada elemento tiene su único espectro de emisión. En el caso del oro, la transición produce o absorbe energía con una longitud de onda de 242.8 nm.

Un equipo de absorción atómica es capaz de generar un haz de electrones con igual longitud de onda que la absorbida por el elemento que se analiza.

Este método se considera entre los métodos analíticos más selectivos y además permite determinar cualitativamente, semicuantitativamente y cuantitativamente cerca de 70 elementos.

En el presente trabajo este análisis fue realizado para conocer la cantidad de oro que se va disolviendo a través del tiempo, en cada prueba de cianuración.

Las mediciones de absorbancia, fueron hechas en el laboratorio instrumental del Instituto de Química, sobre un espectrofotómetro de absorción atómica

( PERKIN-ELMER 603 ).

#### 4.5.1 Procedimiento

- 1.- Guardar en  $1.2 \times 6 \times 5$  tubos de ensayo mililitros de solución cianurada en cada uno de los horario preestablecidos en las 3 pruebas de cianuración.
- 2.- Tomar en una pipeta 10 mililitros de cloruro áurico de 1000 PPM de concentración, vaciarlo en un matraz volumétrico de 100 mililitros y aforar con agua destilada para obtener una solución patrón de 100 PPM.
- 3.- Preparar una solución standard de 2 PPM, tomando 2 mililitros de la solución patrón de 100 PPM en un matraz volumétrico de 100 mililitros y aforando con agua destilada.
- 4.- Preparar de estándares de 5, 15 y 25 PPM agregando una recíproca cantidad de mililitros de la solución patrón de 100 PPM, siguiendo el mismo procedimiento del paso anterior.
- 5.- Realizar las mediciones en el S.A.A. de la solución en cada uno de los tubos de ensayo, colocando y encendiendo la lámpara de oro, la cual está usando longitud de onda de 242,8 nm.
- 6.- Calcular el porcentaje de oro disuelto en

cada tiempo de cada una de las 3 pruebas de cianuración y realizar los gráficos de porcentaje de recuperación de oro vs. tiempo de cianuración.

LOS resultados en las concentraciones de oro obtenidas para las muestras están dentro de los rangos esperados y se detallan en las Tablas XIII, XIV y XV y las figuras # 7, 8 y 9.

TABLA XIII

## RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ABSORCION ATOMICA

## PRUEBA 1

[NaCN] = 0.1 %

| TIEMPO<br>H : MIN | LECTURA<br>S.A.A.(PPM) | ORO SOL.<br>(mg) | PORC . RECUP .<br>(%) |
|-------------------|------------------------|------------------|-----------------------|
| 01 00:30          | 10.5                   | 39.95            | 27.00                 |
| 01 03:45          | 21.2                   | 80.03            | 54.10                 |
| 01 06:45          | 29.0                   | 108.75           | 73.60                 |
| 01 08:45          | 34.0                   | 126.82           | 85.80                 |
| 01 10:45          | 35.0                   | 129.85           | 87.80                 |
| 01 15:45          | 36.0                   | 132.84           | 89.80                 |
| 01 23:00          | 36.0                   | 132.12           | 89.33                 |
| 01 28:00          | 38.0                   | 138.51           | 93.70                 |
| 01 33:45          | 39.0                   | 141.38           | 95.60                 |

TABLA XIV

## PRUEBA 2

[NaCN] = 0.03 %

| TIEMPO<br>H : MIN | LECTURA<br>S.A.A.(PPM) | ORO SOL.<br>(mg) | PORC . RECUP .<br>(%) |
|-------------------|------------------------|------------------|-----------------------|
| 00:30             | 3.80                   | 11.26            | 9.70                  |
| 01:30             | 3.40                   | 20.03            | 17.40                 |
| 03:00             | 3.10                   | 27.24            | 23.60                 |
| 05:30             | 2.80                   | 32.61            | 28.30                 |
| 09:30             | 2.15                   | 41.33            | 35.80                 |
| 13:30             | 2.90                   | 50.25            | 43.50                 |
| 19:00             | 3.15                   | 54.26            | 47.00                 |
| 24:30             | 3.60                   | 61.75            | 53.50                 |
| 30:30             | 3.10                   | 64.57            | 55.90                 |

TABLA XV

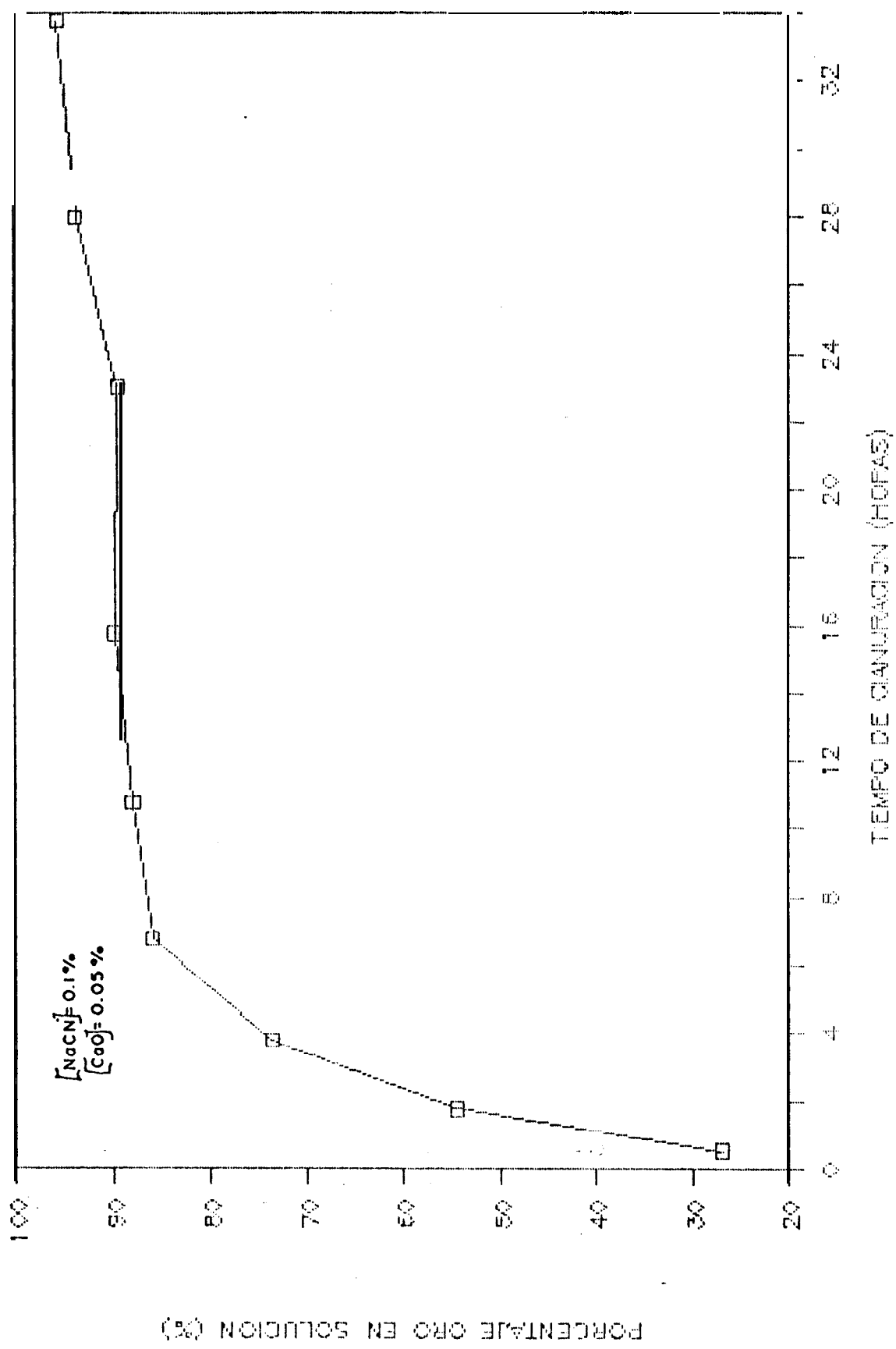
PRUEBA 3

[NaCN] = 0.05 %

| TIEMPO<br>H : MIN | LECTURA<br>S.A.A.(PPM | ORO SOL.<br>(mg) | PORC. RECUP.<br>(%) |
|-------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| 00:30             | 4.85                  | 14.42 I          | I 12.50             |
| 01:30             | 5.30                  | 31.41 I          | I 27.20             |
| 03:00             | 3.70                  | 32 .77 I         | I 28.40             |
| 05:30             | 4.15                  | 42 .82 I         | I 42.30             |
| 09:30             | 4.35                  | 63.73 I          | I 55.20             |
| 13:30             | 4.10                  | 71.81 I          | I 62.20             |
| 19:00             | 4.40                  | 76.77 I          | I 66.50             |
| 25:00             | 4.70                  | 81.55 I          | 70 .60              |
| 30:00             | 5.65                  | 97 .65 I         | 84 .60              |

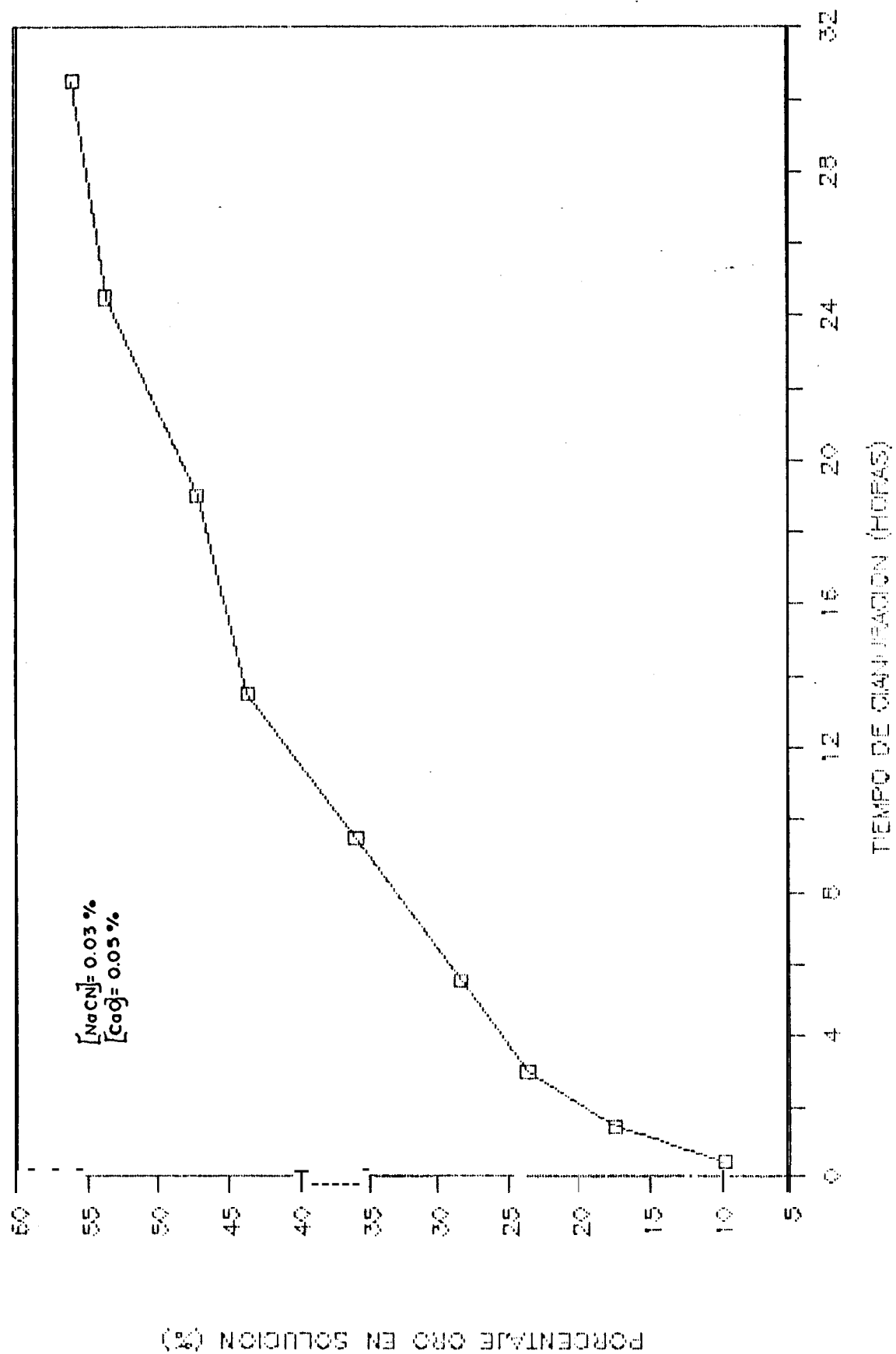
# GRAFICO # 7

PRUEBA 1



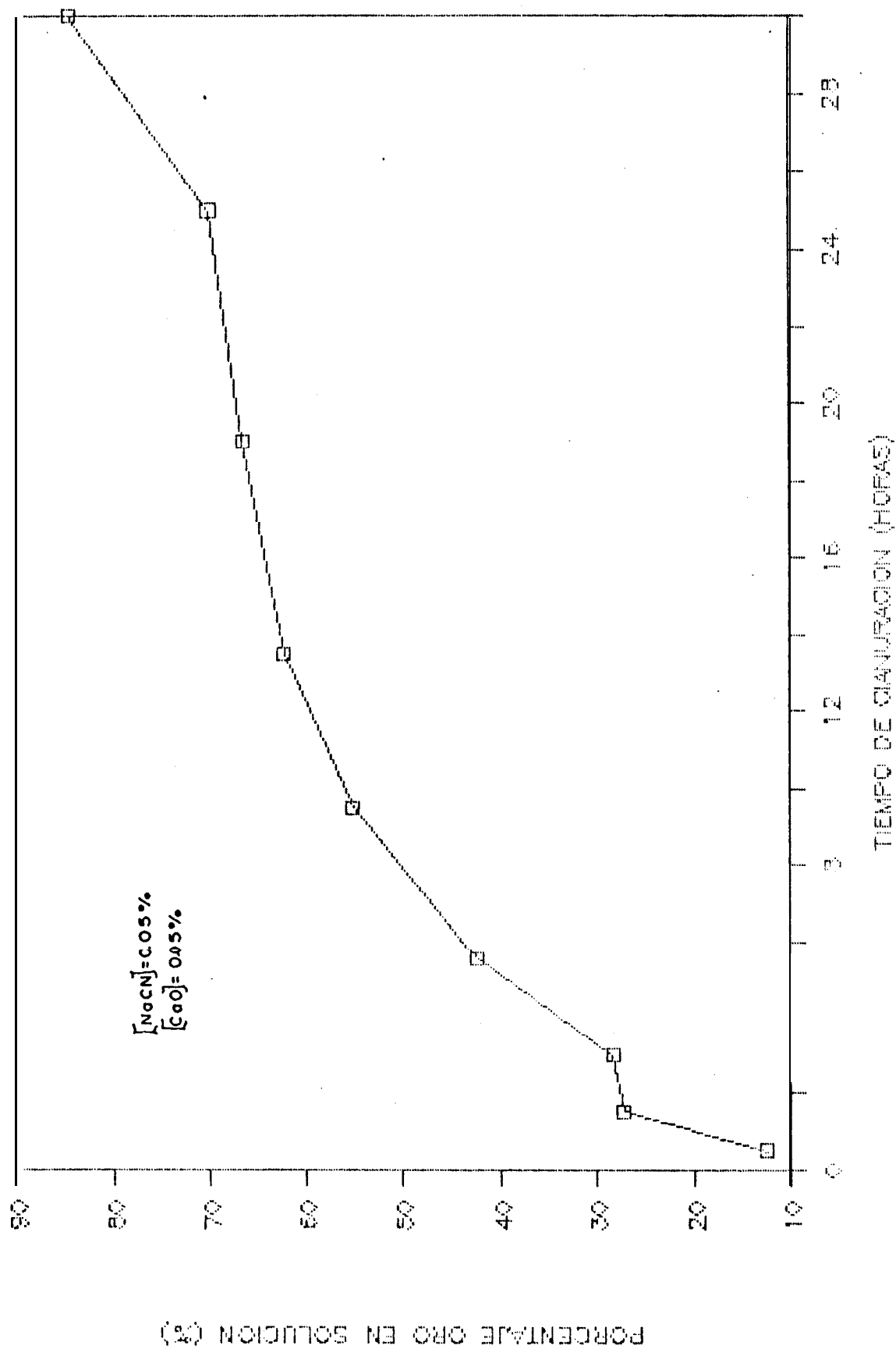
# GRAFICO # 8

PRUEBA 2



# GRAFICO # 9

PRUEBA 3



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El método de recuperación de oro utilizando la cianuración por agitación es usado universalmente, debido a su rapidez de operación, su aplicación generalmente va de acuerdo con los altos tenores de las arenas tratadas; Las arenas de Santa Martha estudiadas en el presente trabajo fueron analizadas para evaluar sus condiciones respecto a la cianuración; conociendo que en la zona el oro es recuperado por amalgamación con mercurio.

Los tenores de oro y de plata de las arenas fueron encontrados en base de análisis pirometalúrgicos, los cuales dieron como resultados 58 g/T y 48,3 g/T respectivamente, lo que viene a constituir un tenor apreciable del oro.

Los análisis granulométricos realizados, muestran que la mayoría de las arenas producidas por los molinos existentes proporcionan una granulometría superior a 70 mallas en casi un 85 % impidiendo con ello la liberación de oro de menor tamaño, el cual no puede ser atrapado por el proceso de amalgamación artesanal originando los

relativamente bajos niveles de recuperaci3n de oro.

En lo que se refiere a el m3todo de cianuraci3n la granulometr3a existente en las arenas se puede considerar 3ptima.

La mayoria de las arenas tratadas en la zona son lixiviadas por percolaci3n y utilizando concentraciones de cianuro mayores a 1 g/l; por lo cual se realizaron tres pruebas con concentraciones de cianuro de 1, 0.5 g/l. respectivamente y concentraci3n de cal de 0.5 g/l.

De los resultados obtenidos en cada una de las pruebas, nos damos cuenta que el consumo de cianuro de sodio aumenta a medida que es mayor la concentraci3n de cianuro utilizado, mientras que el consumo de cal aumenta al disminuir la concentraci3n de cianuro; as3 con una concentraci3n de 1 g/l consume 7.30 Kg/T y 5.45 Kg/T de cianuro de sodio y cal respectivamente, con 0.5 g/l consume 4.26 Kg/T y 10.99 Kg/T y con 0.3 g/l consume 2.91 Kg/T de cianuro de sodio y 12.68 Kg/T de cal.

El aumento en la concentraci3n de cianuro tiene un efecto nocivo, puesto que acelera la disoluci3n de impurezas y la formaci3n de compuestos cianicidas que hacen mayor el consumo de cianuro en el tratamiento.

Las mejores recuperaciones del oro en soluci3n fueron las

correspondientes a las pruebas donde se utiliza 1 g/l / 0.5 g/l de concentración de cianuro donde se recuperaron el 78,2 y 67,6 % respectivamente.

La determinación de oro por S.A.A. provee de resultados con un límite de detección y para una exactitud que lo hace ideal. Sin embargo el método es sumamente costoso, complejo, además los equipos usados son de tal volumen, delicadeza, que se hace imposible su movilización al campo.

Las recomendaciones son las siguientes:

- Determinar las concentraciones de Cu, As, Fe y Zn en las soluciones para los distintos tiempos de cianuración.
- Realizar pruebas de cianuración a frecciones de diferentes granulometrías para observar la disolución de oro con respecto al consumo de cianuro.
- Determinar los tiempos óptimos de disolución de oro, en las pruebas de cianuración por percolación.
- Hacer estudios económicos y metalúrgicos comparativos entre los dos métodos de cianuración, y determinar cuál de ellos producirá una mayor rentabilidad.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- CHEMOCHUMBI L., VIDALORI J., QUIROZ I., PEREZA., OJEDA M., MENDOZA A.. Evaluación de Proyectos de recuperación de oro y plata. Mioceno-Perú, 1935.
- 2.- HADLEY N. AND' TABACHNICK H. La química de la cianuración. American Cyanamid Co, 1963, pp. 1-13.
- 3.- KIRKE ROSE THOMAS AND NEWMAN W. AC. The Metallurgy of Gold. Met-Chem Research INC., 7ma Edición, pp. 345-355 .
- 4.- MEZA SALCEDO LUIS. Aspectos fundamentales de los procesos hidrometalúrgicos y hidrometalurgios de los metales preciosos. Medellín, 1981, pp. 1-80.
- 5.- PIEDRA J. Bella Rica y su mineralización aurífera. INEMIN, Boletín 1, Quito-Ecuador, 1987, pp. 66-69.
- 6.- PINAYA ANGEL. Tratamientos hidrometalúrgicos de minerales complejos conteniendo metales preciosos (oro y plata). Corporación mineros de Bolivia, Oruro Bolivia, 1990 , pp. 67-73.
- 7.- RENGEL PIEDRA J. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-Ecuador , 1990, pp. 67-73.

8.- TORRES FRANCISCO. **La minería del oro y su impacto en el medio ambiente de las zonas de Zaruma, Portovelo y Ponce Enriquez. Informe de Avance del Proyecto de Contaminación Ambiental, Inédito, Guayaquil-Ecuador, 1991.**

